

Tommi Tiimonen

Asuinkerrostalon E-lukuvvertailu

Opinnäytetyö
Talotekniikan ko.


Marraskuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

| | | |
|---|--|-------------------|
|  <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p> | <p>Opinnäytetyön päivämäärä</p> <p>4.11.2013</p> | |
| <p>Tekijä(t) Tommi Tiimonen</p> | <p>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</p> <p>Talotekniikka</p> | |
| <p>Nimeke</p> <p>Asuinkerrostalon E-lukuvertailu</p> | | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin kaukolämmöllä lämmitettävän asuinkerrostalon E-lukuun ja ostoenergiaan vaikuttavia tekijöitä erilaisilla taloteknisillä ja rakenteellisilla ratkaisuilla. Opinnäytetyössä tutkittiin myös erilaisten ratkaisujen vaikutusta kesäajan huonelämpötiloihin. Työn tavoitteena oli selvittää vaikuttavimmat rakennetekniset ja talotekniset tekijät asuinkerrostalon E-lukuun ja ostoenergiaan sekä kartoittaa tehokkaimpia ylläpölyä ehkäiseviä keinoja.</p> <p>Erilaisten taloteknisten laitteistojen ja rakenteiden vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan vertailtiin kuukausitason laskentamenetelmänä käyttäen selainpohjaista laskentapalvelut.fi- ohjelmistoa ja Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Työssä tutkittiin eri taloteknisten ja rakenneteknisten ratkaisujen vaikutusta kesäajan huonelämpötiloihin käyttäen IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmaa.</p> <p>E-lukuun ja ostoenergiaan vaikuttavimmiksi tekijöiksi ilmenivät tarkasteltavan asuinkerrostalon osalta niin talotekniset järjestelmät kuin rakenteelliset seikat. Suurin merkitys asuinkerrostalon E-lukuun ja ostoenergiaan vaikuttivat ilmanvaihdon sekä lämpimän käyttöveden kiertojohdon toteutus. Kesäajan huonelämpötiloihin pystyttiin vaikuttamaan parhaiten erilaisilla aurinkosuojauskeinoilla, kuten kaihtimilla ja markiiseilla.</p> <p>E-luvun ja ostoenergian kannalta tulee kiinnittää huomiota siihen, kuinka talotekniikka toteutetaan, koska suuri osa energiasta kuluu taloteknisiin järjestelmiin. Rakennettaessa nykymääräyksien mukaisia rakennuksia rakenteiden lämmönläpäisykertoimilla ei ole niin suurta merkitystä energiankulutukseen kuin taloteknisellä toteutuksella on. Tehokkaimmin kesäajan huonelämpötiloihin voidaan vaikuttaa erilaisin aurinkosuojauskeinoin, kuten markiisein, huonontamatta kuitenkaan sisäolosuhteita.</p> | | |
| <p>Asiasanat (avainsanat)</p> <p>Energiatehokkuus, uudisrakentaminen, LVI-suunnittelu, aurinkosuojaus, energiansäästö</p> | | |
| <p>Sivumäärä</p> <p>57+13</p> | <p>Kieli</p> <p>Suomi</p> | <p>URN</p> |
| <p>Huomautus (huomautukset liitteistä)</p> | | |
| <p>Ohjaavan opettajan nimi</p> <p>Räisä Jukka</p> | <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja</p> <p>Insinööritoimisto Vesitaito Oy</p> | |

DESCRIPTION

| | | |
|---|---|---|
|  <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p> | | Date of the bachelor's thesis 4.11.2013 |
| Author(s) Tommi Tiimonen | Degree programme and option Building Services Engineering | |
| Name of the bachelor's thesis E-number comparison in block of flats | | |
| Abstract <p>This bachelor thesis handles how different Building service factors and structural factors affect to E-number and purchase of energy in district heated blocks. This bachelor thesis views also how different solutions affect summertime room temperatures. In the end of this bachelor thesis we should know the main factors which affect the most in the E-number and the purchase of energy which are the main things to prevent overheating in summertime.</p> <p>I compared different building services and structural factors by using web based laskentapalvelut.fi- program and Microsoft Excel calculation program. Overheating simulation is made with IDA Indoor Climate and Energy program.</p> <p>The factors that affected apartment buildings the most in terms of the E-number and the purchase of energy were the houses technical systems than the structural factors. The single biggest factors to the E-number and the purchase of energy were on how the ventilation and the warm water cycle rotation were being established. Summertime room temperatures could be influenced the most by utilizing products that protect from the sun, such as blinds and awnings.</p> <p>When evaluating E-numbers and energy purchase it is essential to notice how the house technical factors are being established, this is because a large part of the energy is being consumed by them. When building current regulatory buildings the thermal transmittance factors don't hold such a big effect as the house technical implementations.</p> | | |
| Subject headings, (keywords) Energy efficiency, new construction, HVAC-design, sun protection, energy saving | | |
| Pages 57+13 | Language Finnish | URN |
| Remarks, notes on appendices | | |
| Tutor Räisä Jukka | Bachelor's thesis assigned by Insinööritoimisto Vesitaito Oy | |

SISÄLTÖ

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | E-LUKU JA TODELLINEN OSTOENERGIA | 2 |
| 3 | KOHTEEN TIEDOT | 2 |
| 3.1 | Säätiedot ja käyttötarkoitusluokka..... | 2 |
| 3.2 | Pinta-alat, tilavuudet, rakenteet ja kylmäsiljat..... | 3 |
| 3.3 | Lämmitys- ja jäähdytysmuodot | 5 |
| 3.4 | Ilmanvaihto ja vuotoilma | 5 |
| 3.5 | Käyttö- ja käyntiajat | 6 |
| 3.6 | Laskentamenetelmät | 6 |
| 4 | LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE..... | 6 |
| 4.1 | Rakenteiden läpi johtuva lämmitysenergia..... | 6 |
| 4.2 | Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergiatarve | 9 |
| 4.3 | Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve | 10 |
| 4.4 | Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian nettotarve | 12 |
| 4.5 | Ilmanvaihdosta talteenotettu energia | 14 |
| 4.6 | Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve..... | 14 |
| 4.7 | Tilojen lämmitysenergian nettotarve | 15 |
| 5 | LAITTEIDEN JA VALAISTUKSEN SÄHKÖNKULUTUS | 17 |
| 5.1 | Laitteiden sähköenergiankulutus | 17 |
| 5.2 | Valaistuksen sähköenergiankulutus..... | 17 |
| 6 | LÄMPÖKUORMAT..... | 18 |
| 6.1 | Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia..... | 21 |
| 6.2 | Lämpökuormien hyödyntämisaste..... | 22 |
| 7 | LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS | 24 |
| 7.1 | Tilojen ja ilmanvaihdon lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergiatarve... 24 | |
| 7.2 | Lämpimän käyttöveden energiantarve..... | 26 |
| 7.3 | Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian ja sähköenergiankulutus | 27 |
| 8 | ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS | 28 |
| 9 | ASUINKERROSTALON E-LUKU JA OSTOENERGIA | 29 |
| 9.1 | Ostoenergia | 29 |

| | | |
|--------|---|----|
| 9.2 | E-luku | 30 |
| 10 | E-LUKUUN JA OSTOENERGIAAN VAIKUTTAVIMMAT TEKIJÄT..... | 31 |
| 10.1 | Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan | 31 |
| 10.2 | Ilmanvuotoluvun vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan | 33 |
| 10.3 | Rakenteiden vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan..... | 34 |
| 10.3.1 | Alapohja..... | 34 |
| 10.3.2 | Yläpohja..... | 35 |
| 10.3.3 | Ulkoseinät | 36 |
| 10.3.4 | Ikkunat | 37 |
| 10.4 | Lämpimän käyttöveden kiertojohto | 39 |
| 10.5 | Yhteenvedo | 42 |
| 11 | ASUINKERROSTALON KESÄAJAN HUONELÄMPÖTILATARKASTELU | 42 |
| 11.1 | Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen..... | 43 |
| 11.2 | Vertailuratkaisun simulointi IDA ICE -simulointiohjelmalla | 44 |
| 11.3 | Astetuntivertailu | 47 |
| 11.3.1 | Ikkunoiden g-arvo..... | 47 |
| 11.3.2 | Kaihtimet..... | 48 |
| 11.3.3 | Markkiisit..... | 49 |
| 11.3.4 | Valaistus..... | 50 |
| 11.3.5 | Ilmanvaihto | 51 |
| 11.3.6 | Ovien aukiolo..... | 52 |
| 11.4 | Yhteenvedo | 53 |
| 12 | JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 55 |
| | LIITTEET | |
| | 1 Vertailuratkaisun E-luku ja ostoenergia printscreenit | |
| | 2 Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset | |

1 JOHDANTO

Suomen rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuusmääräykset uudistuivat heinäkuun 1. päivä 2012, minkä seurauksena uudisrakentamisen lähtökohdat muuttuivat [3]. Rakentamismääräysten uudistuminen on osa energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa, joilla pyritään energiatehokkuuden parantamiseen rakennuksissa kuitenkin huonontamatta sisäilmaolosuhteita [6]. Uudisrakentamisessa siirryttiin kuvaamaan rakennuksen kokonaisenergian kulutusta E-luvulla. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osien C4, D2 ja D3 sekä D5 avulla. Kokonaisenergiatarkastelussa käytetty E-luku ja sen raja-arvot määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituksen sekä pientalojen osalta myös pinta-alan mukaan [2, s.9].

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kaukolämmöllä lämmitettävän asuinkerrostalon E-lukuun ja ostoenergiaan vaikuttavia tekijöitä erilaisilla taloteknisillä ja rakenteellisilla ratkaisulla. Tässä työssä tarkastellaan myös erilaisten ratkaisujen vaikutusta kesäajan huonelämpötiloihin. Työn tavoitteena on selvittää vaikuttavimmat rakennetekniset ja talotekniset tekijät asuinkerrostalon E-lukuun ja ostoenergiaan sekä kartoittaa tehokkaimpia yllälämpenemistä ehkäiseviä keinoja passiivisin menetelmin.

Tarkasteltavana kohteena on lämmitetyltä nettoalaltaan 5219 m²:n asuinkerrostalo. Erilaisten taloteknisten laitteistojen ja rakenteiden vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan vertaillaan kuukausitason laskentamenetelmänä käyttäen selainpohjaista laskentapalvelut.fi-ohjelmistoa sekä Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Eri ratkaisujen vaikutusta verrataan rakennuksesta mallinnettuun vertailuratkaisuun. Tämä malli toimii eri variaatioiden vertailupohjana, johon vertaillaan eri taloteknisten tai rakennusteknisten muutoksien vaikutusta E-lukuun, todelliseen ostoenergiaan ja kesäajan huonelämpötiloihin. Työssä tarkastellaan tehokkaimpia yllälämpenemistä ehkäiseviä keinoja IDA-ICE simulointiohjelman avulla. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii tamperelainen insinööritoimisto Vesitaito Oy.

2 E-LUKU JA TODELLINEN OSTOENERGIA

E-luvulla tarkoitetaan energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista laskennallista kulutusta, joka on laskettu lämmitettyä nettoalaa kohden [3, s. 4]. E-luku lasketaan erikseen jokaiselle rakennukselle tai rakennuksen käyttötarkoitukseluokien mukaisille osille. Käyttötarkoitukseluokat eri rakennuksille löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3 [2]. Asuinkerrostaloille tämä raja-arvon on 130 kWh/m²a [2, s. 9]. Ostoenergia lasketaan rakennuksen käyttötarkoitukseluokan standardikäytöllä rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan. Rakennuksen E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodittain [2, s. 8]. Rakennuksen E-luku ja ostoenergiankulutus lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5, SFS-EN- standardien tai muiden yksityiskohtaisempien laskentamenetelmien mukaan ottaen huomioon rakennuksen suunniteltu käyttö ja sijainti. Rakennuksen ostoenergiankulutus koostuu lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien, sekä järjestelmien apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodittain eriteltynä [2, s. 6].

3 KOHTEEN TIEDOT

3.1 Säättiedot ja käyttötarkoitukseluokka

Kohde johon laskenta tehdään Lakea Oy:n rakennuttamaa uudiskohde. E-luvun ja ostoenergian määrittämiseen on käytetty säävyöhykettä 1, Helsinki – Vantaan kuukausittaista ulkoilman lämpötiloja ja auringon kokonaissäteilyenergian arvoja pystypinnoille [3, s. 30]. Kohde on asuinkerrostalo, mikä määrittää sille suurimman sallitun E-luvun. Ryhmässä 2 asuinkerrostalot suurin sallittu energiatehokkuusluku on 130 kWh/m²a. [2.] E-lukulaskenta tehdään aina säävyöhykkeen 1 tiedoilla, vaikka rakennuksen todellinen rakennuspaikkakunta olisikin muualla [2, s. 18].

3.2 Pinta-alat, tilavuudet, rakenteet ja kylmäsiilat

Asuinkerrostalossa on viisi kerrosta, joista asuinhuoneistot ovat jakautuneet neljään kerrokseen ja kolmeen rappuun. Yksi kerros on osittain maan alla toimien pääasiassa varastotiloina. Asuntoja kohteessa on yhteensä 89 kpl, joista alle 40 m² on 20 kpl, 40–50 m² 41 kpl ja 50–60 m² 21 kpl, sekä sitä suurempia seitsemän kappaletta.

Kerrostalon lämmitysenergiantarpeen laadinnassa tarvittavat eri rakenneosien pinta-alat määritellään kokonaissisämittojen mukaan. Lämmitetty nettoala on lämmitettyjen kerroksien ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettu alojen summa, vähentäen aukot kerroksien välillä. Porraskäytävät huomioidaan lämmitettyyn nettoalaan. Alapohjan, välipohjien ja yläpohjan pinta-alat lasketaan sisämittojen mukaan väliseiniä tai muita rakenteita vähentämättä. Ulkoseinien pinta-alat lasketaan sisämittojen mukaisesti alapohjan lattiapinnasta yläpohjan alapintaan ikkunat ja ovet vähentäen. Ikkunat ja ovet lasketaan karmirakenteen ulkomittojen mukaan. [3, s. 5.] Ilmatilavuus lasketaan ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan sisämittojen mukaan vähentäen välipohjien rakenteiden tilavuudet.

Kohteen yhteenlaskettu lämmitetty nettoala on 5219 m², seinäpinta-ala 2360,35 m², sekä ikkunoiden ja parvekeovien yhteenlaskettu pinta-ala on 707,2 m². Normaaliin ulko-ovien pinta-ala kohteessa on 12,6 m². Asuinkerrostalo on ilmatilavuudeltaan 13412 m³ mukaan lukien porraskäytävät ja osittain maan alla sijaitseva yleinen tila.

Kerrostalon lämmönläpäisykertoimiksi vertailulaskelmaa varten on valittu tavanomaisten uudisrakennuksissa käytettäviä rakenteiden lämmönläpäisykertoimia, eli U-arvoja. Lämmönläpäisykertoimella U tarkoitetaan lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen. [2, s. 5.] Pääsääntöisesti vertailuratkaisun laskennassa on käytetty rakentamismääräyskokoelman osan D3 tasauslaskennassa käytettäviä vertailuratkaisun laskennassa käytettäviä lämmönläpäisykertoimia, lukuun ottamatta maanvaraisia rakenneosia. Kohteen pinta-alat, U-arvot sekä ikkunoiden g-arvot on esitelty rakenneosittain taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Asuinkerrostalon pinta-alat ja U-arvot rakenneosittain

| Rakenne | Pinta-ala (m ²) | U-arvo (W/m ² K) | g-arvo |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| Ulkoseinä ulkoilmaa vasten | 2191,45 | 0,17 | - |
| Ulkoseinä maata vasten | 168,90 | 0,21 | - |
| Yläpohja ulkoilmaa vasten | 1241,00 | 0,09 | - |
| Alapohja maanvastainen | 1125,00 | 0,17 | - |
| Alapohja ulkoilmaa vasten | 116,00 | 0,17 | - |
| Ikkunat pohjoiseen | 20,30 | 1,00 | 0,50 |
| Ikkunat itään | 374,80 | 1,00 | 0,50 |
| Ikkunat etelään | 22,80 | 1,00 | 0,50 |
| Ikkunat länteen | 289,30 | 1,00 | 0,50 |
| Ovet | 12,60 | 1,00 | - |

Rakenteiden välisiin liitoksiin syntyy kylmäsiltoja joita erityisesti esiintyy nurkissa ja seinien sekä lattian liitoskohdissa. Kylmäsiltoja ovat siis rakennuksen vaipan kohtia, joista vuotaa ulos enemmän lämpöä kuin muusta ympäröivästä rakenteesta. Eri rakenteiden välisille kylmäsiltoille on määritetty omat lisäkonduktanssit Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 taulukossa 3.1[3, s. 19.] Lisäkonduktanssin arvon suuruus määritetään liitosten välisten rakenteiden perusteella sekä rakenneosan perusteella. Kylmäsiltoja aiheuttavat näin osan rakennuksen lämpöhäviöistä. Eri rakenteiden välisten kylmäsiltojen pituudet ja lisäkonduktanssit on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Rakenteiden välisten kylmäsiltojen pituudet ja lisäkonduktanssit

| Kylmäsilta | Pituus (m) | Lisäkonduktanssi ψ_k , W/(mK) |
|---|------------|------------------------------------|
| Ulkoseinän ja ulkoseinän välinen ulkonurkka | 239,1 | 0,05 |
| Ulkoseinän ja ulkoseinän välinen sisänurkka | 19,9 | - 0,05 |
| Ulkoseinän ja yläpohjan välinen liitos | 213,0 | 0,06 |
| Ulkoseinän ja välipohjan välinen liitos | 842,0 | 0,00 |
| Ulkoseinän ja alapohjan välinen liitos | 257,0 | 0,09 |
| Ulkoseinän ja ikkunan välinen liitos | 1562,2 | 0,04 |
| Ulkoseinän ja ulko-oven välinen liitos | 33,0 | 0,04 |

3.3 Lämmitys- ja jäähdytysmuodot

Kohteen lämmitysjärjestelmänä käytettiin kaukolämpöä ja lämmönjakotapana vesikiertoista patterilämmitystä. Vesikiertoinen patterilämmitys lämpö jaetaan jakotukkien avulla huoneistokohtaisesti. Mitoituslämpötiloina on käytetty 45/35 °C. Kohteen sisälämpötilana käytettiin 21 °C.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 määrittelee, että käyttötarkoitukseluokan 2 kohteisiin tulee tehdä huonelämpötilatarkastelu, jossa tarkastellaan tyyppihuoneiden yllilämpenemistä kesäkuukausina. Kohteeseen ei tule jäähdytysjärjestelmää, vaan yllilämpeneminen pyritään estämään passiivisin keinoin. Kesäajan huonelämpötilatarkastelu esitellään kappaleessa 11, jonka jälkeen tarkastellaan yllilämpenemistä ehkäiseviä keinoja eri menetelmin.

