



Jarkko Repo

KAUKOLÄMMITETYN PIENTALON ENERGIALUVUN LASKENTAMALLI

KAUKOLÄMMITETYN PIENTALON ENERGIALUVUN LASKENTAMALLI

Jarkko Repo
Opinnäytetyö
9.5.2011
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Talotekniikan koulutusohjelma	Insinöörityö	44	+	1
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
LVI-suunnittelu	2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Oulun seudun ammattikorkeakoulu	Jarkko Repo			
Työn nimi	Kaukolämmitetyn pientalon energialuvun laskentamalli			
Avainsanat	Energiankulutus, energialuku, LVI, kaukolämpö			

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia vuonna 2012 voimaan tulevia rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 määräyksiä ja ohjeita. Työssä tutkittiin täyttääkö vertailuarvojen mukainen kaukolämmitetty pientalo uuden energialuvun vaatimukset.

Työssä esitetään ensin vertailuarvojen mukaisen pientalon lähtötiedot, joiden jälkeen esitetään laskentamenetelmän eri vaiheet. Laskentamenetelmän vaiheet on esitetty seuraavassa järjestyksessä: rakennuksen lämmitysenergia nettotarve, laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus, lämpökuormat, lämmitysjärjestelmän energiankulutus, ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku sekä saadut tulokset. Työ aloitettiin rakentamalla Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskentamalli pientaloille energialuvun määrittämiseksi. Energialuvun määrittämiseen käytettiin vain rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 ohjeita ja määräyksiä.

Uudistuvan rakentamismääräyskokoelman osien määräykset ovat tiukentuneet aikaisempaan verrattuna. Laskentamallista saatujen tulosten perusteella kaukolämmitetty pientalo täyttää uuden energialuku vaatimuksen. Laskentamallin pientalon energialuvuksi saatiin 156,61 kWh/m²a. Uusien painotettujen lämmitysenergiakertoimien perusteella voidaan todeta, että kaukolämpö ja uusiutuvat polttoaineet ovat hyviä ratkaisuja pientalojen lämmitysmuodoiksi, kun taas sähköä ja fossiilisia polttoaineita ei suositella tulevaisuudessa käytettäväksi yksinään pientalojen lämmittämiseen.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

TERMI- JA SYMBOLILUETTELO

1 JOHDANTO	11
2 LÄHTÖTIEDOT JA LASKENTAMENETELMÄ.....	12
2.1 Säätiiedot	12
2.2 Kohteen pinta-alat, tilavuudet ja rakenteet	12
2.3 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät.....	12
2.4 Ilman- ja vuotoilmanvaihto.....	13
2.5 Käyttö- ja käyntiajat	13
2.6 Laskentamenetelmä	13
3 RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE.....	14
3.1 Rakenteiden läpi johtuva lämmitysenergia	14
3.2 Vuotoilman lämpöhäviöt	15
3.3 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	16
3.4 Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve	18
3.5 Ilmanvaihdosta talteenotettu energia.....	19
3.6 Käyttöveden lämmityksen nettotarve.....	20
3.7 Tilojen lämmitysenergian nettotarve	21
4 LAITTEIDEN JA VALAISTUKSEN SÄHKÖKULUTUS.....	23
4.1 Laitteiden sähkökulutus	23
4.2 Valaistuksen sähköenergiankulutus	24
5 LÄMPÖKUORMAT	26
5.1 Lämpökuorma henkilöistä.....	26
5.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma.....	27
5.3 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia	28
5.4 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttama lämpökuorma.....	29
5.5 Lämpökuormista hyödynnettävä energia.....	30
6 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS	32
6.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys.....	32
6.2 Lämpimän käyttöveden lämmitys	34
6.3 Varaava tulisija	35

6.4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus.....	35
7 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS	37
8 RAKENNUKSEN OSTOENERGIAN KULUTUS JA ENERGIALUKU	38
8.1 Rakennuksen ostoenergian kulutus	38
8.2 Rakennuksen E-luku	40
9 YHTEENVETO.....	43
LÄHTEET	44
LIITE	
LIITE 1. PIENTALON ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTAMALLI 2012	

TERMI- JA SYMBOLILUETTELO

Laskentakaavoissa käytetään seuraavassa esitettyjä suureita ja yksiköitä, celsiusaste on yksikön kelvin (K) erityisnimi, jota käytetään ilmaistaessa celsiuslämpötila-arvoja. (1, s. 6 - 9; 2, s. 5 - 8; 3, s. 8, 18.)

A_{ap}	<i>maanvastaisen alapohjan pinta-ala, m²</i>
$A_{aurinkokeräin}$	<i>kiertopiiriin kytkettyjen keräimien pinta-ala, m²</i>
A_{huone}	<i>valaistavan tilan huonepinta-ala, m²</i>
A_{netto}	<i>rakennuksen lämmitetty nettoala, m²</i>
A_j	<i>rakennusosan pinta-ala, m²</i>
A_{ikk}	<i>ikkuna-aukon pinta-ala (kehys ja karmirakenteineen), m²</i>
$A_{ikk, valoaukko}$	<i>ikkunan valoaukon pinta-ala, m²</i>
$A_{vaijppa}$	<i>rakennusvaijppan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m²</i>
a	<i>numeerinen parametri, joka riippuu rakennuksen aikavakiosta</i>
β	<i>valaistuksen alenemakerroin</i>
C_{pi}	<i>ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 Ws/(kg K)</i>
C_{pv}	<i>veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)</i>
C_{rak}	<i>rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K</i>
E	<i>rakennuksen energialuku, kWh/(m² a)</i>
E_{max}	<i>uudisrakennetun erillis pien-, rivi- ja ketjutalon maksimi energialuvun arvo, kWh/a</i>
E_{osto}	<i>rakennuksen ostoenergian kulutus, kWh/(m² a)</i>
$E_{valaistus}$	<i>tilan valaistusvoimakkuus, lx</i>
e_{tilat}	<i>apulaitteiden ominaiskulutus, kWh/(m² a)</i>
$F_{kehä}$	<i>kehäkerroin</i>
$F_{läpäisy}$	<i>säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin</i>
$F_{sivubarjostus}$	<i>ikkunan sivuilla olevien pystysuorien rakenteiden varjostusten korjauskerroin</i>
F_{suunta}	<i>muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi</i>
$F_{varjostus}$	<i>varjostusten korjauskerroin</i>
F_{verho}	<i>verhokerroin</i>
$F_{ylävarjostus}$	<i>ikkunan yläpuolisten vaakasuorien rakenteiden varjostusten korjauskerroin</i>
$F_{ympäristö}$	<i>ympäristön horisontaalisten varjostusten korjauskerroin (esimerkiksi maasto, ympäröivät rakennukset ja puut)</i>
f	<i>valaistuksen ohjaustavasta riippuva ohjauskerroin</i>

$f_{\text{kaukojäähdytys}}$	<i>kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin</i>
$f_{\text{kaukolämpö}}$	<i>kaukolämmön energiamuodon kerroin</i>
$f_{\text{polttoaine}}$	<i>polttoaineen energiamuodon kerroin</i>
$f_{\text{sähkö}}$	<i>sähkön energiamuodon kerroin</i>
$G_{\text{säteily, pystypinta}}$	<i>pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m² kk)</i>
$G_{\text{säteily, vaakapinta}}$	<i>vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m² kk)</i>
g	<i>ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin</i>
$g_{\text{kohtisuora}}$	<i>ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin</i>
H	<i>rakennuksen ominaislämpöhäviö, W/K</i>
J	<i>kerroin, joka jakaa lämpöenergian eri kuukausille riippuen maalajista, W/K</i>
k	<i>rakennuksen käytönaikainen käyttöaste</i>
$k_{\text{aurinkokeräin}}$	<i>keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin</i>
L	<i>meno- ja paluuputkien yhteenlaskettu pituus lämmittämättömässä tilassa, m</i>
L_{lkv}	<i>lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m</i>
l_k	<i>rakennusosien välisten liitosten aiheuttaman lineaarisen kylmäsilan pituus, m</i>
n	<i>henkilöiden lukumäärä</i>
n_{50}	<i>rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h</i>
η	<i>valaistushyötysuhde</i>
η_a	<i>lämmön talteenoton vuosihyötysuhde</i>
η_{lkv}	<i>lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde</i>
$n_{\text{lämmityslaitte}}$	<i>lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl</i>
$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$	<i>lämmitysjärjestelmän hyötysuhde tilojen lämmityksessä</i>
$\eta_{\text{lämpö}}$	<i>lämpökuormien hyödyntämistä</i>
η_t	<i>ilmanvaihdon lämmön talteenoton lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilasuhde</i>
$\eta_{t, a}$	<i>lämmön talteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde</i>
η_{tuotto}	<i>lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä</i>
η_{ϕ}	<i>lamppujen valotehokkuus, lm/W</i>
P	<i>lämpökuorma, W/m²</i>
P_e	<i>puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköteho, kW</i>
P_{es}	<i>puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)</i>
$P_{\text{lkv, pumppu}}$	<i>lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun ottoteho, W</i>
$P_{\text{pumppu, i}}$	<i>yksittäisen pumpun teho, W</i>

P_{sokkeli}	sokkelieristyksen pituus, m
$P_{\text{valaistus}}$	valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum^2
ρ_s	ilmaan siirtyvän lämpötehon ja puhaltimen sähkötehon suhde
ρ_i	ilman tiheys, $1,2 \text{ kg/m}^3$
ρ_v	veden tiheys, $1\,000 \text{ kg/m}^3$
Q	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
Q_{alapohja}	johtumislämpöhäviö alapohjan läpi, kWh
Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh
Q_{aurinko}	aurinkokeräimellä tuotettu lämmitysenergia, kWh
Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
Q_{ikkuna}	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
$Q_{\text{jakelu, ulos}}$	lämmönjaon lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{jäähditys}}$	jäähdytysjärjestelmän lämpöenergian (kaukojäähdytyksen) kulutus, $kWh/(m^2 \text{ a})$
$Q_{\text{korvausilma}}$	korvausilman lämpeneminen tilassa, kWh
$Q_{\text{kylmäsililat}}$	rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviö, kWh
Q_{laitteet}	laitteiden vuotuinen energiankulutus, $kWh/(m^2 \text{ a})$
$Q_{\text{lkv, kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon häviö, kWh
$Q_{\text{lkv, netto}}$	käyttöveden lämmityksen nettotarve, kWh
$Q_{\text{lkv, netto}}$	lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarve, kWh/a
$Q_{\text{lkv, varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin häviö, kWh
Q_{lto}	ilmanvaihdosta talteen otettu energia, kWh
$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, iv}}$	Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, lk}}$	lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	tilojen lämmityksen energiankulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh/a
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen lämpökuorma eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuorma, kWh
$Q_{\text{netto-kaukojäähditys}}$	kaukojäähdytyksen kulutus, josta on vähennetty kaukojäähdytysverkkoon viety energia
$Q_{\text{netto-kaukolämpö}}$	kaukolämmön kulutus, josta on vähennetty kaukolämpöverkkoon viety energia
$Q_{\text{maa, kuukausi}}$	maanvastaisen alapohjan kautta johtuva kuukausittainen lämpöenergia, kWh
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviö ovien läpi, kWh

