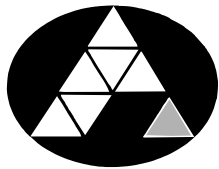


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Joonas Hyvönen

VUODEN 2012 ENERGIATEHOKKUUSMÄÄRÄYKSET JA TULIKIVI
GREEN W10 -VESILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MAHDOLLISUU-
DET

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ

Toukokuu 2012

Rakennustekniikan

koulutusohjelma

Karjalankatu 3

80200 JOENSUU

Tekijä(t)

Joonas Hyvönen

Nimeke

Vuoden 2012 energiatehokkuusmääräykset ja Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmän mahdollisuudet

Toimeksiantaja

Tulikivi Oyj

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin energiamääräysten kehittymistä Suomessa 1.7.2012 voimaan tuleviin uusiin rakennusten energiamääräyksiin saakka sekä tarkasteltiin kansainvälistä energiatehokkuuden normistoa. Vuoden 2012 laskentaperusteiden mukainen energiatehokkuusluku laskettiin esimerkkipientalolle, jossa pääasiallisena lämpöenergian tuotantomuotona oli Valkia-takkauuni Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmän lämmönsiirrinpaketti kahdella varustettuna.

Energiatehokkuusluku laskettiin käyttämällä rakentamismääräyskokoelman osioita D3 (2012) ja D5 (luonnos 27.10.2011). Lisäksi laskennassa käytettiin Tulikiven virallisia mittaustuloksia, jotka on suoritettu Tulikiven omassa laboratoriossa.

Tehdyn laskennan perusteella Tulikiven Valkia-takkauunilla ja W10-vesilämmitysjärjestelmällä päästään sallittuun rakentamismääräyskokoelman osan D3 esittämään energiatehokkuuslukuun. Esimerkkipientalon energiatehokkuusluvun yläraja on 204 kWh/m²/a ja laskennassa saatu tulos on 143,1 kWh/m²/a. Saadun energiatehokkuusluvun perusteella W10-vesilämmitysjärjestelmä soveltuu erinomaisesti uusien energiamääräysten mukaan tehtyihin pientaloihin.

Kieli

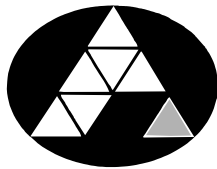
suomi

Sivuja

79

Asiasanat

energiatehokkuus, W10-vesilämmitysjärjestelmä, Tulikivi



POHJOIS-KARJALAN
AMMATIKORKEAKOULU

THESIS

May 2012

**Degree Programme in
Construction Engineering**

Karjalankatu 3

80200 JOENSUU

FINLAND

Author(s)

Joonas Hyvönen

Title

Energy efficiency regulations of 2012 and possibilities of Tulikivi Green W10 water heating system

Commissioned by

Tulikivi Oyj

Abstract

The purpose of this study was to explore the development of new energy provisions that will be implemented in 1.7.2012. The energy efficiency number based on calculation standards of 2012 was calculated for a small house, where thermal energy was produced by Tulikivi Valkia fireplace and Tulikivi Green W10 with heating exchanger two.

This study was made by examining the parts of Building Code of Finland. The examination was also made by using official measurement results of Tulikivi which were carried out in laboratory conditions.

According to the calculation it is possible to gain the allowable energy level by using Tulikivi Valkia fireplace and W10 heating exchanger. The energy efficiency number for the detached house is limited to 204 kWh/ m²/a and the result of calculations was 143,1 kWh/ m²/a. According to the results W10 water heating system is ideal for single house built according to the new energy regulations.

.

Language

Finnish

Pages

79

Keywords

energy efficiency, W10 water heating system, Tulikivi

Sisältö

Termi- ja symboliluettelo

1 Johdanto	9
1.1 Taustaa.....	9
1.2 Opinnäytetyön tavoite ja rajausta	10
2 Energiatehokkuuden kansainvälinen normisto	10
2.1 YK:n ilmastopöytäkirja	10
2.2 Euroopan Unionin energiaterhokkuusdirektiivit	12
2.2.1 Energiaterhokkuusdirektiivi 2002/91/EY	12
2.2.2 Energiaterhokkuusdirektiivi 2010/31/EU	13
2.3 Energiaterhokkuusdirektiivien tukevat standardit	14
3 Uudet energiämääräykset	15
3.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma	16
3.2 Energiamuodon kertoimet	17
3.2.1 Energiakertoimien määritys	18
3.2.2 Energiakertoimien käyttö	19
3.2.3 Energiakertoimet Euroopan Unionissa	20
3.3 Energiaterhokkuusluku	21
3.4 Energiatodistus	23
3.4.1 Energiatodistus Euroopassa	24
3.4.2 Energiatodistuksen laadinta	26
3.4.3 Energiatodistuksen laskenta	27
3.4.4 Energiaterhokkuusluokat	27
3.5 Uusien energiämääräysten soveltamisala	28
3.6 Rakennusten energiaterhokkuuden määritelmät	29
4 Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmä	31
4.1 Tulisijat	31
4.2 Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmän esittely	31
4.3 Lämmönsiirtimien toiminta ja rakenne	32
4.4 Suorituskyky	34
5 Esimerkkirakennuksen energiaterhokkuusluvun laskenta	35
5.1 Energiaterhokkuuslaskennassa tarvittavat lähtötiedot	35
5.2 Sää tiedot	36
5.3 Rakennuksen tiedot	36
5.4 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	37
5.5 Ilman- ja vuotoilmanvaihto	37
5.6 Käyttö- ja käyntiajat	38
5.7 Laskentamenetelmä	39
6 Rakennuksen lämmitysenergian tarve	39
6.1 Rakennusosien johtumislämpöhäviöt	39
6.2 Kylmäsiltojen laskentamenetelmä	40
6.3 Rakennuksen johtumislämpöhäviö	42
6.4 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve	43
6.5 Tulo- ja korvausilman lämmitysenergian tarve	44
6.6 Tilojen lämmitysenergian tarve	44
6.7 Laitteiden sähkönkulutus	45
6.8 Valaistuksen sähköenergian kulutus	46
6.9 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus	46
6.10 Lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus	47

6.11 Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus.....	47
6.12 Lämpökuormat	48
6.12.1 Lämpökuormat henkilöistä.....	48
6.12.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuormat	49
6.12.3 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteily.....	49
6.12.4 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuormat.....	50
6.12.5 Tilojen lämpökuormat	51
6.12.6 Tilojen lämpökuormista hyödynnettävä energia	52
6.13 Tilojen lämmitysenergian nettotarve	54
6.14 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	55
6.15 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve.....	55
6.16 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve	56
7 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	57
7.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys.....	57
7.2 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve.....	58
7.3 Varaava tulisija.....	60
7.4 Lämmitysjärjestelmän energiantarve.....	60
8 Rakennuksen ostoenergian kulutus ja energialuku	62
8.1 Rakennuksen ostoenergian kulutus	62
8.2 Rakennuksen energiatehokkuusluku	62
9 Vertailu suoraan sähkölämmitykseen	63
9.1 Lämmitysjärjestelmän energiantarve.....	64
9.2 Lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus	64
9.3 Rakennuksen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuusluku	65
10 Johtopäätökset.....	66
Lähteet.....	68

Liitteet

Liite 1 Esimerkkiopintalon laskentataulukot

Termi- ja symboliluettelo

a	numeerinen parametri, -
A	rakennuksen tai rakennusryhmän yhteenlaskettu bruttopinta-ala, br m^2
A _i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
A _{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²
A _{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²
A _{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m ²
c _{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
c _{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kgK)
C _{rak}	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
E _{osto}	rakennuksen ostoenergian kulutus, kWh/(m ² a)
ET	rakennuksen energiatehokkuusluku, kWh/br m^2 /a
e _{tilat}	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähkön ominaiskulutus, kWh/(m ² a)
F _{läpäisy}	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin, -
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -
G _{säteily,pystypinta}	pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m ² kk)
H	rakennuksen ominaislämpöhäviö, W/K
k	rakennuksen käytönaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa, -
l _k	viivamaisen kylmäsilan pituus, m
L _{lkv}	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pituus, m
n	henkilöiden lukumäärä, kpl
n _{lämmityslaite}	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl
P	lämpökuorma, W/m ²
P _{puh}	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköteho tehonsäätölaitteineen, kW
q ₅₀	ilmanvuotoluku, m ³ /(h*m ²)
Q _{alapohja}	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
Q _{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh
Q _{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
Q _{ikkuna}	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q _{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q _{iv,korvausilma}	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
Q _{iv,tuloilma}	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
Q _{jakelu,ulos}	lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh
Q _{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
Q _{jäähdytys}	jäähdytysjärjestelmän lämpöenergian (kaukojäähdytyksen) kulutus, kWh
Q _{kylmäsilat}	johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh

Q_{laitteet}	laitteiden vuotuinen kulutus, kWh/m ²
$Q_{\text{lkv,kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö, kWh
$Q_{\text{lkv,LTO}}$	jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä, kWh
$Q_{\text{lkv,netto}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
$Q_{\text{lkv,varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh
$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{\text{lämmitys,iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh/a
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen lämpökuorma, kWh
Q_{muu}	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulko lämpötilasta, kWh
$Q_{\text{muu,lkv}}$	uusiutuvan omavaraisenergian tuottojärjestelmällä tuotettu lämmin käyttövesi, kWh
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
$Q_{\text{sis,lämpö}}$	lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
Q_{tulisija}	varaavan tulisijan tuottama lämmitysenergia, kWh
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
q_v	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
$q_v,\text{korvausilma}$	korvausilmavirta, m ³ /s
q_v,poisto	poistoilmavirta, m ³ /s
q_v,tulo	tuloilmavirta, m ³ /s
$q_v,\text{vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
$Q_{\text{valaistus}}$	laitteiden vuotuinen energiankulutus, kWh/(m ² /a)
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh
SFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW(m ³ /s)
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käynti-aikasuhde, h/24h
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$t_{\text{lkv,pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pumpun käyttöaika, h/vrk
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde,
t_w	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä viikossa, W/(m ² /°C)
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² a)
$W_{\text{aurinko,pumput}}$	aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{iv,muut}}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus, kWh

$W_{\text{jäähdytys}}$	jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{kiinteistösähkö}}$	rakennuksen tai rakennusryhmän kiinteistösähkön kulutus, kWh
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
W_{laitteet}	laitteiden sähköenergiankulutus, kWh
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
$V_{\text{lkv,omin,henk}}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm ³ henkilöä kohti vuorokaudessa
$W_{\text{lkv,pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{LP,apu}}$	lämpöpumpun apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{LP,lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
W_{tilat}	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{tuotto,apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{valaistus}}$	valaistuksen sähköenergiankulutus, kWh
x	kerroin, joka on yksikerroksiselle rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeammille rakennuksille 15
γ	lämpökuorman suhde lämpöhäviöön, -
Δt	ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto, -
$\Delta t_{\text{oleskelu}}$	oleskeluaika, h
$\Delta T_{\text{puhallin}}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
$\eta_{\text{a,ivkone}}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde, -
$\eta_{\text{lkv,netto}}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde, -
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde, -
$\eta_{\text{lämpö}}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämistäaste, -
η_{tuotto}	lämmitysenergian tuoton hyötysuhde, -
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
τ	rakennuksen aikavakio, h
$\Phi_{\text{lkv,kierto,omin}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho, W/m
$\Phi_{\text{lkv,lämmitys,omin}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/kpl
Ψ_k	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(mK)
Φ_{henk}	yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho (ei sisällä haihtumislämpöä), W/ henkilö
Φ_{lto}	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Tulevaisuuden rakentamisessa painotetaan yhä enemmän energiatehokkuutta ja ekologisuutta. Suomessa rakennusten energiankulutus on 40 % maamme kokonaisenergiankulutuksesta ja siksi rakennusten energiatehokkuus on keskeisessä asemassa energiansäästöä ajatellen. 1.7.2012 voimaan tulevien uusien energiamääräysten keskeisin muutos on siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun, jossa aikaisemmat osakohtaiset vaatimukset vaihtuvat kokonaisvaltaiseen energiatehokkuustarkasteluun. Tämä antaa rakennusten suunnitteluun merkittävästi lisää vapautta. Asuntoministeri Jan Vapaavuori toteaaakin ympäristöministeriölle: ”Uudistus vie rakennusten energiatehokkuustarkastelun uudelle tasolle ja samalla kannustaa koko rakennusalaan kehittymään. Uudet määräykset luovat täten myös edellytykset rakentamisen laadun parantamiselle.” [19, s. 8.]

Rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavat monet eri tekijät. Näitä ovat muun muassa rakennuksen koko ja muoto, talon sijoittaminen tontille, vaipparakenteiden lämmöneristys ja ilmanpitävyys, lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät, teknisten järjestelmien ohjaus sekä ennen kaikkea rakennuksen käyttö ja asumistavat. Tulevaisuudessa, kun rakennus tehdään minimoimaan energiankulutusta, tulee kiinnittää erityistä huomiota tarvittavan energian tuottamistapaan. Esimerkkinä voidaan pitää passiivienergiataloa, jossa lämmitysenergian tarve on todella vähäinen ja suurin osa energiankulutuksesta kohdistuu käyttöveden lämmittämiseen ja sähkölaitteiden toimintaan. Tulikivi Green W10 -järjestelmällä on mahdollista kattaa sekä lämmitysenergian tarve että hyödyntää energiaa käyttöveden esilämmityksessä. Järjestelmän avulla osa tulisijasta saatavasta lämmitysenergiasta saadaan siirrettyä vesikiertoiseen lattialämmitysjärjestelmään. Tulisijan pintalämpötilat alenevat, joka edesauttaa miellyttävän säteilylämmön hyödyntämistä uusien energiamääräysten myötä tulevissa tiiviissä rakennuksissa.

Opinnäytetyön teen toimeksiantona yhteistyössä Tulikivi Oyj:n kanssa.

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja raja

Opinnäytetyössäni käsittelem energiamääräysten kehittymisen kannalta tärkeitä kansainvälisiä sopimuksia ja direktiivejä sekä 1.7.2012 voimaan tulevia energiamääräyksiä. Laskin energiatehokkuusluvun W10-vesilämmitysjärjestelmällä lämmitetyille esimerkkirakennukselle rakennusmääräyskokoelman osien D3 (2012) ja D5 (luonnos 27.10.2011) mukaisilla arvoilla ja kaavoilla.

Työni tavoitteena oli perehdyttää lukija Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmään ja voimaan tuleviin energiamääräyksiin. Lisäksi tein laskelman toimeksiantajalle, kuinka W10-vesilämmitysjärjestelmää voi konkreettisesti hyödyntää energiatehokkuusluvun laskennassa.

2 Energiatehokkuuden kansainvälinen normisto

Tässä luvussa käsittelem energiamääräysten kehittymisen perustana olevaa YK:n maailmanlaajuisista ilmastopimusta ja sitä täydentänyttä Kioton pöytäkirjaa. Toisena asiana käsittelem Euroopan Unionin laajuiset direktiivit 2002/91/EY ja 2010/31/EU, joille YK:n ilmastopimus on antanut perimmäiset suuntaviivat. Nykyisin rakennusten energiatehokkuuden vertailuun käytettävää energiatodistusta on lähdetty kehittämään 2002/91/EY-direktiivistä alkaen.

2.1 YK:n ilmastopimus

YK:n ilmastopimus on tärkeä ilmastonmuutoksen hidastamisessa ja energiatehokkuuden kehityksessä. Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastonmuutosta koskeva puite-sopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) hyväksyttiin vuonna 1992. Ilmastopimus astui voimaan vuonna 1994, jolloin se ratifioitiin myös Suomessa. 24. toukokuuta 2010 mennessä ilmastopimuksen oli ratifioinut 195 jäsenvaltiota. [36]

Ilmastopimuksen tavoitteena on ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksien stabilisointi tasolle, jossa ihmisen toiminnalla ei ole haitallista vaikutusta ilmastoon ja sen kehittymiseen. [33, s. 4.] Ihminen on kuitenkin omalla toiminnallaan lisännyt kasvihuonekaasujen määrää ja siten ilmastomuutosta. On siis tärkeää tiedostaa, että uudet energiatehokkaat ratkaisut ja vähäpäästöiset energiamuodot ovat tärkeitä ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttamisessa.

Jäsenmaiden tulee laatia ja toteuttaa kansallisia ohjelmia ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Teollisuusmaiden ensimmäisen vaiheen tavoitteena oli kasvihuonepäästöjensä palauttaminen vuoden 1990 tasolle vuoteen 2000 mennessä. Tämä tavoite ei kuitenkaan ollut sitova eikä sitä asetettu kehitysmaille. [36] Kehitysmaissa kestävä sosiaalisen ja taloudellisen kehittymisen edellytyksenä ovat tarvittavat resurssit. Jotta päästäisiin lähelle ilmastopimuksen tavoitteita, energiankulutuksessa tulee ottaa yhä enemmän huomioon eri mahdollisuudet energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi.

UNFCCC:tä täydentävä Kioton pöytäkirja hyväksyttiin vuonna 1997, mutta voimaan se tuli vasta kahdeksan vuotta myöhemmin 16.2.2005 Venäjän ratifiointin jälkeen. Pöytäkirja tukee puitesopimusta lisäämällä siihen laillisesti sitovan lisäsopimuksen, jonka allekirjoittaneet valtiot sitoutuvat taistelemaan ilmastomuutosta vastaan ja vähentämään kasvihuonekaasuja. [36] Tämän lisäksi Kioton pöytäkirja velvoittaa kehittyneitä maita vähentämään kuuden kasvihuonekaasun (hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihilivedyt, perfluorivedyt ja rikkiheksafluoridi) päästöjä yhteensä 8 prosenttia vuoden 1990 päästötasosta vuosina 2008–2012. Tämä yleinen velvoite on jaettu maa-kohtaisiksi velvoitteiksi, joiden suuruus vaihtelee eri maissa. Kioton pöytäkirjan B-liitteessä (Annex B countries) luetellaan maat, joita päästöjen vähennykset koskevat. Suomi ratifioi pöytäkirjan muiden Euroopan jäsenmaiden kanssa 31.5.2002. [17]

Nykyisen ilmastopolitiikan suuntaviittojen mukaan YK:n ilmastopimuksen tavoitteet voivat olla vaikeita saavuttaa, jonka vuoksi Kanada aikoo irtisanoutua sopimuksesta. ”Käytämme Kanadan laillista oikeutta vetäytyä virallisesti Kioton ilmastopimukselta”, sanoi Kanadan ympäristöministeri Peter Kent palattuaan Etelä-Afrikan Durbanin ilmastoneuvotteluista. [1] Aiemmin Kanada on sanonut päästötavoitteiden olevan merkityksettömiä, koska ne eivät välttämättä sido suurimpia saastuttajamaita. Tämän lisäksi suurmaista Yhdysvallat ja Kiina ovat jättäytyneet Kioton pöytäkirjan ulkopuolelle. Il-

mastosopimusta ei kuitenkaan olla hylkäämässä. Joulukuussa 2011 saatiin päätökseen 16 päivää kestäneet neuvottelut, joiden lopputuloksena neuvotteluihin osallistuneet 194 maata sitoutuivat vähentämään päästöjään. Tavoitteeksi otettiin sopimuksen tekeminen 2015 vuoteen mennessä ja sen lainvoimaiseksi saattaminen 2020 mennessä. Uuden tavoitteen mukaisesti myös kehittyville maille tulee tavoitteet päästöjen vähentämiseksi. [16]

2.2 Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivit

Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivien tarkoituksena on vähentää hiilidioksidipäästöjä parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Direktiivit otetaan käyttöön Euroopan Unionin tasolla ja ovat sovellettavissa jäsenvaltioiden kansalliseen lainsäädäntöön. Ne kehottavat käyttämään energiatehokkuutta laskettaessa menetelmää, joka ottaa huomioon rakennuksen lämpöominaisuuksien lisäksi myös muut tärkeiksi muodostuvat tekijät kuten lämmitys- ja ilmastointijärjestelmät, uusiutuvien energiamuotojen käytön, sisäiset lämpökuormat, varjostukset, riittävän ilmanvaihdon ja rakennuksen suunnittelun. Suomessa direktiivin soveltamisesta kansalliseen lainsäädäntöön vastaa ja valvoo Ympäristöministeriö. [11]

2.2.1 Energiatehokkuusdirektiivi 2002/91/EY

Euroopan parlamentti ja neuvosto hyväksyivät rakennusten energiatehokkuuden linjoja määrittävän energiatehokkuusdirektiivin EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) 2002/91/EY marraskuussa 2002. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi tuli voimaan 4.1.2003. Direktiivin edellyttämät lait, asetukset ja hallinnolliset määräykset oli saatettava voimaan 4.1.2006 mennessä. Direktiivi velvoittaa kaikkia jäsenmaita rakennusten energiankäytön selvitykseen Euroopan Unionin alueella. [5, s. 5.]