3.4 Ilmanvaihto ja vuotoilma

Ilmanvaihtojärjestelmänä toimii keskitetty koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jonka lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 45 %. Keskitetty koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä tarkoittaa, että rakennuksessa on yksi ilmanvaihtokone, joka palvelee kaikkia huoneistoja. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde kuvaa koko rakennuksen todellista poistoilmasta talteenottamaa lämpömäärää tuloilmaan. Laskennassa tulo- ja poistoilmavirtojen suhteena käytettiin 1. Koko rakennuksen poistoilmavirta oli 2610 l/s. Tuloilman lämpötilan asetusarvona käytettiin 18 °C ja kohteen vuotoilmalukuna käytettiin 8,0 m³/(h m²), mikä rakentamismääräyskokoelman osan D3 sivun 39, taulukon 3.6 mukaan kuuluu vielä keskimääräiseen ilmanvuotolukuun asuinkerrostaloille. Uudiskohteiden osalta voitaisiin käyttää arvoa 4,0 m³/(h m²), mutta vertailun kannalta haluttiin käyttää suurempaa arvoa. [2.]

3.5 Käyttö- ja käyntiajat

Ilmanvaihtokoneen käyntiaikana käytettiin asuinkerrostaloille määriteltyä standardikäyttöä eli 24h, 7 päivänä viikossa, 365 päivänä vuodessa. Laskennassa käytettiin henkilöiden, laitteiden ja valaistuksen käyttö- ja oleskeluaikoina rakentamismääräyskokoelman osan D3 taulukon 3 mukaisia standardikäytön arvoja. [2, s. 19.]

3.6 Laskentamenetelmät

E-lukulaskennassa apuna käytettiin laskentapalvelut.fi -ohjelmistoa, jonka avulla määritetään vaikuttavimmat tekijät eri osa-alueilla säävyöhykkeen 1, Helsinki – Vantaan kuukausittaisia ulkoilman lämpötiloja ja auringon kokonaissäteilyenergian arvoja käyttäen [3, s. 30]. Ohjelmisto on lainsäädännön kriteerien täyttämä kuukausitason laskentatyökalu, joka perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osiin D3 ja D5 määräyksiin ja ohjeisiin.

Seuraavissa kappaleissa esittelen E-luvun laskennan vertailtavaan kohteeseen sekä siitä eriteltyjä tuloksia eri E-luvun muodostavista tekijöistä. Laskennan esittelyn jälkeen vertaillaan eri rakenneteknisten ja taloteknisten osa-alueiden muutoksien vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan.

4 LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE

4.1 Rakenteiden läpi johtuva lämmitysenergia

Rakenteiden läpi johtuvan energian suuruus lasketaan rakenteiden U-arvojen eli lämmönläpäisykertoimien avulla. Kohteen lämmitysenergiantarpeen laskentaa varten täytyy määrittää rakenteiden U-arvot joiden laskennassa voidaan käyttää rakentamismääräyskokoelman osaa C4. Rakenneosien läpi johtuva energia lasketaan U-arvojen avulla Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla. [3, s.17- 18.]

Johtumislämpöhäviöt rakennuksen vaipan läpi Q_{joht} lasketaan rakennusosittain D5 kaavalla 3.3, ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden

ja ovien lämpöhäviöt lasketaan rakennusosittain kaavalla 3.4. Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt lasketaan kaavalla D5 3.5 ja alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila lasketaan ulkoilman vuotuisesta keskilämpötilasta kaavalla 3.6. [3.]

Johtumislämpöhäviöt rakennuksen vaipan läpi saadaan yhtälöstä

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsilat}} \quad (1)$$

| | |
|-------------------------|--|
| $Q_{\text{ulkoseinä}}$ | on johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh |
| $Q_{\text{yläpohja}}$ | on johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh |
| Q_{alapohja} | on johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh |
| Q_{ikkuna} | on johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh |
| Q_{ovi} | on johtumislämpöhäviö ovien läpi, kWh |
| Q_{muu} | on johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh |
| $Q_{\text{kylmäsilat}}$ | on johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh |

Johtumislämpöhäviöt rakennusosittain saadaan yhtälöstä

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

| | |
|------------|--|
| U_i | on rakennusosan i lämmönläpäisykerroin $W/(m^2K)$ |
| A_i | on rakennusosan i pinta-ala, m^2 |
| T_s | on sisäilman lämpötila, °C |
| T_u | on ulkoilmailman lämpötila, °C |
| Δt | on ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto |
| 1000 | on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi |

Johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi saadaan yhtälöstä

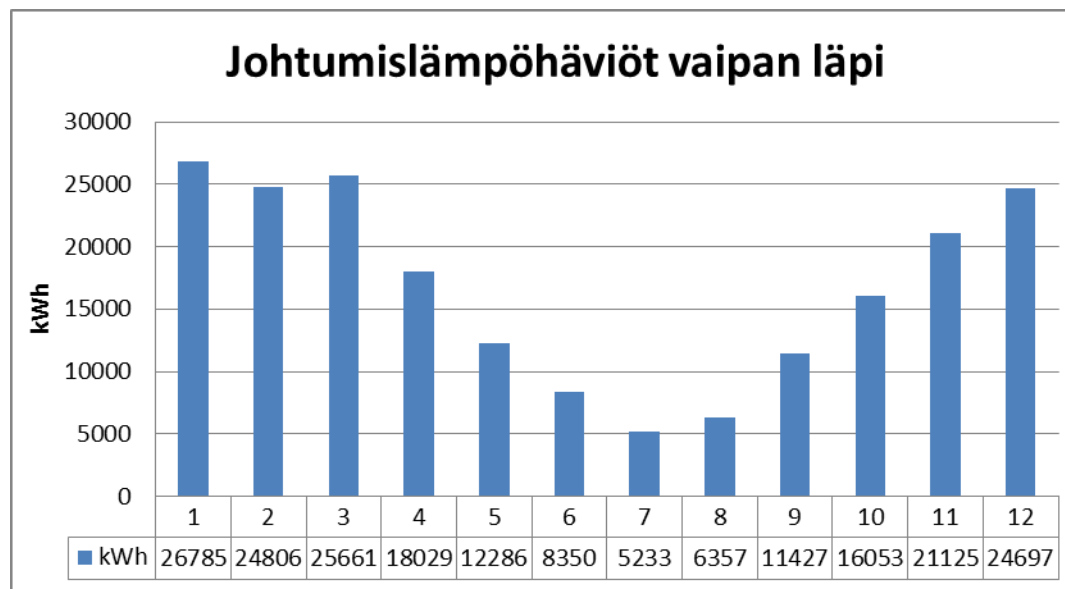
$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \sum I_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

| | |
|------------|--|
| l_k | on viivamaisen kylmäsillan pituus |
| Ψ_k | on viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi |
| T_s | on sisäilman lämpötila, °C |
| T_u | on ulkoilmailman lämpötila, °C |
| Δt | on ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto |
| 1000 | on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi |

Alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila saadaan yhtälöstä

$$T_{\text{maa, vuosi}} = T_{\text{u, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, vuosi}} \quad (4)$$

| | |
|--------------------------------|--|
| $T_{\text{u, vuosi}}$ | on ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C |
| $\Delta T_{\text{maa, vuosi}}$ | on alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C |



KUVA 1. Johtumislämpöhäviöt vaipan läpi kuukausittain eriteltynä

Vuotuinen rakenteiden läpi johtuva lämpöhäviö on 139 600 kWh. Talvikuukausina johtumislämpöhäviöt ovat jopa neljä kertaa suurempia kuin lämpimimpinä kuukausina. Rakennuksen lämpöhäviöiden suuruuteen vaikuttaa rakenneosan lämmönläpäisykerroin sekä rakennuksen muoto, joka määrittelee, kuinka paljon

kutakin rakennetta on. Monimutkaiset rakenteet vaikuttavat myös kylmäsiltojen pituuksiin, mikä vaikuttaa taas heikentävästi vaipan lämmöneristävyyteen.

4.2 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergiantarve

Rakenteiden epätiiveyksien kautta tulevan vuotoilman tarvitsema lämpöenergia lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoilla 3.8, 3.9 ja 3.10. D5 taulukossa 3.6 on esitetty tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja. Kohteen vertailupohjana olevan laskelman vuotoilmavirtana käytettiin ilmanvuotolukua $8 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ [3 s. 22.]

Vuotoilma lämpenemisen lämpöenergiantarve saadaan yhtälöstä

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{p_i} q_{v, \text{vuotoilma}} \Delta t / 1000 \quad (5)$$

| | |
|---------------------------|---|
| ρ_i | on ilman tiheys $1,2 \text{ kg/m}^3$ |
| c_{p_i} | on ilman ominaislämpökapasiteetti, $1000 \text{ J}/(\text{kg K})$ |
| $q_{v, \text{vuotoilma}}$ | on vuotoilmavirta, m^3/s |
| Δt | on ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto |
| 1000 | on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi |

Vuotoilmavirta saadaan yhtälöstä

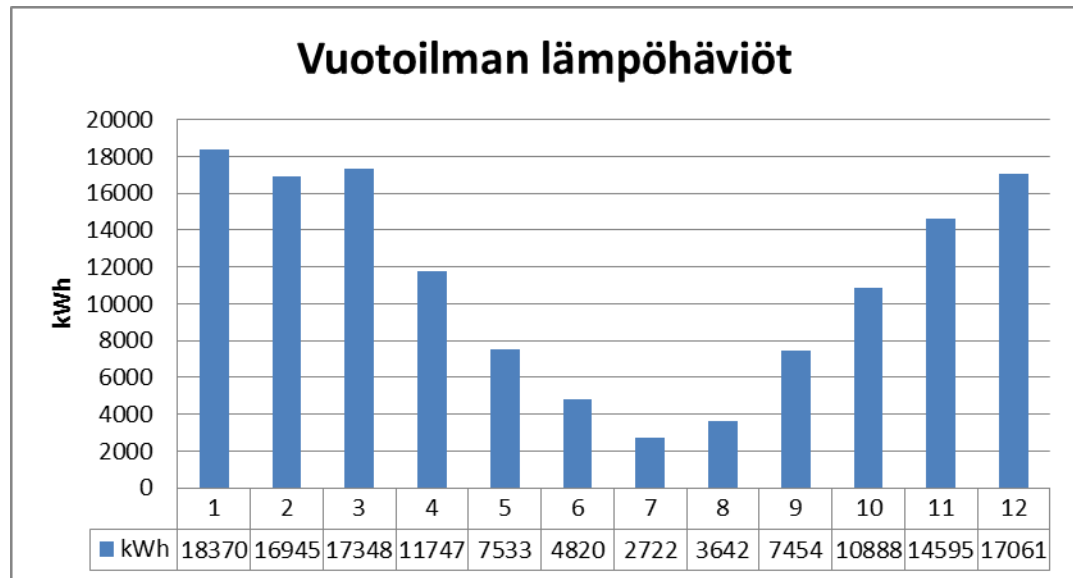
$$q_{v, \text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \times x} A_{\text{vaippa}} \quad (6)$$

| | |
|---------------------|--|
| q_{50} | on rakennusvaipan ilmanvuotoluku $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ |
| x | on kerroin jonka määrittää rakennuksen kerroslukumäärä |
| A_{vaippa} | on rakennusvaipan pinta-ala kaikki pinnat huomioiden |

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku saadaan yhtälöllä

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} V \quad (7)$$

n_{50} on rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
 A_{vaippa} on rakennusvaihan pinta-ala kaikki pinnat huomioiden
 V on rakennuksen ilmatilavuus, m^3



KUVA 2. Vuotoilman lämpöhäviöt kuukausittain eriteltynä

Vuotuinen vuotoilman lämpöhäviöt on 133124 kWh. Vuotoilman lämpöhäviöihin vaikuttaa suoraan ilmanvuotoluvun suuruus. Tiiviillä rakentamisella voidaan minimoida vuotoilmavirrasta aiheutuvia lämpöhäviöitä.

4.3 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Ilmanvaihdossa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämmitysenergian nettotarve lasketaan ilmanvaihtokonekohtaisesti D5 kaavalla 3.1. Koneellisen poiston ja painovoimaisen ilmanvaihdon järjestelmissä ilmanvaihdon lämmittäminen tapahtuu tilassa, jolloin se lasketaan korvausilmana. Alla esitetyllä laskentatavalla voidaan laskea ainoastaan sellaisten ilmanvaihtojärjestelmien lämmitysenergian nettotarve joissa käytetään vakioilmavirtaa, eikä prosessiin liity jäähdytystä tai kostutusta [3 s. 23.]

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve eli ilmanvaihtokoneessa tapahtuva tuloilman lämmittäminen lasketaan erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle D5 kaavalla 3.11. Lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila

lasketaan D5 kaavalla 3.12. Jos laskennassa saadaan D5 kaavasta 3.11 lukuarvoksi negatiivinen, niin Q_{iv} -arvona käytetään nollaa. [3 s.23.]

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve saadaan yhtälöllä

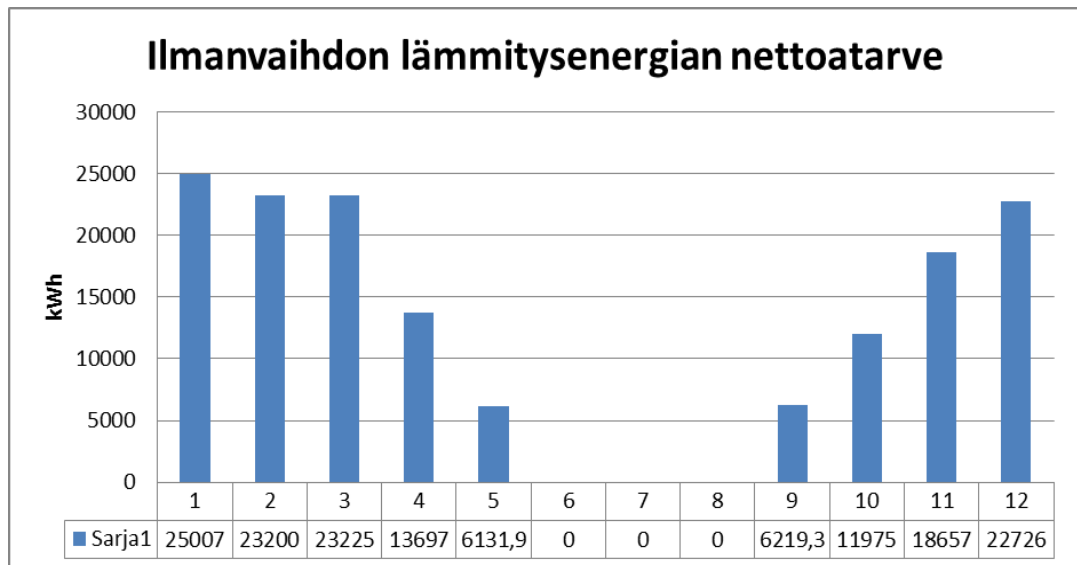
$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{p_i} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad (8)$$

| | |
|-----------------------|--|
| t_d | on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h |
| t_v | on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk |
| ρ_i | on ilman tiheys 1,2 kg/m ³ |
| c_{p_i} | on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kg K) |
| T_{sp} | on sisäänpuhalluslämpötila, °C |
| $\Delta T_{puhallin}$ | on lämpötilan nousu puhaltimessa, °C |
| T_{lto} | on lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C |
| Δt | on ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto |
| 1000 | on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi |

Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila saadaan yhtälöstä

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{p_i} q_{v,tulo}} \quad (9)$$

| | |
|--------------|---|
| T_u | on ulkoilman lämpötila, °C |
| ϕ_{lto} | on lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W |
| t_d | on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h |
| t_v | on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk |
| ρ_i | on ilman tiheys 1,2 kg/m ³ |
| c_{p_i} | on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kg K) |
| $q_{v,tulo}$ | on tuloilmavirta, m ³ /s |



KUVA 3. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve kuukausittain eriteltynä

Vuotuinen ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve on 150837 kWh.