$Q_{\text{polttoaine}}$	polttoaineen sisältämän energian kulutus
$Q_{\text{sis, lämpö}}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
$Q_{\text{säh}}$	sähkölaitteista ja valaistuksesta rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{tila}	rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{tulisiija}}$	varaavan tulisijan tuottama lämmitysenergia, kWh
Q_{tuloilma}	tuloilman lämpeneminen tilassa, kWh
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviö ulkoseiniä läpi, kWh
$Q_{\text{valaistus}}$	valaistuksen vuotuinen energiankäyttö, kWh/(m ² a)
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjan läpi, kWh
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h*m ²)
$Q_{\text{aurinkokeräin}}$	aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveden keräinpinta-alaa kohti, kWh/(m ² a)
$Q_{\text{jakeluhäviöt, ulos}}$	lämmönjaon ominaislämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/(m a)
$q_v, \text{korvausilma}$	korvausilmavirta, m ³ /s
q_v, poisto	poistoilmavirta, m ³ /s
$q_v, \text{puhallin}$	puhallimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
q_v, tulo	tuloilmavirta, m ³ /s
$q_v, \text{vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
R	tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{ikv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lto}	lämmön talteenotto laitteen jälkeinen lämpötila
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_{sp}	sisään puhalluslämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
\check{T}_u	vuoden maksimi- ja minimiulkolämpötilojen erotus jaettuna kahdella, °C
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
$t_{d, \text{henk}}$	rakennuksen keskimääräinen vuorokautinen käyttöaikasuhde, h/24h
t_v, henk	rakennuksen keskimääräinen viikoittainen käyttöaikasuhde, vrk/7vrk
$t_{\text{pumppu, i}}$	pumpun käyttöaika, h
t_{kv}	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk
τ	rakennuksen aikavakio, h
τ_d	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa, h/24h
τ_w	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa, vrk/7vrk
U_i	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
U_{ap}	maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)

V	rakennuksen ilmatilavuus, m^3
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m^3
$V_{lkv, omin}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm^3/m^2 vuodessa
$V_{lkv, omin, henk}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm^3 henkilöä kohti vuorokaudessa
$W_{aurinko, pumput}$	aurinkokeräinten pumppujen sähköenergian kulutus, kWh
$W_{ilmanvaihto}$	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköenergian kulutus, kWh
$W_{jäähdytys}$	jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, $kWh/(m^2 a)$
$W_{laitteet}$	laitteiden sähköenergiankulutus, kWh
$W_{lkv, kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho W/m
$W_{lkv, lämmitys}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/kpl
$W_{lkv, pumppu}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh
$W_{lämmitys}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, $kWh/(m^2 a)$
$W_{netto-verkkosähkö}$	verkkosähkön kulutus, josta on vähennetty verkkoon viety sähkö
W_{tilat}	lämmitysjärjestelmän apulaitteiden, kuten kiertopumput, säätölaitteet yms. sähkönkulutus, kWh
$W_{valaistus}$	valaistuksen sähköenergiankulutus, kWh
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 25, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeammille rakennuksille 15
x_j	rakennusosien välisten liitosten aiheuttama lisäkonduktanssi, W/K
γ	lämpökuorman suhde lämpöhäviöön
Ψ_k	rakennusosien välisten liitosten aiheuttaman lineaarisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, $W/(m K)$
ΔT	puhaltimen ilmapirran lämpötilaa nostava vaikutus, $^{\circ}C$
Δt	ajanjakson pituus, h
Δt_{iv}	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h
$\Delta t_{oleskelu}$	oleskeluaika, h
$\Delta t_{valaistus}$	valaistuksen käyttöaika, h
Δt_{vrk}	ajanjakson pituus, vrk
Φ_{henk}	yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho, $W/henkilö$

1 JOHDANTO

Suomen rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuusmääräykset uudistuvat vuonna 2012. Energiatehokkuus laskennan uudistuvat määräyskokoelman osat ovat rakennusten lämmöneristys C4, sisäilmasto ja ilmanvaihto D2, energiatehokkuus D3 ja energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta D5. Suurin muutos on kokoelman osan C3 poistuminen käytöstä ja sen määräyksien ja ohjeiden sisällyttäminen kokoelman osaan D3. Nykyhetkellä ainoastaan rakentamismääräyskokoelman osa D3 on allekirjoitettu ja hyväksytty otettavaksi käyttöön. Muut uudistuvat määräyskokoelman osat ovat luonnosvaiheessa ja ne on päivätty 28.9.2010. Tämä opinnäytetyö pohjautuu kyseisiin luonnoksiin, eikä tätä laskentamallia voida käyttää, jos lopulliset määräyskokoelman osat poikkeavat luonnoksista merkittävästi.

Tässä opinnäytetyössä esitetään pientalon energiatehokkuuden ja energialuvun laskentamenetelmä uudistuvien rakentamismääräyskokoelmien osien D3 ja D5 ohjeiden ja määräysten mukaisesti. Työn tavoitteena oli tutkia muuttuneita ohjeita ja määräyksiä energiatehokkuudesta ja energialuvusta eli E-luvusta.

Työn kohteena oli yksikerroksinen uudisrakennettu erillispientalo, jonka lämmitysmuotona on käytetty kaukolämmitystä. Työ aloitettiin laatimalla Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskentamalli rakennuksen energialuvun laskemiseksi (Liite 1). Saatujen arvojen perusteella tutkitaan täyttääkö vertailuarvojen mukainen pientalo kaukolämmitettynä energialuku vaatimukset. Työ tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön talotekniikan osastolle.

2 LÄHTÖTIEDOT JA LASKENTAMENETELMÄ

2.1 Sää tiedot

Laskentamenetelmässä on käytetty säävyöhykkeen 1, Helsinki - Vantaa kuu-
kausittaisia ulkoilman lämpötiloja ja auringon kokonaissäteilyenergian arvoja
pystypinnoille. (1, s. 64.)

2.2 Kohteen pinta-alat, tilavuudet ja rakenteet

Rakennuksen netto pinta-ala on 105 m² ja ilmatilavuus 395 m³.

Rakennuksen pinta-alat rakenteittain ja lämmönjohtavuusarvot on esitetty
taulukossa 1. Rakennuksen alapohja oli maan vastainen. (3, s. 13.)

TAULUKKO 1. Rakenteiden pinta-alat ja lämmönjohtavuudet

Rakenne	A (m ²)	U (W/m ² K)
Seinät	86,39	0,17
Yläpohja	105	0,09
Alapohja	105	0,16
Ovet	5,88	1
Ikkunat koillinen	8,17	1
Ikkunat Kaakko	0	1
Ikkunat lounas	5,16	1
Ikkunat luode	0,29	1

2.3 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Rakennuksen lämmitysmuotona käytettiin kaukolämmitystä ja sähköä vain
laitteiden ja järjestelmien toimintaan. Lämmitys tuotettiin jakotukein varuste-
tuilla pattereilla ja vesikiertoisella lattialämmityksellä märkätiloissa. Rakenta-
mismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti tyypin 1 taloihin ei tarvitse mää-
rittää kesäajan huonelämpötilan jäähdytyksen tarvetta, joten jäähdytystä ei
ole otettu huomioon laskentamallissa. Rakennuksessa on tulisija, mutta sitä

ei otettu huomioon laskentamallissa. Rakennuksen sisälämpötilana käytettiin 21 °C. (3, s. 10, 18.)

2.4 Ilman- ja vuotoilmanvaihto

Rakennuksessa käytettiin koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtokonetta lämmön talteenotolla varustettuna. Lämmön talteenoton tuloilman vuosihyötysuhteena käytettiin 45 %. Rakenteiden ilmanvuototyyppiksi valittiin hyvä ilmanpitävyys. Rakennuksen tulo- ja poistoilmavirrat on asetettu yhtä suuriksi laskentamenetelmän määräysten mukaisesti. Suurempi ilmavirta valitaan valitsevaksi ilmavirraksi. Ilmanvaihtokoneen sisäänpuhalluslämpötilana käytettiin rakentamismääräyskokoelman esittämää lämpötilaa. (1, s. 19).

Rakennuksen ilmanvaihdon tiedot ovat seuraavat:

- tuloilmavirta: 42 dm³/s
- poistoilmavirta: 42 dm³/s
- korvausilmavirta: 0 dm³/s
- rakennusvaipan ilmanvuotoluku: 2 m³/hm²
- sisään puhalluslämpötila: 18 °C.

2.5 Käyttö- ja käyntiajat

Rakennuksen ilmanvaihdon käyntiajaksi asetettiin 24 tuntia viikon jokaisena päivänä. Laitteiden, valaistuksen ja henkilöiden käyttö- ja oleskeluajat määräytyivät rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti. (3, s.19)

2.6 Laskentamenetelmä

Seuraavissa luvuissa on esitetty ohjeet energiantarpeen ja energialuvun laskemisesta pientaloille sekä laskentamallina käytetyn pientalon tuloksia. Laskenta etenee järjestelmällisesti alkaen luvusta 3 ja päättyen lukuun 8. Ainoa poikkeus laskentajärjestykseen on luvussa 3.7 laskettava tilojen lämmitysenergian nettotarve, jonka laskemiseen tarvitaan luvussa 5.5 laskettua sisäisen lämpökuorman arvoa.

3 RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN NETTO-TARVE

3.1 Rakenteiden läpi johtuva lämmitysenergia

Rakennuksen lämmitysenergian tarpeen laskenta aloitetaan määrittämällä eri rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot rakentamismääräyskokoelman osan C4 tai vastaavien SFS-EN-standardien mukaisesti. lämmönläpäisykertoimien avulla lasketaan eri rakenneosien rakenteiden läpi johtuva lämmitysenergia. Johtumishäviöt lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 1 - 4. (1, s. 15 - 17; 3, s. 12.)

$$Q = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 1}$$

$$Q_{kylmäsillat} = (\sum_k l_k \psi_k + \sum_j x_j) (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 2}$$

$$Q_{maa,kuukausi} = [U_{ap} A_{ap} (T_s - T_u) + J P_{sokkeli} \hat{T}_u] \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 3}$$

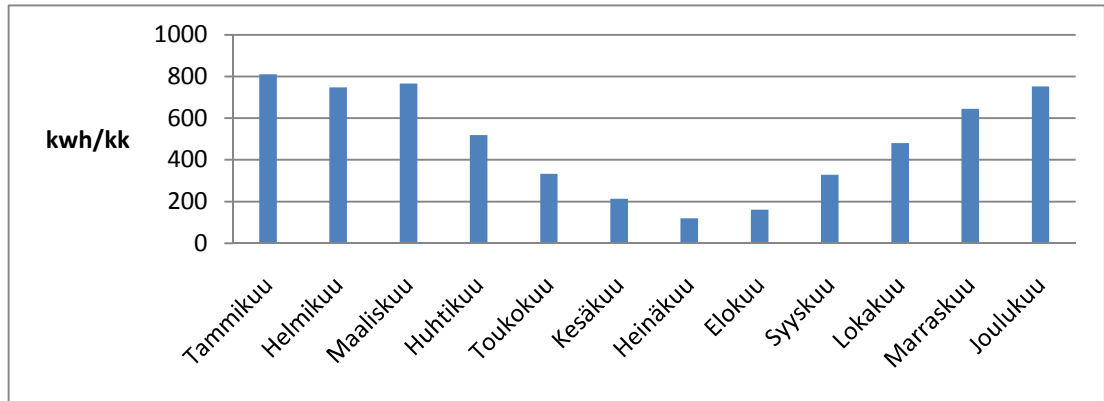
$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{kylmäsillat} \quad \text{KAAVA 4}$$

Seinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden ja ovien kautta johtuvat lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 1. Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen läpi johtuvat lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 2. Maanvastaisen alapohjan kautta johtuva lämpöhäviö lasketaan kaavalla 3. Rakennusvaipan läpi johtuvat lämpöhäviöt summataan yhteen kaavalla 4.

Tarkempia tietoja rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen kautta johtuvien lämpöhäviöiden laskennasta on esitetty rakentamismääräyskokoelman osassa C4. Rakennuksen alapohjan ollessa suoraan ulkoilmaa vasten sen kautta johtuva lämpöhäviö lasketaan kaavalla 1. Alapohjan rajoituessa tuuletettuun ryömintätilaan lasketaan sen kautta johtuva energia ulkoilmaan maan lämmönvastus ja tuuletustilan lämmön-

vastus huomioon ottaen rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti. (1, s. 16.)