2002/91/EY- direktiivissä säädetään vaatimuksista, jotka koskevat rakennusten kokonaisenergiatehokkuuden laskentamenetelmän yleistä kehitystä. Direktiivi pyrkii edesauttamaan kustannus- ja energiatehokasta rakentamista sisältäen tarkastelut jäähdytykselle ja valaistukselle. [9, s. 2.] Se asettaa perusperiaatteet ja vähimmäisvaatimukset,

joita sovelletaan niin uusien rakennusten energiatehokkuuteen kuin olemassa oleviin suuriin rakennuksiin laajamittaisten korjausten yhteydessä. Tässä tapauksessa laajamittaisella korjauksella tarkoitetaan energiatalouteen liittyvien lämmityslaitteiden uusimista, joiden arvo on vähintään 25 prosenttia koko rakennuksen arvosta tai mikäli korjaus on yli 25 prosenttia rakennuksen vaipasta. Vähimmäisvaatimukset on määritetty myös rakennusten energiasertifiointille sekä rakennusten lämmityskattiloiden ja ilmastointijärjestelmien säännöllisille tarkastuksille. Direktiivissä kehoitetaan suorittamaan lämmitysjärjestelmän arviointia rakennuksissa, joissa lämmityskattilat ovat yli 15 vuotta vanhoja. Tämän lisäksi direktiivissä määrättiin ensimmäistä kertaa, että energiatodistus tulee olla esillä omistajalla tai tämän toimesta vuokralaisella sekä ostajalla rakennusta rakennettaessa, myytäessä ja vuokrattaessa. [10, s. 1–5.]

Vähimmäisvaatimuksia tulee noudattaa silloin, kun rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen on toiminnallisesti, teknisesti tai taloudellisesti perusteltua. Vaatimukset on mahdollista asettaa koko rakennukselle tai korjattaville rakennusosille; nämä voivat kuitenkin vaihdella rakennuksen iän tai tyyppin perusteella. [10, s. 1–5.]

2.2.2 Energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU

18.5.2010 hyväksyttiin energiatehokkuusdirektiivin 2002/91/EY korvaavaksi direktiiviksi 2010/31/EU, joka astui voimaan 9.7.2010. Suomen kansalliset säädökset on oltava julkaistuna 9.7.2012 mennessä. [11, s. 1–3.]

Direktiivin 2010/31/EU tärkeä tavoite on saavuttaa Euroopan Unionin tammikuussa 2008 ehdottaman ja joulukuussa 2008 hyväksymän ilmasto- ja energiapaketin tavoitteet. Nämä ovat kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vuoteen 2020 mennessä 20 prosentilla verrattuna vuoteen 1990. Kyseinen tavoite on kaikkia Unionin jäsenmaita velvoittava. Tavoitteena on myös lisätä uusiutuvien energialähteiden osuutta keskimäärin 20 prosenttia EU:n energian loppukulutuksesta. Suomen tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä 9,5 prosenttia vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Tällöin niiden osuus olisi Suomen energiankulutuksesta 38 prosenttia. Kolmantena tavoitteena on energiatehokkuuden parantaminen keskimäärin 20 prosentilla perusuran mukaiseen kehitykseen verrattuna vuoteen 2020 mennessä. [11, s. 1–4.]

Vaativuksena on saattaa uudisrakennukset vuoden 2020 loppuun mennessä lähes nolla-energiataloiksi. Uusille, julkisille rakennuksille nollaenergiavaatimus tulee jo vuoden 2019 alusta alkaen. Tässä tapauksessa lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan rakennuksen erittäin korkeaa energiatehokkuutta. Rakennuksen erittäin vähäinen energiatarve olisi hyvin pitkälti katettava uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla. Direktiivin vaatimukset korjausrakentamiselle eivät ole yhtä tiukkoja verrattuna uudisrakentamiseen ja niitä voidaan lisäksi soveltaa laajojen korjauksien yhteydessä. Korjausrakentamisen energiatehokkuuden vaatimustaso päätetään kansallisen valmistelun yhteydessä. Energiatehokkuusvaatimukset koskevat lähes kaikkia korjattavia rakennuksia rakennuksen kokoon liittymättä. [11, s. 1–4.]

2010/31/EU täsmentää aiemman 2002/91/EY-direktiivin ohjeistusta energiatodistuksesta. Direktiivin mukaisesti energiatodistuksen tulee olla esillä kohteissa, joihin se on tehty sekä yli 500 m²:n yleisön toistuvien käyntien kohteena olevissa rakennuksissa (viranomaiset ja muut rakennukset). Vuonna 2015 tämä raja tulee olemaan 250 m². Energiatodistuksiin on direktiivin mukaan lisäksi sisällytettävä säästösuositukset ja kaupallisissa, myynti- sekä vuokrausilmoituksissa tulee olla energiatehokkuustiedot. Todistusten antajien valtuutusprosessissa on otettava huomioon pätevyys ja ihmisillä on oltava saatavilla tietoa asiantuntijoista. Näiden lisäksi energiatodistuksille on perustettava riippumaton valvontajärjestelmä. [11, s. 9, 10–13.]

Direktiivi ei anna mitään lukuarvoja, vaan kaikki tasot määrätään kansallisella tasolla. Se siis kertoo asiat, joista jäsenmaiden on laadittava omat säännöksensä. Soveltaminen ja toteuttaminen riippuvat jäsenmaiden kansallisista tavoitteista.

2.3 Energiadirektiivejä tukevat standardit

Euroopan komissio päätti ottaa käyttöön CEN-standardeja tukeakseen energiatehokkuusdirektiivejä. Direktiivien tueksi jouduttiin kehittämään uusia standardeja, koska vain pieni osa olemassa olevista oli hyödynnettävissä. Energiatehokkuuden laskennan lähtötietoihin ja menettelyihin on suuri vaikutus kansallisilla ja alueellisilla eroilla ilmastossa, rakentamisperinteissä, lainsäädännössä, laadunvarmistuksessa ja käyttötottumuksissa. Energiatehokkuusdirektiiviä tukevien EPBD-CEN-standardien yhtenä tehtä-

vänä onkin yhtenäistää menetelmät energiatodistuksista, energiatehokkuuslaskelmista ja rakennusten tiettyjen taloteknisten järjestelmien energiatarkasteluista. [12, s. 4–8.]

Suurin osa EPBD-standardeista valmistui 2007, ja vain muutaman ehdotuksen kohdalla äänestysvaihe siirtyi vuoteen 2008. Koko standardipaketin laajuus on yli 2 200 sivua, joka on herättänyt keskustelua jo niiden laadintavaiheessa. Standardit sisältävät taustatietoja ja esimerkkejä, joista monet kuvaavat vallitsevia käytäntöjä useammassa kuin yhdessä maassa ja ovat tarpeellisia myös käytäntöjen tulevan yhdenmukaistamisen kannalta. [24, s. 3-4.]. Niiden soveltaminen käytäntöön ilman kansallista tukiaineistoa (kansalliset liitteet) voi olla vaikeaa. Tämän vuoksi standardien käyttöönotto Euroopan Unionin jäsenvaltioissa ei ole yksiselitteistä ja helppoa, koska ne käsittävät monitasoisia eri ammattialoihin liittyviä kysymyksiä ja jättävät paljon soveltamisen varaa kansallisella tasolla. Lisäksi EU:n jäsenvaltiot ovat halukkaita pitämään kiinni rakentamismääräyksistään, mikä osaltaan kasvattaa vastarintaa. [12, s. 9.]

CEN-standardisarja koostuu 43 otsikosta, jotka voidaan luokitella rakennusfysiikan, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien, huoneiden lämmityksen ja lämminvesijärjestelmien mukaan sekä tukeviin ja tarkastaviin standardeihin. Lisäksi kahdessa muussa standardiluokittelussa määritetään rakennusten energiatehokkuus, energiasertifiointi, kokonaisenergiankulutus, primäärienergia, CO₂-päästöt, energiankulutuksen arviointi ja energiatehokkuusluokka. [8, s. 4–5.]

3 Uudet energiamääräykset

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan keskeisiä sitoumuksia on luvussa 2.2.2 mainittu 20 % -20 % -20 % -tavoite. Suomen strategiseksi tavoitteeksi asetettiin 2008 valtioneuvoston toimesta energian loppukulutuksen kääntäminen laskuun siten, että energian loppukulutus olisi vuonna 2012 noin 310 TWh eli lähellä nykyistä. Eduskunta hyväksyi uudet energiamääräykset 15.3.2011. Ne tulevat astumaan voimaan 1.7.2012, puoli vuotta alun perin aiottua myöhemmin. [37, s. 1.]

3.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Suomessa rakentamisen laadusta määrätään rakentamismääräyskokoelmassa. Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat velvoittavia, mutta siinä myös annetaan ohjeita hyvälle rakentamistavalle asetettujen vaatimusten puitteissa. Rakentamismääräyskokoelman osien määräykset koskevat uusrakentamista. Korjaus- ja muutostöissä määräyksiä sovelletaan vain rakennuksen muutettavan käyttötavan edellyttämällä tavalla, mikäli määräyksissä ei määrätä toisin. Energiatehokkuudesta määrätään osissa C ja D.

Rakentamismääräyskokoelma jaotellaan seitsemään eri osaan:

- A Yleinen osa
- B Rakenteiden lujuus
- C Eristykset
- D LVI ja energiatalous
- E Rakenteiden paloturvallisuus
- F Yleinen rakennussuunnittelu
- G Asuntorakentaminen
- Eurokoodit

Aikaisempien rakentamismääräysten mukaan rakennuksen energiavaatimusten täytyminen osoitettiin lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. Rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö sai olla enintään vertailuratkaisun mukainen. Lämpöhäviöiden tasauskohteina olivat rakennusosien lämmönläpäisykertoimet, ikkunapinta-ala, ilmanvuotoluku ja vuotoilmavirta sekä ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Nämä arvot määritetään rakentamismääräyskokoelman osassa D3. [25, s. 10–11.]

Uusien energiamääräysten myötä osa rakentamismääräyskokoelman osioista tulee muuttumaan. Kaikki energiaterähdysvaatimukset koottiin yhteen määräyskokoelman osaan D3. Tämän johdosta osa C3 rakennusten lämmöneristämisestä kumotaan ja sisältö siirtyi D3:een. Samoin D2:n sisältö rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta siirtyi D3:een. Tasauslaskenta siihen liittyvine vertailuarvoineen on säilytetty lähes ennallaan ja siirretty D3:een. D5:n sisältö on muutettu kokonaisenergiatarkastelun vaatimusten-

mukaiseksi siirryttäessä kokonaisenergiatarkasteluun. D5:een on lisätty lisäksi laskenta-ohje rakennuksen kylmäsilloille. [27, s. 1.]

Rakentamismääräyskokoelman uudistamisella pyritään parantamaan energiatehokkuutta ja käyttöönottamaan passiivirakentamisen vaatimukset täyttävät laskentamenetelmät ja –määritelmät. Energiatehokkuutta voidaan parantaa hyvällä suunnittelulla ja näin rakentamiskustannukset voivat jopa alentua. [4, s. 3.] Suomen rakentamismääräyskokoelman osien muuttaminen on osa Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivien kansallista käyttöönottoa. [3, s. 1–3.]

3.2 Energiamuodon kertoimet

Uusien energiamääräysten myötä tulevat käyttöön energiamuotojen kertoimet. Kertoimilla ohjataan kohti energiatehokasta rakentamista ja kestävää luonnonvarojen käyttöä. Energiakertoimen suuruus kuvastaa kuinka paljon energian jalostaminen rakennusta hyödyttäväksi energiaksi kuluttaa luonnonvaroja. Mitä suurempi kerroin on, sitä enemmän jalostaminen kuluttaa luonnonvaroja. [37, s. 3–4.] Koska rakennukset ovat pitkäikäisiä, on tärkeää kiinnittää erityistä huomiota rakennuksen lämmitysmuotoon ja kohdistamaan valinnat vähiten päästöjä aiheuttaviin energiamuotoihin. Nyt tehtävät valinnat vaikuttavat merkittävästi rakennuskantaamme vielä vuonna 2050. [4, s. 8–9.]

Energiamuotojen kertoimet voidaan määritellä joko primäärienergiakertoimina (kokonais- tai uusiutumaton primäärienergia) tai ominaispäästökertoimina. Molemmilla on yhteys energiantuotannon hiilidioksidipäästöihin. Sähköenergian kertoimien määrittelyssä voidaan käyttää vuoden keskimääräisiä arvoja tai kulutuksen muutoksen aiheuttamia päästöjä, jolloin huomioidaan hiilineutraalin tuotantokapasiteetin rajallisuus. Kulutuksen muutoksen tarkastelussa ei oteta huomioon energiajärjestelmän kehittymistä. [4, s. 8.]

Energiamuotokertoimien tausta-aineisto perustuu Tilastokeskuksen energiatilastoihin, REHVAn (Federation of European HVAC Associations) kansainväliseen selvitykseen sekä Kestävä energia KesEn tutkimukseen. [4, s. 8.]

3.2.1 Energiakertoimien määräytyminen

Suomessa energiamuotokertoimet pohjautuvat primäärienergiaan perustuviin kertoimiin. Kertoimia määritettäessä haluttiin vähentää fossiilisten energialähteiden käyttöä ja puolestaan lisätä uusiutuvien energialähteiden osuutta. Tämän seurauksena kaukolämmön kerroin pienennettiin arvoon 0,7 ja fossiilisten polttoaineiden kerroin säilyi arvossa 1,0. Lisäksi sähkön kerroin pienennettiin arvoon 1,7 poiketen alkuperäisestä ehdotuksesta 2,0. Käytännössä alkuperäinen esitys sähkön energiakertoimesta olisi tehnyt suoralla sähkölämmityksellä varustetun rakennuksen rakentamisesta niin kalliin, että se olisi hylätty rakentajien toimesta. Tämä on seurausta suoran sähkölämmityksen suurehköstä energiakertoimesta, jolloin sallittuun energiatehokkuuslukuun päästäkseen jouduttaisiin rakennuksessa käyttämään arvokkaampia rakennusosia ja laitteita. Kaukolämmön ja sähkön kertoimien välinen suhde pidettiin vakiona, jotta niiden välinen kilpailuasetelma ei muutu. Kaukolämmön kerroin 0,7 vastaa sähkön ja lämmön yhteistuotannon uusiutumaton primäärienergiakerrointa (75 % kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa). Uusiutuvien polttoaineiden käyttöä halutaan edistää pienellä kertoimella 0,5, joka edistää puulämmityksen käyttöä uudisrakentamisessa. [27, s. 6–7.]

Taulukko 1 havainnollistaa energiamuotokertoimien heijastavan primäärienergian kuluusta.

Taulukko 1. Energiamuotojen kertoimet [35, s. 2.]

	Suomi primäärienergia	Energiamuodon kerroin asetuksessa	Eurooppa primäärienergia
Fossiiliset	1	1	1
Sähkö	2,2	1,7	2,5
Kaukolämpö	0,9	0,7	-
Kaukojäähdytys	0,4	0,4	-
Uusiutuvat	1	0,5	0,2-1,1

Primäärienergiakerroin ohjaa rakennusten energiatehokkuutta ja kuvaa luonnonvarojen kulumista paremmin kuin ominaispäästökerroin. Suomessa on määritetty 2000-luvun energiantuotannon perusteella kokonaisprimäärienergiakerroin (uusiutuva ja uusiutumaton) niin kutsutulla hyödynjakomenetelmällä, johon taulukon 1 esitetyt energiamuotokertoimien suhteet perustuvat. [37, s. 4.]

3.2.2 Energiakertoimien käyttö

Lämpö- ja sähköenergiat yhdistetään energiamuotokertoimilla yhdeksi kokonaisenergiavaatimukseksi. Valittujen energiamuotojen kertoimilla varmistetaan, että alkuinvestoinniltaan halvempien lämmitysmuotojen kustannuksia ei voida siirtää kuluttajalle maksettavaksi jälkikäteen suurehkona sähkölaskuna. Esimerkkinä voidaan pitää suoran sähkölämmityksen edullista käyttöönottoa, mutta arvokasta lämmitystä. Vastaavasti tulisijan investointikustannus on sähkölämmitystä arvokkaampi, mutta käytöltään edullisempi. Kertoimilla mahdollistetaan tulevaisuudessa lämmitystapojen helppo vaihtaminen uusien energiantuottojärjestelmien tai energian hinnanmuutosten yhteydessä. [4, s. 3.]

Uusien energiamääräysten mukaisesti energiamuotokertoimella kerrotaan eri energiamuotojen kulutus. Taulukossa 2 on esitetty kokonaisenergiankulutus energiamuotokertoimilla painotettuna, kun lämmitysenergian- ja sähköenergian tarpeiden arvot ovat 20 000 kWh lämpöenergiaa ja 5 000 kWh sähköenergiaa.

Taulukon 2 energiamuotokertoimet ovat rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaiset.

Taulukko 2. Kokonaisenergiankulutuksen laskenta

Energiantuottotapa	Lämmitys- / sähköenergiankulutus kWh/a	Energian- muotokerroin	Energiankulutus kWh/a
Suora sähkölämmitys	20 000	1,7	34000
	5 000	1,7	8500
		$\Sigma=$	42500
Kaukolämpö	20 000	0,7	14000
	5 000	1,7	8500
		$\Sigma=$	22500
Fossiilinen polttoaine	20 000	1	20000
	5 000	1,7	8500
		$\Sigma=$	28500
Uusiutuva polttoaine	20 000	0,5	10000
	5 000	1,7	8500
		$\Sigma=$	18500

3.2.3 Energiakertoimet Euroopan Unionissa

Energiakertoimet vaihtelevat merkittävästi eri EU-maissa riippuen energiantuotantomuodoista. Yleisimmät primäärienergiakertoimet EU-maissa ovat polttoaineille 1 ja sähkölle 2,3 (myös Ranskassa, jossa ydinsähkön osuus on 80 %). Uusiutuviissa energianlähteissä on suurta vaihtelua maakohtaisesti, 0,2 – 1,1. Suomessa sähkönkerroin on huomattavasti pienempi verrattuna kansainväliseen tasoon. [16, s. 7.]

Energiamuodon vaikutus rakennusmääräyksissä on otettu huomioon kaikissa Pohjoismaissa ja sähkön käyttöä on tehostettu rakennusten lämmityksessä. Sähkön energiamuodon kerroin Tanskassa on 2,5 ja muiden energiamuotojen 1,0. Ruotsissa sähkölämmityksen energiankulutusvaatimukset ovat huomattavasti muita Pohjoismaita tiukemmat. Ruotsissa sähkön kerroin on 1,5, toisaalta sähkölämmitteisen rakennuksen U-arvovaatimukset ovat huomattavasti tiukemmat (passiivitalossa) kuin normirakennuksen. Norjassa alle 500 m²:n rakennusten osalta 40 prosenttia lämpöenergian tarpeesta tulee tuottaa muulla energiamuodolla kuin suoralla sähköllä tai fossiililla polttoaineilla ja yli 500 m²:n rakennuksilla vastaava osuus on 60 prosenttia.. REHVA:n selvityksen mukaan sähkön primäärienergiakerroin vaihteluväli on yleisesti 2,5–3,0. [37, s. 3–6.]