4.4 Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian nettotarve

Tuloilman lämpeneminen tilassa lasketaan erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle D5 kaavalla 3.14. Korvausilman kaava tarvitaan todellisen ostoenergian laskennassa, E-lukulaskennassa ei sitä käytetä, vaan siinä ilmavirrat ovat yhtä suuret. Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan D5 kaavalla 3.15. Korvausilmavirta lasketaan kaavalla 3.16. [3 s.25- 27.]

Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve saadaan yhtälöllä

$$Q_{iv,tuloilma} = t_d t_v \rho_i c_{p_i} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad (10)$$

t_d on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk

ρ_i on ilman tiheys 1,2 kg/m³

c_{p_i} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kg K)

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_{sp} on sisäänpuhalluslämpötila, °C

Δt on ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto
 1000 on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve saadaan yhtälöllä

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{p_i} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (11)$$

ρ_i on ilman tiheys 1,2 kg/m³
 c_{p_i} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kg K)
 $q_{v,korvausilma}$ on korvausilmavirta, m³/s
 T_s on sisäilman lämpötila, °C
 T_u on ulkoilmailman lämpötila, °C
 Δt on ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto
 1000 on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Korvausilmavirta saadaan yhtälöllä

$$q_{v,korvausilma} = \sum t_d t_v q_{v,poisto} - \sum t_d t_v q_{v,tulo} \quad (12)$$

t_d on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
 t_v on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
 $q_{v,poisto}$ on poistoilmavirta, m³/s
 $q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

Vuotuinen tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on 96967 kWh.

Korvausilmavirtaa syntyy tulo- ja poistoilmanvaihdon erosta, mikä synnyttää alipaineen rakennukseen. Korvausilmavirta saadaan tulo- ja poistoilmavirtojen erotuksena, mutta kohteessa tuloilma ja poistoilmavirta ovat yhtä suuret, jolloin paine-eroista johdettava korvausilmavirta ei synny. Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

lasketaan D5-kaavalla 3.15 [3 s.22.] Vuotuinen korvausilmavirran lämpenemisen lämpöenergiantarve on 0 kWh.

4.5 Ilmanvaihdosta talteenotettu energia

Ilmanvaihdosta talteenotettu energia lasketaan D5 kaavalla 3.17. Kohteen ilmanvaihdon vuosihyötysuhteena käytettiin 45 % [3 s.26].

Ilmanvaihdosta talteenotettu energia saadaan yhtälöllä

$$Q_{lto} = \sum t_d t_v \rho_i c_{p_i} q_{v,tulo} (T_{lto} - T_u) \Delta t / 1000 \quad (13)$$

| | |
|--------------|--|
| t_d | on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24h |
| t_v | on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/7vrk |
| c_{p_i} | on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kg K) |
| $q_{v,tulo}$ | on tuloilmavista, m ³ /s |
| T_{lto} | on lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C |
| T_u | on ulkoilman lämpötila |
| Δt | ajanjakson pituus, h |
| 1000 | on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi |

4.6 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Lämpimän käyttöveden nettotarve sisältää lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittun energian määrän huomioimatta lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergiaa.[3 s.27] Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve $Q_{lkv, netto}$ lasketaan D5 kaavalla 3.18. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus V_{lkv} voidaan laskea D5 kaavalla 3.19 henkilöperustein tai kaavalla 3.20 pinta-alaperustein.

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve saadaan yhtälöllä

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

| | |
|---------------|---|
| ρ_v | on veden tiheys, 100 kg/m ³ |
| cp_v | on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2kJ/(kg K) |
| V_{lkv} | lämpimän käyttöveden kulutus, m ³ |
| T_{lkv} | lämpimän käyttöveden lämpötila, °C |
| T_{kv} | kylmän käyttöveden lämpötila, °C |
| 3600 | on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h |
| $Q_{lkv,LTO}$ | jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh |

Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus saadaan yhtälöllä

$$V_{lkv} = V_{lkv,omin} A_{netto} \Delta t / 365 \quad (15)$$

| | |
|----------------|---|
| $V_{lkv,omin}$ | on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, m ³ /m ² vuodessa |
| A_{netto} | on rakennuksen lämmitetty nettoala |
| Δt | on ajanjakson pituus vuorokautta |
| 365 | on kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos vuosikulutuksesta vuorokausikulutukseksi, vrk/a |

Vuotuinen lämpimän käyttöveden energiakulutus on 277186,35 kWh/a

4.7 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitysenergian nettotarve muodostuu johtumisen, vuotoilman, tuloilman ja korvausilman tarvitsemasta lämmitysenergiatarpeesta, joiden summasta vähennetään hyödyksi käytetyt sisäiset lämpökuormat [3, s.17].

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (16)$$

| | |
|------------------------|---|
| Q_{tila} | on tilojen lämmitysenergiatarve, kWh |
| $Q_{\text{sis.lämpö}}$ | on lämpökuorma joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh |

Tilojen lämmitysenergian tarve saadaan yhtälöllä

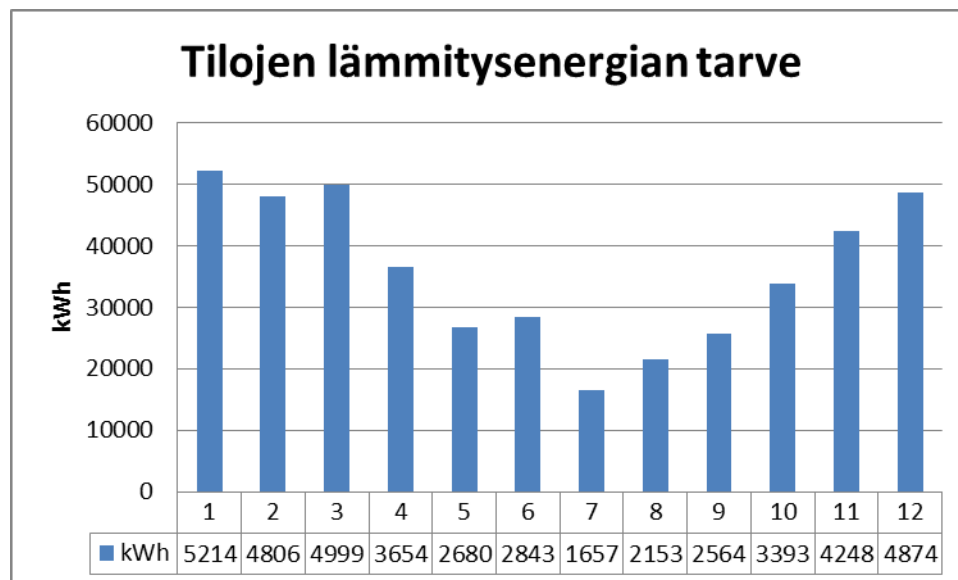
$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}} \quad (17)$$

Q_{joht} on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh

$Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmanlämpenemisen lämpöenergiatarve, kWh

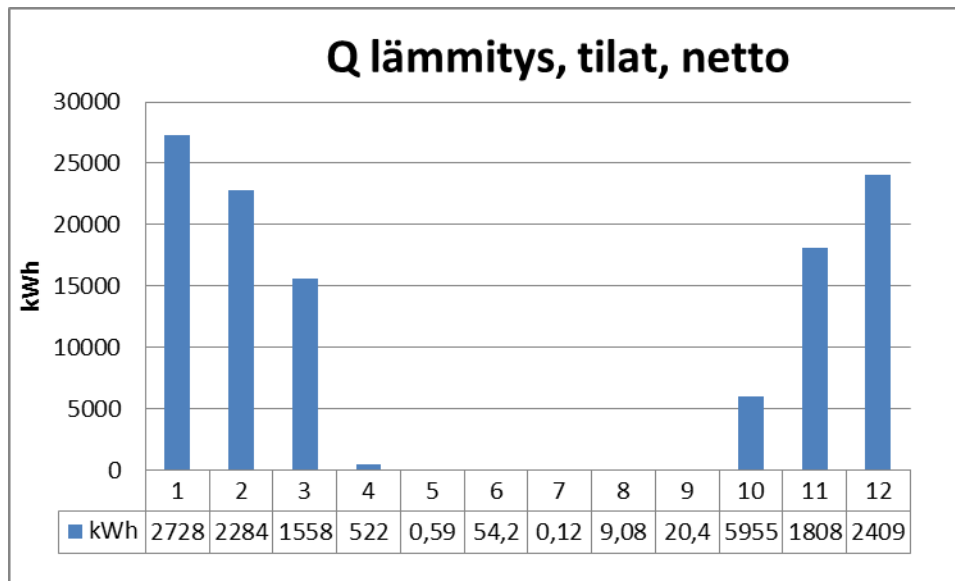
$Q_{\text{iv,tuloilma}}$ on tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergiatarve, kWh

$Q_{\text{iv,korvausilma}}$ on korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh



KUVA 4. Tilojen lämmitysenergian tarve kuukausittain eriteltyinä

Tilojen lämmitysenergian vuotuinen lämmitysenergian tarve on 430902 kWh



KUVA 5. Tilojen lämmitysenergian tarve kuukausittain eriteltynä

Vuotuinen tilojen lämmitysenergian nettotarve on 114454 kWh

5 LAITTEIDEN JA VALAISTUKSEN SÄHKÖNKULUTUS

5.1 Laitteiden sähköenergiankulutus

Laitteiden sähköenergiankulutus on laitesähkön yhteenlaskettu energian kulutus ottamatta huomioon valaistuksen, ilmanvaihdon sekä lämmityksen ja jäähdytyksen sähkönkulutusta. Kohteessa käytettiin D3 esitettyjä taulukkoarvoja kuluttajalaitteille. [3 s.28.] Vuotuiseksi sähköenergiankulutukseksi kuluttajalaitteiden osalta muodostui 109724 kWh/a

5.2 Valaistuksen sähköenergiankulutus

Valaistuksen sähkönkulutuksen laskemiseen voidaan käyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 taulukkoarvoja. Valaistuksen sähkönkulutus voidaan laskea tilakohtaisesti valaistustarpeen ja valaistusratkaisun perusteella, jos valaistusjärjestelmä tiedetään paremmin. Tässä tapauksessa valaistusjärjestelmää ei tiedetty, joten se laskettiin taulukkoarvojen perusteella. Valaistuksen sähköenergiankulutus voidaan laskea

D5 kaavalla 4.1 sekä siihen liittyvä valaistuksen kokonaissähköteho kaavalla 4.2. [3, s. 29- 30.] Kohteen valaistuksen vuotuiseksi sähkönkulutukseksi on 50290,28 kWh.

6 LÄMPÖKUORMAT

Rakennuksen sisäiset lämpökuormat koostuvat henkilöiden, valaistuksen, sähkölaitteiden, ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergian, lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttaman lämpökuormien summasta. Lämpökuormat voidaan osittain hyödyntää, ja se edellyttää sitä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteisto vähentää muuta lämmöntuottoa vastaavalla määrällä. [3 s.36.]

Rakennuksen lämpökuorma lasketaan D5 kaavalla 5.9 [3 s.36]. Muissa tarkasteluissa kuin vaatimuksen mukaisuuden osoittamisessa henkilöiden luovuttama lämpöenergia Q_{henk} voidaan laskea D5 kaavalla 5.1. Rakennuksen valaistuksesta ja muista sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma lasketaan D5 kaavalla 5.3. Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia Q_{aur} lasketaan kaavalla 5.4 Kehäkerroin $F_{\text{kehä}}$, joka on valoaukon pinta-alan ja ikkuna-aukon pinta-alan suhde, lasketaan D5 kaavalla 5.5. Ikkunan varjostusten korjaus-kerroin $F_{\text{varjostus}}$ saadaan laskemalla kolmen varjostuskertoimen tulo kaavalla 5.8. [3 s.31- 33] Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin kohdan häviöistä lämpökuormaksi tuleva osuus on 50 %. [3 s. 36]

Rakennuksen lämpökuorma saadaan yhtälöllä

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}} + Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}} \quad (19)$$

| | |
|-------------------|--|
| Q_{henk} | on henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{säh}}$ | on valaistuksesta ja sähköstä tuleva lämpökuorma, kWh |
| Q_{aur} | on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva säteilyenergia, kWh |

$Q_{\text{LKV,kierto,kuorma}}$ on LKV kiertojohdon lämpöhäviöistä lämpökuormaksi tuleva osuus, kWh

$Q_{\text{LKV,varastointi,kuorma}}$ on LKV varastoinnin lämpöhäviöistä lämpökuormaksi tuleva osuus

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia saadaan kaavalla

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

k on rakennuksen käytönaikainen käyttöaste

n on henkilöiden lukumäärä

ϕ_{henk} on yhden henkilön keskimäärin luovuttama lämpöteho

$\Delta t_{\text{oleskelu}}$ on oleskeluaika, h

1000 on

Valaistuksesta ja sähköstä tuleva lämpökuorma saadaan kaavalla

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

$W_{\text{valaistus}}$ on valaistusjärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh

$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$ on kuluttajalaitteiden sähköenergiankulutus, kWh

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva säteilyenergia saadaan kaavalla

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

$G_{\text{säteily,vaakapinta}}$ on vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia, kWh(m²kk)

F_{suunta} on muuntokerroin jolla saadaan vaakatasolle tuleva auringon säteilyenergia muunnettua ilmansuunnittain pystypinnoille

$F_{\text{läpäisy}}$ on säteilyn läpäisykokonaiskorjauskerroin

A_{ikk} on ikkuna-aukon pinta-ala, m²

g on ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

$G_{\text{säteily,pystypinta}}$ on on pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia, kWh(m²kk)

Kehäkerroin saadaan yhtälöllä

$$F_{\text{kehä}} = \frac{A_{\text{ikk, valoaukot}}}{A_{\text{ikk}}} \quad (23)$$

$A_{\text{ikk, valoaukot}}$ on ikkunan valoaukon pinta-ala, m²

A_{ikk} on ikkuna-aukon pinta-ala, m²

$$F_{\text{varjostus}} = F_{\text{ympäristö}} F_{\text{ylävarjostus}} F_{\text{sivuvarjostus}} \quad (24)$$

$F_{\text{ympäristö}}$ on ympäristön horisontaalisten varjostusten korjauskerroin

$F_{\text{ylävarjostus}}$ on ikkunan yläpuolisten vaakasuorien rakenteiden varjostusten korjauskerroin

$F_{\text{sivuvarjostus}}$ on ikkunan sivuilla olevien pystysuorien varjostusten korjauskerroin

6.1 Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia

Rakennukseen tulee lämpökuormia etenkin valaistuksesta, laitteista ja ihmisistä sekä ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergiasta, jotka voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuorma voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. [3 s. 36.]