Laskentamallin pientalon rakenteiden johtumishäviöt on esitetty kuukausittain kuvassa 1. Kylmäsiltojen aiheuttamaa lämpöhäviötä ei otettu laskuissa huomioon ja rakennuksessa oli maanvastainen alapohja.



KUVA 1. Rakenteiden läpi johtuvat lämpöhäviöt

3.2 Vuotoilman lämpöhäviöt

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulosvirtaavan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 5 - 7. (1, s. 17 - 18.)

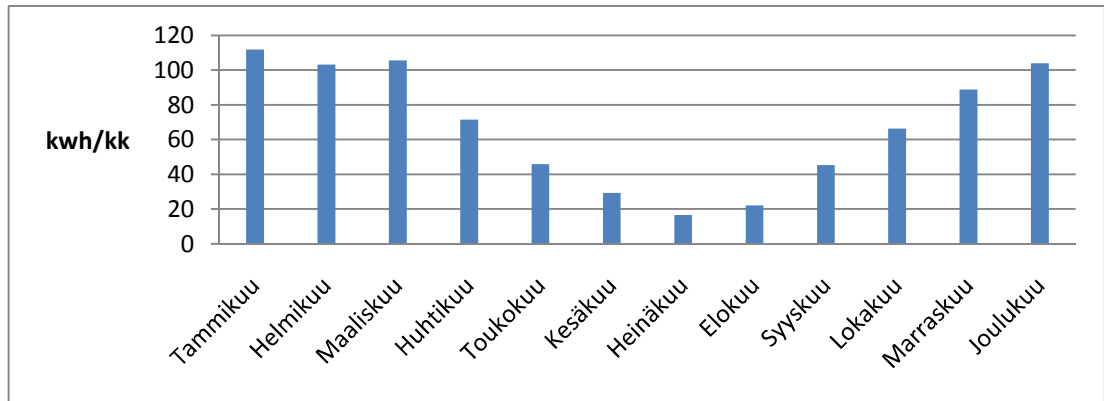
$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad \text{KAAVA 5}$$

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad \text{KAAVA 6}$$

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 7}$$

Rakennusvaipan ilmanvaihtoluku lasketaan rakennuksen rakenteiden tiivyyden avulla kaavalla 5. Tuulen ja lämpötilaerojen synnyttämien paineerojen aikaansaama vuotoilmavirran suuruus rakennusvaipan läpi lasketaan kaavalla 6. Vuotoilmavirran lämpenemisen huoneilman lämpötilaan tarvitsema energia lasketaan kaavalla 7.

Laskentamallin pientalon vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia on esitetty kuukausittain kuvassa 2. Rakennuksen vuotoilmavirtana käytettiin $2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ja kertoimen x arvona 35. (1, s. 17; 3, s. 11.)



KUVA 2. Rakenteiden läpi johtuva vuotoilman lämmitysenergian tarve

3.3 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarvetta laskettaessa voidaan laskentamenetelmää käyttää vain, jos kyseessä on vakioilmamääräsäätöinen järjestelmä ja ilmkäsittelyprosessiin sisältyy ainoastaan ilman lämmitys. Jos ilmkäsittelyprosessiin sisältyy jäähdytystä, kostutusta tai ilmanvaihtojärjestelmä on muuttuvailmamääräsäätöinen, ei kyseistä laskenta menetelmää voida käyttää. Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergian tarve voidaan laskea rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 8 - 13. (1, s. 19 - 20; 2, s. 22, 24.)

$$\eta_a = 0,6 * \eta_t \quad \text{KAAVA 8}$$

$$R = \frac{q_{v,tulo}}{q_{v,poisto}} \quad \text{KAAVA 9}$$

$$\eta_{t,a} = \eta_a / R \quad \text{KAAVA 10}$$

$$T_{lto} = T_u + \eta_{t,a}(T_s - T_u) \quad \text{KAAVA 11}$$

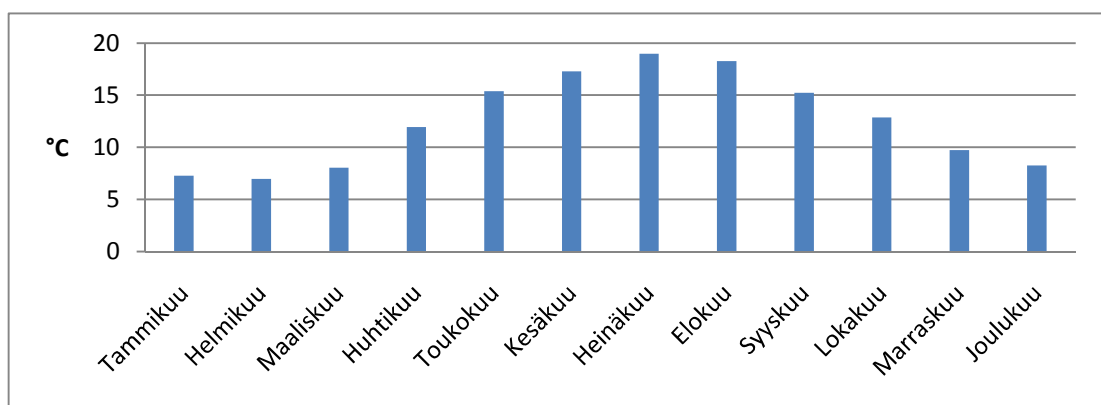
$$Q_{iv} = \rho_i c_{pi} t_a t_v q_{v,tulo} (T_{sp} - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 12}$$

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

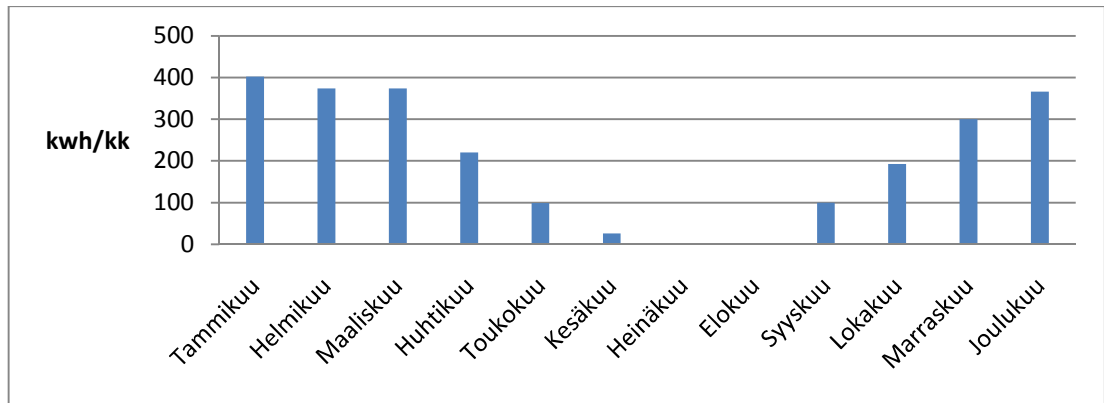
KAAVA 13

Ilmanvaihdon lämmön talteenoton lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilasuhteen avulla lämmön talteenoton vuosittainen hyötysuhde lasketaan kaavalla 8. Tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan lasketaan kaavalla 9. Lämmön talteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhte lasketaan kaavalla 10. Lämmön talteenoton jälkeisen tuloilman lämpötila lasketaan kaavalla 11. Ilmanvaihtokoneessa tapahtuva lämmön talteenoton jälkeisen tuloilman lämpenemisen tarvitsema energia sisään puhalluslämpötilaan eli ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 12. Ilmanvaihtokoneen jossa ei ole lämmön talteenottoa lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 13.

Laskentamallin pientalon lämmön talteenoton jälkeisen tuloilman lämpötilat kuukautta kohden on esitetty kuvassa 3. Lämmön talteenotto laitteen jälkeisen tuloilman lämmittämiseen sisään puhalluslämpötilaan tarvittava kuukausittainen lämmitysenergian nettotarve on esitetty kuvassa 4. Ilmanvaihdon käyttöaikoina käytettiin 24 tuntia päivässä jokaisena viikon päivänä.



KUVA 3. Lämmön talteenoton jälkeisen tuloilman lämpötiloja



KUVA 4. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

3.4 Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve

Tuloilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle. Rakennuksen tulo- ja poistoilmavirtojen erotuksena saadun korvausilman sekä tuloilman lämpöenergian tarve lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 14 - 16. (1, s. 20 - 21.)

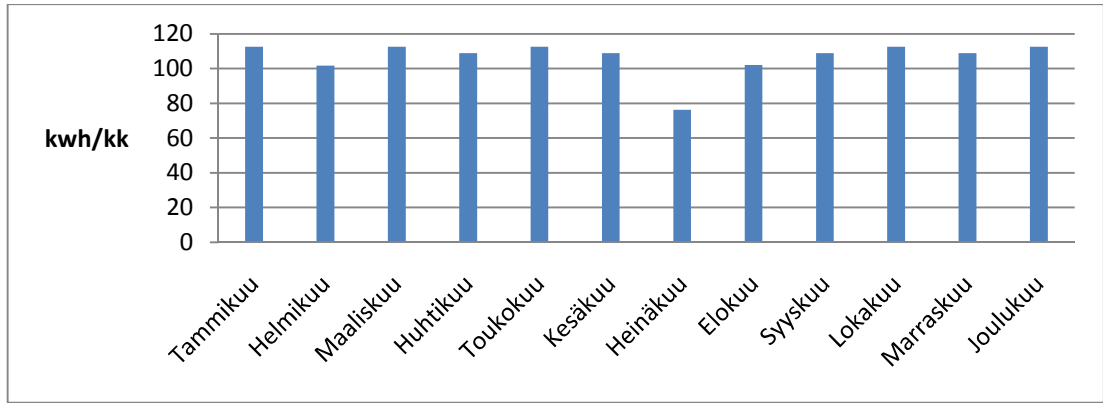
$$q_{v, korvausilma} = \sum t_d t_v q_{v, poisto} - \sum t_d t_v q_{v, tulo} \quad \text{KAAVA 14}$$

$$Q_{korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 15}$$

$$Q_{tuloilma} = \rho_i c_{pi} t_d t_v q_{v, tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 16}$$

Rakennuksen korvausilmamäärä lasketaan kaavalla 14. Korvausilman lämpenemisen tarvitsema energia ulkoilman lämpötilasta huoneilman lämpötilaan lasketaan kaavalla 15. Tuloilman lämpenemisen tarvitsema energia puhalluslämpötilasta huoneilman lämpötilaan lasketaan kaavalla 16.

Laskentamallin pientalon tulo- ja poistoilmavirrat asetettiin samansuuruisiksi rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräyksen mukaisesti joten korvausilmavirtaa ei syntynyt. Rakennuksen sisään puhallettavan tuloilman lämpötilana käytettiin 18 °C ja sisälämpötilana 21 °C. Tuloilman lämpenemisen tilassa tarvitsema energia on esitetty kuukausitasolla kuvassa 5.