Euroopassa käytettävien primäärienergiakertoimien osalta ei ole tarkkaan tiedossa missä määrin ne pohjautuvat uusiutumattomaan energiaan, kokonaisprimäärienergiaan tai päästöihin. Voidaan kuitenkin olettaa, että kertoimien valinnassa on otettu huomioon monissa maissa ilmenevät sähköntuotannon ongelmat sekä arvioitu tarkkaan niiden ohjausvaikutukset rakennuksen lämmitysmuodon valinnassa. [3, s. 68–69.]. Taulukko 3 esittää tiettyjen Euroopan maiden primäärienergiakertoimia.

Taulukko 3. Euroopan maiden primäärienergiakertoimet [4, s. 10.]

Energiälähteet		Länsi- ja Keski-Eurooppa					Etelä-Eurooppa		Kaakkois-Eurooppa			Skandina- via	
		BE	FR	DE	GB	PL	ES	IT	RO	HU	SI	SE	DK
Polttoaineet	Polttoöljy	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,081	1,1	1	1,0	1,1	1,2	1,0
	Maakaasu	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,011	1,1	1	1,0	1,1	-	1,0
	Nestekaasu	1,0	-	1,1	1,1	1,1	1,081	1,1	-	-	-	-	1,0
	Antrasiitti- hiili	1,0	-	1,1	1,0- 7	1,1	1	1,2	1	0,95	-	-	1,0
	Ruskohiili	1,0	-	1,2	1,0- 7	1,1	2	1,3	1	0,95	1,1	-	1,0
	Puu, pelletit	1,0	0,6- 1,0	1,2	1,1	0,2	2	1,1	-	0,6	-	1,2	1,0
Sähkö	Sekal. Sähkö	2,5	2,58	3,0	2,5	3,0	2,603 (3,347) **	2,8	3	2,5	2,5	1,5	2,5
Biomassa	Biomassa	1,0	1,0	1,2	1,1	0,2	1	1,05	1,1-1,05***	0,6	1,1	1,2	1,0
Aurinko	Aurinkosäh- kö	1,0	2,58*	1,0	-	0,7	-	-	-	0	-	0,05	2,5

BE = Belgia, DE = Saksa, DK = Tanska, ES = Espanja, FR = Ranska, GB = Iso-Britannia, HU = Unkari, IT = Italia, PL = Puola, RO = Romania, SE = Ruotsi, SI = Slovenia

* Energiatehokkuusvaatimusten laskentamenetelmissä sovittu luku, jotta rakennuskulut olisivat suoraan vähennettävissä sähkönkulutuksesta

** Kerroin erillisalueille (Kanariansaaret, Baleaarit, Ceuta, Melilla)

*** Jätelämpölähde

Taulukossa olevat primäärienergiakertoimet voidaan käsittää yleisnimityksenä rakentamisen ohjauksessa käytetyille energiamuotojen kertoimille ilman tarkkaa faktoihin perustuvaa fysikaalista sisältöä.

3.3 Energiatehokkuusluku

Uusissa energiamääräyksissä esitetään vaatimus energiatehokkuudelle rakennustyyppi-kohtaisena laskennallisena energialukuna, jonka raja-arvoja ei saa ylittää. Laskennallisella energialuvulla tarkoitetaan energiamuotokertoimella painotettua ostoenergian laskennallista ominaiskulutusta rakennustyyppin standardikäytöllä, jotka on esitelty luvussa 3.6. Ominaiskulutuksella tarkoitetaan vuotuista kulutusta lämmitettyä nettoalaneliötä kohti. Lukuun siis vaikuttavat rakennuksen energiankulutus ja energiamuoto. Energiatehokkuusluvun ylärajoja uudisrakennus ei saa ylittää. Nämä ylärajat ovat kuitenkin vain minimivaatimuksia eivätkä estä rakentamasta energiatehokkaammin.

Taulukossa 4 on esitetty energialuvun ylärajat rakennustyypeittäin ja käyttötarkoitusluokittain (1-9). Asetetut ylärajat perustuvat voimassa olevien määräysten mukaisiin rakennusten laskelmiin, joista on tehty 20 prosentin parannus nykyrakentamisen RakMk 2010 mukaisiin säädöksiin.

Taulukko 4. Energialuvun ylärajat [21, s. 9.]

	Lämmitetty nettoala A_{netto}	kWh/m ² vuodessa
1. Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
	$120 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} < 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 * A_{\text{netto}}$
	$150 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} < 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 * A_{\text{netto}}$
	$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
1. Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
	$120 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} < 150 \text{ m}^2$	$392 - 1,4 * A_{\text{netto}}$
	$120 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} < 150 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 * A_{\text{netto}}$
	$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
1. Rivi- ja ketjutalo		150
2. Asuinkerrostalot		130
3. Toimistorakennukset		170
4. Liikerakennukset		240
5. Majoitusliikerakennukset		240
6. Opetusrakennukset ja päiväkotit		170
7. Liikuntahalli pl. uima- ja jäähalli		170
8. Sairaalat		450
9. Muut rakennukset		E-luku on laskettava

Käyttötarkoituluokka 9:n rakennuksille ei ole tarkoituksenmukaista asettaa kokonaisenergiavaatimusta, koska vaihteluväli energiankulutukselle on suuri. Näitä rakennuksia ovat esimerkiksi varistorakennukset, uimahallit, jäähallit, liikenteen rakennukset ja rakennuksiin liittyvät sekä erilliset moottoriajoneuvosuojat. Jos rakennuksessa on useita eri käyttötarkoituluokkia, jaetaan rakennus luokittelun mukaisiin osiin. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen pinta-ala voidaan liittää kuuluvaksi muihin rakennuksen osiin ilman erillistä tarkastelua, mikäli sen koko on alle 10 % lämmitetystä nettoalasta. Näitä rakennuksia ovat esimerkiksi asuinkerrostalossa sijaitsevat liikehuoneistot. Yhdistämisestä johtuen ei tehdä merkittävää virhettä ja erillistarkastelu on aina mahdollinen toteuttaa määräyksen mukaisesti. [27, s. 10; 21, s. 9.]

Loma-asunnot, joiden pinta-ala on alle 100 m², rakennuksen vaipan lämpöhäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Rakennuksen vaipan lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin kohdan puolilämpimän tilan mukaisilla vertailuarvoilla rakennuksen vaipalle määritetty vertailulämpöhäviö. [21, s. 9.]

3.4 Energiatodistus

Energiatehokkuuden perusteella rakennukselle määritetään energiatehokkuusluokka A-G rakennustyypeittäin. Energiatehokkuusluokat käsitellään yksityiskohtaisemmin luvussa 3.4.5. Todistus on apuna kuluttajille vertailtaessa rakennusten energiatehokkuutta. Rakennuksia rakennettaessa, myytäessä tai vuokrattaessa energiatehokkuutta koskeva todistus asetetaan omistajan saataville tai omistajan toimesta mahdollisen ostajan tai vuokralaisen saataville. Todistus voi olla voimassa enintään kymmenen vuotta. [10, s. 2–4.]

Energiatodistuksessa esitetään rakennuksen tarvitsema lämmitysenergia, laite- tai kiinteistösähkö, jäähdytysenergia sekä niiden pohjalta laskettu, bruttoalaan suhteutettu energiatehokkuusluku (kWh/brm²/vuosi). Energiatodistus tullaan uusimaan parin vuoden sisään, mutta sitä ei saatu käyttöönotettua yhdessä uusien energiamääräysten kanssa 1.7.2012 mennessä. Tästä huolimatta se on tärkeä rakennuksen energiatehokkuutta määrittäessä. Ympäristöministeriön yli-insinöörin Maarit Haakanan mukaan uudistuneessa energiatodistuksessa olennainen asia ovat säästösuositukset, jotka parantavat rakennusten energiatehokkuutta. Tämän lisäksi iso muutos lähitulevaisuudessa tulee olemaan energiatodistusten vaatiminen kerros- ja rivitalojen ohella myös vanhoilta omakotitaloilta myynnin ja vuokrauksen yhteydessä. Energiatodistuksen laatijaltakin tullaan vaatimaan aiempaa enemmän ammattitaitoa, jolloin käytännössä todistuksien laadinta siirtyy entistä enemmän energia-asioihin perehtyneiden rakennusalan konsulttien käsiin. [12.]

Todistus on pakollinen rakennuksille, joille haetaan rakennuslupaa 1.1.2008 jälkeen ja on tarvittu vuoden 2009 alusta lähtien myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Energiatodistus vaaditaan kaikilta uudisrakennuksilta ja on aina rakennus- tai rakennusryhmäkohmainen eikä esimerkiksi asuntokohtainen. Energiatehokkuustodistus on suositeltava – mutta vapaaehtoinen – ennen 1.1.2008 valmistuneille pientaloille ja enintään kuuden

asunnon rakennuksille tai asuinrakennusryhmille. Uusille rakennuksille todistuksen antaa pääsuunnittelija. Olemassa oleville rakennuksille energiatodistuksen voi antaa energiakatselmoija energiakatselmuksen yhteydessä, erillisen energiatodistuksen antaja eli henkilö, joka täyttää säädetyt pätevyysvaatimukset, yhtiön isännöitsijä tai hallituksen puheenjohtaja isännöitsijätodistuksen osana. [10, s. 2–4.]

Energiatodistusta ei vaadita seuraavissa tapauksissa:

- rakennukset, joiden pinta-ala on enintään 50 m²,
- asuinrakennus, jota käytetään korkeintaan neljä kuukautta vuodessa,
- määräaikaista rakennusta, jota käytetään korkeintaan kaksi vuotta,
- teollisuus- ja korjaamorakennukset, jossa energiantarve on vähäinen
- suojellut rakennukset,
- kirkkoille tai muiden uskonnollisten yhdyskuntien omistamille rakennuksille, joita käytetään vain kokoontumiseen.
- Energiatodistusta ei vaadita ennen 1.1.2008 valmistuneelta enintään kuuden asunnon asuinrakennukselta tai rakennusryhmältä. [7, s. 12–16.]

3.4.1 Energiatodistus Euroopassa

Eurooppalainen EPBD Concerted Action 2 -hanke päättyi vuoden 2010 lopussa. Suomesta mukana hankkeessa on ollut VTT, ympäristöministeriö sekä Motiva. Hankkeen tavoitteena oli tarkastella eri jäsenmaiden ratkaisumalleja rakennusten energiatehokkuusdirektiivin käyttöönotossa. Hankkeessa keskusteltiin, pitäisikö energiatodistuksen olla huoneisto vai rakennuskohtainen sekä mitattu vai laskennallinen. Tämän lisäksi sovittiin suositusten tekemisestä, todistusten sisällöstä ja asettelusta, laadunvarmistuksesta, tietokantojen ylläpidosta sekä vaatimusten noudattamisesta ja valvonnasta. [6, s. 2.]

Energiatodistus Ruotsissa, Tanskassa ja Saksassa on lähellä Suomen vastaavaa. Edistyneimmät energiatodistuskäytännöt ja järjestelmät ovat Portugalissa, Belgiassa/ Flanderissa ja Irlannissa. [6, s. 3.]

Ruotsissa energiatodistus perustuu aina mitattuun kulutukseen. Se vaaditaan kaikilta uusilta rakennuksilta (2 vuoden sisällä valmistumisesta) ja peruskorjauskohteilta. Tämän lisäksi energiatodistus vaaditaan myytäviltä ja vuokrattavilta rakennuksilta. Julkisten rakennusten osalta todistus tulee olla esillä. Lokakuun 2010 loppuun mennessä Ruotsissa oli tehty lähes 300 000 energiatodistusta. [6, s. 5–6.]

Edelläkävijänä energiatodistuksissa on ollut Tanska. Tanskalla on kokemusta todistuksen laatimisesta jo vuodesta 1987 alkaen, josta lähtien vuosittain on tehty noin 50 000 todistusta. Energiatodistus vaaditaan kaikilta uusilta ja peruskorjattavilta rakennuksilta ja lisäksi myytäviltä sekä ostettavilta rakennuksilta. Tanskassa todistukset ovat pääosin laskennallisia ja todistusluokka perustuu ostoenergiaan. [6, s. 7.]

Saksassa energiatodistus on pakollinen kaikille uusille, peruskorjattaville, myytävälle ja ostettaville rakennuksille. Todistusluokan määräytyminen perustuu primäärienergiaan. Näiden vaatimusten lisäksi muuta pakollista ei Saksan energiatodistuksiin juuri liitykään. Todistuksen antajille on annettu pätevyysvaatimukset, mutta ei sertifiointia. Todistuksia ei tarvitse tallentaa yhteiseen rekisteriin eikä laskennalla ole yhteistä ohjelmaa. Todistus voi olla joko laskennallinen tai perustua mitattuun kulutukseen. [6, s. 8–9.]

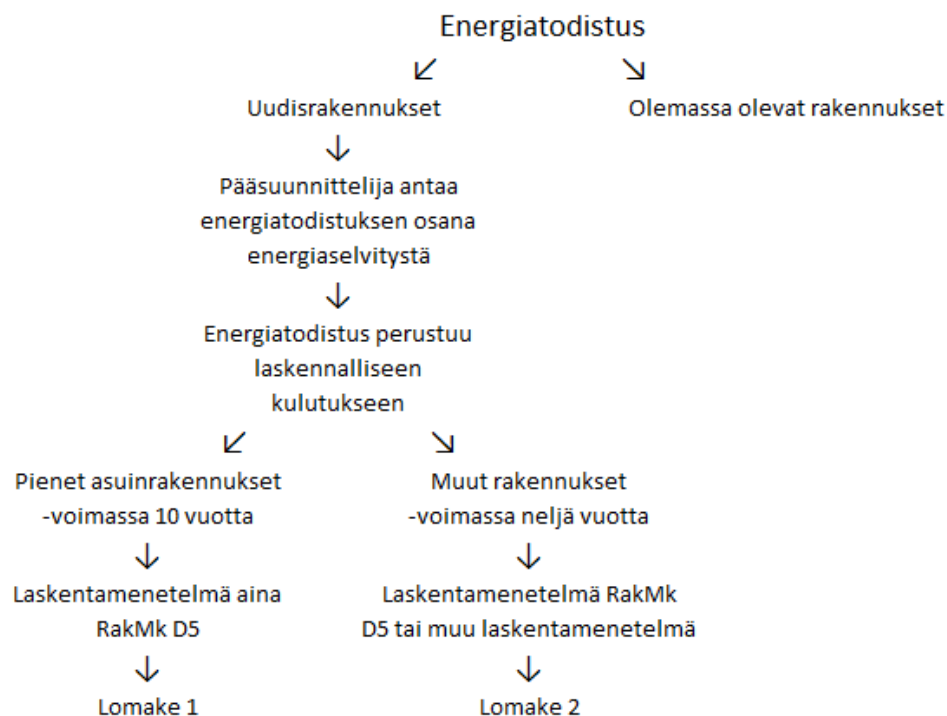
Portugalissa energiatodistus tehdään uusille ja olemassa oleville rakennuksille. Rakennuslupavaiheen todistusta tarkennetaan rakennuksen valmistuttua. Todistuksen laskentaa varten on kansallinen ohjelma. Todistusluokka Portugalissa perustuu Tanskan tavoin ostoenergiaan. Vuoden 2010 alkuun mennessä Portugalin tietokannassa oli noin 200 000 todistusta. [6, s. 10.]

Belgian Flanderin alueella uusien rakennusten energiatodistus liittyy kiinteästi rakennuslupaprosessiin. Todistus on pakollinen myynti- ja ostotilanteessa sekä julkisille rakennuksille. Asuinrakennuksia, kouluja ja toimistoja varten on CEN- kuukausilaskenta-työkalu, jonka käyttö on pakollista. Rakennuksen valmistuttua tehdään energiaselvitys ja energiatodistus syntyy automaattisesti. Tiedot todistuksesta siirtyvät sähköisesti VEA:n (Vlaams Energieagentschap) ylläpitämään järjestelmään. Flanderin alueella uusien rakennusten energiatodistuksessa on käytössä suhteellinen asteikko, jonka vertailukulutus riippuu rakennuksen pinta-alasta ja tilavuudesta, sekä ei-asuinrakennuksen osalta myös ilmanvaihdosta ja valaistuksesta. [6, s. 11–12.]

Irlannissa järjestelmää ylläpitää Sustainable Energy Ireland. Jokaiselle valtuutetulla, todistuksia antavalla henkilöllä on järjestelmässä oma profiili, jonka kautta voi tallentaa ja tulostaa todistuksia sekä hoitaa maksuja. Todistus vaaditaan kaikilta uusilta, myytäviltä, vuokrattavilta ja julkisilta rakennuksilta. Sekä uusien ja olemassa olevien asuinrakennusten todistus on laskennallinen. Asuinrakennukset lasketaan yhteisellä kuukausilaskentamenetelmällä ja muut rakennukset dynaamisella simuloinnilla tai kansallisella yksinkertaistetulla menetelmällä. [6, s. 13–14.]

3.4.2 Energiatodistuksen laadinta

Rakennuslupahakemukseen liitettävässä energiaselvityksessä on oltava pääsuunnittelijan antama energiatodistus. Ennen rakennuksen käyttöönottoa pääsuunnittelijan on varmennettava energiatodistus, joka sisältyy uudisrakennuksen energiaselvitykseen. Kuvasta 1 voidaan huomata, että uudisrakennusten energiatodistuksen tekovaiheessa pääsuunnittelijalla on merkittävä rooli. [7, s. 10.]



Kuva 1. Energiatodistuksen laadinta [7, s. 14.]

3.4.3 Energiatodistuksen laskenta

Pienten rakennusten tai rakennusryhmien energiatehokkuusluku lasketaan kaavalla 1.

$$ET = \sum [Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{kiinteistösähkö}} + Q_{\text{jäähdytys,tilat}}] / \sum A \quad (1)$$

Esimerkiksi asuinkerrostalossa, jossa bruttoala on 1 400 brm², lämmitysenergian kulutus on $Q_{\text{lämmitys}} = 185\,000$ kWh/vuosi ja kiinteistösähkön kulutus on $W_{\text{kiinteistösähkö}} = 24\,000$ kWh/vuosi. Tilojen jäähdytykseen ei käytetä energiaa, jolloin energiatehokkuusluvuksi saadaan:

$$ET = [185\,000 \text{ kWh/vuosi} + 24\,000 \text{ kWh/vuosi} + 0 \text{ kWh/vuosi}] / 1\,400 \text{ brm}^2 = 149,3 \text{ kWh/brm}^2/\text{vuosi} \quad [7, \text{ s. } 24.]$$

3.4.4 Energiatehokkuusluokat

Energiatodistuksen energiatehokkuusluokat määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisesti. Suomessa on käytössä kolme erilaista energiatodistuslomaketta. Energiatodistuslomakkeet ovat pienille asuinrakennuksille, muille kuin pienille asuinrakennuksille ja isännöitsijätodistukseen sisältyvä energiatodistus. Taulukossa 5 on esitetty energiatehokkuusluokat rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Kappaleessa 3.6 on kerrottu uusien energiamääräysten myötä tulevien uudisrakennuksien energiatehokkuusluokkien määritelmiä. [7, s. 11.]

Taulukko 5. Energiatehokkuusluokat [19, s. 49.]