Rakennuksen lämpökuormat saadaan yhtälöstä

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}} + Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}} \quad (25)$$

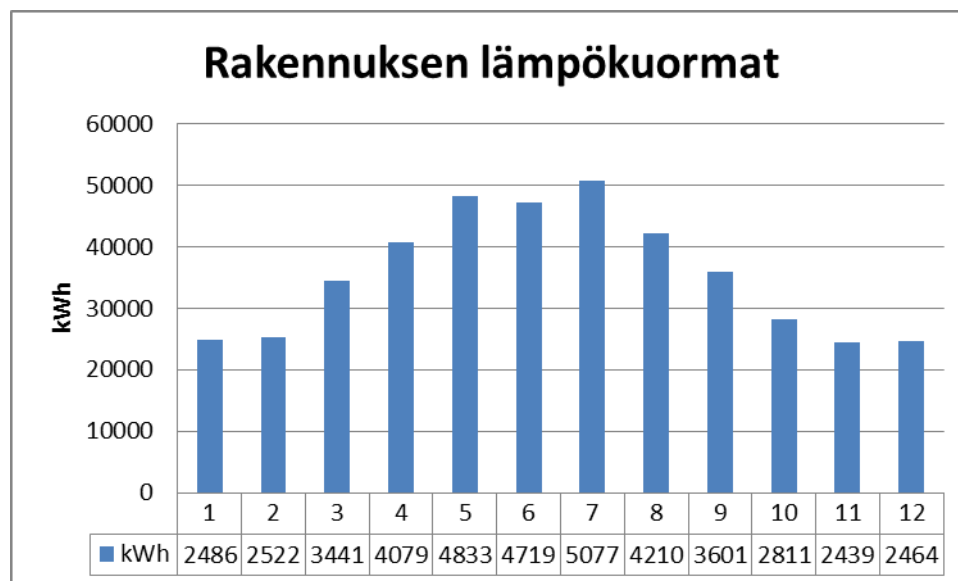
Q_{henk} on henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{säh}}$ on valaistuksesta ja sähköstä tuleva lämpökuorma, kWh

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

$Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}}$ on LKV kiertojohdon lämpöhäviöistä lämpökuormaksi tuleva osuus, kWh

$Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}}$ on LKV varastoinnin lämpöhäviöistä lämpökuormaksi tuleva osuus



KUVA 6. Rakennuksen lämpökuormat kuukausittain eriteltyinä

Rakennuksen vuotuiseksi lämpökuormaksi muodostui 426874 kWh

6.2 Lämpökuormien hyödyntämisaste

Lämpökuormien energia, joka hyödynnetään lämmityksessä $Q_{\text{sis.lämpö}}$, lasketaan D5 kaavalla 5.10. Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste lasketaan normaali-tapauksissa kaavalla 5.11. D5 Kaavoissa 5.11 ja 5.12 esiintyvä a on numeerinen parametri, joka riippuu aikavakiosta τ , joka lasketaan kaavalla 5.13. Suhdeluku γ lasketaan kaavalla 5.14. Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh aikavakio τ lasketaan kaavalla 5.15. Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö H_{tila} lasketaan kaavalla 5.16.[3, s.36- 38.]

Asuinkerrostalo oli lämmitysmuodoltaan kaukolämpö, rakennuksessa on lämpimän käyttöveden kiertojohto ilman lämpimän käyttöveden varaajaa. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon ominaistehona käytettiin 40 W/m ja pituus laskettiin ominaispituuden käyttöveden kiertojohdon jakotavan mukaisesti, että jokaiseen asuntoon tulee oma kiertojohtonsa, jolloin pituudeksi saatiin 1267,2 metriä. Kiertojohdon pumpun käyntiaika on 24h/vrk.

Lämpökuorma joka hyödynnetään lämmityksessä, saadaan kaavalla

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (26)$$

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

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ on rakennuksen lämpökuorma, kWh

Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste saadaan yhtälöllä

$$\eta_{\text{lämpö}} = (1-\gamma^a)/(1-\gamma^{a+1}) \quad (27)$$

γ on lämpökuorman suhde lämpöhäviöön

a on numeerinen parametri

Numeerisen parametri saadaan yhtälöllä

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

τ on rakennuksen aikavakio, h

Lämpökuorman suhde lämpöhäviöön saadaan yhtälöllä

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}} \quad (29)$$

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ on rakennuksen lämpökuorma, kWh

Q_{tila} on tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

Rakennuksen aikavakio saadaan yhtälöllä

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}} \quad (30)$$

C_{rak} on rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K

H_{tila} on rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö, W/K

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö saadaan yhtälöllä

$$H_{\text{tila}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u) \Delta t} 1000 \quad (31)$$

Q_{tila} on tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

Δt ajanjakson pituus, h

TAULUKKO 3. Lämpökuormien hyödyntämisaste kuukausittain

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|------|------|-----|------|------|------|----|----|----|
| Hyödyntämisaste | 1 | 1 | 1 | 0,88 | 0,55 | 0,6 | 0,33 | 0,51 | 0,71 | 1 | 1 | 1 |
| Kuukausi | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |



KUVA7. Hyväksikäytetyt lämpökuormat kuukausittain eriteltynä

Vuotuinen hyväksikäytetty lämpökuorma on 316449 kWh

7 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan tilojen, ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeista ottamalla huomioon lämmönluovutuksen, lämmönjaon ja lämmönvarastoinnin häviöt, sekä lämmöntuoton vaikutus. Häviöt otetaan huomioon hyötysuhteiden avulla. Lämmitysenergian tuoton vaikutus lämmitysjärjestelmän energiankulutukseen lasketaan hyötysuhteen tai lämpökertoimien avulla. [3, s.40.]

7.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergiantarve

Tilojen lämmityksen lämpöenergiantarve lasketaan lämmönjakojärjestelmittäin. Lämmönjakojärjestelmä määrittää kiertopumppujen ja säätölaitteiden sähköenergiankulutuksen sekä lämmönjaon hyötysuhde D5-taulukon 6.2 mukaan. [3, s.41]

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}} = Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} / \eta_{\text{lämmitys, tilat}} + Q_{\text{jakelu, ulos}} + Q_{\text{varastointi, ulos}} \quad (32)$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on tilojen lämmitysenergian tarve, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ on tilojen lämmityksen nettotarve

$Q_{\text{jakelu ulos}}$ on lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan

$Q_{\text{varastointi, ulos}}$ on lämmön jakelujärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan kWh/a

$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$ on laskettavan lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde

Lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviöt lämmittämättömään tilaan saadaan kaavasta

$$Q_{\text{jakelu, ulos}} = q_{\text{jakeluhäviöt, ulos}} L \quad (33)$$

$q_{\text{jakeluhäviöt, ulos}}$ on lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan

L on lämmönjakojärjestelmän meno- paluuputkien yhteenlaskettu pituus lämmittämättömässä tilassa

Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutusta laskettaessa voi olettaa ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhteen olevan 1,0 [3, s.42]

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{iv}} \quad (34)$$

Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden kuluttama energiankulutus lasketaan kaavalla

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A_{\text{netto, i}}$$

W_{tilat} on lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus, kWh/a

e_{tilat} on apulaitteiden ominaiskulutus kWh/a

$A_{\text{netto, i}}$ on lämmitetty nettoala jonka laskettava lämmönjakojärjestelmä kattaa, m²

Asuinkerrostalon lämmitysenergian tarve vesikiertoisilla lämmityspattereilla sekä kaukolämmöllä oli kokonaisuudessaan 149619 kWh/a. Kohteessa lämmönjakohuone sijaitsi lämmitetyssä tilassa, joten häviöitä lämmittämättömään tilaan ei tullut. Läm-

mönjakojärjestelmän apulaitteiden häviöt olivat 10483 kWh/a. Lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteena käytettiin 0,80 ja apulaitteiden sähkönkäytön arvona 2,5 kWh/m² a. [3, s.43.]

7.2 Lämpimän käyttöveden energiantarve

Lämpimän käyttöveden lämpöenergiantarve koostuu kiertopumpun käyttämästä sähkönkulutuksesta sekä käyttöveden siirron, varastoinnin ja kiertojohdon aiheuttamista häviöistä. Erityisen tärkeää lämpimän käyttöveden energian tarpeen määrittämisessä on tuntea varaajien koot ja vaipan eristys sekä kiertojohdon pituus ja sen eristyksen paksuus. Kiertojohdon eristyksen paksuuden avulla voidaan määrittää sen häviöt D5-taulukon 6.4 avulla. Vertailuratkaisun lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituutena käytettiin D5:n määritelmää ominaispituudelle. Ominaispituus lasketaan lämmitettävän nettoalan perusteella. Ominaispituuksien kertoimet eri käyttötarkoituksiluokille on esitetty D5-taulukossa 6.5. [3, s.46]

Lämpimän käyttöveden pituus saadaan yhtälöllä

$$L_{lkv} = A_{netto} L_{omin, lkv} \quad (35)$$

| | |
|-----------------|---|
| L_{lkv} | on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m |
| A_{netto} | on rakennuksen lämmitetty nettoala, m ² |
| $L_{omin, lkv}$ | on rakennustyyppin kiertojohdon ominaispituus, m/m ² |

Lämpimän käyttöveden lämpöenergiantarve lasketaan D5-kaavalla 6.5

$$Q_{lkv, kierto} = (\phi_{lkv, kierto, omin} L_{lkv} + \phi_{lkv, lämmitys, omin} n_{lämmityslaitte}) \frac{t_{lkv, pumppu} 365}{1000} \quad (36)$$

| | |
|------------------------------|---|
| $Q_{lkv, kierto}$ | on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh/a |
| $\phi_{lkv, kierto, omin}$ | on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m |
| L_{lkv} | on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m |
| $\phi_{lkv, lämmitys, omin}$ | on kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W |

$\eta_{\text{lämmityslaitte}}$ on kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä
 $t_{\text{lkv,pumppu}}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyntikaika

Lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergiankulutus voidaan laskea kaavalla

$$W_{\text{lkv,pumppu}} = P_{\text{lkv,pumppu}} T_{\text{lkv, pumppu}} 365/100 \quad (37)$$

$W_{\text{lkv,pumppu}}$ on lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergiankulutus, kWh/a
 $P_{\text{lkv,pumppu}}$ on lämpimän käyttöveden kiertopumpun moottorin ottoteho, W
 $T_{\text{lkv, pumppu}}$ on lämpimän käyttöveden kiertopumpun moottorin käyntiaika, h/d

Asuinkerrostalossa lämmöntuottotapana oli kaukolämpö, joten lämminvesivaraajia ei ole. Lämpimän käyttöveden kierron putkistopituudet on määritetty ominaispituuden kertoimen 0,043 m/m² perusteella. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituudeksi saatiin 224,4 m. Kiertojohdon ominaistehona käytettiin 40 W/m. Asuinkerrostalon kiertojohtoon ei ollut liitetty lämmityslaitteita. Käyttöveden kokonaisenergiankulutukseksi muodostui 277536.75 kWh/a, josta käyttöveden kiertopumpun tarvitsema energiamäärä oli 350,40 kWh/a.

7.3 Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian ja sähköenergiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus koostuu erikseen laskettavista lämmitysenergian ja sähköenergian kulutuksesta. [3, s.47]

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus saadaan yhtälöstä

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{aurinko,lkv}} - Q_{\text{muu tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad (38)$$

$Q_{\text{lämmitys}}$ on lämmitysjärjestelmän lämpöenergiankulutus
 $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on tilojen lämmityksen lämpöenergiantarve
 $Q_{\text{lämmitys,iv}}$ on ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergiantarve
 $Q_{\text{lämmitys,lkv}}$ lämpimän käyttöveden lämpöenergiantarve
 $Q_{\text{aurinko,lkv}}$ aurinkokeräimillä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen

| | |
|-------------------------|--|
| $Q_{\text{muu tuotto}}$ | muulla järjestelmällä tuotettu energia |
| η_{tuotto} | lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä |

Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus $W_{\text{lämmitys}}$ lasketaan kaavalla (6.8)

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{lkv,pumppu}} + W_{\text{aurinko,pumput}} + W_{\text{LP,lämmitys}} \quad (39)$$

| | |
|-----------------------------|--|
| $W_{\text{lämmitys}}$ | on lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh/a |
| W_{tilat} | on lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, kWh/a |
| $W_{\text{tuotto,apu}}$ | on lämmöntuottotavan apulaitteiden sähkönkulutus, kWh/a |
| $W_{\text{lkv,pumppu}}$ | on lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergiankulutus, kWh/a |
| $W_{\text{aurinko,pumput}}$ | on aurinkopumppujärjestelmän sähkönkulutus, kWh/a |
| $W_{\text{LP,lämmitys}}$ | on lämpöpumppujärjestelmän sähkönkulutus, kWh/a |

8 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS

Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutukseen vaikuttaa puhaltimen käyttämä sähköteho, jota kutsutaan myös SFP-luvuksi. SFP-lukuun vaikuttaa käytetyt ilmavirrat suunnitellulla koneella sekä ilmanvaihtojärjestelmän kanavasunnittelu ja ilmavirrat. Ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaan niin, että SFP-luku ei ylitä arvoa $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ [3, s.55].

Ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus lasketaan suunnitellun ominaissähkötehon, ilmavirran ja käyntiajan tulona kaavalla

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum \text{SFP } q_v \Delta t + W_{\text{iv,muut}} \quad (40)$$

| | |
|--------------------------|--|
| $W_{\text{ilmanvaihto}}$ | on ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh |
| SFP | on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ |

| | |
|----------------|---|
| q_v | on puhaltimen ja ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m^3/s |
| Δt | on ilmanvaihtokoneen käyttöaika, h |
| $W_{iv, muut}$ | on muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh |

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho lasketaan konekohtaisesti yhtälöllä

$$SFP = P_{puh} / q_v \quad (41)$$

| | |
|-----------|---|
| SFP | on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, $kW/(m^3/s)$ |
| P_{puh} | on puhaltimen sähköteho, kW |
| q_v | on puhaltimen ja ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m^3/s |

Vuotuiseksi ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutukseksi muodostui 45718,44 kWh.

9 ASUINKERROSTALON E-LUKU JA OSTOENERGIA

9.1 Ostoenergia

Rakennuksen ostoenergian kulutus koostuu lämmityksen, ilmanvaihdon, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta. Ostoenergian laskenta perustuu aina standardikäytön mukaisiin järjestelmien käyttö- ja käyntiaikoihin. Ostoenergia eritellään energiamuodoittain, josta johdetaan rakennuksen E-luku. Ostoenergioiden summasta vähennetään rakennuksen omissa teknisissä laitteissa käytetty sähköenergian määrä, joka on tuotettu omavaraisesti. Omavaraissähkönenergialla tarkoitetaan rakennukseen kuuluvilla järjestelmillä tuotettua sähköä, joka on käytetty rakennuksen muissa järjestelmissä. [3, s.14- 15.]

Ostoenergia lasketaan kaavalla (42)

$$E_{\text{osto}} = (Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{lämmitys}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + Q_{\text{jäähtytys}} + W_{\text{jäähtytys}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{valaistus}}) / A_{\text{netto}} \quad (43)$$

| | |
|--------------------------------|---|
| E_{osto} | on rakennuksen ostoenergiankulutus kWh/m ² a |
| $Q_{\text{lämmitys}}$ | on lämmitysjärjestelmän lämpöenergiankulutus, kWh/a |
| $W_{\text{lämmitys}}$ | on lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh/a |
| $W_{\text{ilmanvaihto}}$ | on ilmanvaihtojärjestelmä sähköenergiankulutus, kWh/a |
| $Q_{\text{jäähtytys}}$ | on jäähtytysjärjestelmän lämpöenergiankulutus, kWh/a |
| $W_{\text{jäähtytys}}$ | on jäähtytysjärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh/a |
| $W_{\text{kuluttajalaitteet}}$ | on kuluttajalaitteiden sähköenergiankulutus, kWh/a |
| $W_{\text{valaistus}}$ | on valaistusjärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh/a |
| $W_{\text{omasähkö}}$ | on rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/a |
| A_{netto} | on rakennuksen lämmitetty nettoala, m ² |

Vertailun pohjana toimineen suunnitteluratkaisun ostoenergiaksi muodostui 141,6 kWh/m².

9.2 E-luku

E-luku on energiamuodon kertoimella painotettu vuotuinen energiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden, joka lasketaan ostoenergian perusteella. E-luku lasketaan erikseen jokaiselle rakennukselle tai rakennuksen käyttötarkoituksiluokkien mukaisille osille, jotka on esitelty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3. Asuinkerrostaloille on asetettu E-lukuvaatimus 130 kWh/m²a. [2]

Rakennuksen E-luku saadaan yhtälöstä

$$E = (f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{jäähtytys}} Q_{\text{jäähtytys}} + \sum f_{\text{polttoaine}} Q_{\text{polttoaine}} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}) / A_{\text{netto}} \quad (44)$$

| | |
|-------------------------|--|
| E | on rakennuksen E-luku, kWh/m ² a |
| $Q_{\text{kaukolämpö}}$ | on kaukolämmön kulutus, kWh/a |
| $Q_{\text{jäähdytys}}$ | on kaukojäähdytyksen kulutus, kWh/a |
| $Q_{\text{polttoaine}}$ | on polttoaineen x sisältämän energian kulutus, kWh/a |
| $W_{\text{sähkö}}$ | on sähkön kulutus, josta on vähennetty rakennuksessa käytetty omava- raisenergia, kWh/a |
| $f_{\text{kaukolämpö}}$ | on kaukolämmön energiamuodon kerroin |
| $f_{\text{jäähdytys}}$ | on kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin |
| $f_{\text{polttoaine}}$ | on polttoaineen x energiamuodon kerroin |
| $f_{\text{sähkö}}$ | on sähkön energiamuodon kerroin |
| A_{netto} | on rakennuksen lämmitetty nettoala, m ² |

Lasketun ostoenergian perusteella asuinkerrostalon vertailuratkaisun E-luvuksi muodostui 175,58 kWh/m²a.