Kuva 5. Tuloilman lämmittämiseen tilassa tarvittava energia

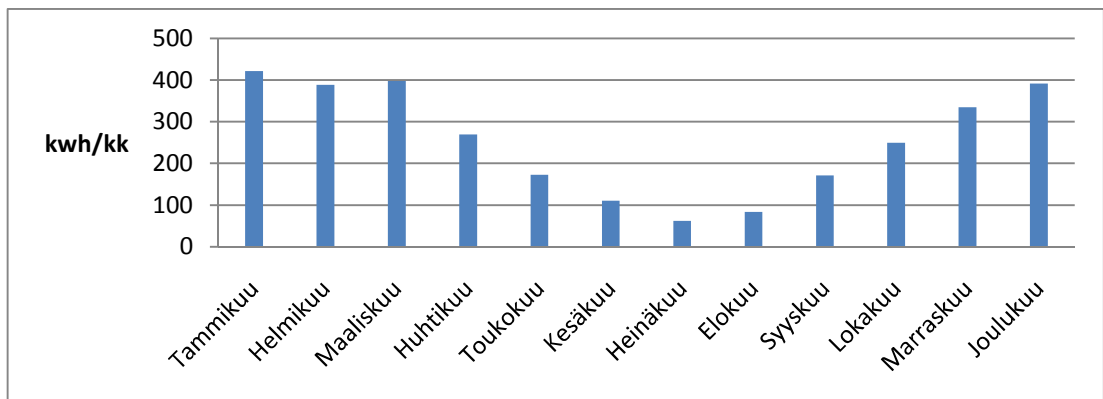
3.5 Ilmanvaihdosta talteenotettu energia

Ilmanvaihdosta lämmön talteenotto laitteen talteen ottama energia ja koko ilmanvaihdon vuosihyötysuhde voidaan laskea rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 17 ja 18. (1, s. 21.)

$$Q_{lto} = \sum \rho_i c_{pi} t_d t_v q_{v,tulo} (T_{lto} - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 17}$$

$$\eta_a = \frac{Q_{lto}}{Q_{lto} + Q_{iv} + Q_{tuloilma} + Q_{korvausilma}} \quad \text{KAAVA 18}$$

Rakennuksessa käytettiin tuloilman lämmön talteenotto laitetta ja koko ilmanvaihdon vuosihyötysuhteena käytettiin 45 %. Laskentamallin pientalon lämmön talteenoton kuukausittainen talteen ottama energia on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Lämmön talteenoton talteen ottama energia

3.6 Käyttöveden lämmityksen nettotarve

Nettoenergian määrä, joka tarvitaan lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan, ilman mahdollisia lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston aiheuttamia lämpöhäviöenergioita voidaan laskea rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 19 - 21. (1, s. 21 - 22; 3, s. 19.)

$$V_{lkv} = nV_{lkv,omin,henk}\Delta t_{vrk}/1000 \quad \text{KAAVA 19}$$

$$V_{lkv} = V_{lkv,omin}A_{netto}\Delta t_{vrk}/365/1000 \quad \text{KAAVA 20}$$

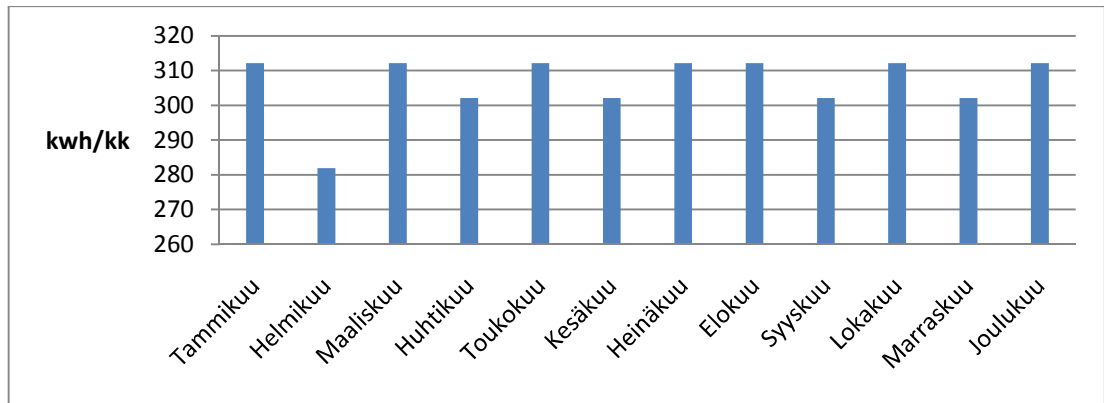
$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})/3600 \quad \text{KAAVA 21}$$

Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus henkilöä kohden lasketaan kaavalla 19. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus pinta-alaa kohden lasketaan kaavalla 20. Lämpimän käyttöveden tarvitsema nettoenergia lasketaan kaavalla 21.

Lämpimän käyttöveden kulutuksen voi laskea kaavalla 19 tai 20, jos henkilömäärä tai pinta-ala tiedetään. Lämpimän käyttöveden kulutuksen laskennassa voidaan käyttää kokonaisveden kulutusta, tällöin lämpimän käyttöveden osuus on 40 % kokonaisvedenkulutuksesta. Jos tarkempaa tietoa ei ole, voidaan lämpimän käyttöveden kulutuksena käyttää rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisia arvoja.

Laskentamallin pientalossa lämpimän käyttöveden kulutuksena käytettiin rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaista kulutusta $600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Lämpimän käyttöveden lämpötilana $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ja kylmän käyttöveden lämpötilana $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Kuvassa 7 on esitetty rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmityksen kuukausittainen nettoenergian tarve. (3, s. 21.)



KUVA 7. Käyttöveden lämmityksen nettoenergian tarve

3.7 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

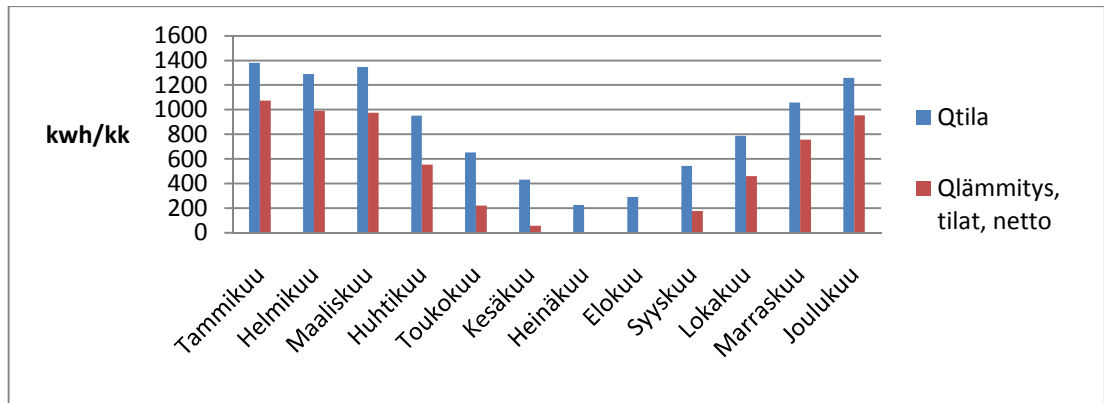
Rakennuksen tarvitseman lämmitysenergian todellinen määrä saadaan laskeamalla tilojen tarvitsema energian määrä vähentämällä sisäisten lämpökuormien tuottama lämpöenergia, joka on esitetty luvussa 5.5. Rakennuksen lämmitysenergian tarve ja nettotarve voidaan laskea rakentamismääräyskoelman osan D5 kaavoilla 22 - 23. (1, s. 15.)

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{tuloilma}} + Q_{\text{korvausilma}} \quad \text{KAAVA 22}$$

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis,lämpö}} \quad \text{KAAVA 23}$$

Rakennuksen tilojen tarvitsema lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 22. Rakennuksen tilojen tarvitsema nettoenergian tarve lasketaan kaavalla 23.

Laskentamallin pientalon tilojen kuukausittainen lämmitys- ja lämmitysnettoenergian tarve on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Rakennuksen tilojen lämmitys- ja lämmitysnettoenergian tarve

4 LAITTEIDEN JA VALAISTUKSEN SÄHKÖKULUTUS

4.1 Laitteiden sähkökulutus

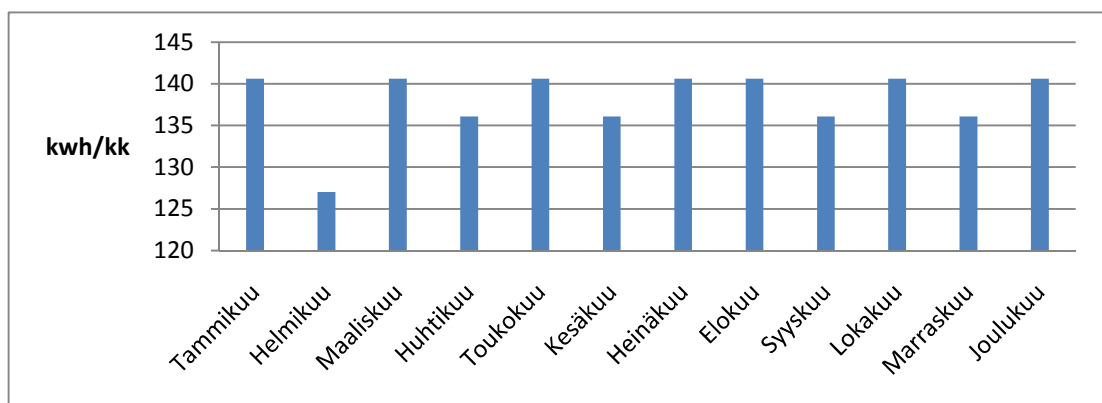
Rakennuksen laitteiden sähköenergian kulutuksella tarkoitetaan laitesähkön kulutusta, johon ei lasketa mukaan valaistuksen, ilmanvaihtojärjestelmän, ilman lämmittämiseen ja jäähdytykseen tarvittavaa sähköenergiaa. Laitteiden sähköenergian kulutus voidaan laskea laiteryhmäkohtaisesti ominaissähkönkulutuksen perusteella rakentamismääräyskokoelman osan D5 arvoja käyttäen. Laitteiden sähköenergian tarve voidaan myös määrittää rakentamismääräyskokoelman osan D3 kaavalla 24 ja muunnoskaavalla 25. (1, s. 24 - 25; 3, s. 19.)

$$Q_{laitteet} = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000} \quad \text{KAAVA 24}$$

$$W_{laitteet} = (Q_{laitteet} A_{netto}) \left(\frac{\Delta t}{8760} \right) \quad \text{KAAVA 25}$$

Laitteiden vuotuinen sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 24. Laitteiden kuukausittainen sähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 25.

Laskentamallin pientalossa käytettiin rakentamismääräyskokoelman osan D3 keskimääräisiä arvoja käyttöasteelle 0,6, sisäiselle lämpökuormalle 3 W/m² ja käyttöajalle 24 tuntia viikon jokaisena päivänä. Rakennuksen laitteiden kuukausittainen sähköenergian kulutus on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Laitteiden sähköenergian kulutus

4.2 Valaistuksen sähköenergiankulutus

Valaistuksen sähkönkulutus voidaan määrittää käyttämällä rakentamismääräyskokoelman osan D5 arvoja sekä kaavoja 26 ja 27, jos valaistusjärjestelmästä tiedetään tilakohtaiset valaistustarpeet ja valaisinratkaisut. Valaistuksen sähkönkulutus voidaan myös määrittää rakentamismääräyskokoelman osan D3 kaavalla 28 ja muunnoskaavalla 29, jos tarkempaa tietoa järjestelmästä ei ole. (1, s. 24 - 26; 3, s. 19.)

$$P_{valaistus} = \frac{1}{\beta\eta\eta_{\phi}} E_{valaistus} \quad \text{KAAVA 26}$$

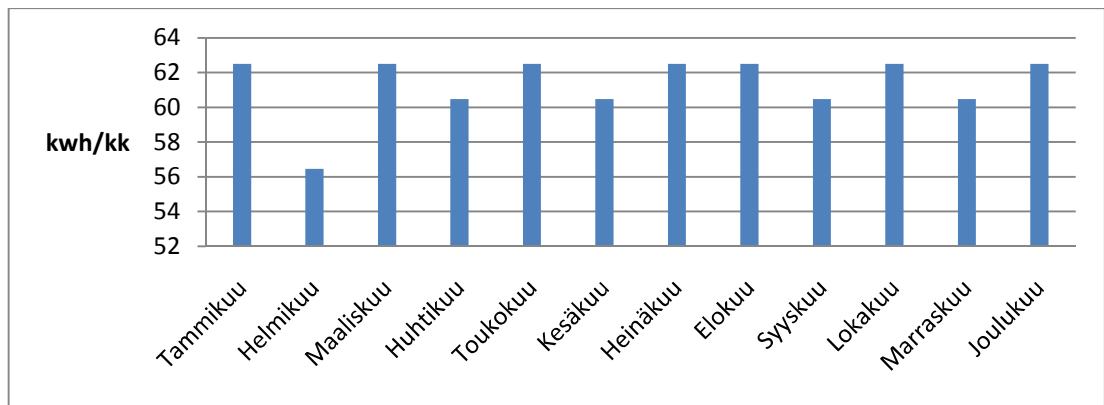
$$W_{valaistus} = \sum P_{valaistus} A_{huone} \Delta t_{valaistus} f / 1000 \quad \text{KAAVA 27}$$

$$Q_{valaistus} = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000} \quad \text{KAAVA 28}$$

$$W_{valaistus} = (Q_{valaistus} A_{netto}) \left(\frac{\Delta t}{8760} \right) \quad \text{KAAVA 29}$$

Valaistuksen kokonaisteho pinta-alayksikköä kohden lasketaan kaavalla 26. Valaistuksen vuotuinen sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 27. Valaistuksen vuotuinen sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 28. Valaistuksen kuukausittainen sähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 29.