Energiatehokkuusluokka kWh/brm ² a	Rakennustyyppi			
	Toimistot	Liikerakennukset	Opetusrakennus	Päiväkodit
A	-90	-140	-120	-140
B	91-110	141-180	121-150	141-180
C	111-130	181-220	151-190	181-230
D	131-170	221-280	191-230	231-300
E	171-230	281-360	231-300	301-390
F	231-320	361-440	301-400	391-500
G	321-	441-	401-	501-
	Terveydenhoitorakennukset	Kokoontumisrakennukset	Uimahallit	Muut rakennukset
A	-160	-110	-300	-110
B	161-200	111-140	301-410	111-150
C	201-260	141-180	411-530	151-200
D	261-340	181-240	531-670	201-280
E	341-450	241-330	671-860	281-420
F	451-600	331-450	861-1200	421-660
G	601-	451-	1201-	661-

3.5 Uusien energiamääräysten soveltamisala

Uudet energiamääräykset ja ohjeet koskevat uusia rakennuksia, joiden tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen tarvitaan energiaa sekä jäähdytystä sisäilmaston ylläpitämiseksi. Ne eivät koske tuotantorakennuksia, lämmitetyltä nettoalaltaan enintään 50 m²:n rakennuksia, energiankäyttöltään vähäisiä muita kuin asuinkäyttöön tarkoitettuja maatalousrakennuksia, osavuotiseen käyttöön tarkoitettuja loma-asuntoja ilman kokovuotista lämmitysjärjestelmää, määräaikaista paikallaan ja ennen määräysten voimaantulusta pystytettyjä rakennuksia sekä lämmitettyjä alle 50 m²:n loma-asuntoja. Tämän lisäksi energiamääräysten soveltamisen ulkopuolelle jäävät kasvihuoneet, väestönsuojat ja muut rakennukset, joiden tarkoituksenmukainen käyttö vaikeutuisi huomattavasti näitä määräyksiä noudattamalla. [27, s. 2–4; 34, s. 4.] Uusien energiamääräysten soveltamisala on pitkälti samansuuntainen kuin energiatodistuksella.

3.6 Rakennusten energiatehokkuuden määritelmät

Uusien energiamääräysten myötä uudisrakennukset tulevat olemaan matalaenergia-, passiivi-, nolla- ja plusenergiataloja. On perusteltua esitellä näiden talojen määritelmät.

Yleisesti käytetyn määritelmän mukaisesti matalaenergiataloksi voidaan sanoa rakennusta, jonka lämmitysenergiantarve on puolet nykyisten energiamääräysten lämmitysenergiantarpeesta. Olettamuksena nykyisten energiamääräysten mukaisesti rakennettu rakennus kuluttaa tilojen lämmitysenergiaa $120 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$, joten tarvittava lämmitysenergiamäärä matalaenergiatalolle on tällöin $60 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$. Tämä lämmitykseen tarvittava energiamäärä on mahdollista saavuttaa nykyisellä tekniikalla. Vaatimus tarvitsee riittävästi eristystä kattoon, seiniin ja ylä- sekä alapohjaan yhdistettynä ilmanvaihdon lämmöntalteenottoon [13]

Passiivitalot eivät yleisesti käytetyn määritelmän mukaan tarvitse lainkaan lämmitys- ja jäähdytysenergiaa, koska rakennus on erittäin hyvin tiivistetty ja eristetty. Pohjoismaisissa Suomen, Ruotsin ja Norjan osalta passiivitalon tilojen lämmitysenergiantarve on $20\text{--}30 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$. VTT on määritellyt Suomen tilojen lämmitysenergiantarpeen ylärajat Etelä-Suomeen noin $20 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$ ja Pohjois-Suomeen noin $30 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$. Yleisen määritelmän mukaiseen tasoon ei Suomen ilmastossa vielä päästä kustannustehokkaasti. Arvoista rakennuksen ilmanvuotoluvun (n_{50}) olisi oltava pienempi kuin 0,6 kertaa tunnissa. Vertailun vuoksi voidaan sanoa, että rakentamismääräyskokoelman D3 mukainen arvo on nykyisellään 2 kertaa tunnissa. Muista arvoista otettakoon vertailuun ovien lämmönläpäisykerroin, jonka pitäisi olla pienempi kuin $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ikkunoiden pienempi kuin $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhteen tulisi lisäksi olla korkea, noin 70 prosenttia. Nykyisten vaatimusten minimiarvo LTO:lle on 45 prosenttia. [13]

Nollaenergiatalojen VTT:n mukaisena määritelmänä voidaan pitää, että se tuottaa saman verran uusiutuvaa energiaa saman verran kuin se kuluttaa uusiutumaton energiaa. Tämä tarkoittaa käytännössä energiantarpeen minimoimista tavalla, että nettoenergian tarve on $0 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$. Tähän tavoitteeseen päästäkseen vaaditaan rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian tarpeen pienentämistä, energiatehokkuutta valaistusjärjestelmältä sekä valaistusjärjestelmän energiantarpeen puolittamista käyttämällä

hyväksi luonnonvaloa. Tämän lisäksi rakennuksen elektroniikkalaitteiden ja taloteknisten järjestelmien on myös oltava energiatehokkaita. [13]

Plusenergiatalo puolestaan tuottaa energiaa enemmän kuin se kuluttaa. Teoriassa tämä tarkoittaa sitä, että ylijäämäenergiaa jäisi myytäväksi. Tähän energiatehokkuustasoon päästäisiin lämpöhäviöiden pienentämisellä, energiantarpeen minimoinnilla, energiatehokkailla elektroniikkalaitteilla sekä rakennuksen sijoittamisella siten, että voitaisiin hyödyntää passiivista aurinkolämmitystä sisäisenä lämpökuormana mahdollisimman tehokkaasti suuntaamalla rakennuksen avoin puoli etelään ja suljettu pohjoiseen. Plusenergiatalon energiantarpeen tuottoon käytetään aurinko- ja tuulisähköä. [13]

Taulukosta 6 nähdään suunnitteluarvoja eri rakennusosille, jotka havainnollistavat vaatimukset tietyille rakennuksen energiatehokkuustasolle.

Taulukko 6. Rakennusosien suunnitteluarvoja [19, s. 35]

Tekninen tekijä	RakMK C3 - määräys	Matalaenergiarakennus	Passiivirakennus
U- arvot, W/m ² K			
Alapohja maanvastainen	0,16	0,12	0,10
Alapohja ryömintätilaan	0,17	0,10	0,10
Alapohja ulkotilaan	0,09	0,09	0,08
Ulkoseinä	0,17	0,14	0,12
Yläpohja	0,09	0,08	0,08
Ikkunat	1,0	0,9	0,8
Ovet	1,0	0,6	0,5
Vaipan ilmanvuotoluku n ₅₀ , 1/h	< 2,0	< 0,8	< 0,6
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde %	45	> 65	> 75
Ilmanvaihdon ominaissähköteho, KW/(m ³ /s)	< 2,5	< 2,0	1,5

4 Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmä

4.1 Tulisijat

Tulisija on rakennukseen kuuluva tai sen ulkopuolella oleva laite, jossa poltetaan kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia aineita ja joka on yhdistetty rakennukseen tai erilliseen savuhormiin.

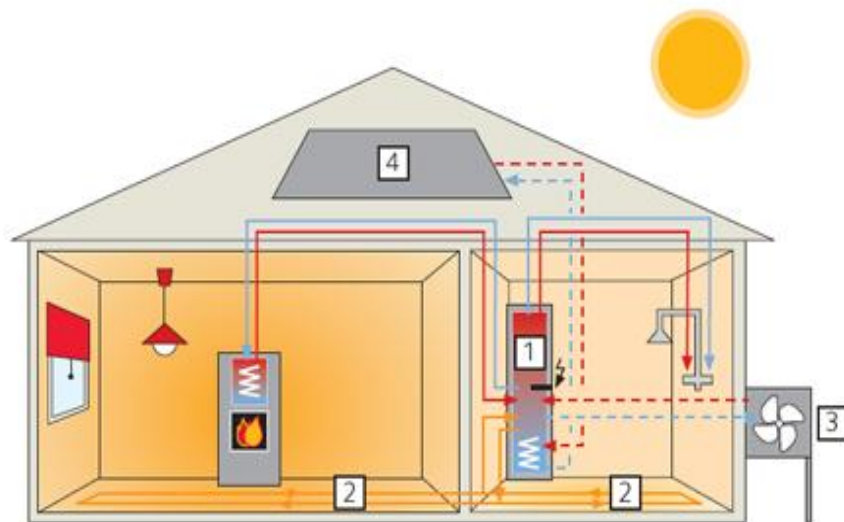
Tulisijat jaetaan niiden normaalilla lämmitystavalla saavutettavan pintalämpötilan perusteella neljään luokkaan, jotka ovat lämmin-, kuuma-, polttava- tai hehkuvapintainen. Tulisijojen eri osiin sovelletaan samaa luokitusperiaatetta. Keskimääräiset pintalämpötilat lämminpintaisilla tulisijoilla on alle 80 °C, kuumapintaisilla 80–140 °C, polttavapintaisilla 140–350 °C ja hehkuvapintaisilla 350–600 °C. [23, s. 1–4.]

Varaavan tulisijan toimintaperiaatteeseen kuuluu, että tulisijan lämmitys tehdään 2–3 tunnin aikana esimerkiksi työpäivän jälkeen illalla. Lämmityksen aikana puun poltossa vapautuva energia varataan tulisijan kivimassaan. Tyypillisesti varaavan tulisijan massa on 1000–2000 kg, jolloin siihen yhdellä polttokerralla varastoitunut energiamäärä voi olla jopa 30–70 KWh. Kiveen varastoitunut energia vapautuu vähitellen 18–36 tunnin kuluessa lämmittäen huonetilaa, jossa tulisija sijaitsee. Lämmönluovutusteho vaihteluväli on 1–3 KW tulisijan pintalämpötilan ensin kasvaessa lämmityksen aikana ja sitten laskiessa energian luovutusvaiheen aikana. Tyypillisesti varaavaa tulisijaa lämmitetään lämmityskaudella kerran vuorokaudessa, kylmimpinä päivinä mahdollisesti kaksi kertaa päivässä. [32, s. 2–3.]

4.2 Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmän esittely

Rakennuksien elektroniikka ja automaatio lisääntyvät sekä matalaenergia- ja passiivitalot yleistyvät rakennusmääräysten muuttuessa. Tulikivi on kehittänyt Tulikivi-uunien yhteensopivuutta ja monikäyttöisyyttä eri lämmitysjärjestelmien kanssa.

Rakennusten energiatehokkuuden parantuessa uusien rakennusmääräysten myötä kokonaislämmitystarve vähenee. Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmällä yhdistettynä tulisijaan voidaan siirtää lämpöenergiaa rakennuksen eri tilojen lämmitykseen tai käyttöveden tuottamiseen. W10 voidaan liittää lämmitysjärjestelmään aurinkokerääjän ja/tai vesilämpöpumpun rinnalle. Kuvassa 2 on esitetty periaatekuva vesilämmitysjärjestelmän toiminnasta. [31, s. 3–6.]



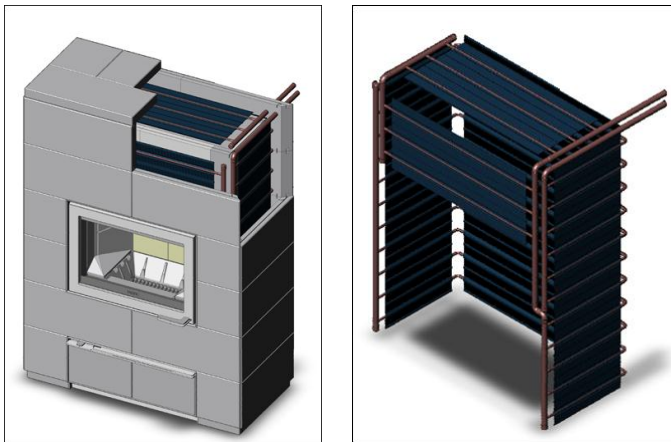
Kuva 2. W10-vesilämmitysjärjestelmä kytkettynä hybridivaraajaan [31, s. 5.]

1. Lämmin käyttövesi
2. Lattialämmitys
3. Ilmalämpöpumppu
4. Aurinkokerääjä

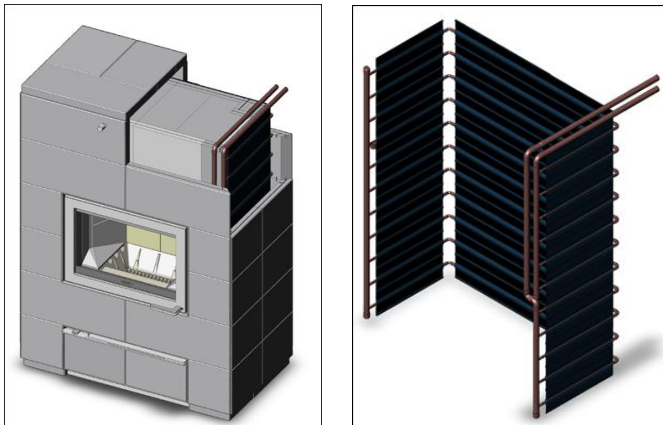
4.3 Lämmönsiirtimien toiminta ja rakenne

Vesilämmitysjärjestelmän lämmönlähteenä toimii varaava Tulikivi-tulisija varustettuna lämmönsiirripaketilla. Tulisijasta vapautuva lämpöenergia siirretään lämmönsiirtimien kautta lämminvesivaraajaan. Järjestelmä soveltuu niin uudis- kuin saneerauskohteeseen.

Lämmönsiirtimet asennetaan tulisijaan uunin molemmille sivuseinille, takaseinälle sekä tarvittaessa uunin päälle ja etuseinään luukun yläpuolelle siirrinpaketista riippuen. Lämmönsiirtimet asennetaan tulisijan sisä- ja ulkokuoren väliin, jolloin ne eivät joudu kosketuksiin savukaasujen kanssa, mikä pidentää niiden käyttöikää. Halutessaan hyödyntää mahdollisimman paljon puulämmitystä kiinteistössä, täytyy valita lämmönsiirrinpaketti 2 (kuva 3). Mikäli pääasiallinen tarkoitus on saada tulisijasta säteilylämpöä ja vain osaksi hyödyntää tulisijaa veden lämmityksessä, valitaan lämmönsiirrinpaketti 1 (kuva 4). [28, s. 2–8.]



Kuva 3. Lämmönsiirrinpaketti 2 [30, s. 7.]



Kuva 4. Lämmönsiirrinpaketti 1 [30, s. 6.]

Lämmönsiirrinpaketti 1:ssä noin 25–30 % tulisijaan varautuneesta energiasta on siirrettävissä lämmönsiirtimissä kiertävään veteen. Lämmönsiirrinpaketti 2:ssa vastaava hyötysuhde on noin 35–50 %. Kyseiset arvot on saatu Tulikiven virallisista mittaustuloksista.

4.4 Suorituskyky

Seuraavassa esimerkissä havainnollistetaan W10-vesilämmitysjärjestelmästä saatava lämpöenergiämäärä Tulikiven Valkia-takkauunilla. Kyseiset arvot on saatu Tulikiven virallisista mittaustuloksista.

Valkia-takkauunin hyötysuhde on noin 84 %. 15 kg:n kertapoltolla puuta energiaa sitoutuu uuniin 52,3 kWh. Siirrinpaketti 1:llä lämpöenergiaa saadaan siirrettyä veteen noin 15–20 kWh ja siirrinpaketti 2:lla noin 20–25 kWh keskimäärin noin 1 kW:n teholla 24 tunnin ajan. Suhde uuniin varastoituneen ja varaajalle siirretyn energian välillä on noin 70/30 % (lämmönsiirrinpaketti 1) ja 60/40 % (lämmönsiirrinpaketti 2).

[29, s. 5.]

Lämmönsiirrinpaketti 1:n ominaisarvoja (30 % uuniin sitoutuneesta energiasta veteen):

[29, s. 5.]

- Uunin kokonaisnimellisteho ja hyötysuhde	2,3 kW ja 0,84
- Poltettu puumäärä (24 h)	15 kg
- Kokonaisenergia sitoutunut tulisijaan	
15 kg * 4,15 kWh/kg * 0,84	52,3 kWh
- Lämmönsiirtimen pinta-ala	1,6 m ²
- Maksimiteho	2 – 3 kW
- Keskimääräinen teho lämmönsiirrinpinta-alaa kohti	0,82 kW/m ²
- Saatava energiamäärä (24 h)	15,7 kWh

Lämmönsiirrinpaketti 2:n ominaisarvoja (40 % uuniin sitoutuneesta energiasta veteen):

[29, s. 5.]

- Uunin kokonaisnimellisteho ja hyötysuhde	2,3 kW ja 0,84
- Poltettu puumäärä (24 h)	15 kg
- Kokonaisenergia sitoutunut tulisijaan	
15 kg * 4,15 kWh/kg * 0,84	52,3 kWh
- Lämmönsiirtimen pinta-ala	2,18 m ²
- Keskimääräinen teho lämmönsiirrinpinta-alaa kohti	0,799 kW/m ²
- Saatava energiamäärä (24 h)	21 kWh

5 Esimerkkirakennuksen energiatehokkuusluvun laskenta

Rakennuksen energiantarve koostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeesta, käyttöveden lämmityksestä, tilojen ja ilmanvaihdon jäädytyksestä sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiasta. Lämmitysenergian nettotarvetta laskettaessa otetaan huomioon rakennukseen tulevat sisäiset kuormat. Näitä sisäisiä lämpökuormia ovat auringosta, henkilöistä, valaistuksesta, sähkölaitteista ja lämpimän käyttöveden kierrosta sekä varastoinnista saatavat lämpökuormat.

Seuraavassa osiossa olen laskenut energiatehokkuusluvun maanvastaisella alapohjalla olevalle puurakenteiselle pientalolle. Kyseinen rakennusmuoto on ollut suosituin W10-vesilämmitysjärjestelmän rakennuksensa lämmitysjärjestelmäksi valinneiden kesken ja siksi valittu opinnäytetyön laskentaan. Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on Valkiatakkauuni ja siihen liitetty W10-vesilämmitysjärjestelmä lämmönsiirripaketti 2:lla varustettuna. Lämmitykseen ei käytetä muuta lämmitysmuotoa. Laskelmat on tehty rakentamismääräyskokoelman osioiden D3 (2012) ja D5 (luonnos 27.10.2011) mukaisesti. Diagrammeja olen käyttänyt havainnollistamisen vuoksi energiatehokkuusluvun laskentaan liittyviin tuloksiin. Laskentakaavoissa olevat merkinnät on saatu rakentamismääräyskokoelman D5:stä (luonnos 27.10.2011).

5.1 Energiatehokkuuslaskennassa tarvittavat lähtötiedot

Tarvittavat lähtötiedot energiatehokkuuslaskelmalle ovat rakentamismääräyskokoelman osan D3 määrittämät ulkoilman säätiedot, sisäilmasto-olosuhteet, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikojen sekä sisäisten lämpökuormien käyttöarvot. Tämän lisäksi tarvitaan rakenteiden pinta-alat ja lämmönjohtavuudet.

5.2 Säätiiedot

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti vaatimuksen mukaisuuden osoittamisessa käytetään säävyöhykkeen 1, Helsinki-Vantaa kuukausittaisia ulkoilman lämpötiloja ja auringon kokonaissäteilyenergian arvoja pystypinnoille.

5.3 Rakennuksen tiedot

Rakennuksen nettopinta-ala on 120 m^2 ja tilavuus 300 m^3 . Huonekorkeus on 2,5 m. Rakennus on yksikerroksinen, puurakenteinen ja sen maanvastainen alapohja on valettu betonista. Rakennuksen pohjageometria on nelikulmion muotoinen. Ilmanvaihtojärjestelmässä käytetään vakioilmamäärää ja ilmapuhallusprosessi koostuu vain ilman lämmityksestä. Lämmöntalteenotto on varustettu nestekiertoisella lämmönsiirtimellä. Rakennuksessa asuu neljä henkilöä.

Taulukossa 7 on esitetty rakennuksen pinta-alat ja lämmönjohtavuudet. U- arvot on saatu rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti rakennusosakohtaisten lämmönläpäisykertoimien ja ikkunapinta-alojen vertailuarvoista. Ikkunapinta-ala on 15 % rakennuksen kerrostasosalasta ja niissä on käytetty valkoisia sälekaihtimia lasien välissä. Ulkoseinärakenteena on käytetty ISOVER US1001:tä. Rakennuksessa on huoneistokohdainen lämpimän käyttöveden mittaus ja laskutus.