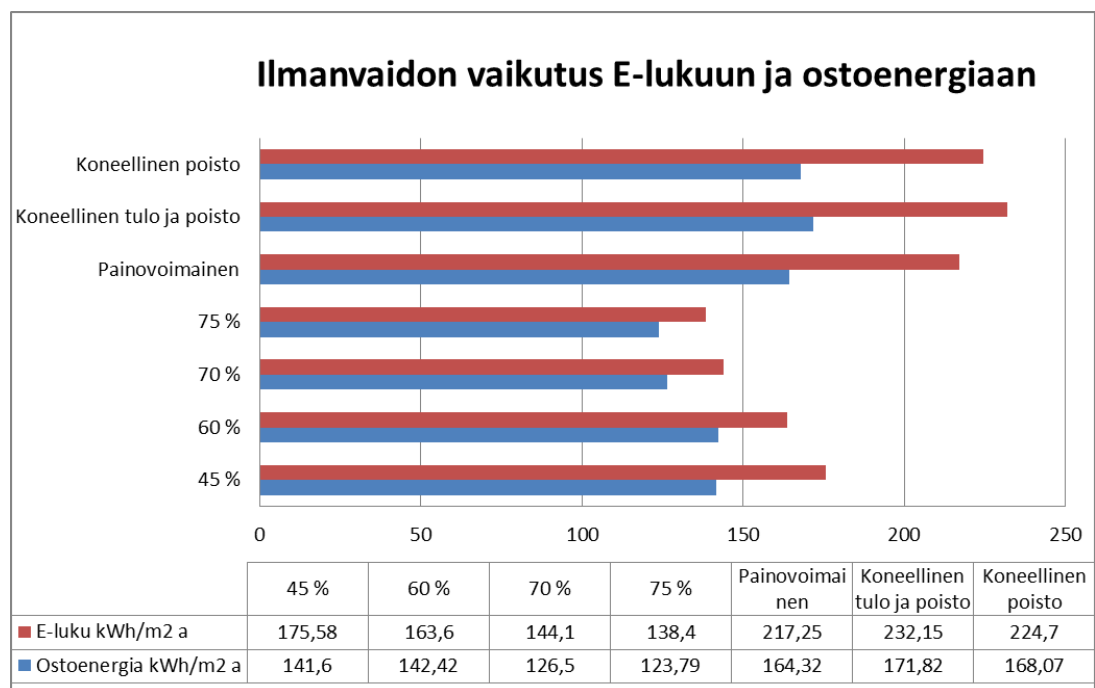
10 E-LUKUUN JA OSTOENERGIAAN VAIKUTTAVIMMAT TEKIJÄT

Seuraavissa kappaleissa vertaillaan eri järjestelmien vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailun pohjana toimii edellä laskettu asuinkerrostalon malli. E-luvun ja ostoenergian muutosta tarkastellaan, kun tiettyä talo- tai rakenneteknistä ominaisuutta muutetaan. Vertailtaviksi osa-alueiksi valittiin eri rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, ilmanvaihdon lämmöntalteenotto sekä ilmanvaihtojärjestelmä, ilmanvuotoluku ja lämpimän käyttöveden kiertojohto.

10.1 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Ilmanvaihdon energiatehokkuuden kannalta oleellisimpia asioita ovat ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja ilmanvaihtokoneen käyttämä sähköenergia. Energiatehokkuuden kannalta oleellisin ilmanvaihdon tehokkuutta kuvaava suure on lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, joka antaa parhaan käsityksen rakennuksen ilmanvaihdossa säästettävästä energiamäärästä. [9.]

Vertailun kohteeksi valittiin ilmanvaihdon tutkiminen eri ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhtein sekä ilmanvaihtotavoin. E-luvun ja ostoenergian muutoksia tarkasteltiin neljällä eri lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella sekä painovoimaisella-, koneellisella poisto- ja koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Ominais sähkötehon arvoina lämmöntalteenotollisissa järjestelmissä käytettiin $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Koneellisen tulo- ja poistojärjestelmän SFP-lukuna käytettiin myös $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ja pelkässä koneellisessa poistoilmavaihtojärjestelmässä ominais sähkötehon arvoa $1,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä käytetään SFP lukuna $1,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$, koska kyseisessä järjestelmässä on vain yksi puhallin.



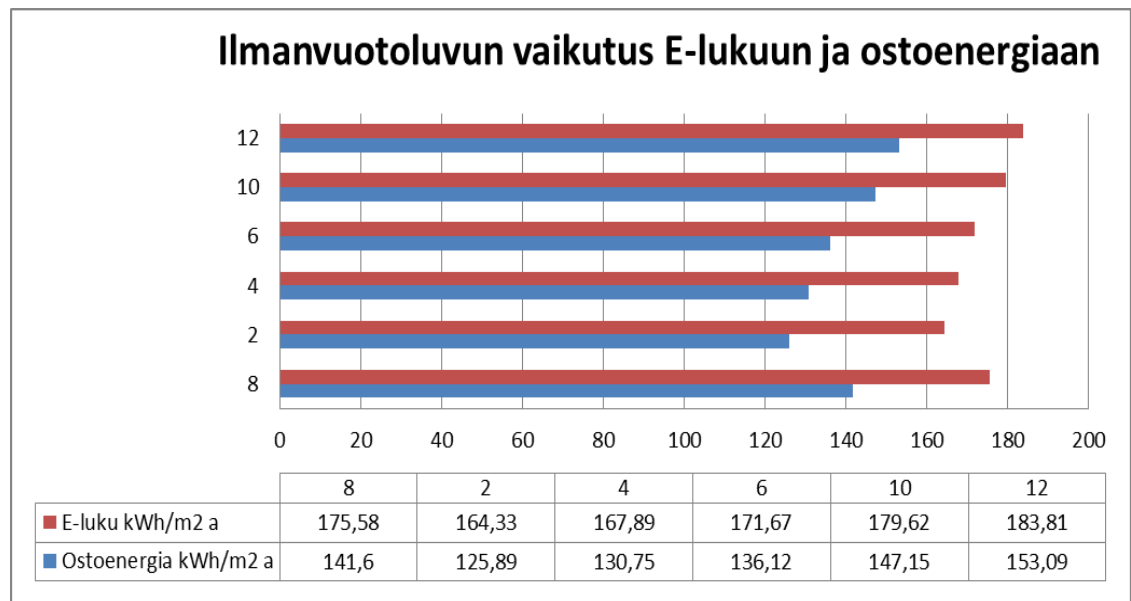
KUVA 8. Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Ilmanvaihtojärjestelmällä on suuri vaikutus rakennuksen energiankulutuskeeseen. Ilman lämmöntalteenottoa olevissa järjestelmissä lämmin jäteilma puhalletaan suoraan ulos, jolloin suuri määrä energiaa hukkaantuu, kun se voitaisiin lämmöntalteenotollisella järjestelmällä käyttää hyödyksi tuloilman lämmittämiseksi. Hyvällä ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteistolla voidaan vähentää rakennuksen energiankulutusta kymmenillä kilowattitunneilla lämmitettyä nettoalaa kohden verrattaessa järjestelmiin, joissa ei minkäänlaista lämmöntalteenottoa ole. Käytännössä uusien

energiatohokkuusvaatimuksien johdosta uudisrakennuksien ilmanvaihdossa on aina oltava jonkinlainen lämmöntalteenottojärjestelmä.

10.2 Ilmanvuotoluvun vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Ilmanvuotoluku saadaan yleisesti ottaen rakennuksen tiiviysmittauksen yhteydessä, mutta uudisrakennuksien osalta voidaan käyttää q50 arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. [2.] Vertailuratkaisun q50 lukuna käytettiin $8,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Kuvassa 8 on esitetty eri ilmanvuotolukujen vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailuratkaisun ilmanvuotoluku on esitetty kuvassa alimmaisena.



KUVA 9. Ilmanvuotoluvun vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Ilmanvuotoluku vaikuttaa hyvin olennaisesti asuinkerrostalon ostoenergiaan ja E-lukuun, sillä se kertoo, kuinka paljon rakennus vuotaa epätiiveyksiensä kautta lämmintä sisäilmaa ulkoilmaan ja kuinka paljon kylmää ulkoilmaa pääsee taloon lämmittämättömänä sisään. Ilmanvuodoista aiheutuvat lämpöhäviöt vaikuttavat lineaarisesti rakennuksen ostoenergian suuruuteen ja E-lukuun. Suuri ilmanvuotoluku lisää rakennuksen lämmittämiseen tarvittavaa energiankulutusta sekä vaikuttaa sisäilmaston viihtyvyyteen heikentävästi. Suuri ilmanvuotoluku voi aiheuttaa vedon tunnetta oleskeluyöhykkeellä ja aiheuttaa suuriakin lämpötilaeroja rakennuksen uloimpien ja sisempien huoneistojen välillä. Rakennuksen tiiveyteen voidaan vaikuttaa merkittävästi

oikeanlaisella ja huolellisella rakentamisella. Huolellisella rakentamisella onkin suuri vaikutus rakennuksen vaipan tiiveyteen.

10.3 Rakenteiden vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Yleinen käsitys on, että parhaiten energiaa säästetään hyvillä rakenteilla ja eristeillä. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan eri rakenneosien vaikutusta ostoenergian määrään ja E-lukuun. Tarkasteltaviksi rakenneosiksi on valittu maanvastainen alapohja, yläpohja ja ulkoseinät sekä ikkunat. Rakennuksen muoto vaikuttaa myös paljon siihen, miten merkittävä vaikutus rakenteiden lämmönläpäisykerroimilla on. Kuvassa 10 on esitetty rakennuksen julkisivut, josta saa kokonaiskuvan rakennuksen muodoista.



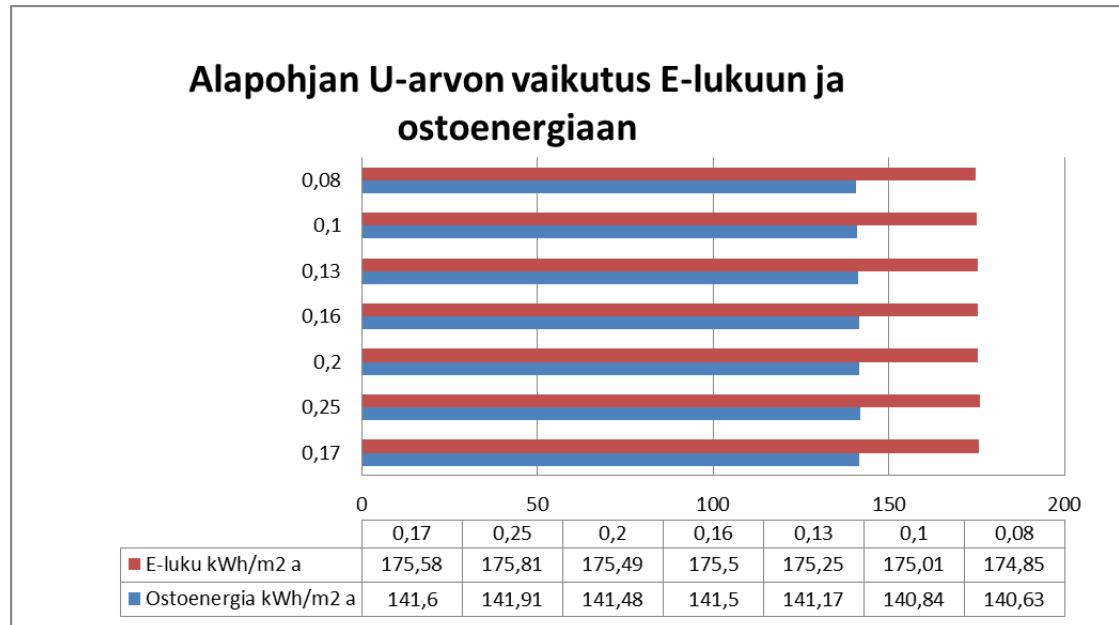
KUVA 10. Asuinkerrostalon muoto ja julkisivut

Asuinkerrostalo on kaarevan muotoinen ja talo on sijoitettu siten, että päädyt ovat suuntautuneet etelään ja pohjoiseen, parvekkeet osoittavat itään ja länteen.

10.3.1 Alapohja

Alapohjan lämmönläpäisykerroimena vertailuratkaisussa käytettiin $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on hyvin yleinen uudisrakennuksissa käytetty eristävyys alapohjarakenteille. Asuinkerrostalossa on alapohjaa maata vasten noin $1125,0 \text{ m}^2$, joka on noin 20 % koko rakennuksen vaipan alasta. Alapohjan vaikutusta vertailtiin kuudella eri lämmönläpäisykerroimella. Kuvassa 11 on esitetty rakennuksen maata vasten olevan alapohjan lämmönläpäisykerroimien vaikutusta rakennuksen E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailuratkaisun alapohjan lämmönläpäisykerroin on esitetty kuvassa alimmaisena. Työssä

ei vertailtu ulkoilmaan rajoittuvan alapohjan vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan, koska sen osuus rakennuksen vaipan alasta ei ollut merkittävä.

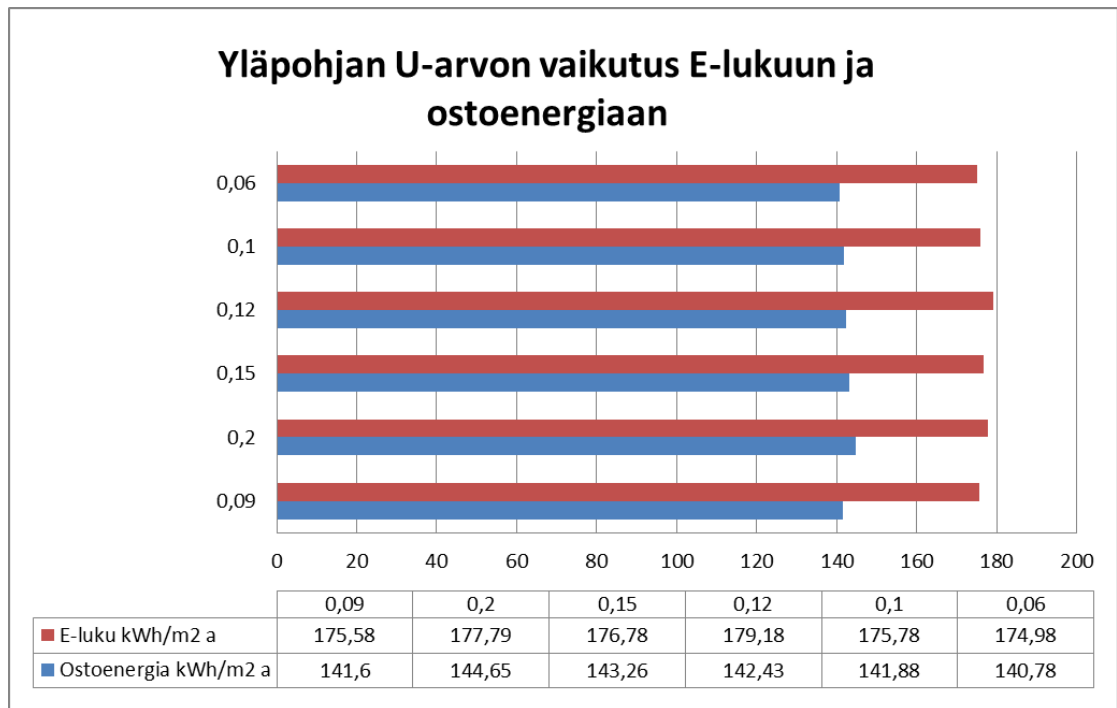


KUVA 11. Alapohjan vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Alapohjarakenteella ei näytä olevan juurikaan vaikutusta tämän muotoisen asuinkerrostalon ostoenergiaan ja E-lukuun. Suurempi vaikutus alapohjarakenteella olisi yksikerroksessa rakennuksessa, jossa alapohjan pinta-alan osuus koko vaipan alasta on huomattavasti suurempi.

10.3.2 Yläpohja

Yläpohjan lämmönläpäisykerroksena vertailuratkaisussa käytettiin $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on myös hyvin yleinen uudisrakennuksissa käytetty eristävyys yläpohjarakenteille. Asuinkerrostalossa on yläpohjaa ulkoilmaa vasten noin $1241,0 \text{ m}^2$ joka on noin 22,3 % koko rakennuksen vaipan alasta. Yläpohjan vaikutusta vertailtiin kuudella eri lämmönläpäisykerroksella. Kuvassa 12 on esitetty rakennuksen ulkoilmaa vasten olevan yläpohjan lämmönläpäisykerroksien vaikutusta rakennuksen E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailuratkaisun yläpohjan lämmönläpäisykerroin on esitetty kuvassa alimmaisena.