Valaistuksen sähköenergian kulutusta laskettaessa kaavoja 26 ja 27 käytetään, kun järjestelmä tunnetaan. Kaavoja 28 ja 29, kun järjestelmää ei tiedetä. Laskentamallin pientalossa käytettiin rakentamismääräyskokoelman osan D3 keskimääräisiä arvoja lämpökuormalle 8 W/m² ja käyttöajalle 24 tuntia viikon jokaisena päivänä. Rakennuksen käyttöasteena käytettiin 0,1. Rakennuksen valaistuksen kuukausittainen sähköenergian kulutus on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Valaistuksen sähköenergian kulutus

5 LÄMPÖKUORMAT

5.1 Lämpökuorma henkilöistä

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia otetaan laskenta menetelmässä huomioon lämpökuormana ja se voidaan laskea rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 30 ja 31 tai rakentamismääräyskokoelman osan D3 kaavalla 32 ja muunnoskaavalla 33. (1, s. 27 - 28; 3, s. 19.)

$$\Delta t_{oleskelu} = \sum t_{d,henk} t_{v,henk} \Delta t \quad \text{KAAVA 30}$$

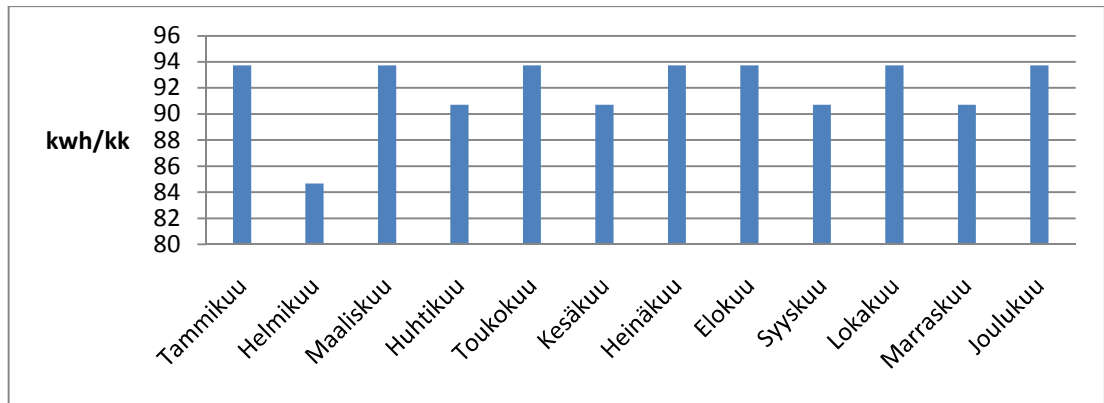
$$Q_{henk} = kn\phi_{henk}\Delta t_{oleskelu}/1000 \quad \text{KAAVA 31}$$

$$Q_{henk} = kP \frac{\tau_d}{24} \frac{\tau_w}{7} \frac{8760}{1000} \quad \text{KAAVA 32}$$

$$Q_{henk} = (Q_{henk} A_{netto}) \left(\frac{\Delta t}{8760} \right) \quad \text{KAAVA 33}$$

Henkilöiden oleskeluaika rakennuksessa lasketaan kaavalla 30. Henkilöiden luovuttama lämpöenergia lasketaan kaavalla 31. Henkilöiden luovuttama vuotuinen lämpöenergia lasketaan kaavalla 32. Henkilöiden luovuttama kuukausittainen lämpöenergia voidaan laskea kaavalla 33.

Kaavoja 30 ja 31 käytetään, kun tiedetään henkilöiden tarkat oleskeluajat rakennuksessa ja lämpötehon luovutus. Kaavoja 32 ja 33 käytetään, kun ei tiedetä edellä mainittuja arvoja. Laskentamallin pientalon henkilöiden lämpökuorma laskettiin rakentamismääräyskokoelman osan D3 keskimääräisillä käyttöasteen 0,6, lämpötehon 2 W/m^2 ja oleskeluajan arvoilla 24 tuntia viikon jokaisena päivänä. Laskuissa ei otettu huomioon kosteuteen sitoutunutta lämpöä. Kuvassa 11 on esitetty henkilöiden rakennukseen luovuttama lämpöenergia kuukaudessa.



KUVA 11. Henkilöiden luovuttama lämpöenergia

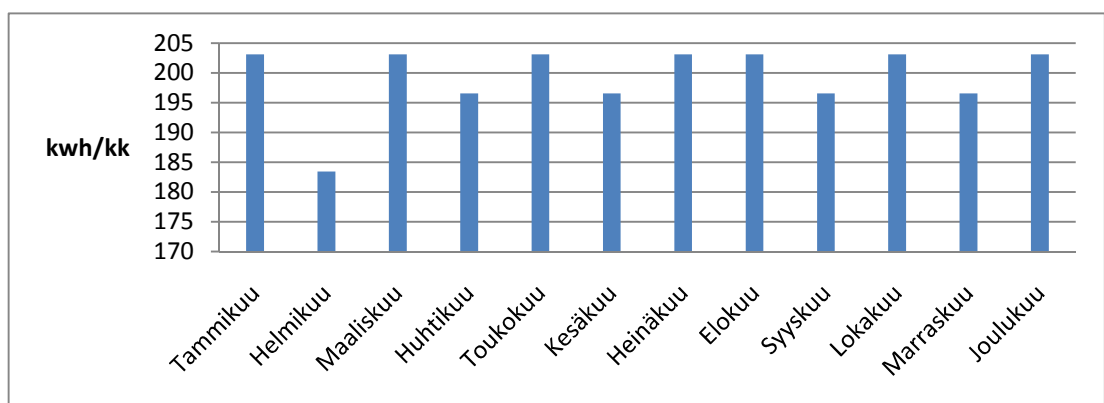
5.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma

Rakennuksen sisäisiin lämpökuormiin sisältyy henkilöiden lisäksi myös valaistuksen ja sähkölaitteiden tuottama lämpöenergia. Rakentamismääräyskoelman osan D5 mukaan energiantarpeen laskennassa voidaan olettaa valaistuksen ja laitteiden sähköenergian kulutuksen tulevan kokonaisuudessaan lämpökuormaksi rakennukseen ja se voidaan laskea kaavalla 34. (1, s. 28.)

$$Q_{säh} = W_{valaistus} + W_{laitteet}$$

KAAVA 34

Laskentamallin pientalon valaistuksen ja laitteiden tuottama sähköenergiasta muodostuva kuukausittainen lämpökuorma on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Rakennuksen valaistuksen ja sähkölaitteiden tuottama lämpöenergia

5.3 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia

Rakennuksen sisäisiin lämpökuormiin otetaan mukaan ikkunoiden läpi suoraan johtuva ja absorboitunut auringon valon säteilyn synnyttämä lämpöenergia. Laskennassa huomioidaan rakennuksen välittömässä läheisyydessä olevat ympäristön ja ikkunoiden ympärillä olevat yläpuoliset ja sivuvarjostukset ilmansuunnittain. Ikkunoiden karmit ja puitteet vähennetään ikkunan pinta-alasta ja laskentaan sisällytetään verhojen tuottama säteilyn läpäisyn esto kerroin.

Edellä mainittujen arvojen perusteella voidaan laskea rakentamismääräyskoelman osan D5 kaavalla 37 todellinen auringon valon säteily kerroin todelliselle ikkuna aukon pinta-alalle. Todellista säteilyn läpäisykerrointa käyttäen voidaan määrittää rakentamismääräyskoelman osan D5 kaavoilla 39 tai 40 ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia ilmansuunnittain. (1, s. 28 - 31, 64; 2, s. 43.)

$$F_{varjostus} = F_{ympäristö} F_{ylävarjostus} F_{sivuvarjostus} \quad \text{KAAVA 35}$$

$$F_{kehä} = \frac{A_{ikk,valoaukko}}{A_{ikk}} \quad \text{KAAVA 36}$$

$$F_{läpäisy} = F_{kehä} F_{verho} F_{varjostus} \quad \text{KAAVA 37}$$

$$g = 0,9 g_{kohtisuora} \quad \text{KAAVA 38}$$

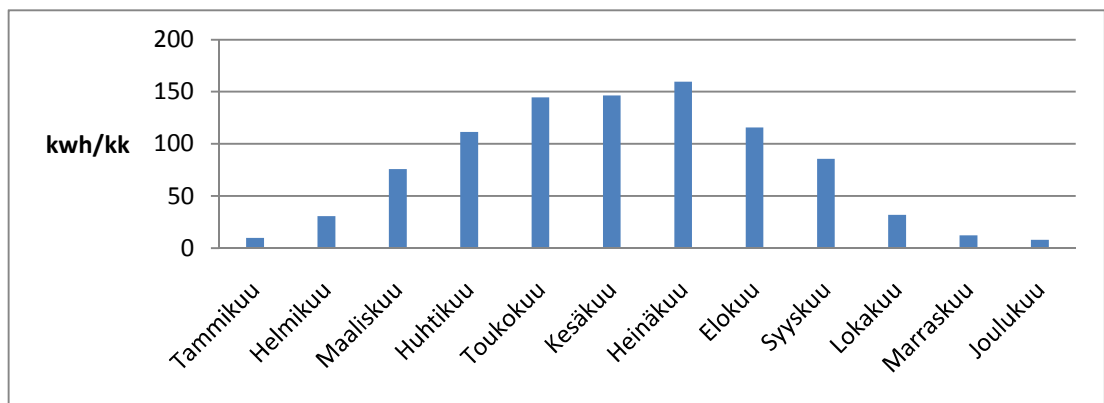
$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad \text{KAAVA 39}$$

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad \text{KAAVA 40}$$

Ympäristön, yläpuolisten ja sivuvarjostusten kerroin lasketaan kaavalla 35. Ikkuna-aukon todellisen pinta-alan kerroin lasketaan kaavalla 36. Ikkunan valoaukon auringon säteilyn läpäisykerroin lasketaan kaavalla 37. Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin lasketaan kaavalla 38.

Vaakatasolle tulevan auringon säteilyenergian perusteella auringon valon tuottama lämpöenergia ilmansuunnittain voidaan laskea kaavalla 39. Pysty-pinnoille tulevan auringon säteilyenergian perusteella auringon valon tuottama lämpöenergia ilmansuunnittain voidaan laskea kaavalla 40.

Laskentamalli pientalon auringon valon säteilyenergian lämpökuormien laskennassa kehäkertoimena käytettiin 75 % ja verho kertoimena 30 %. Varjostuksia ei otettu huomioon laskennassa ja ikkunan valoaukon auringon kohitusoran kokonaissäteilyn läpäisykertoimena käytettiin 55 %. Kuvassa 13 on esitetty ikkunoiden kautta säteilevän energian määrä kuukausitasolla.