Taulukko 7. Rakenteiden pinta-alat ja lämmönjohtavuudet

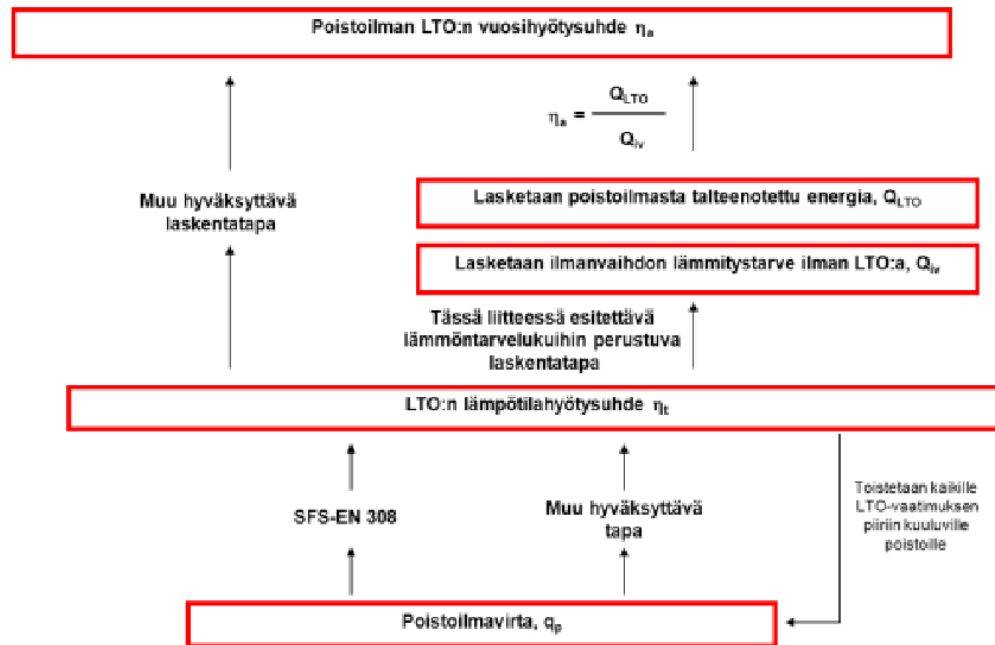
Rakenne	A (m ²)	U (W/m ² K)
Seinät	85	0,17
Yläpohja	120	0,09
Alapohja	120	0,16
Ovet	6,5	1
Ikkunat koillinen	9,5	1
Ikkunat kaakko	2,6	1
Ikkunat lounas	6,2	1
Ikkunat luode	0,5	1

5.4 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Rakennuksen lämmitysmuotona käytetään Tulikiven Valkia-takkauunia, W10-vesilämmitysjärjestelmää siirrinpaketti 2:lla varustettuna ja yhdistettynä vesikiertoiseen lattialämmitykseen. Lattialämmitys kattaa koko rakennuksen nettopinta-alan. Rakennuksessa käytettävän lämminvesivaraajan tilavuus on 300 litraa ja se on jaettu lämpimälle käyttövedelle 150 litraa ja lattialämmitykselle 150 litraa. Varaajan suhteellisen pienen tilavuuden mahdollistaa pitkäaikainen ja matala lämmitysteho. Tulisijasta siirretään hitaasti lämpöä vesivaraajaan, jossa lämpö otetaan heti käyttöön. Tällöin varaaja ei yllilämpene ja säiliön lämpötila pysyy stabiilina. Mikäli järjestelmää käytettäisiin esimerkiksi korkeatehoisella takkasydämellä, pieni varaaja ylikuumentaisi äkkiä. Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti tyyppin 1 taloissa ei tarvitse määrittää kesäajan huonelämpötilan jäähdytyksen tarvetta, joten sitä ei ole otettu huomioon laskentamallissa. Rakennuksen sisälämpötilana käytettiin + 21 C°

5.5 Ilman- ja vuotoilmanvaihto

Rakennuksessa käytettiin koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtokonetta lämmöntalteenotolla varustettuna. LTO:n vuosihyötysuhteena käytetään 45 %. Hyötysuhde on rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta talteenotettava lämpö, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Kuvassa 5 on esitetty lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen.



Kuva 5. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen [15, s. 1.]

Rakenteiden ilmanvuototyyppiä valittiin hyvä ilmanpitävyys. Rakennuksen tulo- ja poistoilmavirrat on asetettu yhtä suuriksi laskentamenetelmän määräysten mukaiseksi. Suurempi ilmavirta valitaan vallitsevaksi ilmavirraksi. Ilmanvaihtokoneen sisäänpuhalluslämpötilana käytettiin rakentamismääräyskokoelman esittämää lämpötilaa. Rakennuksen ilmanvuotoluku on saatu rakentamismääräyskokoelman osasta D3.

Taulukossa 8 on esitetty rakennuksen ilmanvaihdon tiedot.

Taulukko 8. Rakennuksen ilmanvaihdon tiedot

Tuloilmavirta	42	dm ³ /s
Poistoilmavirta	42	dm ³ /s
Korvausilmavirta	0	dm ³ /s
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku	2	m ³ /hm ²
Sisään puhalluslämpötila	18	°C

5.6 Käyttö- ja käyntiajat

Rakennuksen ilmanvaihdon käyntiajaksi asetettiin 24 tuntia seitsemänä päivänä viikossa. Laitteiden, valaistuksen ja henkilöiden käyttö- ja oleskeluajat määräytyvät rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti.

5.7 Laskentamenetelmä

Seuraavissa luvuissa on esitetty esimerkkirakennuksen ohjeet energiantarpeen ja energiatehokkuusluvun laskennalle. Laskelmissa käytin toimeksiantajan Tulikiven mittaus-tuloksista saatuja Valkia-takkauunin ja W10-vesilämmitysjärjestelmän arvoja sekä otin huomioon rakennuksen kylmäsiilat.

Laskennassa käytetyt laskentamenetelmät on tehty rakentamismääräyskokoelman D3 (2012), D5 (luonnos 27.10.2011) ja Suomen LVI -liiton (SuLVI ry) materiaalia hyödyntäen.

6 Rakennuksen lämmitysenergian tarve

6.1 Rakennusosien johtumislämpöhäviöt

Rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeen laskenta aloitetaan määrittämällä eri rakennusosien lämmönläpäisykerroimet rakentamismääräyskokoelman osan D4 mukaisesti tai vastaavien SFS-EN-standardien mukaisesti. Esimerkkilaskelmassa on käytetty liitteen 1 taulukossa 1 esitettyjä rakentamismääräyskokoelman osan D3 vertailuarvoja.

Kaavassa 2 on esitetty laskenta rakennusosittain lämpöhäviölle ulkoilmaan rajoittuvalle ulkoseinälle, yläpohjalle, alapohjalle, ikkunoille ja oville. Maanvastainen lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin lasketaan yksinkertaistetusti kertomalla lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Kyseinen kerroin ottaa huomioon maan lämmönvastuksen, mutta ei huomioi rakennuksen geometrian vaikutusta. Tällöin alapohjan lämmönläpäisykerroin on $0,16 \text{ W(m}^2\text{K)} * 0,9 = 0,144 \text{ W(m}^2\text{K)}$.

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (2)$$

Liitteen 1 taulukossa 1 on esitetty esimerkkirakennuksen johtumislämpöhäviöt pinta-aloille ja taulukossa 2 on johtumislämpöhäviöt rakennusosakohtaisesti. Johtumislämpöhäviöiden arvoksi saatiin pinta-aloille 65,3 W/K ja rakennusosille 8 795,3 kWh/a.

6.2 Kylmäsiltojen laskentamenetelmä

Vuoden 2012 määräysvalmistelussa on käynnistetty kehityshanke ympäristöministeriön ja Sitran Energiaohjelman rahoittamana kylmäsiltojen huomioon ottamisesta määräyksissä taulukkoarvoilla ja yksityiskohtaisemman laskentaoppaan tekemisestä. Opinnäytetyön kylmäsiltojen on laskettu rakentamismääräyskoelman D5 (luonnos 27.10.2011) arvoilla ja kaavoilla.

Kaavassa 3 on esitetty laskenta rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöille.

$$Q_{\text{kylmäsilto}} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

Taulukossa 9 on ohjearvoja viivamaisen kylmäsiltojen aiheuttamalle lisäkonduktanssille (Ψ_k) ulkoseinän ja yläpohjan, ulkoseinän ja välipohjan sekä ulkoseinän ja alapohjan välisissä liitoksissa eri runkomateriaaleilla, W/(mK).

Taulukko 9. Lisäkonduktanssi Ψ_k , W/(mK) [20, s. 2.]

	Yläpohjan runkomateriaali			Välipohjan runkomateriaali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni, maanvas- tainen	betoni, ryöm. tila	kevyt- betoni, ryöm. tila	puu, ryöm. tila
betoni	0,08		0,04	0			0,24	0,28		
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,1	0		0,09	0,08	0,03	
kevytsora- betoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
tiili			0,04	0			0,17	0,06		
puu			0,05			0,05	0,08			0,06
hirsi			0,04			0	0,11			0,09

Lähtötietojen mukaisesti esimerkkirakennuksessa on puurakenteinen runko ja betonista valettu maanvastainen alapohja. Näin ollen ulkoseinän ja yläpohjan välinen lisäkonduktanssi on 0,05, ulkoseinän ja välipohjan 0,05 sekä ulkoseinän ja alapohjan 0,08.

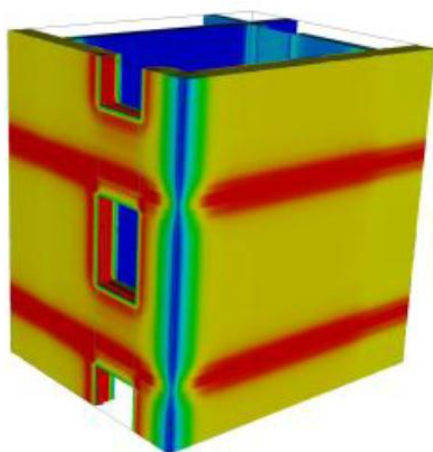
Taulukossa 10 on ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille (Ψ_k) ulkoseinien välisissä nurkkaliitoksissa sekä ikkuna- ja oviliitoksissa eri runkomateriaaleilla, W/(mK).

Taulukko 10. Lisäkonduktanssi Ψ_k , W/(mK) [20, s. 2.]

Liitos	Ulkoseinän runkomateriaali					
	betoni	kevyt- betoni	kevyt- sora- betoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen kohdalla ^{*)}	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,1	0,1	0,07	0,07

Lähtötietojen mukaisesti esimerkkirakennuksen geometria on määritetty nelikulmion muotoiseksi, jolloin ulkoseinien väliset liitokset ovat ulkonurkissa. Tällöin ulkoseinien välisen liitoksen lisäkonduktanssin arvo on 0,04. Oletuksena ikkunat ja karmit peittävät vähintään 40 % lämmöneristeen kokonaispaksuudesta, jolloin lisäkonduktanssin arvo ikkuna- ja oviliitoksille on 0,04.

Kuvassa 6 havainnollistetaan rakennusosien liitokset rakennuksen geometriassa.



Kuva 6. Rakennusosien liitokset [20, s. 2.]

Huonetilan l_k - arvo saadaan laskemalla pinta-alan neliöjuuri $\sqrt{120 \text{ m}^2} = 10,95 \text{ m}$. Näin ollen ulkoseinien ja ylä- sekä alapohjan viivamaisen kylmäsilan kokonaispituus on $4 * 10,95 \text{ m} = 43,8 \text{ m}$. Kylmäsiltojen laskennat on suoritettu tällä pituudella.

Ikkunoiden l_k - arvo saadaan laskemalla ikkunoiden pinta-alan neliöjuuri $\sqrt{18,8 \text{ m}^2} = 4,34 \text{ m}$. Näin ollen ikkunoiden viivamaisen kylmäsilan kokonaispituus on $4 * 4,34 \text{ m} = 17,36 \text{ m}$. Ikkunoiden kylmäsiltojen laskenta on suoritettu tällä pituudella.

Ovien l_k - arvo saadaan laskemalla ovien pinta-alan neliöjuuri $\sqrt{4 \text{ m}^2} = 2,0 \text{ m}$. Näin ollen ovien viivamaisen kylmäsilan kokonaispituus on $4 * 2,0 \text{ m} = 8,0 \text{ m}$. Ovien kylmäsiltojen laskenta on suoritettu tällä pituudella.

Ulkoseinien välisten liitosten l_k -arvo saadaan kertomalla huonekorkeus neljällä nurkkinen välisellä liitoksella. Lähtötietojen mukaisesti huonekorkeus on $2,5 \text{ m}$, jolloin viivamaisen kylmäsilan kokonaispituus on $4 * 2,5 \text{ m} = 10,0 \text{ m}$.

l_k - arvon määrittäminen on tehty yksinkertaistetusti määrittämällä ikkunat ja ovet kokonaispinta-alaksi rakennusosakohtaisesti.

Liitteen 1 taulukossa 3 on esitetty rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen johtumislämpöhäviöt, joiden arvoksi saatiin $957,0 \text{ kWh/a}$.

6.3 Rakennuksen johtumislämpöhäviö

Rakennuksen johtumislämpöhäviö saadaan rakennusosien ja kylmäsiltojen yhteenlaskusta johtumislämpöhäviöstä. Kaavassa 4 on esitetty laskenta rakennuksen johtumislämpöhäviölle.

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsilat}} \quad (4)$$

Liitteen 1 taulukossa 4 on esitetty esimerkkirakennuksen johtumislämpöhäviö, jonka arvoksi saatiin $9\,752,3 \text{ kWh/a}$.

6.4 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergiantarve

Kaavalla 5 lasketaan tuulen sekä lämpötilaerojen synnyttämien paine-erojen seurauksena tapahtuva vuotoilmavirta.

$$q_{v,vuotoilma} = (q_{50}/3600 * x) * A_{vaippa} \quad (5)$$

Kaavalla 6 lasketaan rakenteiden epätiivetyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energiamäärä.

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (6)$$

Vuotoilmavirran kaavassa kerroin x on yksikerroksiselle rakennukselle 35. Rakennuksessa on hyvä ilmanpitävyys, jolloin ilmanvuotolukuna q_{50} voidaan pitää $2,0 \text{ m}^3/(\text{h} * \text{m}^2)$.

Kuvassa 7 on tyypillisiä n_{50} - ja q_{50} -arvoja.

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h	Tyypilliset q_{50} -luvut, $\text{m}^3/(\text{h} * \text{m}^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 - 1,5	Pientalot 1,0 ... 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 ... 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 ... 3,0	Pientalot 3,0 ... 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 ... 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 ... 10,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 ... 7,0	Pientalot 5,0 ... 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 ... 20,0

Kuva 7. n_{50} - ja q_{50} -arvot [20, s. 3.]

Liitteen 1 taulukossa 5 on esitetty vuotoilman lämpenemiseen tarvittava energiamäärä, jonka arvoksi saatiin 891,9 kWh/a.

6.5 Tulo- ja korvausilman lämmitysenergian tarve

Kaavalla 7 lasketaan korvausilmavirta.

$$q_{v,\text{korvausilma}} = \sum t_d t_v q_{v,\text{poisto}} - \sum t_d t_v q_{v,\text{tulo}} \quad (7)$$

Kaavalla 8 lasketaan tuloilman lämpenemiseen tarvittava energia jokaiselle ilmanvaihtokoneelle.

$$Q_{iv,\text{tuloilma}} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,\text{tulo}} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad (8)$$

Kaavalla 9 lasketaan korvausilman lämpenemiseen tarvittava lämpöenergian tarve

$$Q_{iv,\text{korvausilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{korvausilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (9)$$

Esimerkkirakennuksen tulo- ja poistoilmavirrat asetettiin samansuuruisiksi rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti, joten korvausilmavirtaa ei pääse syntymään. Rakennuksen sisään puhallettavan tuloilman lämpötilana käytettiin 18 °C ja sisälämpötilana 21 °C.

Liitteen 1 taulukossa 6 on esitetty tuloilman lämmitysenergian tarve, jonka arvoksi saatiin 1 324,5 kWh/a.

6.6 Tilojen lämmitysenergian tarve

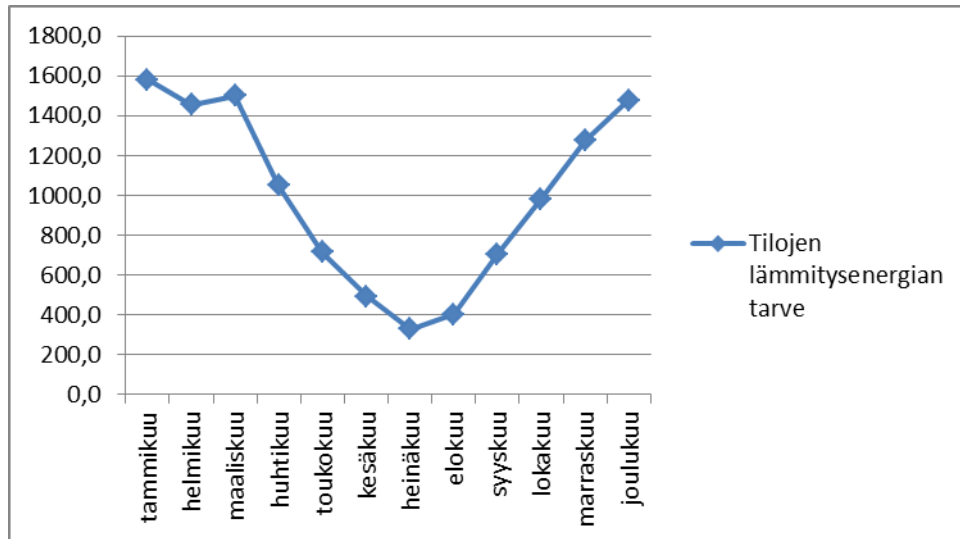
Tilojen lämmitysenergian tarve koostuu johtumislämpöhäviön, vuotoilman ja ilmanvaihtokoneen tulo- sekä korvausilman lämmitysenergian tarpeesta.

Kaavalla 10 lasketaan rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{iv,\text{tuloilma}} + Q_{iv,\text{korvausilma}} \quad (10)$$

Liitteen 1 taulukossa 7 on esitetty tilojen lämmitysenergian tarve, jonka arvoksi saatiin 11 968,7 kWh/a.

Kuvassa 8 on esitetty tilojen lämmitysenergian tarve.



Kuva 8. Tilojen lämmitysenergian tarve

6.7 Laitteiden sähkönkulutus

Rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus sisältää laitesähkön kokonaiskulutuksen pois lukien valaistus-, ilmanvaihtojärjestelmän- sekä ilman lämmitykseen ja tilojen jäädytykseen käytettyä sähköä. Laskennassa on käytetty rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti erillisen pientalon arvoina käyttöasteelle 0,6 ja lämpökuormalle 3 W/m². Käyttöaika on 24 tuntia vuorokaudessa viikon jokaisena päivänä.

Kaavalla 11 on laskettu laitesähkön vuotuinen sähköenergiankulutus

$$Q_{\text{laitteet}} = kP \tau_d / 24 \tau_w / 7 \cdot 8760 / 1000 \quad (11)$$

Kaavalla 12 on laskettu laitesähkön kuukausittainen sähköenergiankulutus

$$W_{\text{laitteet}} = (Q_{\text{laitteet}} A_{\text{netto}}) (\Delta t / 8760) \quad (12)$$

Liitteen 1 taulukossa 8 on esitetty sähköenergiankulutus kuukausittain laitteille, jonka arvoksi saatiin 1 892,2 kWh/a.

6.8 Valaistuksen sähköenergian kulutus

Valaistuksen sähköenergiankulutuksen käyttöasteena käytetään 0,1 ja lämpökuormana 8 W/m² rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti. Käyttöaika on 24 tuntia vuorokaudessa viikon jokaisena päivänä.

Kaavalla 13 lasketaan valaistuksen vuotuinen sähköenergiankulutus

$$Q_{\text{valaistus}} = kP \tau_d / 24 \tau_w / 7 \cdot 8760 / 1000 \quad (13)$$

Kaavalla 14 lasketaan valaistuksen kuukausittainen sähköenergian kulutus

$$W_{\text{valaistus}} = (Q_{\text{valaistus}} A_{\text{netto}}) (\Delta t / 8760) \quad (14)$$

Liitteen 1 taulukossa 9 on esitetty valaistuksen sähköenergiankulutus, jonka arvoksi saatiin 841,0 kWh/a.