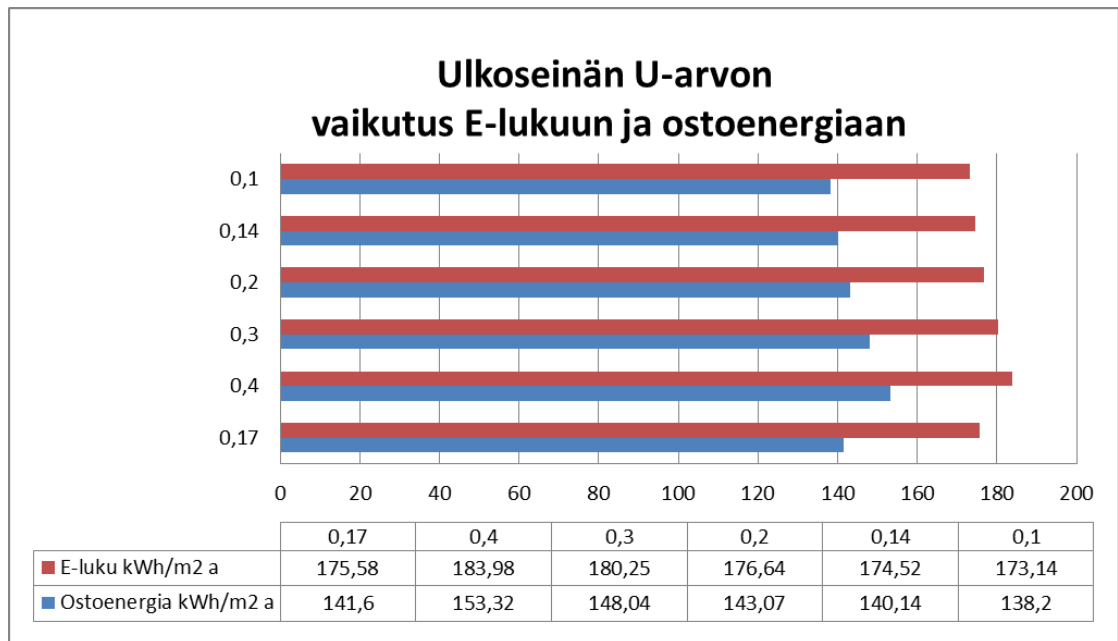


KUVA 12. Yläpohjan vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Alapohjarakenteella kuten ei yläpohjan lämmönläpäisykertoimella näytä olevan suurta vaikutusta tämän muotoisen asuinkerrostalon ostoenergiaan ja E-lukuun. Kuten alapohjankin osalta, yläpohjan lämmönläpäisykertoimella on suurempi vaikutus sellaisissa rakennuksissa, joissa yläpohjan pinta-alan osuus koko vaipan alasta on huomattavasti suurempi.

10.3.3 Ulkoseinät

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien lämmönläpäisykertoimena vertailuratkaisussa käytettiin $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Asuinkerrostalossa on ulkoseinää ulkoilmaa vasten noin $2191,45 \text{ m}^2$, joka on noin 39,4 % koko rakennuksen vaipan alasta. Ulkoseinän vaikutusta vertailtiin kuudella eri lämmönläpäisykertoimella. Kuvassa 13 on esitetty rakennuksen ulkoilmaa vasten olevan ulkoseinän lämmönläpäisykertoimien vaikutusta rakennuksen E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailuratkaisun yläpohjan lämmönläpäisykerroin on esitetty kuvassa alimmaisena. Työssä ei vertailtu maata vasten rajoittuvan ulkoseinän vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan, koska sen osuus rakennuksen vaipan alasta ei ollut merkittävä.

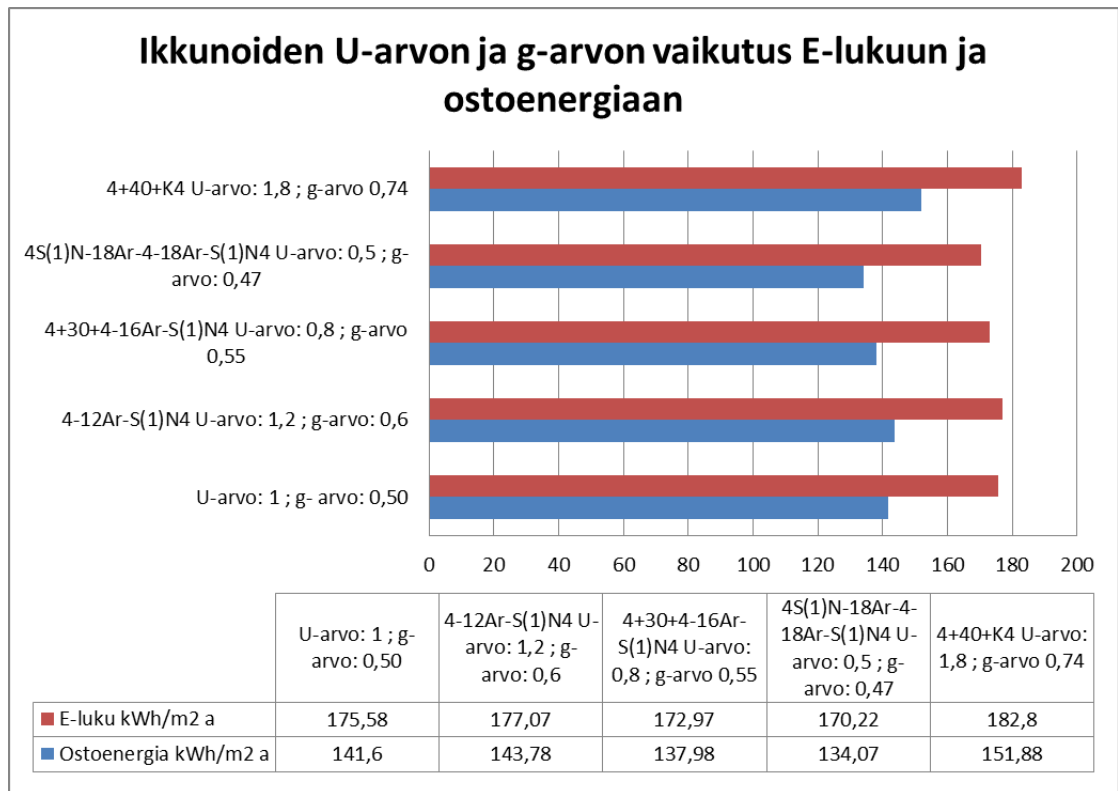


KUVA 13. Ulkoseinän vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimella on suurempi vaikutus asuinkerrostalon ostoenergiaan ja E-lukuun verrattaessa alapohjan ja yläpohjan lämmönläpäisykertoimien vaikuttavuutta. Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen vaikutukset eivät kuitenkaan ole kokonaisuuden kannalta merkittäviä. Selkeänä syynä ulkoseinän suurempaan vaikutukseen on sen suurempi osuus rakennuksen vaipan alasta.

10.3.4 Ikkunat

Ikkunoiden lämmönläpäisykertoimena vertailuratkaisussa käytettiin $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja g -arvona $0,55$. Ikkunan energiatehokkuuteen vaikuttaa U -arvon lisäksi g -arvo, auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, joka kuvaa, kuinka suuri osuus auringon lämpösäteilystä pääsee ikkunoiden läpi huonetilaan. Asuinkerrostalossa on ikkunoita $707,2 \text{ m}^2$, joka on noin $12,7 \%$ koko rakennuksen vaipan alasta. Ikkunoiden pinta-alaan on laskettu mukaan parvekkeiden lasiset liukuovet. Ikkunoiden vaikutusta vertailtiin viidellä eri markkinoilta löytyvällä ikkunatyypillä. Ikkunatyypit vertailuun on valittu Pilkingtonin ikkunavalikoimasta. Kuvassa 14 on esitetty rakennuksen ikkunoiden lämmönläpäisykertoimien vaikutusta rakennuksen E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailuratkaisun ikkunoiden lämmönläpäisykerroin on esitetty kuvassa alimmaisena.



KUVA 14. Ikkunoiden vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Ikkunoiden lämmönläpäisykertoimella on suhteessa suurempi vaikutus asuinkerrosta-lon ostoenergiaan ja E-lukuun, vaikka ikkunoiden osuus on pienempi kuin muiden rakenneosien. Ikkunoiden suurempi vaikutus johtuu siitä, että ikkunat ovat ovien lisäksi rakennuksen vaipan huonoimmin lämpöä eristävä rakenneosa. Ikkunoiden lämmönläpäisykertoimet ovat monta kertaa heikompia verrattaessa muihin rakenneosiin. Ikkunoiden g-arvolla on E-lukuun oma merkityksensä, sillä g -arvon suuruus vaikuttaa siihen kuinka paljon auringon lämpösäteilyä saadaan hyödynnettyä rakennuksen lämmityksessä. Mitä suurempi osuus auringon lämpösäteilyä saadaan hyödynnettyä lämmityksessä, sitä pienempi osuus jää lämmitysjärjestelmän tehtäväksi. Ikkunoiden g-arvoilla on myös oma vaikutuksensa kesäajan huonelämpötiloihin, josta on oma vertailu kappaleessa 11. Verrattaessa perusratkaisun ikkunoiden lämmönläpäisyker-toimen vaikutusta ominaisuuksiltaan heikoimpaan, U-arvoltaan 1,8 W/m²K ikkunaan ja taas ominaisuuksiltaan parhaimpaan, U-arvoltaan 0,55 W/m²K ikkunaan, ei os-toenergian ja E-luvun vaikutukset ole suuret.

10.4 Lämpimän käyttöveden kiertojohto

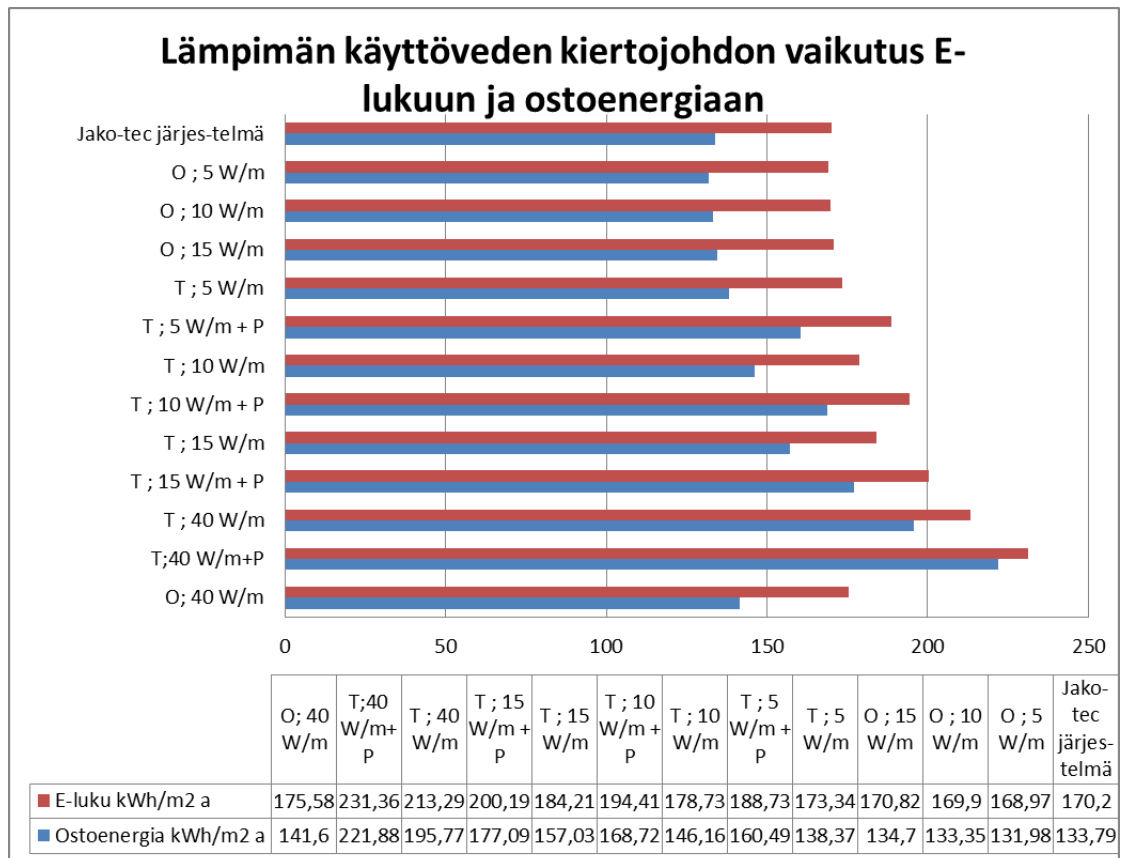
Vertailuratkaisun lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituutena käytettiin D5:n määritelmää ominaispituudelle. Ominaispituus lasketaan lämmitettävän nettoalan ja käyttötarkoitukseluokalle määritetyn kertoimen perusteella. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus voidaan määrittää myös muilla keinoilla, kuten laskemalla pohjapiirustuskien avulla suurpiirteiset reitit putkivedoille, jollei alustavia LVI-kuvia ole vielä käytettävissä. Yhtenä vertailtavana järjestelmänä oli myös markkinoilta löytyvä keskitetty Jakotec – Talotekniikkajärjestelmä. Jakotec – Talotekniikkajärjestelmän pituus määritettiin myös pohjakuvien perusteella.

Jakotec – Talotekniikkajärjestelmä perustuu porraskäytävissä sijaitseviin elementteihin, joissa on kaikki kerroskohtaiset lämmitykseen, jäähdytykseen ja käyttöveden jakeluun liittyvät varusteet samassa paketissa. Tämä minimoi lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituuden verrattain perinteiseen lämpimän käyttöveden kiertojohdon jakotapaan. [8.]

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon vaikutusta asuinkerrostalon E-lukuun ja ostoenergiaan verrattiin todellisten pituuksien arvoja käyttäen sekä ominaispituuksia käyttäen. Molempia pituuksia verrattiin eri eristepaksuuksin josta muodostuu häviöt metriä kohden, sekä vertailuun otettiin mukaan myös kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden vaikutus. Vertailussa oli mukana myös Jakotec- elementtiratkaisu. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon vaikutusta vertailtiin siis yhteensä kolmellatoista eri tavalla. Taulukossa 3 on esitetty eri vertailtavat asiat yksityiskohtaisemmin. Kuvassa 15 on esitetty lämpimän käyttöveden kiertojohdon vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailuratkaisu on esitetty kuvassa 15 alimmaisena.

TAULUKKO 3. Lämpimän käyttöveden kiertojohto, vertailtavat jako- ja eristystavat

| Lämpimän käyttöveden kiertojohto, vertailtavat jako- ja eristystavat | | | |
|--|----------------------------|--------------|--|
| | Kiertojohdon pituus (m) | Häviöt (W/m) | Kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä |
| 1. Vertailuratkaisu | 224,4 | 40 | - |
| 2 | 1267,2 | 40 | 1/as (89 kpl) |
| 3 | 1267,2 | 40 | - |
| 4 | 1267,2 | 15 | 1/as (89 kpl) |
| 5 | 1267,2 | 15 | - |
| 6 | 1267,2 | 10 | 1/as (89 kpl) |
| 7 | 1267,2 | 10 | - |
| 8 | 1267,2 | 5 | 1/as (89 kpl) |
| 9 | 1267,2 | 5 | - |
| 10 | 224,4 | 15 | - |
| 11 | 224,4 | 10 | - |
| 12 | 224,4 | 5 | - |
| 13 | Jakotec elementti 260,0 | 10 | - |



KUVA 15. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon vaikutus E-lukuun ja ostoenergiaan

Kuvasta selviää, että lämpimän käyttöveden kiertojohdolla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Käyttöveden kierron kuluttamaan energiaan vaikuttaa myös sen piituden määrittämisessä käytetty laskentatapa. Todellisuudessa kiertojohtoa tulee paljon enemmän mitä ominaispituuden kertoimella määritettäessä. Tämä johtaa siihen, ettei laskennallinen kulutus kuvaa todellisia kiertojohdosta aiheutuneita häviöitä. Kiertojohdon pituuteen vaikuttaa paljon myös rakennuksen muoto. Yksirappuisessa, korkeassa asuinkerrostalossa voidaan päästä hyvinkin lähelle ominaispituuden määrittelemää arvoa, mutta erimuotoisissa kerrostaloissa todellinen pituus on selvästi suurempi. Vertailtavassa rakennuksessa oli kolme eri porrashuonetta ja rakennus on muodoltaan sellainen, että kiertojohtoa tulee paljon vaakasuunnassa, korkeussuunnassa ei niinkään merkittävästi. Perinteistä jakotapaa käyttäen käyttöveden kiertojohtoa tuli yli 5,5 kertaa enemmän, mitä ominaispituuden avulla määriteltynä. Kiertojohtoon liitetyt lämmityslaitteet kasvattavat rakennuksen ostoenergiaa ja sitä myötä E-lukua. Yllättävää oli, että Jakotec-

Talotekniikkajärjestelmällä päästiin hyvin lähelle ominaispituuksilla saatuja arvoja. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon eristyspaksuudella on suora vaikutus kiertojohtosta aiheutuviin häviöihin, joka näkyy suoraan E-luvussa sekä ostoenergian määrässä. Parhaimpaan tulokseen E-luvun ja ostoenergian kannalta päästään todellisuudessa käyttämällä jotakin elementtiratkaisua, jossa on hyvä eristyspaksuus kiertojohtoon ympärillä. Tällä tavalla minimoidaan lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pituus ja siitä aiheutuvat häviöt. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon liitettyjä lämmityslaitteita tulisi välttää E-luvun ja ostoenergian kannalta.