KUVA 13. Auringon säteilyn ikkunoiden kautta johtuva lämpöenergia

5.4 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttama lämpökuorma

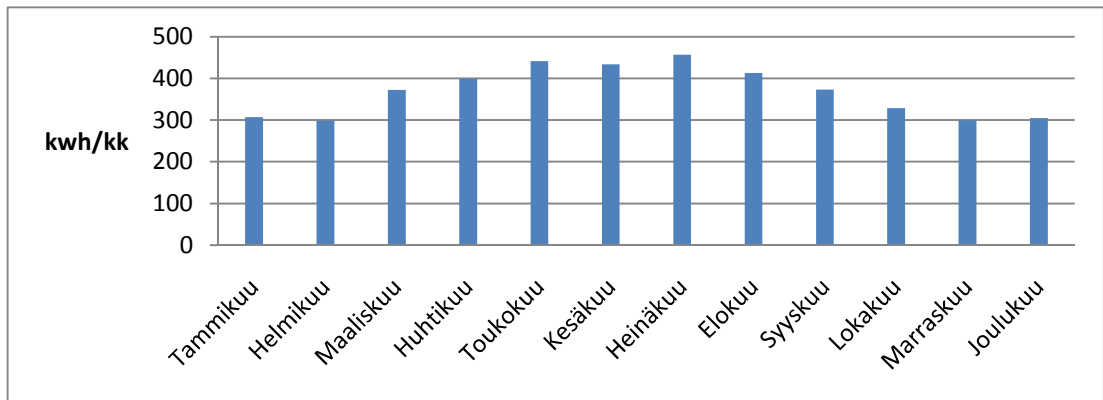
Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon ja varaajan rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia otetaan huomioon energiantarpeen laskennassa rakennuksen sisäisinä lämpökuormina. Luvussa 6.2 on esitetty kierron ja varaajan energiankulutuksen laskenta menetelmä. Lämpökuormien osuutena voidaan käyttää 50 % energiankulutuksesta. Laskentamallin pientalossa ei lämmintä käyttövettä tarvinnut kierrättää tai varastoida. (1, s. 32.)

5.5 Lämpökuormista hyödynnettävä energia

Rakennuksen sisäisillä lämpökuormilla tarkoitetaan laitteiden, valaistuksen ja ihmisten tuottamaa lämpöenergiaa, auringon säteilystä ikkunoiden kautta johtuvaa ja absorboitunutta lämpöä sekä lämpimän käyttöveden kiertojärjestelmän ja varaajan rakenteiden läpi johtuvaa lämpöä. Lämpökuormia voidaan hyödyntää laskennassa vain sillä edellytyksellä, että lämmitystarvetta esiintyy ja lämmitysjärjestelmän säätölaitteilla pystytään suoraan vähentämään muun lämmityksen tarvetta lämpökuormista saadulla energialla. Sisäiset lämpökuormat voidaan laskea rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavalla 41. (1, s. 32.)

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{säh}} + Q_{\text{henk}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv,kierto}} + Q_{\text{lkv,varastointi}} \quad \text{KAAVA 41}$$

Laskentamallin pientalon lämmitysmuotona käytettiin kaukolämpöä ja lämmitysjärjestelmään ei kuulunut lämpimän käyttöveden kiertoa ja varaajaa. Kuvassa 14 on esitetty lämpökuormista hyödynnettävä energia kuukausitasolla.



KUVA 14. Rakennuksen lämpökuormista hyödynnettävä energia

Lämpökuormista hyödynnettävä energia voidaan määrittää sisäisten lämpökuormien ja hyödyntämisasteen avulla. Hyödyntämisaste riippuu lämpökuormien ja tilojen lämpöhäviön suhteesta sekä rakennuksen aikavakiosta, joka on rakennuksen tilojen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin suhde ominaislämpöhäviöön. Hyödynnettävä energia lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 42 - 48. (1, s. 32 - 34.)

$$H = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u)\Delta t} 1000 \quad \text{KAAVA 42}$$

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H} \quad \text{KAAVA 43}$$

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}} \quad \text{KAAVA 44}$$

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad \text{KAAVA 45}$$

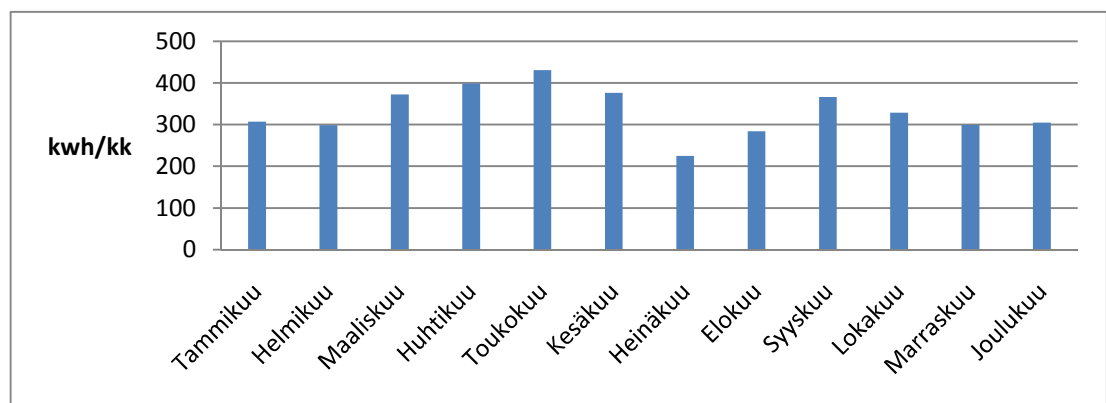
$$\eta_{lämpö} = \frac{a}{a+1} \quad \text{KAAVA 46}$$

$$\eta_{lämpö} = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad \text{KAAVA 47}$$

$$Q_{sis,lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma} \quad \text{KAAVA 48}$$

Rakennuksen ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 42. Aikavakio lasketaan kaavalla 43. Suhdeluku lasketaan kaavalla 44. Numeerinen parametri lasketaan kaavalla 45. Lämpökuormien hyödyntämisaste lasketaan kaavalla 46. Lämpökuormien hyödyntämisaste jos suhdeluku $\gamma = 1$ lasketaan kaavalla 47. Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia lasketaan kaavalla 48.

Laskentamallin pientalon tehollisena lämpökapasiteettina käytettiin 70 Wh/(m² K). Sisäisistä lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia on esitetty kuvassa 15 kuukausitasolla.



KUVA 15. Rakennuksen sisäisistä lämpökuormista hyödynnettävä energia

6 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS

6.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys

Lämmitysjärjestelmän energian kulutuksen laskenta aloitetaan määrittämällä sen apulaitteiden sähkönkulutus ja Ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden lämmitysenergian kulutus. Lämmityspattereiden energiankulutus oletetaan olevan yhtä suuri kuin ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve. Laskentaan otetaan mukaan lämmitysjärjestelmän jakeluputkien rakenteiden läpi johtuvat lämpöhäviöt lämmittämättömään tilaan. Edellä mainittujen kulutuksien ja häviöiden avulla voidaan laskea tilojen lämmityksen energiankulutus lämmönluovutuksesta lämmöntuottoon asti rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 49 - 52. (1, s 35 - 38)

$$W_{tilat} = \sum e_{tilat} A_{netto} \quad \text{KAAVA 49}$$

$$Q_{lämmitys,iv} = Q_{iv} \quad \text{KAAVA 50}$$

$$Q_{jakelu,ulos} = q_{jakeluhäviöt,ulos} L \quad \text{KAAVA 51}$$

$$Q_{lämmitys,tilat} = \frac{Q_{lämmitys,tilat,netto}}{\eta_{lämmitys,tilat}} + Q_{jakelu,ulos} \quad \text{KAAVA 52}$$

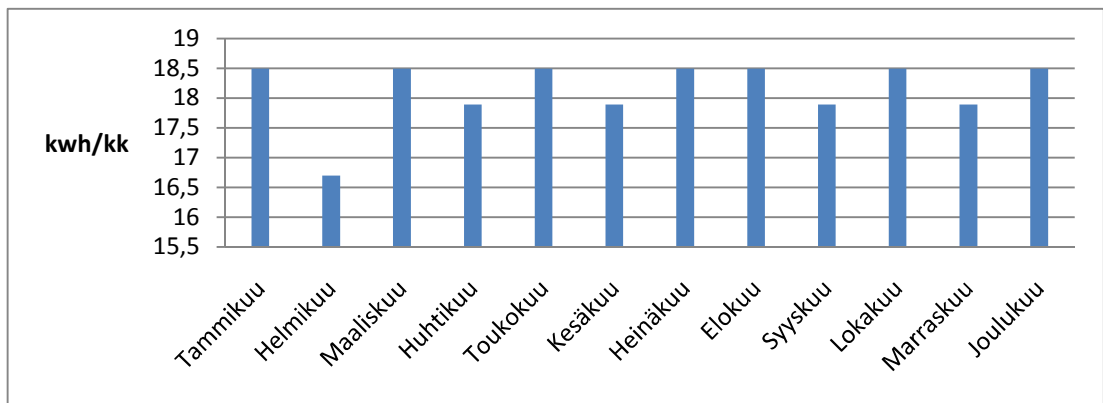
Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan kaavalla 49. Ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhde oletetaan olevan yhtä suuri kuin ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve ja sen energian kulutus lasketaan kaavalla 50. Jakelujärjestelmän lämpöhäviöt lämmittämättömiin tiloihin lasketaan kaavalla 51. Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 52.

Laskentamallin pientalossa lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus jaettiin patteri- ja lattialämmityksen kesken siten, että patterijärjestelmään sisältyi 89,7 m² ja lattialämmitysjärjestelmään 15,3 m² nettopinta-alasta. Patteriverkostona käytettiin jakotukeilla varustettuja vesiradiaattoreita ja järjestel-

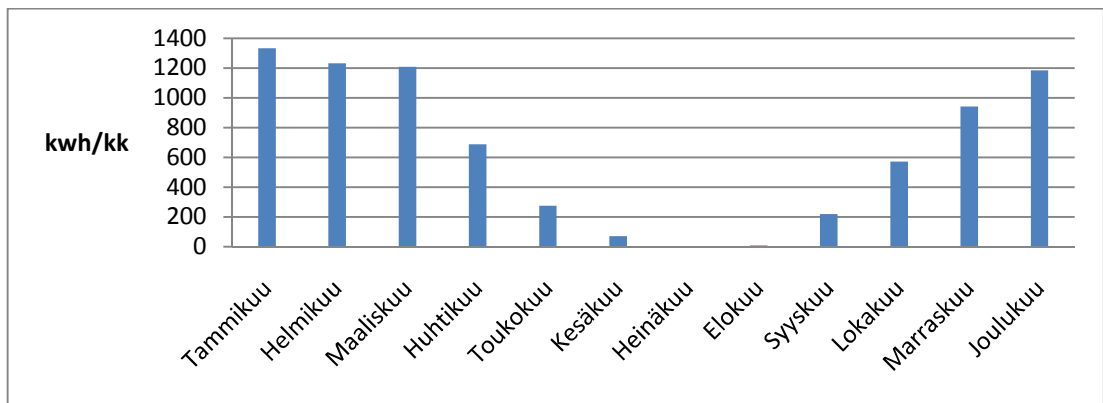
män lämpötilana käytettiin 70/40 °C. Patterijärjestelmän apulaitteiden ominaiskulutuksena käytettiin 2 kWh/(m²a) ja hyötysuhteena 80 %.

Lattialämmityksenä käytettiin maata vasten rajoittuvaa vesikiertoista järjestelmää, jonka lämpötilana käytettiin 40/30 °C. Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden ominaiskulutuksena käytettiin 2,5 kWh/(m²a) ja hyötysuhteena 84 %. Järjestelmä ei sisältänyt jakelujärjestelmän lämpöhäviöitä lämmittämättömiin tiloihin.