6.9 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus

Ilmanvaihtokoneiden ja puhaltimien tarvitsema sähköenergian kulutus lasketaan määrittämällä puhaltimien lämpötilaa nostava vaikutus ilmavirtoihin ja laskemalla ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehot konekohtaisesti. Lähtötietojen mukaisesti esimerkkipientalossa käytettiin ilmanvaihtokonetta, jossa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ja ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehona käytettiin 2 kW/(m³/s).

Kaavalla 15 lasketaan ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho.

$$SFP = P_{\text{puh}} / q_v \quad (15)$$

Kaavalla 16 lasketaan ilmanvaihtokoneen sähköenergiankulutus.

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum \text{SFP } q_v \Delta t + W_{\text{iv, muut}} \quad (16)$$

Liitteen 1 taulukossa 10 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus, jonka arvoksi saatiin 735,8 kWh/a.

6.10 Lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus

Rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti pumpun käyttöaikana käytetään arvoa 24h/vrk. Pumpun sähkömoottorin tehontarvetta ei ole erikseen määritelty, joten pumpun sähkömoottorin ottotehona voidaan käyttää arvoa 200/W/dm³/s.

Kaavalla 17 lasketaan lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergiankulutus.

$$W_{\text{lkv, pumppu}} = P_{\text{lkv, pumppu}} t_{\text{lkv}} (365/1000) \quad (17)$$

Liitteen 1 taulukossa 11 on esitetty käyttöveden kiertopumpun sähköenergiankulutus, jonka arvoksi saatiin 73,0 kWh/a.

6.11 Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus

Lähtötietojen mukaisesti esimerkkirakennuksessa on vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmityksen apulaitteiden ominaiskulutuksena käytettiin rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti 2,5 kWh/(m²a). Jakelujärjestelmän lämmönjakoputket ovat lämpimässä tilassa.

Kaavalla 18 lasketaan lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus.

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A_{\text{netto}} \quad (18)$$

Liitteen 1 taulukossa 12 on esitetty lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus, jonka arvoksi saatiin 300,0 kWh/a.

6.12 Lämpökuormat

Rakennusten energiatehokkuuden kasvaessa sisäisten lämpökuormien merkitys lämmöntuotossa korostuu. Asunnon sisälämpötiloihin voidaan siis vaikuttaa myös asumisen lämpökuormien hallinnalla. Lämpökuormat koostuvat henkilöistä, valaistuksesta, sähkölaitteista, auringosta ja lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnista tulevista lämpökuomista.

6.12.1 Lämpökuormat henkilöistä

Laskennassa käytetyn pientalon henkilöiden lämpökuorma laskettiin rakentamismääräyskokoelman osan D3 arvoilla, jotka ovat käyttöasteelle 0,6 ja yhden henkilön luovuttamana keskimääräisenä lämpöteho 70 W/henkilö. Lämpöteho ei sisällä haihtumislämpöä. Lähtötietojen mukaisesti rakennuksessa asuu vakituisesti neljä henkilöä. Oleskeluaika on 24 tuntia vuorokaudessa seitsemänä päivänä viikossa.

Kaavalla 19 lasketaan oleskeluaika.

$$\Delta t_{\text{oleskelu}} = \sum t_d t_v \Delta t \quad (19)$$

Kaavalla 20 lasketaan henkilöiden luovuttama lämpöenergia.

$$Q_{\text{henk}} = k n \Phi_{\text{henk}} \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad (20)$$

Liitteen 1 taulukossa 13 on esitetty henkilöiden lämpökuorma, jonka arvoksi saatiin 1 471,7 kWh/a.

6.12.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuormat

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti oletetaan, että valaistuksen ja laitteiden sähkönkulutus tulee kokonaisuudessaan lämpökuormaksi rakennukseen.

Kaavalla 21 lasketaan valaistuksen ja laitteiden lämpökuorma.

$$Q_{\text{säh}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} \quad (21)$$

Liitteen 1 taulukossa 14 on esitetty valaistuksen ja laitteiden lämpökuorma, jonka arvoksi saatiin 2 733,1 kWh/a.

6.12.3 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteily

Ikkunoiden läpi tuleva säteilyenergia sisältää ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tulevan että välillisesti ikkunaan sitoutuneen lämpöenergian. Rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti laskennassa vähennetään ikkunoiden karmit ja puitteet. Lisäksi laskennassa sisällytetään verhojen tuottama säteilyn läpäisyn estokerroin.

Laskennassa käytetyn pientalon kehäkertoimena käytettiin rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti 0,75. Verhokertoimena laskennassa käytettiin 0,30, koska mallirakennuksessa on valkoiset sälekaihtimet ikkunoiden väleissä. Varjostuksia ei otettu huomioon laskennassa ja ikkunan valoaukon auringon kohtisuoran kokonaissäteilyn läpäisykertoimena käytetään 0,55. Esimerkkipientalon varjostuskulma on °0, jolloin rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti varjostuksen korjauskertoimena käytetään arvoa 1,0.

Kaavalla 22 lasketaan ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia.

$$Q_{\text{aur}} = \sum G_{\text{säteily,pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g \quad (22)$$

Liitteen 1 taulukossa 15 on esitetty ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, jonka arvoksi saatiin 1 513,2 kWh/a.

6.12.4 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuormat

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon ja varaajan rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia otetaan huomioon energiantarpeen laskennassa rakennuksen sisäisinä lämpökuormina. Laskennassa käytetyssä pientalossa lämmitysenergian tuottoon käytetty W10-vesilämmitysjärjestelmä vaatii hybridivaraajan, jolloin lämpökuormat tulee ottaa laskennassa huomioon. Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti 50 % lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lasketuista lämpöhäviöistä tulee tiloihin lämpökuormaksi.

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti suojaputkessa olevan kiertojohdon lämpöhäviön ominaistehona voidaan käyttää arvoa 15 W/m. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus saadaan pientalolle kertomalla rakennuksen lämmitetty nettoala kertoimella 0,043. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika on 24 h/vrk.

Kaavalla 23 lasketaan lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö.

$$Q_{l_{kv},kierto} = (\phi_{l_{kv},kierto,omin} L_{l_{kv}} + \phi_{l_{kv},lämmitys,omin} \eta_{lämmityslaite}) (t_{l_{kv},pumppu} - 365/1000) \quad (23)$$

Liitteen 1 taulukossa 16 on laskettu lämpimän käyttöveden kierron lämpökuorma, jonka arvoksi saatiin 339,0 kWh/a.

Lähtötietojen mukaisesti hybridivaraajan tilavuus on 300 litraa, joten rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuinen lämpökuorma on 650 kWh/ vuosi. (50 % varaajan lämpöhäviöstä).

Taulukkoa 11 on käytetty kuukausittaisen lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpökuorman laskennassa.

Taulukko 11. Lämpimän käyttöveden varastoinnin häviö [22, s. 43.]

Varaajan tilavuus, l	Varaajan lämpöhäviö, 40 mm eriste	$Q_{lkv,varastointi}$, kWh/a 100 mm eriste
50	440	220
100	640	320
150	830	420
200	1000	500
300	1300	650
500	1700	850
1000	2100	1100
2000	3000	1500
3000	4000	2000

Liitteen 1 taulukossa 17 on esitetty lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpökuorma, jonka arvoksi saatiin 650,0 kWh/a.

6.12.5 Tilojen lämpökuormat

Lämpökuorman hyödyntäminen on mahdollista, mikäli samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja säätölaitteet vähentävät muuta lämmöntuottoa vastaavalla määrällä.

Kaavalla 24 lasketaan rakennuksen lämpökuormat.

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv,kierto}} + Q_{\text{lkv,varastointi}} \quad (24)$$

Liitteen 1 taulukossa 18 on esitetty rakennuksen lämpökuorma, jonka arvoksi saatiin 6 707,0 kWh/a.

6.12.6 Tilojen lämpökuormista hyödynnettävä energia

Tilojen lämpökuormista hyödynnettävä energia voidaan määrittää sisäisten lämpökuormien ja hyödyntämisasteen avulla. Lähtötietojen perusteella esimerkkipientalo on rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti keskiraskas I, jolloin sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin arvo on $70 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$. Hyödyntämisasteen laskenta suoritetaan kuvan 10 mukaisesti.

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}}$$

$$a = 1 + \frac{\tau}{15}$$

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H}$$

$$H = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u)} 1000$$

Kuva 10. Hyödyntämisasteen laskenta [20, s. 5.]

Kaavalla 25 lasketaan rakennuksen ominaislämpöhäviö.

$$H = [Q_{\text{tila}} / (T_s - T_u)\Delta t] 1000 \quad (25)$$

Kaavalla 26 lasketaan aikavakio.

$$\tau = C_{\text{rak}} / H \quad (26)$$

Kaavalla 27 lasketaan suhdeluku.

$$\gamma = Q_{\text{lämpökuorma}} / Q_{\text{tila}} \quad (27)$$

Kaavalla 28 lasketaan numeerinen parametri.

$$a = 1 + \tau/15 \quad (28)$$

Kaavalla 29 lasketaan lämpökuormien hyödyntämisaste.

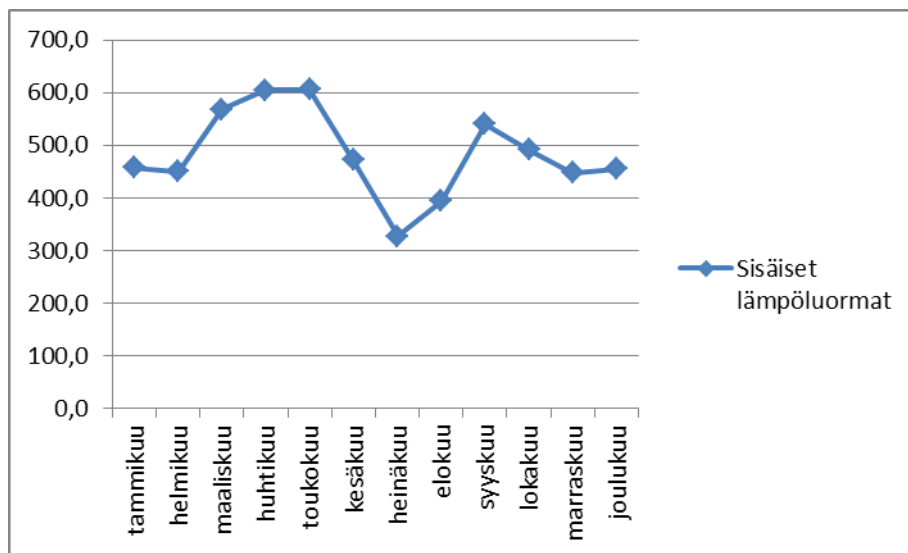
$$\eta_{\text{lämpö}} = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1}) \quad (29)$$

Kaavalla 30 lasketaan tilojen lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia.

$$Q_{\text{sis,lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (30)$$

Liitteen 1 taulukossa 19 on laskettu tilojen lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia, jonka arvoksi saatiin 5 813,82 kWh/a.

Kuvassa 11 esitetään sisäisistä lämpökuormista hyödynnettävän lämpöenergian jakautuminen kuukausitasolla.



Kuva 11. Sisäiset lämpökuormat

6.13 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

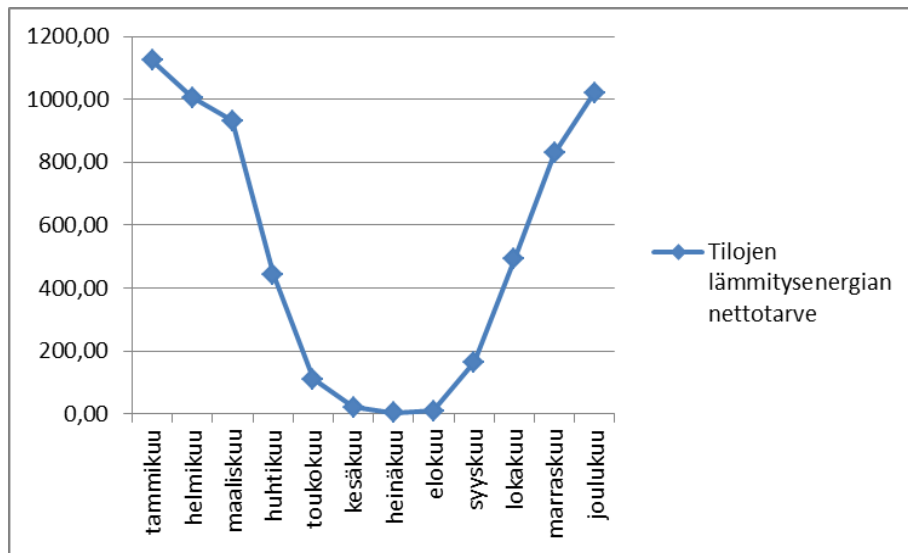
Tilojen todellinen lämmitysenergian nettotarve saadaan vähentämällä tilojen tarvitsemasta energiasta sisäiset lämpökuormat.

Kaavalla 31 lasketaan tilojen lämmitysenergian nettotarve.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis,lämpö}} \quad (31)$$

Liitteen 1 taulukossa 20 on laskettu tilojen lämmitysenergian nettotarve sisältäen sisäisten lämpökuomien vähennyksen, jonka arvoksi saatiin 6 154,9 kWh/a.

Kuvassa 12 on esitetty tilojen lämmitysenergian nettotarve kuukausitasolla.



Kuva 12. Tilojen lämmitysenergian nettotarve

6.14 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Kaavalla 32 lasketaan lämmöntalteenotolla talteenotettu teho.

$$\Phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (32)$$

Kaavalla 33 lasketaan lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila.

$$T_{lto} = T_u + (\Phi_{lto} / t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}) \quad (33)$$

Kaavalla 34 lasketaan tuloilman lämmittämiseen tarvittava energiamäärä ilmanvaihtokoneessa.

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} [(T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}] \Delta t / 1000 \quad (34)$$

Liitteen 1 taulukossa 21 on esitetty ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, jonka arvoksi saatiin 2 454,0 kWh/a.

6.15 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Määritettäessä asuinrakennusten lämpimän käyttöveden kulutusta käytetään ensisijaisesti henkilöperusteisia arvoja. Lämpimän käyttöveden lämpötilana käytettiin +55 °C ja kylmän käyttöveden lämpötilana +5 °C. Lähtötietojen mukaisesti esimerkkirakennuksessa on huoneistokohtainen mittaus- ja laskutus, jolloin rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti lämpimän käyttöveden ominaiskulutus on 50 dm³/henkilö/vrk.

Kaavalla 35 lasketaan lämpimän käyttöveden kulutus.

$$V_{lkv} = n V_{lkv,omin,henk} \Delta t / 1000 \quad (35)$$

Kaavalla 36 lasketaan lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve.

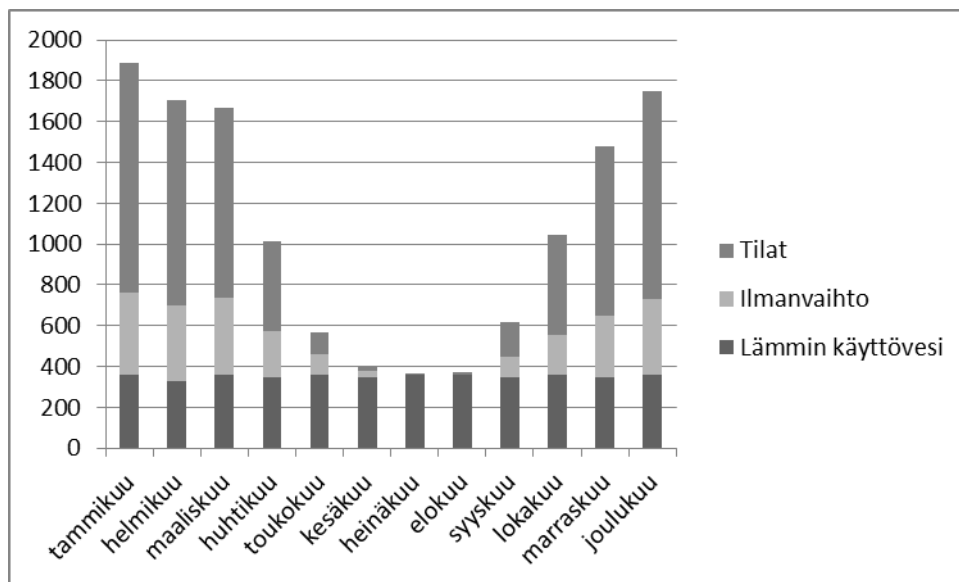
$$Q_{\text{lkv,netto}} = \rho_v c_{pv} V_{\text{lkv}} (T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}})/3600 - Q_{\text{lkv,LTO}} \quad (36)$$

Liitteen 1 taulukossa 22 on esitetty lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve, jonka arvoksi saatiin 4 258,3 kWh/a.

6.16 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarpeesta. Laskennassa ei oteta huomioon järjestelmän hyötysuhteita.

Kuvassa 13 on esitetty rakennuksen nettoenergiantarve. Arvot on saatu luvuista 6.13-6.15.



Kuva 13. Rakennuksen nettoenergiantarve

7 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

7.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve

Esimerkkiopintalon energiankulutuksen laskennassa otetaan huomioon tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeet. Näihin lisätään lämmönluovutuksen, lämmönjaon ja -varastoinnin häviöt. Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhteen oletetaan olevan yhtä suuri kuin ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve.

Lähtötietojen mukaisesti esimerkkiopintalon lämmitysjärjestelmänä käytettiin Tulikiven Valkia-takkauunia ja W10-vesilämmitysjärjestelmää. Vesilämmitysjärjestelmä kattaa koko rakennuksen nettopinta-alan 120 m². Vesikiertoisen lattialämmityksen lämpötilana käytettiin 40/30 °C. Rakennuksen alapohja on maanvastainen, joten hyötysuhde on 80 %.

Kaavalla 37 lasketaan ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve.

$$Q_{\text{lämmitys,iv}} = Q_{\text{iv}} \quad (37)$$

Kaavalla 38 lasketaan tilojen lämmitysenergian tarve

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = (Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}/\eta_{\text{lämmitys,tilat}}) + Q_{\text{jakelu,ulos}} \quad (38)$$

Liitteen 1 taulukossa 23 on esitetty tilojen lämmitysenergian tarve, jonka arvoksi saatiin 7 693,6 kWh/a.

7.2 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve

Lämpimän käyttöveden siirto vesipisteille tapahtuu suojaputkessa, jolloin siirron hyötysuhde on 0,85. Kiertojohton ja varastoinnin lämpöhäviöenergiat on laskettu luvussa 6.12.4.

Tulikivi Green W10 -vesilämmitysjärjestelmä esilämmittää lämmintä käyttövettä. Laskenta käyttöveden esilämmitykselle on viitteellinen, mutta välttämätön opinnäytetyön tavoitteen kannalta. Käyttöveden esilämmityksen laskennassa ei ole käytetty virallisia mittaustuloksia.

Taulukossa 12 on esitetty arvot tulisijan lämmityksen käyttöasteille. Käyttöasteet kuvaavat uunin lämmittämisen tarvetta eri vuodenaikoina.

Taulukko 12. Tulisijan lämmityksen käyttöaste

Kuukausi kk	%
tammikuu	50
helmikuu	50
maaliskuu	40
huhtikuu	25
toukokuu	5
kesäkuu	0
heinäkuu	0
elokuu	0
syyskuu	10
lokakuu	25
marraskuu	40
joulukuu	50

Lämpimän käyttöveden esilämmityksen käyttöaste on 50 % uunin lämmityksen käyttöasteesta. Taulukossa 13 on esitetty arvot käyttöveden esilämmityksen käyttöasteille.