10.5 Yhteenveto

Asuinkerrostalon E-lukuun ja ostoenergiaan vaikuttavimmiksi tekijöiksi ilmenivät talotekniset järjestelmät ja niissä käytetyt ratkaisut. Yhdellä rakennusteknisen ominaisuuden muutoksella ei ole niin suurta vaikutusta koko rakennuksen energiankulutukseen kuin yhden taloteknisen ominaisuuden muutoksella. Sitä voidaan selittää sillä, että rakennuksien vaipan lämmöneristävyudessa on menty jo niin pitkällä, ettei tiettyjen rakenneosien eristyksen muutoksilla saavuteta käytännön hyötyä energiansäästössä tämän kokoluokan rakennuksissa. On muistettava myös se, että jos kaikkia rakenteita huononnettaisiin, niin vaikutukset energiankulutuksessa tietysti kertaantuisivat. Yhden osa-alueen muutoksella ei kuitenkaan ole merkitystä kokonaisuuden kannalta. Taloteknisellä toteutustavalla on suuriakin vaikutuksia kokonaisuuteen ja hyvillä taloteknisillä ratkaisuilla voidaan helposti kompensoida esimerkiksi heikompia rakenteiden ominaisuuksia. Oikeanlaisella talotekniikalla ja järkevillä rakenteilla päästään optimaalisimpaan tulokseen E-luvun ja ostoenergian kannalta.

11 ASUINKERROSTALON KESÄAJAN HUONELÄMPÖTILATARKASTELU

Tässä kappaleessa tutkitaan eri taloteknisten ja rakenneteknisten ratkaisujen vaikutusta kesäajan huonelämpötiloihin kyseisessä asuinkerrostalossa. Tavoitteena on kartoittaa tehokkaimpia ylläampemistä ehkäiseviä keinoja tässä kohteessa. Asuinkerrostalon huonelämpötilavertailussa käytettiin IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmaa. Sää tietoina simuloinnissa käytetään Helsingin 2012 testisään kesäkuukausia, sisäisten lämpökuormien arvoina D3 taulukon tietoja, sekä suunniteltuja

ilmamääriä. [2, s. 9, 29.] Vertailtaviksi osa-alueiksi valittiin ikkunoiden g-arvo, aurinkosuojaus kaihtimin ja markiisein, valaistus, ilmanvaihto sekä olohuoneen ja makuuhuoneiden välisten ovien aukiolo.

11.1 Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen

Kesäajan huonelämpötilan laskelma vaaditaan energiaselvityksessä Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan uudisrakennuksille, jotka eivät kuulu käyttötarkoitustuokkiin 1 tai 9 [6, s.1; 2, s.9]. Uusiin asuinkerrostaloihin vaaditaan huonelämpötilatarkastelu, jonka tuloksena saadaan tilojen jäähditysrajan ylittävät astetuntimäärät, jotka tulee esittää rakennuksen energiaselvityksessä. [6, s.1.] Rakennuksien sisäolosuhteita käsitellään Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa D2 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012 sekä D3 Rakennuksen energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012. Rakentamismääräysten uudistuminen on osa energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa, joilla pyritään energiatehokkuuden parantamiseen rakennuksissa kuitenkin huonontamatta sisäolosuhteita. [6, s.4.]

Sisälämpötilatarkastelulla osoitetaan lupahakemusvaiheessa suunnitteluratkaisun kesäajan huonelämpötilojen vaatimuksenmukaisuus tilojen standardikäytöllä ja säällä. Standardikäytönmukaiset sisäiset lämpökuormat ja käyttöajat on esitetty D3 taulukossa 3 käyttötarkoitustuokittain. [2, s.6] Asuinkerrostalon kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää 27 °C jäähditysrajan arvoa enemmän kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana. [2, s.9] Astetunti kuvaa tietyn raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tuloa. Esimerkiksi 1,5 asteen raja-arvon ylitys kolmen tunnin ajan vastaa 4,5 astetuntia. [4, s.11]

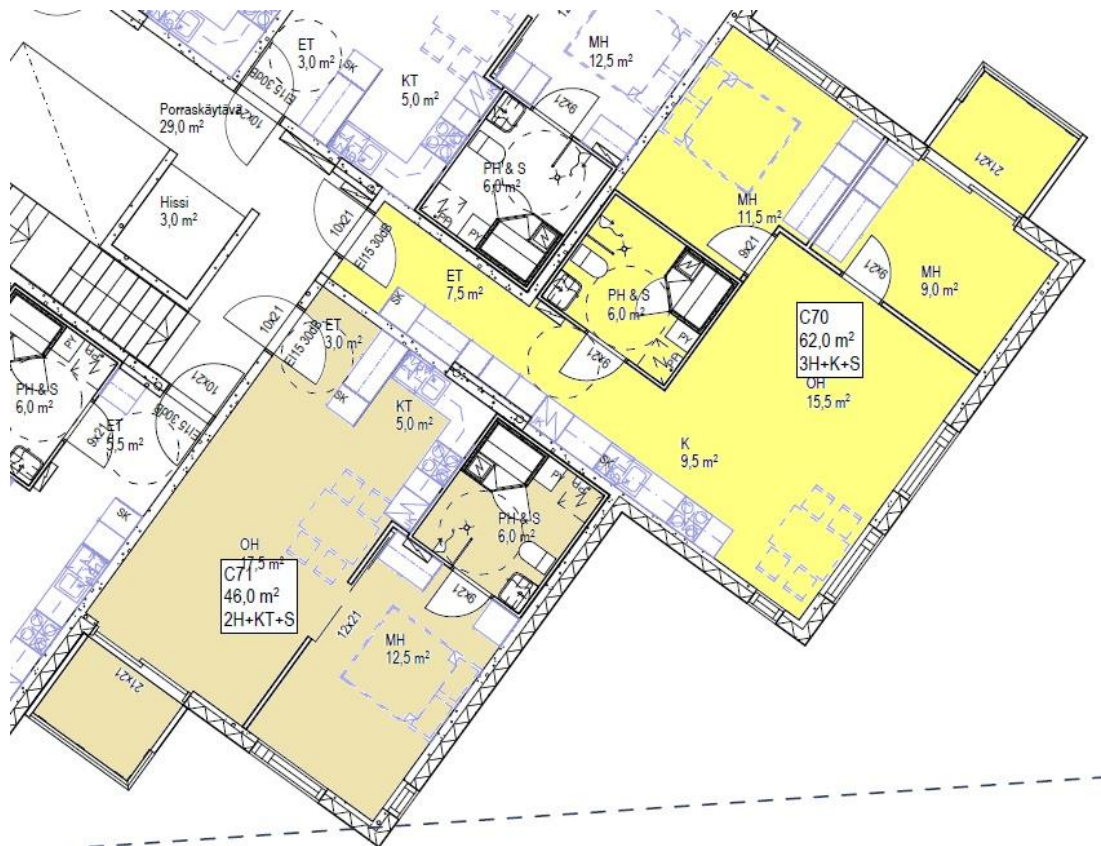
Säätietoina käytetään Helsingin 2012 testisään kesäkuukausia, sisäisten lämpökuormien arvoina D3 -taulukon tietoja, sekä suunniteltuja ilmamääriä. [2, s.9] Laskelmat tulee aina osoittaa dynaamisella laskentatyökalulla. [2, s.27]

Sisälämpötilatarkastelu tehdään tilatyypeille, joissa on eniten lämpökuormia. Asuinkerrostaloissa laskenta tehdään vähintään yhdelle lämpökuormiltaan suurimmalle makuuhuoneelle ja olohuoneelle. [2, s.10] Tämä tarkastelu ei kuitenkaan aina riitä kesä-

ajan lämpötilavaatimuksen täyttymiseen. Jotta haluttaisiin varmistua suunnitellun käyttöajan viihtyvyydestä, tulisi tiloja tarkastella standardikäytön lisäksi myös tyyppitilojen suunnitellulla käytöllä. [6, s.9] Eli jos suunnitteluvaiheessa tiedetään tarkasti kuinka tiloja tullaan todellisuudessa käyttämään, olisi laskenta hyvä suorittaa sellaisilla arvoilla jotka vastaavat parhaiten todellisuutta. Tilojen kesäajan ylikämmenemiseen vaikuttavat merkittävimmin auringon säteilyenergia ja rakennuksessa tapahtuvasta toiminnasta aiheutuvat lämpökuormat.

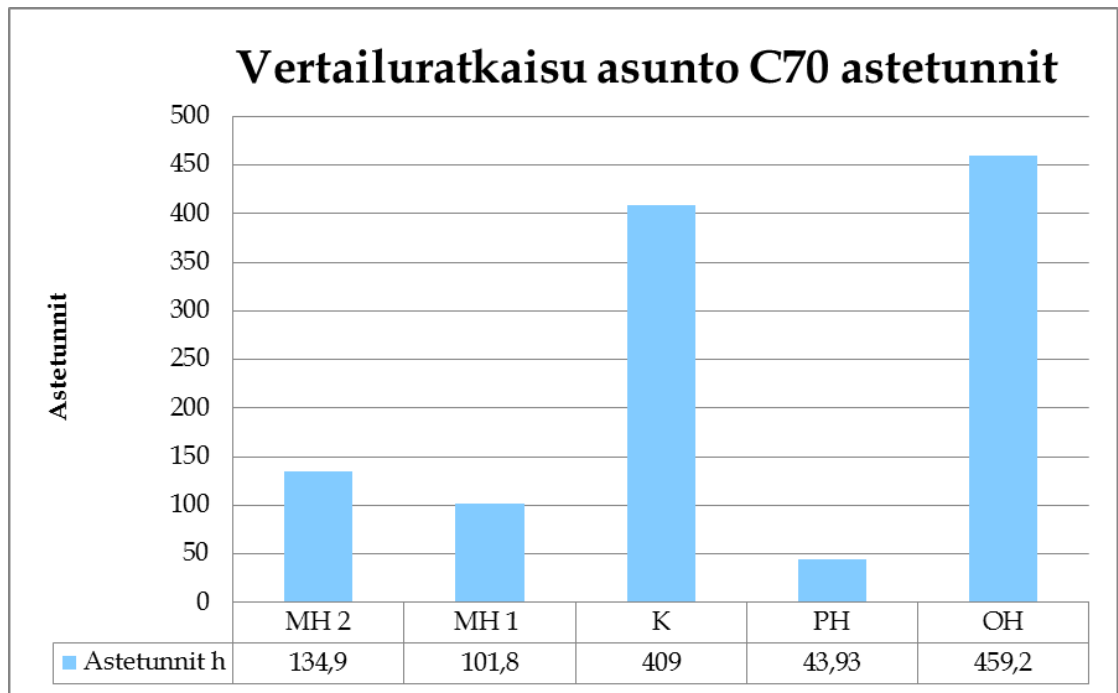
11.2 Vertailuratkaisun simulointi IDA ICE -simulointiohjelmalla

Simuloitavan vertailuratkaisun lähtötietoina käytettiin samoja lähtöarvoja kuin kuu-kausitason E-luku- ja ostoenergiavertailussa. Vertailuratkaisussa oli kaihtimet uloimpien ikkunoiden välissä, aina auki asennossa. Ylin kerros mallinnettiin IDA ICE -simulointiohjelmaan jossa huoneistot, sekä huoneet jaettiin omiin vyöhykkeisiinsä. Simuloinnin perusteella kartoitettiin ylikämmenemiselle herkimät vyöhykkeet. Ylimmän kerroksen alustavan simuloinnin tuloksena herkimmiksi huoneistoiksi ylikämmenemisen osalta osoittautuivat etelä-päädyn kaksi huoneistoa, joista suurempi 62,0 m² asunto ylikämmeni eniten. Kesäajan huonelämpötilavertailut eri ratkaisuin vertailtiin haastavimpaan asuntoon, jossa oli suuret ikkunat etelään, ja pieni tuuletusikkuna länteen. Huoneistossa oli myös ikkuna ja katettu parveke lasiovin jotka osoittivat itään. Kuvassa 14 on esitetty kriittisimmiksi osoittautuneet huoneistot keltaisella ja ruskealla värillä.



KUVA 16. Yliämpenemiselle herkimvät huoneistot

Simulointiin perustuen $62,0 \text{ m}^2$ (C70) asuntoon kohdistui eniten lämpökuormia. Alustavan simuloinnin perusteella vertailut eri ratkaisuihin päätettiin tehdä kyseisen asunnon eri tilatyypeille. Vertailuratkaisun haastavimmiksi huoneiksi osoittautuivat keittiö ja olohuone, joissa oli suuret ikkunapinnat etelään. Kuvassa 17 on esitetty vertailuratkaisun tilatyyppeihin kohdistuneet asetuntimäärät.



KUVA 17. Vertailuratkaisun astetunnit

Vertailuratkaisun asetuntimäärät nousivat huomattavasti yli sallitun 150 asetunnin. Vertailuratkaisussa haastavimmiksi huoneistoiksi osoittautuivat keittiö 409,0 asetunnilla ja olohuone 459,2 asetunnilla. Suurimpana tekijänä isoihin asetuntimääriin on suuret etelään osoittavat ikkunat, jotka aiheuttavat auringosta johtuvaa lämpösäteilyä oleskelutiloihin. Kuvassa 18 on esitetty vertailuratkaisun simulointikuva, jossa näkyy tarkasteltava huoneisto.



KUVA 18. Ylilämpenemiselle herkin huoneisto

11.3 Aстетuntivertailu

Seuraavissa kappaleissa vertaillaan eri ratkaisujen vaikutusta asetuntimääriin. Eri rakenteiden ominaisuuksien muutoksia vertaillaan edellä esiteltyyn vertailuratkaisuun. Vertailussa ei oteta huomioon muutoksien vaikutusta E-lukuun ja ostoenergiaan. Vertailtavat yllälämpenemisen estomenetelmät on esitelty taulukossa 4.