Kuvassa 5 on esitetty ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, jonka arvo ja voidaan suoraan käyttää lämmitysjärjestelmän ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden energiankulutuksena. Kuvassa 16 on esitetty lämmitysjärjestelmien apulaitteiden sähkönkulutus ja kuvassa 17 tilojen lämmitysenergian tarve kuukausitasolla.



KUVA 16. Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus



KUVA 17. Tilojen lämmitysenergian tarve

6.2 Lämpimän käyttöveden lämmitys

Lämpimän käyttöveden energiantarpeen laskenta aloitetaan laskemalla kiertopumpun sähkönkulutus ja määrittämällä kiertojohdon aiheuttamat lämpöhäviöt. Lopuksi lasketaan nettoenergian tarve, joka tarvitaan lämpimän käyttöveden varastointiin ja lämmittämiseen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan sekä kuljettamiseen lämmöntuotosta vesipisteille asti. Rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 53 - 55. (1, s. 38- 41.)

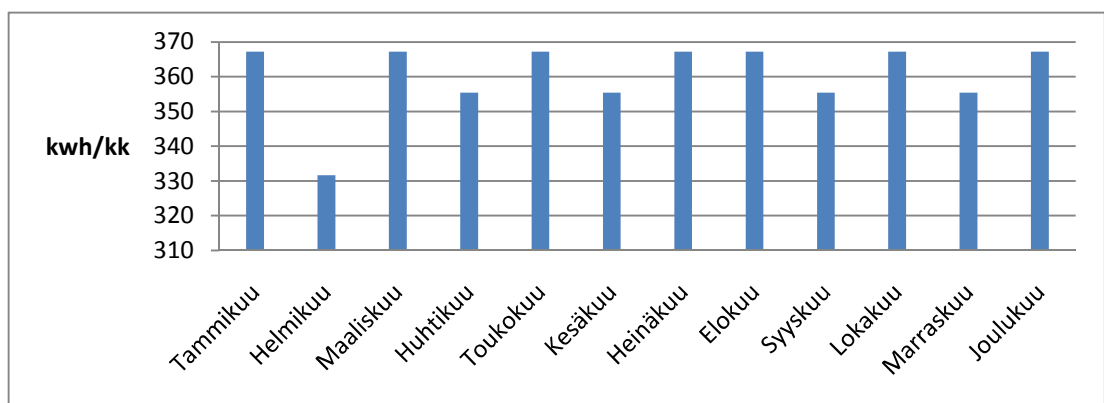
$$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} t_{lkv} \frac{365}{1000} \quad \text{KAAVA 53}$$

$$Q_{lkv,kierto} = \frac{W_{lkv,kierto}}{1000} L_{lkv} t_{lkv} 365 + W_{lkv,lämmitys} n_{lämmityslaitte} \quad \text{KAAVA 54}$$

$$Q_{lämmitys,lv} = \frac{Q_{lkv,netto}}{\eta_{lkv}} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto} \quad \text{KAAVA 55}$$

Lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähkönkulutus lasketaan kaavalla 53. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöenergia lasketaan kaavalla 54. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen, siirtämiseen, kierrättämiseen ja varastointiin kuluva lämpöhäviöenergia lasketaan kaavalla 55.

Laskentamallin pientalossa ei lämmintä käyttövettä tarvinnut kierrättää tai varastoida. Lämpimän käyttöveden siirto lämmöntuotosta vesipisteille tapahtui suojaputkissa, joiden hyötysuhde oli 85 %. Kuvassa 18 on esitetty lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarve kuukausitasolla.



KUVA 18. Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarve

6.3 Varaava tulisija

Rakennuksen varaava tulisija voidaan laskea lämmitysjärjestelmän energiantarpeeseen mukaan vähentävänä tekijänä. Tulisijan tuottamaksi lämmitysenergiaksi voidaan enintään käyttää 2 000 kwh vuodessa. Tulisijan energian vuosihyötysuhteena voidaan käyttää 60 %, jos tarkempia tietoja ei ole käytettävissä ja se lasketaan kaavalla 56. (1, s 42; 3, s. 22.)

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

KAAVA 56

6.4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

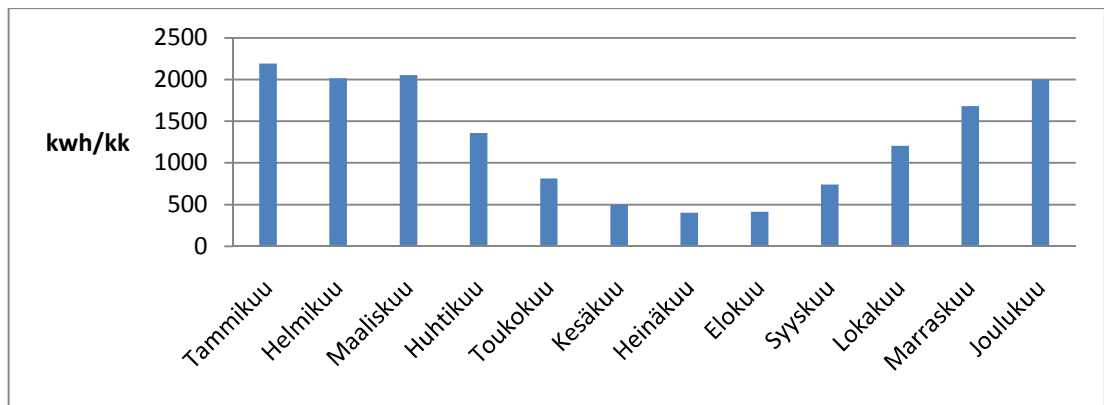
Lämmitysjärjestelmän energiankulutus koostuu järjestelmien lämmitysenergian ja sähköenergian kulutuksesta, jotka lasketaan erikseen. Jos osa lämmityksestä on toteutettu sähkölämmityksellä, lasketaan se erikseen ja esitetään se sähköenergian kulutuksen yhteydessä. Lämmitys- ja sähköenergian laskennassa ei oteta huomioon lämpöpumpuilla tuotettua lämmitys- ja sen kuluttamaa sähköenergiaa.

Lämmitysenergiankulutuksen laskemisessa otetaan huomioon tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen kuluttama energia, josta vähennetään varaavien tulisijojen ja käyttöveden aurinkokeräimellä lämmittämisestä saatu energia. Sähköenergian laskennassa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmien, lämpimän käyttöveden siirron ja aurinkokeräimen kuluttama sähköenergia. Lämmitysenergia voidaan laskea rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräyksien ja D5 kaavalla 57. (1, s. 41 - 42.)

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{tulisija}} - Q_{\text{aurinko}}}{\eta_{\text{tuotto}}}$$

KAAVA 57

Laskentamallin pientalossa ei käytetty aurinkokeräintä eikä tulisijan tuottamaa lämpöenergiaa otettu laskuissa huomioon. Lämmitysenergian tuoton vuosihyötysuhteena käytettiin 94 % . Lämmitysjärjestelmän kuukausittainen nettoenergian tarve on esitetty kuvassa 19.



Kuva19. Lämmitysenergian tarve

7 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS

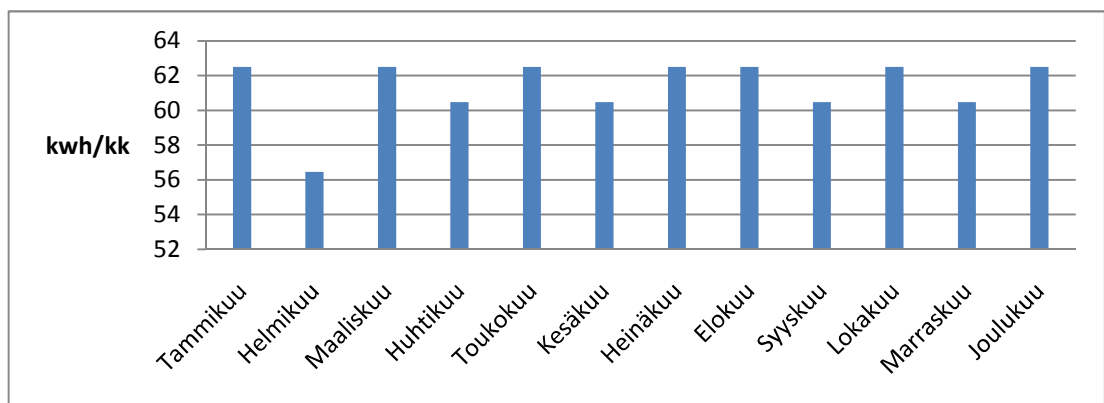
Ilmanvaihtokoneiden ja puhaltimien tarvitsema sähköenergian kulutus voidaan laskea määrittämällä puhaltimien lämpötilaa nostava vaikutus ilmastointiin ja laskemalla ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehot konekohtaisesti. Rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 58 ja 59. (1, s. 50.)

$$P_{es} = \frac{P_e}{q_{v,puhallin}} \quad \text{KAAVA 58}$$

$$W_{ilmanvaihto} = \sum P_{es} q_{v,puhallin} \Delta t_{iv} \quad \text{KAAVA 59}$$

Ilmanvaihtokoneen tarvitsema ominaissähköteho konekohtaisesti lasketaan kaavalla 58. Ilmanvaihtokoneen tai puhaltimien sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 59.

Mallilaskennan pientalossa käytettiin ilmanvaihtokonetta, jossa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ja ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehona käytettiin 2 KW/(m³/s). Koneen sähköenergiankulutus on esitetty kuvassa 20 kuukausitasolla.



KUVA 20. Ilmanvaihtokoneen sähköenergiankulutus

8 RAKENNUKSEN OSTOENERGIAN KULUTUS JA ENERGIALUKU

8.1 Rakennuksen ostoenergian kulutus

Rakennuksen netto-ostoenergiankulutusta laskettaessa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräyksissä esitettyä ulkoilman säätietoja, sisäilmaston olosuhteita, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikoja sekä sisäisten lämpökuormien rakennuksen standardi käyttöön tarkoitettuja lähtöarvoja. Muut tarvittavat lähtötiedot otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. (3, s. 8 - 9.)

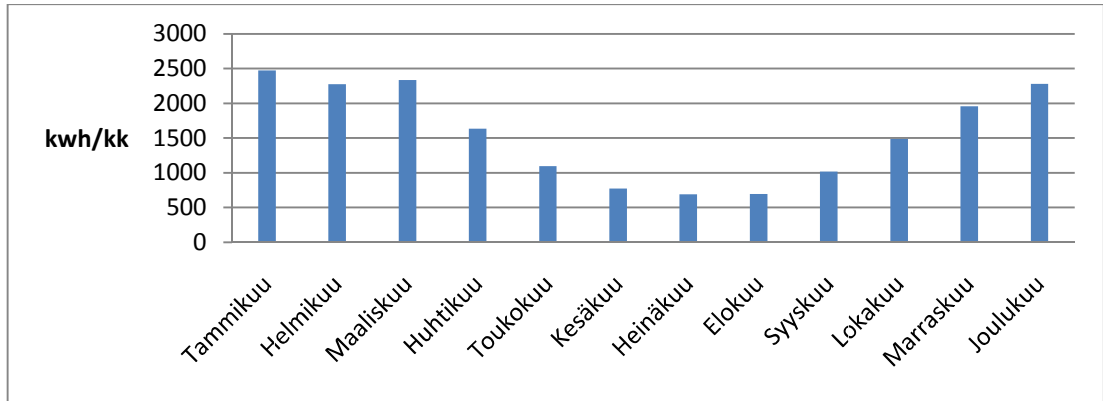
Rakennuksen ostoenergiankulutus koostuu lämmityksen, ilmanvaihdon, jäähdytysjärjestelmien, sähkölaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä, joista on vähennetty paikallisesti tuotettu energia. Ostoenergiankulutus lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavalla 60. (1, s. 13)