Taulukko 13. Käyttöveden esilämmityksen käyttöaste

Kuukausi	
kk	%
tammikuu	25
helmikuu	25
maaliskuu	20
huhtikuu	12,5
toukokuu	2,5
kesäkuu	0
heinäkuu	0
elokuu	0
syyskuu	5
lokakuu	12,5
marraskuu	20
joulukuu	25

Liitteen 1 taulukossa 24 on esitetty W10-vesilämmitysjärjestelmällä esilämmitetyn käyttöveden energiamäärä, jonka arvoksi saatiin 520,3 kWh/a.

Tulokset on saatu kertomalla lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve veden esilämmityksen käyttöasteella. Energiamäärät ovat rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisia muulla uusiutuvan omavaraisenergian tuottojärjestelmällä tuotettuja lämpöenergioita.

Kaavalla 39 lasketaan lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve.

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = (Q_{\text{lkv, netto}} / \eta_{\text{lkv, siirto}}) + Q_{\text{lkv, varastointi}} + Q_{\text{lkv, kierto}} - Q_{\text{muu, lkv}} \quad (39)$$

Liitteen 1 taulukossa 25 on esitetty lämpimän käyttöveden energiantarve vähennettynä W10- vesilämmitysjärjestelmän esilämmityksestä saatavalla energiamäärällä, jonka arvoksi saatiin 6 467,5 kWh/a.

7.3 Varaava tulisija

Rakennuksessa on Tulikiven Valkia-takkauuni, jonka suorituskyky on määritetty luvussa 4.4. Siirrinpakettina on lähtötietojen mukaan W10-siirrinpaketti 2, jonka arvioitu hyötysuhde on 40 % tulisijasta saatavasta energiamäärästä. Näin ollen Valkiasta ilmaan saatava hyötysuhde on 60 %.

Kaavalla 40 lasketaan tulisijasta ilmaan saatava säteilyenergiamäärä.

$$Q_{\text{tulisija}} = 0,6 * Q_{\text{tulisija}} \quad (40)$$

$$Q_{\text{tulisija}} = 0,6 * 2000 \text{ kWh} = 1200 \text{ kWh}$$

Rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan tulisijasta saatava energiamäärä voidaan jakaa tasan marras-, joulu-, tammi- ja helmikuulle. Tällöin jokaiselle edellä mainitulle kuukaudelle saatava energiamäärä on 300 kWh.

7.4 Lämmitysjärjestelmän energiantarve

Lämmitysjärjestelmän energiantarve koostuu rakennuksen vaatimasta järjestelmien lämmitys- ja sähköenergian kulutuksesta.

Lämmitysenergiankulutuksen laskemisessa otetaan huomioon tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen kuluttama energia. Tästä energiamäärästä vähennetään varaavien tulisijojen ja käyttöveden aurinkokeräimellä lämmittämisestä saatu energia. Sähköenergian laskennassa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmien, lämpimän käyttöveden siirron ja aurinkokeräimien kuluttama sähköenergia. Lähtötietojen mukaisesti esimerkkirakennuksessa ei käytetä aurinkokeräimiä, joten niitä ei oteta laskennassa huomioon.

Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti W10-vesilämmitysjärjestelmä otetaan laskennassa huomioon kattilaa vastaavalla tavalla. Lämmitysenergian tuoton kuukausihyötysuhteina käytettiin arvoja puukattilalle energiavaraajalla rakentamismääräyskokoelman osan D5 liitteen 1 mukaisesti.

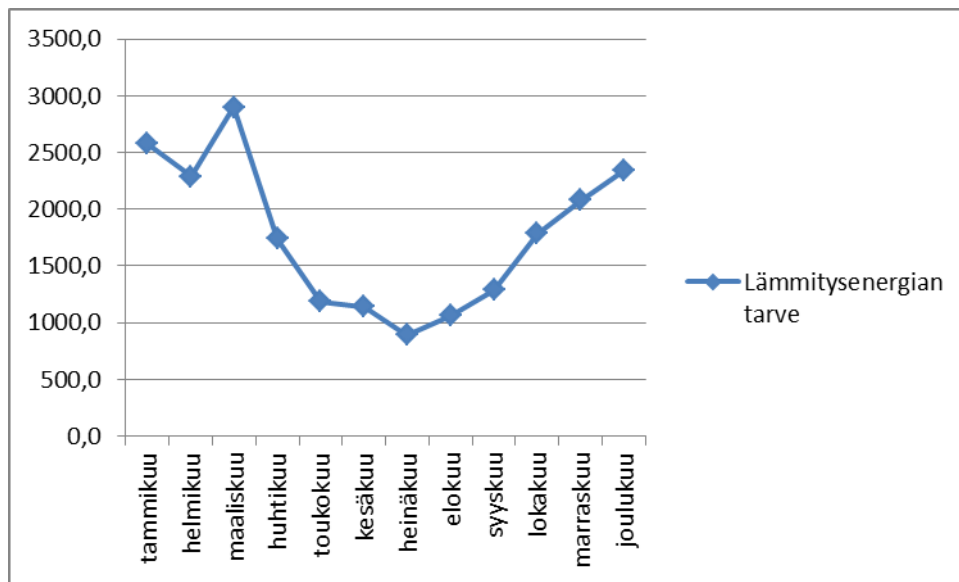
Luvun 7.3 mukaisesti lämmitysenergiatarpeesta on vähennetty tulisijasta saatava säteilylämpöenergia huonetilaan marras-, joului-, tammi-, ja helmikuulta kullakin 300 kWh/kuukausi.

Kaavalla 41 lasketaan lämmitysenergian tarve.

$$Q_{\text{lämmitys}} = (Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{tulisija}} - Q_{\text{aurinko}}) / \eta_{\text{tuotto}} \quad (41)$$

Liitteen 1 taulukossa 26 on esitetty lämmitysenergian tarve, jonka arvoksi saatiin 21 279,7 kWh/a.

Kuvassa 14 on esitetty lämmitysenergian tarve kuukausitasolla.



Kuva 14. Lämmitysenergian tarve

Kaavalla 42 lasketaan lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus.

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{lkv,pumppu}} + W_{\text{aurinko,pumput}} + W_{\text{LP,lämmitys}} + W_{\text{LP,apu}} \quad (42)$$

Liitteen 1 taulukossa 27 on esitetty lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, jonka arvoksi saatiin 373,0 kWh/a.

8 Rakennuksen ostoenergian kulutus ja energialuku

8.1 Rakennuksen ostoenergian kulutus

Laskennassa käytettiin rakentamismääräyskokoelman osan D3 säävyöhykkeen I esitettyjä ulkoilman säätietoja, sisäilmaston olosuhteita, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikoja sekä sisäisten lämpökuormien rakennuksen standardikäyttöön tarkoitettuja lähtöarvoja. Muut tarvittavat lähtötiedot otettiin Tulikiven mittaustuloksista sekä asiakirjoista.

Rakennuksen ostoenergiankulutus koostuu lämmityksen, ilmanvaihdon, jäähdytysjärjestelmien, sähkölaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä, joista on vähennetty paikallisesti tuotettu energia.

Kaavalla 43 lasketaan rakennuksen ostoenergiankulutus

$$E_{\text{osto}} = Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{lämmitys}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + Q_{\text{jäähdytys}} + W_{\text{jäähdytys}} + W_{\text{laitteet}} + W_{\text{valaistus}} \quad (43)$$

Taulukossa 14 on esitetty rakennuksen ostoenergiankulutus.

Taulukko 14. Rakennuksen ostoenergiankulutus

Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus	21279,7	kWh/a
Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus	373	kWh/a
Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus	735,8	kWh/a
Valaistuksen sähkönkulutus	841	kWh/a
Laitteiden sähkönkulutus	1892,2	kWh/a
Yhteensä	25048,7	kWh/a

8.2 Rakennuksen energiatehokkuusluku

Rakennuksen netto-ostoenergiankulutus koostuu lämmityksen, ilmanvaihdon, jäähdytysjärjestelmien, sähkölaitteiden ja valaistuksen nettoenergiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä, joista on vähennetty paikallisesti tuotettu energia ja kerrottu painote-

tuilla kertoimilla. Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti 120 m^2 :n esimerkkipientalon suurin sallittu energiatehokkuusluku on määritelty välillä $120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$ ja lasketaan $372 - 1,4 * 120 \text{ m}^2 = 204 \text{ kWh/m}^2$.

Taulukossa 15 on esitelty rakennuksen energiankulutus energiamuotokertoimilla painotettuna. Laskennassa käytetyt energiamuotokertoimet ovat kappaleessa 3.2.1 esitetyt uusiutuvalle energiamuodolle 0,5 ja sähkölle 1,7. Taulukon 15 arvot on saatu kertomalla edellä mainituilla kertoimilla rakennuksen ostoenergiankulutuksen vastaavat arvot.

Taulukko 15. Energiamuotokertoimilla painotettu energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus	10639,8	kWh/a
Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus	634,1	kWh/a
Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus	1250,9	kWh/a
Valaistuksen sähkönkulutus	1429,6	kWh/a
Laitteiden sähkönkulutus	3216,7	kWh/a
Yhteensä	17047,1	kWh/a

Taulukossa 16 on esitetty esimerkkipientalon energiatehokkuusluku. Arvot on saatu jakamalla rakennuksen kokonaisenergiankulutus rakennuksen nettopinta-alalla.

Taulukko 16. Rakennuksen energiatehokkuusluku

Suurin sallittu E-luku	204 kWh/m ² /a
Rakennuksen E-luku	143,1 kWh/m ² /a

Energiatehokkuusluku 143,1 kWh/m²/a on saatu W10-vesilämmitysjärjestelmää käyttämällä.

9 Vertailu suoraan sähkölämmitykseen

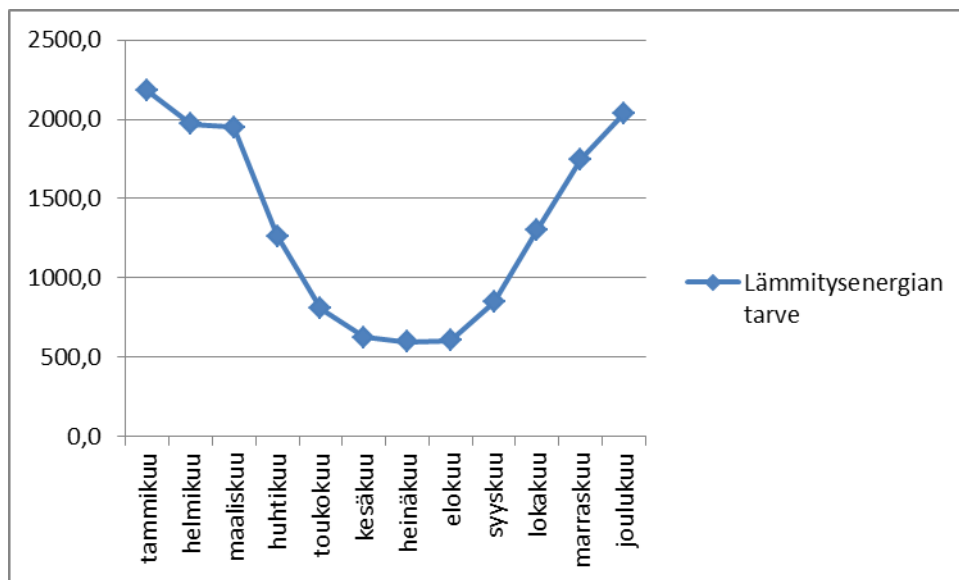
Tässä luvussa lasken energiatehokkuusluvun lämmitysjärjestelmänään suoraa sähkölämmitystä käyttävälle rakennukselle vertailuksi W10-vesilämmitysjärjestelmää käyttävälle rakennukselle. Käytän laskennassa esimerkkirakennuksen lähtöarvoja sekä muita luvuissa 5 – 8 määritettyjä arvoja sekä rakentamismääräyskokoelman osien D3 (2012) ja D5 (luonnos 27.10.2011) annettuja arvoja.

9.1 Lämmitysjärjestelmän energiantarve

Suoran sähköpatterilämmityksen lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde $\eta_{\text{tilat}} = 95 \%$, jolloin lämmitysjärjestelmään tuotettu energiamäärä tulee olemaan 6 478,8 kWh/a. Lämpimän käyttöveden lämpöenergiatarpeesta poistetaan W10:stä saatava esilämmityksen osuus, jolloin energiantarpeeksi saadaan 6 987,8 kWh/a. Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve on 2 454 kWh/a.

Liitteen 1 taulukossa 28 on esitetty lämmitysjärjestelmän energiantarve, jonka arvoksi saatiin 15 920,6 kWh/a.

Kuvassa 15 on esitetty lämmitysjärjestelmän energiantarve kuukausitasolla.



Kuva 15. Lämmitysenergian tarve

9.2 Lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus

Suoran sähköpatterilämmityksen apulaitteiden ominaissähkön ohjearvo $e_{\text{tilat}} = 0,5$ kWh/(m²a), jolloin lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus on 60 kWh/a.

Liitteen 1 taulukossa 29 on esitetty lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, jonka arvoksi saatiin 133,0 kWh/a.

9.3 Rakennuksen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuusluku

Taulukossa 17 on esitetty suoran sähköpatterilämmityksen ostoenergian kulutus.

Taulukko 17. Rakennuksen ostoenergiankulutus

Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus	15920,6	kWh/a
Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus	133	kWh/a
Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus	735,8	kWh/a
Valaistuksen sähkönkulutus	841	kWh/a
Laitteiden sähkönkulutus	1892,2	kWh/a
Yhteensä	19522,6	kWh/a

Taulukossa 18 on esitetty rakennuksen energiankulutus energiamuotojen kertoimilla painotettuna.

Taulukko 18. Energiamuotokertoimilla painotettu energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus	27065,1	kWh/a
Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus	226,1	kWh/a
Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus	1250,9	kWh/a
Valaistuksen sähkönkulutus	1429,6	kWh/a
Laitteiden sähkönkulutus	3216,7	kWh/a
Yhteensä	33188,4	kWh/a

Taulukossa 19 on esitetty rakennuksen energiatehokkuusluku. Arvot on saatu jakamalla rakennuksen kokonaisenergiankulutus rakennuksen nettopinta-alalla.

Taulukko 19. Rakennuksen energiatehokkuusluku

Suurin sallittu E-luku	204 kWh/m ² /a
Rakennuksen E-luku	276,6 kWh/m ² /a

Suoralla sähkölämmityksellä lämmitetty rakennus ei läpäise pientalolle määritettyä energiatehokkuusluvun ylärajaa toisin kuin W10-vesilämmitysjärjestelmällä varustettu esimerkkipientalo. Vaikka suoralla sähkölämmityksellä varustettu rakennus vaatii vähemmän ostoenergiaa verrattuna W10:llä varustettuun rakennukseen, suuri energiamuotokerroin nostaa kertoimilla painotettua kokonaisenergiankulutusta ja pakottaisi tässä tapauksessa alentamaan energiatehokkuuslukua sallittuun ylärajaan energiatehokkaamilla lämmityslaitteilla ja rakennusmateriaaleilla.

10 Johtopäätökset

Rakennusten energiatehokkuuden kehittyminen on maapallomme ehtyvien energiavarojen kannalta elintärkeää. Väestön kasvaessa ja energiankulutuksen kasvaessa luonnonvarojen kuluttamisen pienentäminen kasvattaa merkitystään. Ennen 1.7.2012 voimaan tulevia energiamääräyksiä on rakentamisessa käytetty energiaa säästäviä laitteita ja lämmönjohtavuuksiltaan hyviä rakenteita, mutta rakentamisen kokonaissuunnittelu on jäänyt puuttumaan. Yhdyskunnan kestävä kehitys ja ekologisuus taustalla on uusiutuvien energiamuotojen ja luonnonvarojen käytön edistäminen ja kehittäminen. Tämän vuoksi uusien energiamääräysten myötä uusiutuvien energiamuotojen käyttö tulee lisääntymään rakennusten lämmityksessä. Tätä edistää myös luonnonvaroja säästävien lämmitysmuotojen suosiminen energiamuotokertoimilla.

Uudet energiamääräykset ovat aiheuttaneet varsin ristiriitaisia tunteita. On puhuttu homeongelmista tiiviimpien rakenteiden vuoksi ja rakentamisen kallistumisesta raaka-ainehankintojen osalta. Eritoten hirsirakentajat eivät ole olleet mielissään uusien määräysten myötä tulevista lisäkustannuksista ja kilpailukyvyyn heikkenemisestä muita rakennusratkaisuja käyttäviä rakentajia vastaan. Tämän lisäksi eri lämmitysmuotojen edustajat ovat tyytymättömiä energiamuotojen kertoimiin. Sähköenergian puolesta puhujat pitävät sähkön kerrointa liian suurena verrattuna muihin energiamuotoihin. Vastapuolella uusiutuvien energiamuotojen edustajat eivät ymmärrä, miksi sähkön kerroin pieneni lopullisiin energiamääräyksiin. Kaikilla osapuolilla on ymmärrettävästi omat intressinsä havaittavissa julkisissa keskusteluissa.

Energiatehokkuuslaskennan perusteella 1.7.2012 voimaan tulevien energiamääräysten mukaisen pientalon päälämmitysjärjestelmäksi voidaan valita Tulikiven tulisija varustettuna W10-vesilämmitysjärjestelmällä, jolloin päästään sallittuun energiatehokkuusluokkaan. Tulevaisuuden rakentamisessa energiatehokkuuden parantuessa lämpöhäviöt pienenevät ja tilojen lämmitykseen tarkoitettua lämpöenergiaa ei enää tarvita aikaisempien rakennusten tapaan. Tällöin matalilla lämpötiloilla toimivat lämmitysjärjestelmät ovat erinomainen valinta rakennuksen lämmitykseen, koska rakennuksiin ei enää tarvita nopeaa lämmitystä.

Vertailu suoraan sähkölämmitykseen osoittaa uusiutuvien energiamuotojen ylivoimaisuuden energiatehokkuuslukua määritettäessä vaikkakin ostoenergiankulutus on paremman hyötysuhteen vuoksi pienempi suoralla sähkölämmityksellä. Esimerkkirakennuksen laskennassa käytetyt energiavaraajalla varustetun puukattilan hyötysuhteet olivat ohjearvoja eivätkä välttämättä vastaa todellisia arvoja. Tämä voi nostaa ostoenergian tarvetta W10-vesilämmitysjärjestelmällä varustetun rakennuksen osalta. Tästäkin huolimatta ero suoraan sähkölämmitykseen energiatehokkuuslukua tarkasteltaessa on huomattava.

Loppupäätelmänä voidaan sanoa, että uusiutuvien energiamuotojen käyttö tulee heinäkuun jälkeen kasvamaan radikaalisti ja tämän huomaa jo nykyisellään ihmisten valitessaan lämmitysmuotoa omaan taloonsa. Tietoa energia-asioista on paljon tarjolla ja valituneet rakentajat voivat saada huomattavia kustannussäästöjä valitessaan oikein kotinsa lämmitysjärjestelmän.