$$E_{osto} = Q_{lämmitys} + W_{lämmitys} + W_{ilmanvaihto} + Q_{jäähdytys} +$$

$$W_{jäähdytys} + W_{laitteet} + W_{valaistus}$$

KAAVA 60

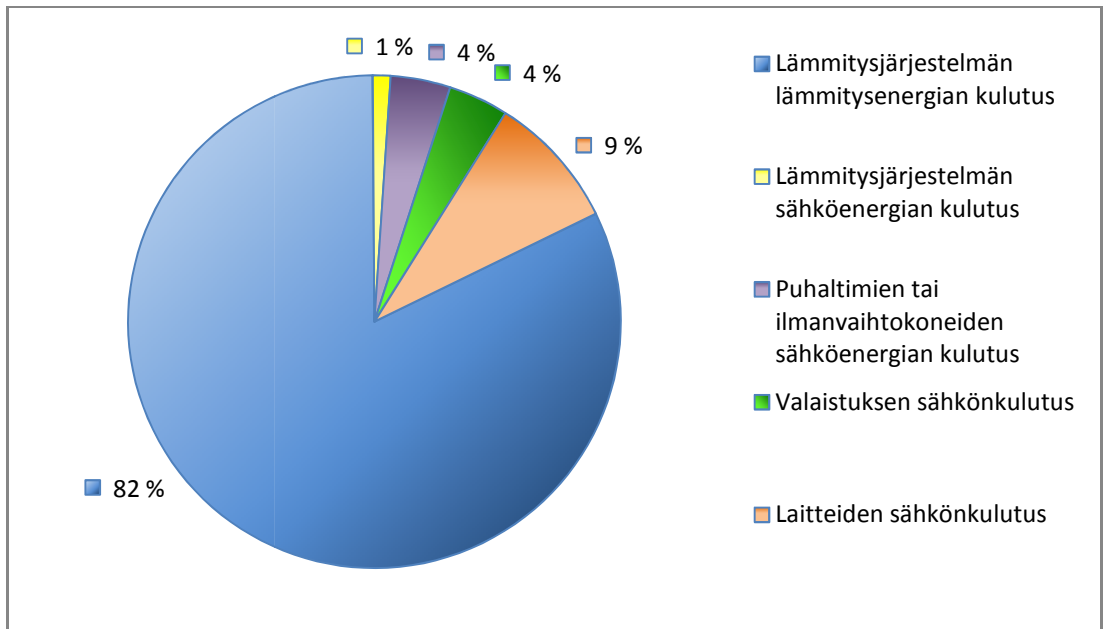
Mallilaskennan pientalossa ei määräysten mukaan tarvinnut käyttää jäähdytystä. Rakennuksen ostoenergian kulutus kuukausitasolla on esitetty kuvassa 21. Rakennuksen vuotuiset ostoenergiankulutukset järjestelmäkohtaisesti on esitetty taulukossa 2 ja kuvassa 22.



KUVA 21. Rakennuksen ostoenergiankulutus

TAULUKKO 2. Rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus

Rakennuksen ostoenergian kulutus:	
Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus	15368,56 kwh/a
Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus	217,65 kwh/a
Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus	735,84 kwh/a
Valaistuksen sähkönkulutus	735,84 kwh/a
Laitteiden sähkönkulutus	1655,64 kwh/a
Yht.	18713,53 kwh/a



KUVA 22. Rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus diagrammi

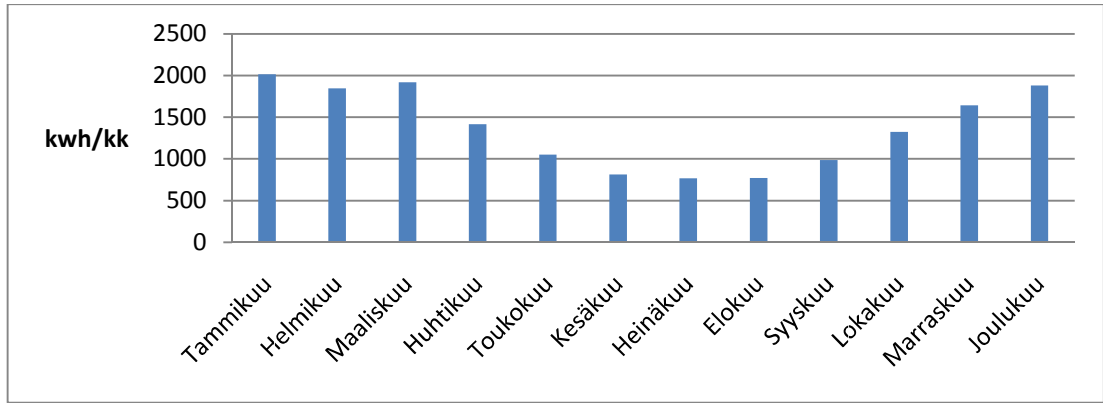
8.2 Rakennuksen E-luku

Uudisrakennuksille on laskettava kokonaisenergian kulutus eli E-luku. E-luku on painotettujen energiamuotojen kertoimilla laskettu rakennuksen vuotuinen netto-ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä netto pinta-alaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen netto-ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulo energiamuodoittain. Uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää rakentamismääräyskokoelman osan D3 rakennustyyppin mukaista maksimi arvoa. Suurin sallittu energialuku nettopinta-alaltaan pienemmälle kuin 120 m² rakennukselle on 204 kWh/m²a. (3, s. 9.)

Rakennuksen netto-ostoenergiankulutus koostuu lämmityksen, ilmanvaihdon, jäähdytysjärjestelmien, sähkölaitteiden ja valaistuksen nettoenergiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä, joista on vähennetty paikallisesti tuotettu energia ja kerrottu painotetuilla kertoimilla. E-luku lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavalla 61. (1, s. 14.)

$$E = f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{netto-kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} Q_{\text{netto-kaukojäähdytys}} + \sum_i f_{\text{polttoaine}} Q_{\text{polttoaine}} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{netto-verkkosähkö}} \quad \text{KAAVA 61}$$

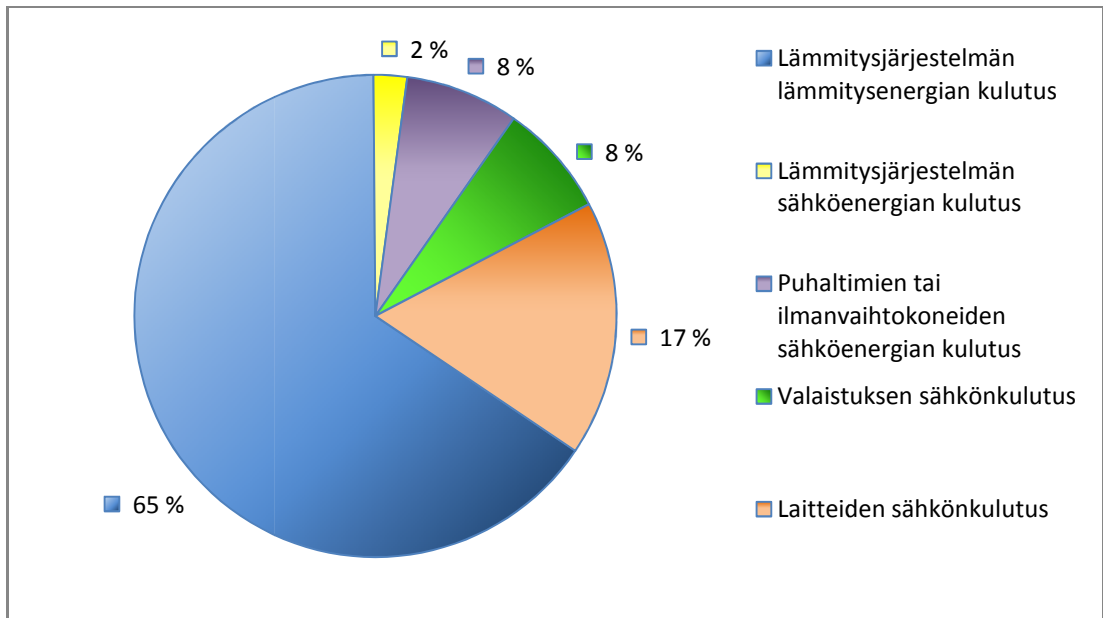
Mallilaskennan pientalossa ei määräysten mukaan tarvinnut käyttää jäähdytystä. Painotettuina energiakertoimina käytettiin kaukolämmölle 0,7 ja sähkölle 1,7. Rakennuksen netto-ostoenergian kulutus kuukausitasolla on esitetty kuvassa 23. Rakennuksen vuotuiset netto-ostoenergian kulutukset järjestelmä-kohtaisesti on esitetty taulukossa 3 ja kuvassa 24. Taulukossa 4 on esitetty mallirakennuksen määräysten mukainen maksimi E-luvun arvo ja saatu E-luku.



KUVA 23. Rakennuksen energiankulutus

TAULUKKO 3. Rakennuksen energiankulutus

Rakennuksen Energiankulutus:	
Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus	10757,99 kwh/a
Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus	370,01 kwh/a
Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus	1250,93 kwh/a
Valaistuksen sähkönkulutus	1250,93 kwh/a
Laitteiden sähkönkulutus	2814,59 kwh/a
Yht.	16444,44 kwh/a



KUVA 24 Rakennuksen energiankulutus

TAULUKKO 4. Rakennuksen energialuku

<u>Rakennuksen E-luku:</u>	
Suurin sallittu E-luku	204,00 kwh/m ² a
Rakennuksen E-luku	156,61 kwh/m ² a

9 YHTEENVETO

Rakentamismääräyskokoelma on uudistumassa vuonna 2012. Muutoksen kohteena on erityisesti rakennusten energiatehokkuuden laskentaan käytetyt kokoelman osat D3 ja D5. Työn tavoitteena oli tutkia, täyttääkö kaukolämmitetty pientalo vuonna 2012 voimaan astuvien rakentamismääräyskokoelmien muuttuneet ohjeet ja määräykset.

Työ aloitettiin tekemällä Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskentamalli, jolla saatiin laskettua kyseisen pientalon energialuku. Esimerkkipientalon laskennassa käytettiin ainoastaan vertailuarvoja, joilla saatiin energialuku, joka oli huomattavasti pienempi kuin suurin sallittu arvo. Mallilaskennassa käytetyn kaukolämpöipientalon vuotuiseksi ostoenergian tarpeeksi saatiin 178,22 kWh/m²a, josta kaukolämpöenergian osuutena oli n. 82 % ja sähkön 18 %. Sähköä käytettiin vain laitteiden, valaistuksen, lämmitysjärjestelmien apulaitteiden ja ilmanvaihtokoneen toimintaan. Rakennuksen energialuvuksi saatiin 156,61 kWh/m²a ja suurin sallittu energialuku kyseiselle talolle on 204,00 kWh/m²a. Energialuvusta painotettujen energiakertoimien jälkeen kaukolämpöenergian osuutena oli 101,80 kWh/a eli n. 65 %. Sähkön osuutena oli 54,81 kWh/a eli n. 35 %.

Saaduista arvoista voidaan päätellä, että uusiutuvat energiamääräykset näyttävät suosivan ympäristöystävällisempiä ja edullisempia lämmitysenergiamuotoja eli uusiutuvia polttoaineita ja kaukolämpöä. Myös maalämpöpumppujen käyttö varsinaiseen lämmitykseen tai toisen lämmitysjärjestelmän rinnalla on kasvanut viimevuosien aikana, kuten myös Ilmalämpöpumppujen käyttö vähentämään lämmitysenergian tarvetta varsinkin syksyisin ja keväisin pientaloissa ja toimistoissa. Sähkön ja fossiilisten polttoaineiden käyttäminen pääasiallisena lämmitysmuotona on erittäin epätodennäköistä tulevaisuudessa niiden korkeiden painotettujen energiakertoimien takia.

LÄHTEET

1. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. (luonnos 28.9.2011)
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007.
3. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012.