Lähteet

1. Kanada irtisanoutuu Kioton ilmastopimuksesta. Aamulehti. 13.12.2011.
<http://www.aamulehti.fi/Ulkomaat/1194710009946/artikkeli/kanada+vetaytyy+kioton+ilmastopimuksesta+-+valttaa+lisamaksut+paastoista.html>. 6.1.2012
2. E- luku ja sen laskenta. Suomen LVI- liitto, SuLVI ry. 2011. Powerpoint-esitys. 21.12.2011
3. Energiamuotojen kerroin: Yleiset perusteet ja toteutuneen sähkön- ja lämmön- tuotannon kertoimet 2000–2008. Ympäristöministeriö. 2010.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123453&lan=fi>. 3.8.2011
4. Energiapaketti 2012 taustamuistio. Ympäristöministeriö. 2010.
<http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=121167&lan=fi>. 7.8.2011
5. Energiatehokkuusdirektiivin edellyttämät toimenpiteet rakennusten lämmitys- kattiloiden ja ilmastointijärjestelmien energiaterokkuuden parantamiseksi.. Työ- ryhmän muistio. 2005.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=36674&lan=fi>. 20.10.2011
6. Energiatodistuskäytännöt ja seurantarjestelmät muissa Euroopan maissa. VTT. 2011. http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e03daadfe8dc363daa11e0b534add35c3b92109210/energiatodistuskaytannot_ja_seurantarjestelmat_muissa_euroopan_maissa.pdf. 12.9.2011
7. Energiatodistusopas 2007. Ympäristöministeriö. 2009.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=82328&lan=fi>. 7.8.2011
8. Euroopan komissio. CEN-standardit energiaterokkuusdirektiivin käyttöönnoton tukena EU-maissa. 2006. www.buildup.eu/fi/publications/1666. 10.11.2011
9. Euroopan komissio. Implementation of the Energy Performance of Buildings Directive. Country Reports. 2008. <http://www.buildup.eu/publications/1251>. 9.10.2011
10. Euroopan parlamentti ja Euroopan Unionin neuvosto. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/91/EY, annettu 16 päivänä joulukuuta 2002, rakennusten energiaterokkuudesta. 2002.
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0065:FI:PDF>. 8.8.2011

11. Euroopan parlamentti ja Euroopan Unionin neuvosto. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/91/EU, annettu 19 päivänä toukokuuta 2010, rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu). 2010.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=119069&lan=fi>. 9.10.2011
12. Railio, Jorma. Hankeasiakirja Eurooppalaiset (CEN) standardit rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) toimeenpanon edistämiseksi – tausta, tilanne ja tulevaisuus. LVI-talotekniikkateollisuus ry. 2009.
13. Hellsten, Johanna. Määritelmäviidakko. Rakennuslehti. 2011.
www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/14524.html. 5.1.2012
http://yle.fi/uutiset/kotimaa/2011/02/tuhannet_joutuvat_uusimaan_talonsa_energiatodistuksen_lahivuosina_2358272.html. 26.12.2011
14. Ideal –EPBD –Eurooppalainen projekti rakennusten energia- todistusten vaikutuksesta kuluttajien käyttäytymiseen. 2011.
http://www.idealepbd.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=3&lang=fi. 2.3.2012
15. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Ympäristöministeriö. 2011. Powepoint-esitys. 26.10.2011
16. Katsaus rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen eräissä Euroopan maissa. SITRA. 2010. http://www.sitra.fi/NR/rdonlyres/2269693A-21A6-4572-9E65-FEE731F92A11/5331/REHVA_EUkatsausloppuraportti.pdf. 20.10.2011
17. Kioton pöytäkirja. Ympäristöministeriö. 2011.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi>. 10.11.2011
18. Tuhannet joutuvat uusimaan talonsa energiatodistuksen lähivuosina. Yleisradio. 14.12.2011.
http://yle.fi/uutiset/kotimaa/2011/02/tuhannet_joutuvat_uusimaan_talonsa_energiatodistuksen_lahivuosina_2358272.html?sendtofriend=true. 20.12.2011
19. Lämmitysenergiannettotarve. Suomen LVI- liitto, SuLVI ry. 2011. Powerpoint-esitys. 25.10.2011
20. Lappalainen, Markus. Energia- ja ekologiakäsikirja. 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy.
21. Rakennusmääräyskokoelman osa D3. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö.2011. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. 3.6.2011

22. Rakennusmääräyskokoelman osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, luonnos 27.10.2011. Ympäristöministeriö. 2011.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=131112&lan=fi>. 30.10.2011
23. Rakennusmääräyskokoelman osa E8. Muuratut tulisijat, ohjeet. Ympäristöministeriö. 1984. <http://www.finlex.fi/data/normit/1940-e8.pdf>. 5.6.2011
24. Rakennusten energiatehokkuuteen eurooppalaisia standardeja. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. www.sfs.fi/files/rakennustenenergiatehokkuus.pdf.
11.12.2011
25. Tasauslaskentaopas 2010. Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö. 2010.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=120826&lan=en>. 6.10.2011
26. Tasavallan presidentin asetus 13/2005. Ilmastonmuutosta koskevan Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimuksen Kioton pöytäkirjan voimaansaattamisesta sekä pöytäkirjan lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta annetun lain voimaantulosta. 2005.
http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013_2.
5.1.2012
27. Tekninen liite muistioon: Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö. 2011.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=128426&lan=fi>. 6.10.2011
28. Tulikivi. 2011. Tulikivi W10 asennusohje TK ja KS. Tulikivi Intranet 5.9.2011
29. Tulikivi. 2011. Projektointiohje Green W10. Tulikivi Intranet 12.11.2011
30. Tulikivi. 2011. Tulikivi Green koulutus W10 kokonaisuus. Tulikivi Intranet.
10.9.2011
31. Tulikivi. 2011. Tulikivi Green- tuotteet.
http://www.tulikivi.fi/tuotteet/TulikiviGreen_W10-Vesilammitysjarjestelma.
7.9.2011
32. Tulikivi. 2011. Tulikivi W10 -artikkeli. Tulikivi Intranet 25.11.2011
33. United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations. 1992. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. 25.12.2011
34. Uusien rakennusten energiamääräykset 2012. Ympäristöministeriö. 2011.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126212&lan=fi>. 1.1.2012
35. Vuoden 2012 energiamääräysten rakenne ja linjaukset. Suomen LVI- liitto, SuLVI ry. Powerpoint-esitys. 2011. 20.12.2011

36. YK:n ilmastopöpinus. Ympäristöministeriö. 2011.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=564&lan=fi>. 10.11.2011

37. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö. 2011.

http://www.motiva.fi/files/4147/Muistio_rakentamismaaraysten_osasta_D3.pdf.
5.9.2011

Esimerkkihirsitalon laskentataulukot

Taulukko 1

Rakenne	A_i (m ²)	U_i (W/m ² K)	$A_i U_i$ (W/K)
Seinät	85,0	0,2	14,5
Yläpohja	120,0	0,1	10,8
Alapohja	120,0	0,1	17,3
Ovet	4,0	1,0	4,0
Ikkunat koillinen	6,5	1,0	6,5
Ikkunat kaakko	4,0	1,0	4,0
Ikkunat lounas	5,3	1,0	5,3
Ikkunat luode	3,0	1,0	3,0
$\sum A_i U_i =$			65,3

Taulukko 2

Kuukausi kk	$Q_{\text{ulkoseinät}}$ (kWh)	$Q_{\text{yläpohja}}$ (kWh)	Q_{alapohja} (kWh)	Q_{ovet} (kWh)	Q_{ikkunat} (kWh)
tammikuu	268,4	200,6	321,0	74,3	349,3
helmikuu	247,6	185,1	296,1	68,5	322,2
maaliskuu	253,5	189,5	303,2	70,2	329,8
huhtikuu	171,7	128,3	205,3	47,5	223,3
toukokuu	110,1	82,3	131,6	30,5	143,2
kesäkuu	70,4	52,6	84,2	19,5	91,6
heinäkuu	39,8	29,7	47,6	11,0	51,8
elokuu	53,2	39,8	63,6	14,7	69,2
syyskuu	108,9	81,4	130,3	30,2	141,7
lokakuu	159,1	118,9	190,3	44,0	207,0
marraskuu	213,3	159,4	255,1	59,0	277,5
joulukuu	249,3	186,3	298,1	69,0	324,4
$\sum Q_{\text{raken-}}$ $\text{nusosa} =$	1945,4	1454,0	2326,4	538,5	2531,0
$\sum Q_{\text{rakosa}} =$					8795,3

Taulukko 3

Kuukausi kk	$Q_{\text{ulkoseinä-yläpohja}}$ kWh	$Q_{\text{ulkoseinä-alapohja}}$ kWh	$Q_{\text{ulkoseinien liitokset}}$ kWh	$Q_{\text{kylmäsilta,ikkunat}}$ kWh	$Q_{\text{kylmäsilta,ovet}}$ kWh
tammikuu	40,7	65,1	7,4	12,9	5,9
helmikuu	37,5	60,0	6,9	11,9	5,5
maaliskuu	38,4	61,5	7,0	12,2	5,6
huhtikuu	26,0	41,6	4,8	8,2	3,8
toukokuu	16,7	26,7	3,0	5,3	2,4
kesäkuu	10,7	17,1	1,9	3,4	1,6
heinäkuu	6,0	9,6	1,1	1,9	0,9
elokuu	8,1	12,9	1,5	2,6	1,2
syyskuu	16,5	26,4	3,0	5,2	2,4
lokakuu	24,1	38,6	4,4	7,6	3,5
marraskuu	32,3	51,7	5,9	10,2	4,7
joulukuu	37,8	60,5	6,9	12,0	5,5
$\Sigma Q_{\text{kylmäsilta,rakennusosa}} =$	294,8	471,7	53,9	93,5	43,1
				$\Sigma Q_{\text{kylmäsilat}} =$	957,0

Taulukko 4

Kuukausi kk	Q_{joht} kWh
tammikuu	1345,74
helmikuu	1241,3
maaliskuu	1270,82
huhtikuu	860,57
toukokuu	551,88
kesäkuu	353,09
heinäkuu	199,41
elokuu	266,78
syyskuu	546,07
lokakuu	797,63
marraskuu	1069,19
joulukuu	1249,81
$\Sigma Q_{\text{joht}} =$	9752,3

Taulukko 5

Kuukausi kk	$Q_{\text{vuotoilma}}$ kWh
tammikuu	123,07
helmikuu	113,52
maaliskuu	116,22
huhtikuu	78,7
toukokuu	50,47
kesäkuu	32,29
heinäkuu	18,24
elokuu	24,4
syyskuu	49,94
lokakuu	72,95
marraskuu	97,78
joulukuu	114,3
$\Sigma Q_{\text{vuotoilma}} =$	891,9

Taulukko 6	
Kuukausi kk	$Q_{iv,tuloilma}$ kWh
tammikuu	112,5
helmikuu	101,6
maaliskuu	112,5
huhtikuu	108,9
toukokuu	112,5
kesäkuu	108,9
heinäkuu	112,5
elokuu	112,5
syyskuu	108,9
lokakuu	112,5
marraskuu	108,9
joulukuu	112,5
$\sum Q_{iv,tuloilma} =$	1324,5

Taulukko 7	
Kuukausi kk	Q_{tila} kWh
tammikuu	1581,3
helmikuu	1456,4
maaliskuu	1499,5
huhtikuu	1048,1
toukokuu	714,8
kesäkuu	494,2
heinäkuu	330,1
elokuu	403,7
syyskuu	704,9
lokakuu	983,1
marraskuu	1275,8
joulukuu	1476,6
$\sum Q_{tila} =$	11968,7

Taulukko 8	
Kuukausi kk	$W_{laitteet}$ kWh
tammikuu	160,7
helmikuu	145,2
maaliskuu	160,7
huhtikuu	155,5
toukokuu	160,7
kesäkuu	155,5
heinäkuu	160,7
elokuu	160,7
syyskuu	155,5
lokakuu	160,7
marraskuu	155,5
joulukuu	160,7
$\sum W_{laitteet} =$	1892,2

Taulukko 9	
Kuukausi kk	$W_{valaistus}$ kWh
tammikuu	71,4
helmikuu	64,5
maaliskuu	71,4
huhtikuu	69,1
toukokuu	71,4
kesäkuu	69,1
heinäkuu	71,4
elokuu	71,4
syyskuu	69,1
lokakuu	71,4
marraskuu	69,1
joulukuu	71,4
$\sum W_{valaistus} =$	841

Taulukko 10	
Kuukausi kk	$W_{\text{ilmanvaihto}}$ kWh
tammikuu	62,5
helmikuu	56,4
maaliskuu	62,5
huhtikuu	60,5
toukokuu	62,5
kesäkuu	60,5
heinäkuu	62,5
elokuu	62,5
syyskuu	60,5
lokakuu	62,5
marraskuu	60,5
joulukuu	62,5
$\sum W_{\text{ilmanvaihto}} =$	735,8

Taulukko 11	
Kuukausi kk	$W_{\text{lkv, pumppu}}$ kWh
tammikuu	6,2
helmikuu	5,6
maaliskuu	6,2
huhtikuu	6
toukokuu	6,2
kesäkuu	6
heinäkuu	6,2
elokuu	6,2
syyskuu	6
lokakuu	6,2
marraskuu	6
joulukuu	6,2
$\sum W_{\text{lkv, pumppu}} =$	73

Taulukko 12	
Kuukausi kk	W_{tilat} kWh
tammikuu	25,5
helmikuu	23
maaliskuu	25,5
huhtikuu	24,7
toukokuu	25,5
kesäkuu	24,7
heinäkuu	25,5
elokuu	25,5
syyskuu	24,7
lokakuu	25,5
marraskuu	24,7
joulukuu	25,5
$\sum W_{\text{tilat}} =$	300

Taulukko 13	
Kuukausi kk	Q_{henk} kWh
tammikuu	125
helmikuu	112,9
maaliskuu	125
huhtikuu	121
toukokuu	125
kesäkuu	121
heinäkuu	125
elokuu	125
syyskuu	121
lokakuu	125
marraskuu	121
joulukuu	125
$\sum Q_{\text{henk}} =$	1471,7

Taulukko 14	
Kuukausi kk	$Q_{säh}$ kWh
tammikuu	232,1
helmikuu	209,7
maaliskuu	232,1
huhtikuu	224,6
toukokuu	232,1
kesäkuu	224,6
heinäkuu	232,1
elokuu	232,1
syyskuu	224,6
lokakuu	232,1
marraskuu	224,6
joulukuu	232,1
$\sum Q_{säh} =$	2733,1

Taulukko 15	
Kuukausi kk	Q_{aur} kWh
tammikuu	16,5
helmikuu	51,9
maaliskuu	127
huhtikuu	183,1
toukokuu	232,5
kesäkuu	230,9
heinäkuu	252,4
elokuu	189,4
syyskuu	143,1
lokakuu	52,1
marraskuu	20,7
joulukuu	13,7
$\sum Q_{aur} =$	1513,2

Taulukko 16	
Kuukausi kk	$Q_{kv,kierto}$ kWh
tammikuu	28,8
helmikuu	26
maaliskuu	28,8
huhtikuu	27,9
toukokuu	28,8
kesäkuu	27,9
heinäkuu	28,8
elokuu	28,8
syyskuu	27,9
lokakuu	28,8
marraskuu	27,9
joulukuu	28,8
$\sum Q_{kv,kierto} =$	339

Taulukko 17	
Kuukausi kk	$Q_{kv,varastointi}$ kWh
tammikuu	55,2
helmikuu	49,9
maaliskuu	55,2
huhtikuu	53,4
toukokuu	55,2
kesäkuu	53,4
heinäkuu	55,2
elokuu	55,2
syyskuu	53,4
lokakuu	55,2
marraskuu	53,4
joulukuu	55,2
$\sum Q_{kv,varastointi} =$	650

Taulukko 18	
Kuukausi kk	$Q_{\text{lämpökuorma}}$ kWh
tammikuu	457,6
helmikuu	450,3
maaliskuu	568,2
huhtikuu	609,9
toukokuu	673,6
kesäkuu	657,8
heinäkuu	693,5
elokuu	630,5
syyskuu	570
lokakuu	493,2
marraskuu	447,5
joulukuu	454,8
$\Sigma Q_{\text{lämpökuorma}} =$	6707

Taulukko 19	
Kuukausi kk	$Q_{\text{sis,lämpö}}$ kWh
tammikuu	457,6
helmikuu	450,3
maaliskuu	567,9
huhtikuu	605,1
toukokuu	605,5
kesäkuu	472,7
heinäkuu	327,5
elokuu	393,7
syyskuu	539,7
lokakuu	491,5
marraskuu	447,4
joulukuu	454,8
$\Sigma Q_{\text{sis,lämpö}} =$	5813,82

Taulukko 20	
Kuukausi kk	$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ kWh
tammikuu	1123,8
helmikuu	1006,1
maaliskuu	931,6
huhtikuu	443
toukokuu	109,3
kesäkuu	21,5
heinäkuu	2,6
elokuu	9,9
syyskuu	165,2
lokakuu	491,5
marraskuu	828,4
joulukuu	1021,8
$\Sigma Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} =$	6154,9

Taulukko 21	
Kuukausi kk	Q_{iv} kWh
tammikuu	402,5
helmikuu	373,4
maaliskuu	373,8
huhtikuu	220,4
toukokuu	98,7
kesäkuu	26,3
heinäkuu	0
elokuu	0
syyskuu	100,1
lokakuu	192,7
marraskuu	300,3
joulukuu	365,8
$\Sigma Q_{iv} =$	2454

Taulukko 22	
Kuukausi kk	$Q_{\text{lkv,netto}}$ kWh
tammikuu	361,7
helmikuu	326,7
maaliskuu	361,7
huhtikuu	350
toukokuu	361,7
kesäkuu	350
heinäkuu	361,7
elokuu	361,7
syyskuu	350
lokakuu	361,7
marraskuu	350
joulukuu	361,7
$\sum Q_{\text{lkv,netto}} =$	4258,3

Taulukko 23	
Kuukausi kk	$Q_{\text{jämmitys,tilat}}$ kWh
tammikuu	1404,7
helmikuu	1257,7
maaliskuu	1164,5
huhtikuu	553,8
toukokuu	136,7
kesäkuu	26,9
heinäkuu	3,2
elokuu	12,4
syyskuu	206,4
lokakuu	614,4
marraskuu	1035,5
joulukuu	1277,3
$\sum Q_{\text{jämmitys,tilat}} =$	7693,6

Taulukko 24	
Kuukausi kk	$Q_{\text{muu,lkv}}$ kWh
tammikuu	90,4
helmikuu	81,7
maaliskuu	72,3
huhtikuu	43,8
toukokuu	9
kesäkuu	0
heinäkuu	0
elokuu	0
syyskuu	17,5
lokakuu	45,2
marraskuu	70
joulukuu	90,4
$\sum Q_{\text{muu,lkv}} =$	520,3

Taulukko 25	
Kuukausi kk	$Q_{\text{jämmitys,lkv}}$ kWh
tammikuu	503,1
helmikuu	454,4
maaliskuu	521,2
huhtikuu	530,6
toukokuu	584,4
kesäkuu	574,3
heinäkuu	593,5
elokuu	593,5
syyskuu	556,8
lokakuu	548,3
marraskuu	504,3
joulukuu	503,1
$\sum Q_{\text{jämmitys,lkv}} =$	6467,5

Taulukko 26	
Kuukausi kk	$Q_{\text{lämmitys}}$ kWh
tammikuu	2577,2
helmikuu	2289,1
maaliskuu	2900,7
huhtikuu	1739,8
toukokuu	1188,1
kesäkuu	1141
heinäkuu	890,6
elokuu	1063
syyskuu	1288,6
lokakuu	1783,5
marraskuu	2081,3
joulukuu	2336,9
$\Sigma Q_{\text{lämmitys}} =$	21279,7

Taulukko 27	
Kuukausi kk	$W_{\text{lämmitys}}$ kWh
tammikuu	31,7
helmikuu	28,6
maaliskuu	31,7
huhtikuu	30,7
toukokuu	31,7
kesäkuu	30,7
heinäkuu	31,7
elokuu	31,7
syyskuu	30,7
lokakuu	31,7
marraskuu	30,7
joulukuu	31,7
$\Sigma W_{\text{lämmitys}} =$	373

Taulukko 28	
Kuukausi kk	$Q_{\text{lämmitys}}$ kWh
tammikuu	2178,9
helmikuu	1968,5
maaliskuu	1947,9
huhtikuu	1261,1
toukokuu	807,3
kesäkuu	623,3
heinäkuu	596,2
elokuu	604
syyskuu	848,3
lokakuu	1303,6
marraskuu	1746,6
joulukuu	2034,9
$\Sigma Q_{\text{lämmitys}} =$	15920,6

Taulukko 29	
Kuukausi kk	$W_{\text{lämmitys}}$ kWh
tammikuu	11,3
helmikuu	10,2
maaliskuu	11,3
huhtikuu	10,9
toukokuu	11,3
kesäkuu	10,9
heinäkuu	11,3
elokuu	11,3
syyskuu	10,9
lokakuu	11,3
marraskuu	10,9
joulukuu	11,3
$\Sigma W_{\text{lämmitys}} =$	133