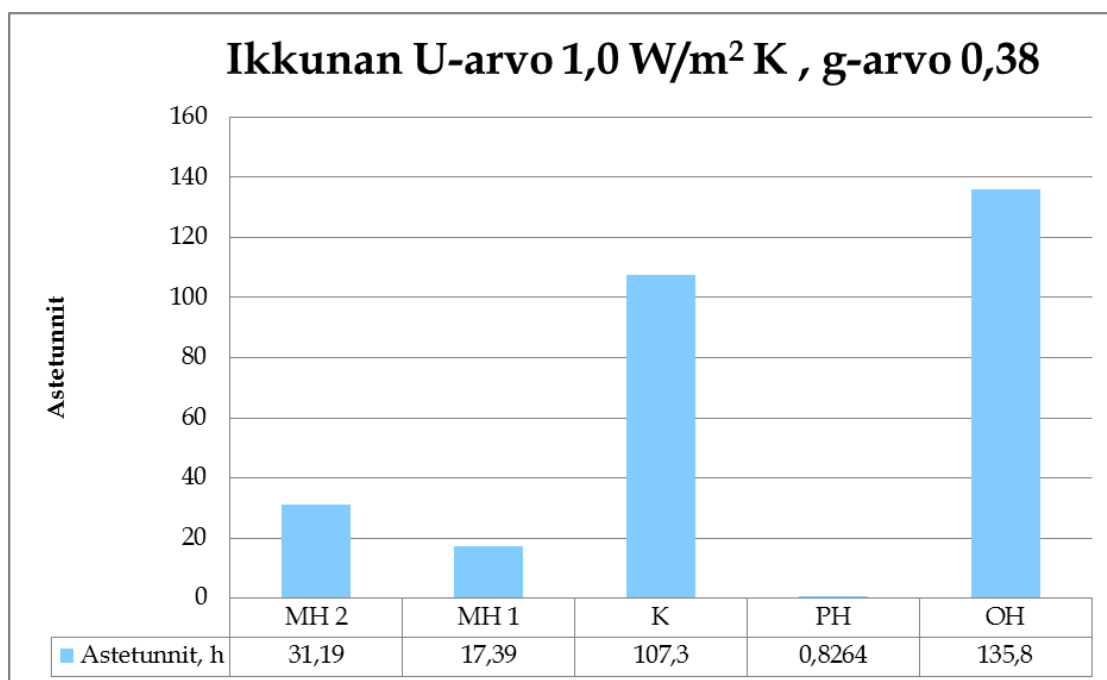
TAULUKKO 4. Vertailtavat passiiviset ratkaisut yllälämpenemisen estämiseksi

| Aстетuntivertailu |
|--|
| 1. Ikkunoiden g-arvo 0,38 |
| 2. Kaihtimet uloimpien ikkunoiden väliin |
| 3. Markkiisit ikkunoiden päälle |
| 4. Valaistustehon pienentäminen |
| 5. Ilmanvaihdon tehostus 1,5-kertaiseksi |
| 6. Makuuhuoneiden ja olohuoneiden väliset ovet aina auki |

11.3.1 Ikkunoiden g-arvo

Ikkunat ovat yleisimmin rakennuksen vaipan huonoimmin lämpöä eristävä rakenneosa, jonka vuoksi rakennuksen suunnitteluvaiheessa on tärkeää kiinnittää huomiota niiden pinta-alaan, suuntaukseen ja teknisiin ominaisuuksiin. Ikkunan lämmöneristävyyttä kuvataan muiden rakenneosien tapaan U-arvolla ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), joka ei kuitenkaan kerro kaikkea ikkunan energiatehokkuudesta. Ikkunan energiatehokkuuteen vaikuttaa myös sen g-arvo, auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, joka kuvaa, kuinka suuri osuus auringon lämpösäteilyä pääsee ikkunoiden läpi huonetilaan. [10]

Vertailuratkaisun ikkunoissa käytettiin U-arvona $1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ja g-arvona 0,50, joka on yleisesti uudisrakentamisessa käytetty ikkunatyypin. Ikkunan g-arvon muutosta asetuntimäärään verrattiin vaihtamalla ikkunoiden g-arvoksi 0,38. Kuvassa 19 on esitetty asetuntimäärät, kun haastavimman huoneiston ikkunoiden g-arvoa muutetaan 0,50:stä 0,38:aan.



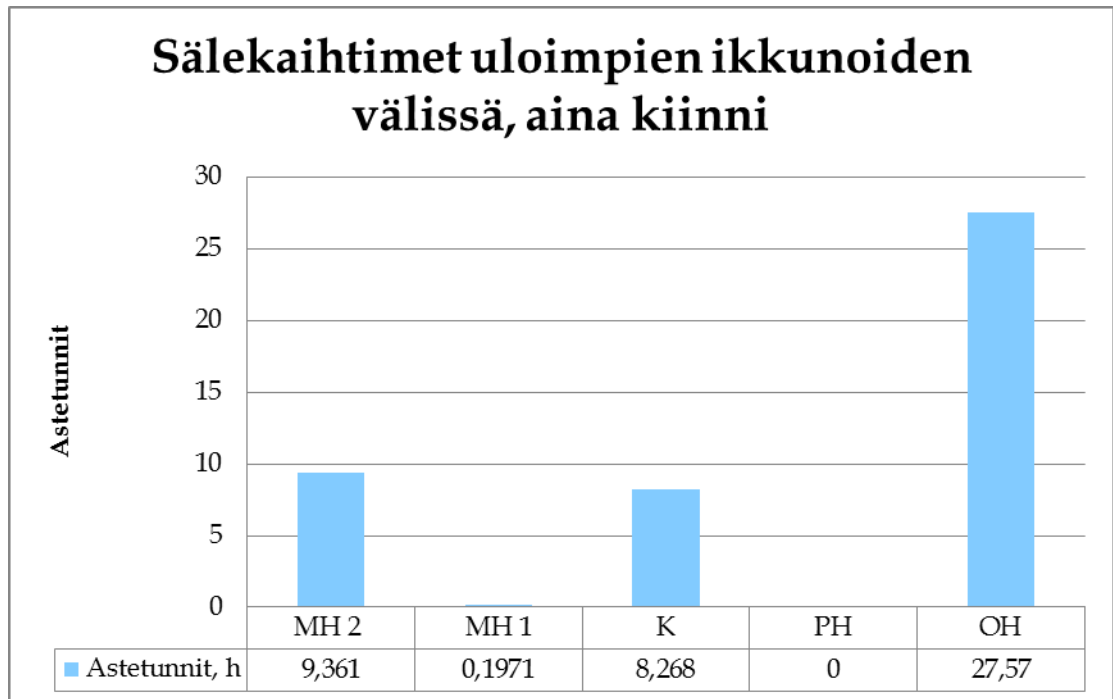
KUVA 19. Astetunnit ikkunoiden U-arvolla $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ja g-arvolla $0,38$

Ikkunoiden g-arvolla on huomattava merkitys astetuntimääriin huoneistossa. 12 prosenttiyksikön muutos ikkunoiden kokonaisläpäisykertoimeen parantaa kriittisimmän huoneen astetunnit alle 150 h.

11.3.2 Kaihtimet

Suomessa ikkunoiden välissä yleisesti käytettävät sälekaihtimet vaikuttavat huomattavasti oleskelutiloihin pääsevän auringonsäteilyn määrään. On suuri merkitys, mitä pintaa vasten sälekaihtimet on sijoitettu. Kaikista paras vaikutus sälekaihtimilla on, jos ne sijoitetaan ikkunoiden ulkopintaan, ja taas heikoin vaikutus, jos kaihtimet sijaitsevat sisäpinnassa.

Astetuntimäärän muutosta tarkasteltiin, kun sijoitettiin kolmikerroksisten ikkunoihin kaihtimet uloimpien ikkunoiden väliin. Vertailuratkaisussa käytettiin myös kaihtimia määritettäessä astetunteja, mutta niiden asentona pidettiin aina auki. Vertailussa kaihtimien vaikutusta tehostettiin pitämällä ne kiinni kaikki kesäkuukaudet. Kuvassa 18 on esitetty astetuntimäärät, kun haastavimman huoneiston ikkunoiden uloimpaan väliin asetetaan sälekaihtimet. Sälekaihtimien oletukseksi asetettiin aina kiinni.

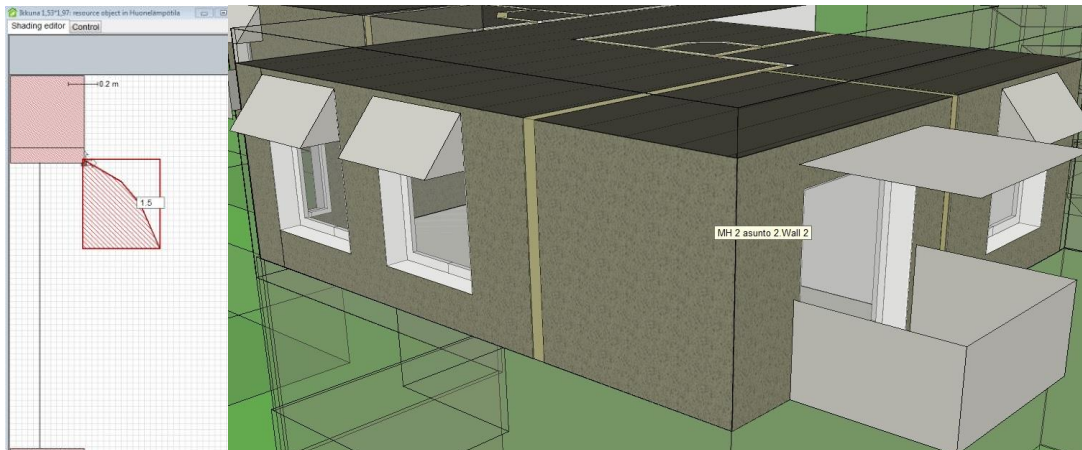


KUVA 20. Astetunnit sälekaihtimien ollessa kiinni koko tarkasteluvälin

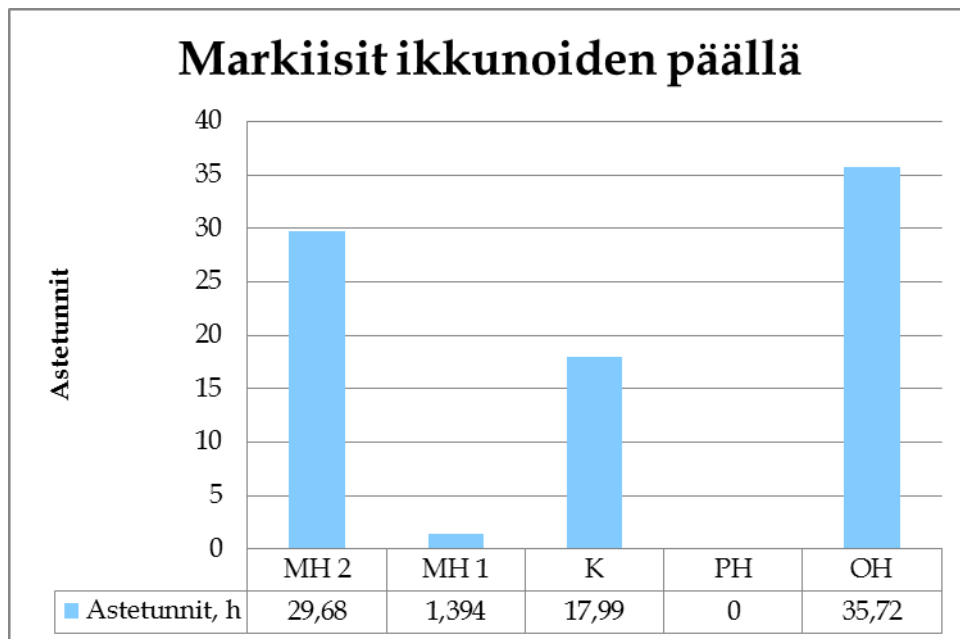
Astetuntimäärät putosivat lähes olemattomiksi sälekaihtimien vaikutuksesta. Sälekaihtimien tehon suuruus selittyy myös sillä, että ne olivat koko ajan kiinni.

11.3.3 Markiisit

Vertailuratkaisun ikkunoiden edessä ei käytetty minkäänlaisia aurinkosuojauksia. Markiisien vaikutusta astetuntimäärään verrattiin laittamalla jokaisen ikkunan yläpintaan markiisi, joka peittää koko ikkunan leveydeltään. Markiisit olivat korkeudeltaan noin 0,50 metriä ja ulottuvuus seinän ulkopinnasta oli myös noin 0,50 metriä. Kuvassa 21 on esitetty markiisien muoto havainnollisemmin. Kuvassa 22 on esitetty astetuntimäärät, kun haastavimman huoneiston ikkunoiden yläpintaan sijoitetaan markiisit.



KUVA 21. Markiisien muoto



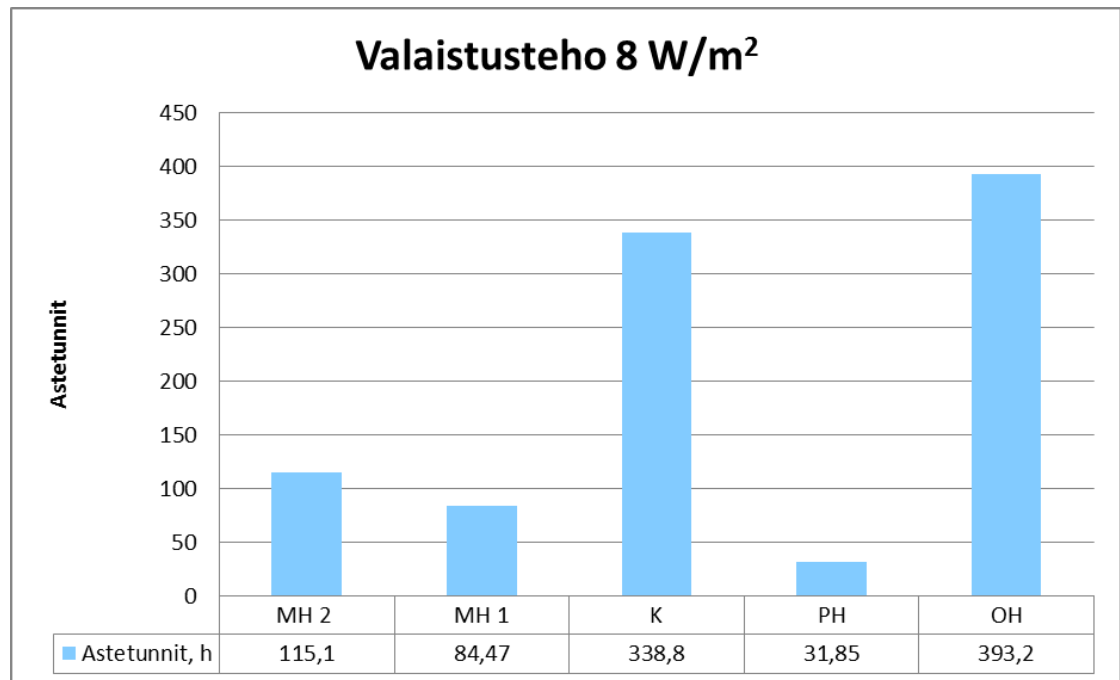
KUVA 22. Astetunnit markiisein

Huoneiston astetuntimäärät tippuivat huomattavasti tässäkin tapauksessa. Auringon aiheuttamaa haitallista säteilyenergian vaikutusta sisäoloihin voidaan siis hyvin tehokkaasti estämään pienillä markiiseilla. Esteenä markiiseiden käytölle voi olla visuaaliset seikat sekä paikkakuntaakohtaiset ohjeistukset rakennusvalvonnan osalta.

11.3.4 Valaistus

Vertailuratkaisussa käytettiin valaistustehona standardikäytön mukaista 11 W/m^2 . Nykyään led-valoilla ja muilla energiansäästölampeilla päästään helposti alle standardi-

käytönmukaisen valaistustehon. Valaistustehoa voidaan muuttaa laskennassa, jos se lasketaan tarkemmin. Asetuntimäärän muutosta tarkasteltiin muuttamalla valaistusteho arvoon 8 W/m^2 . Kuvassa 23 on esitetty asetuntimäärät, kun haastavimman huoneiston valaistustehoa muutetaan.



KUVA 23. Asetunnit valaistusteholla 8 W/m^2

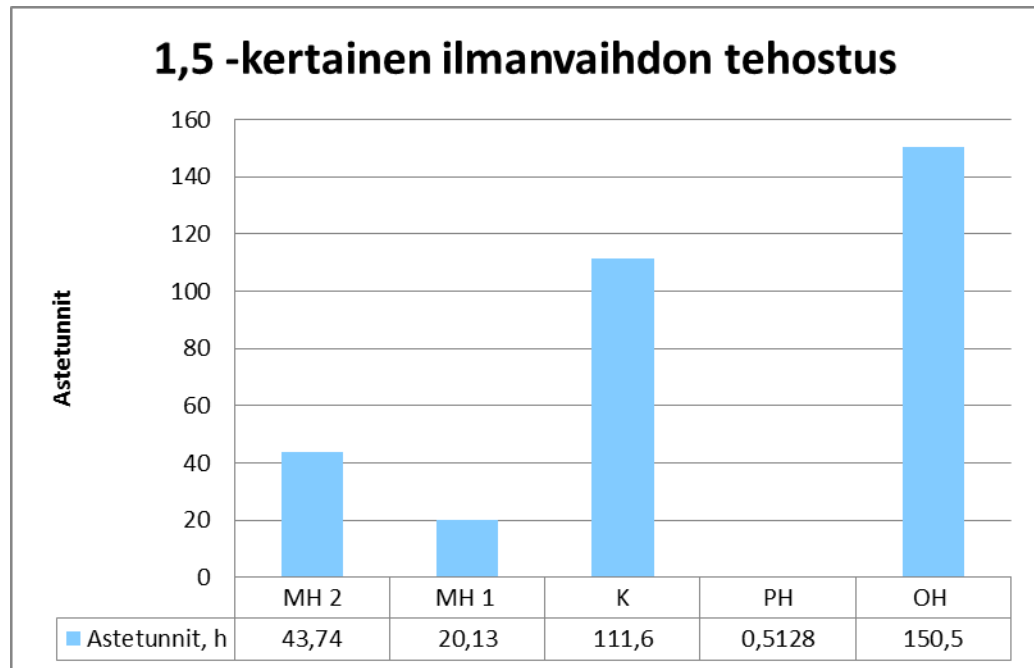
11.3.5 Ilmanvaihto

Vertailuratkaisussa on koneellinen keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä, jonka ilmavirrat on määritetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 perusteella. Ylilämpenemiselle herkimpien huoneistojen ilmavirrat on esitetty taulukossa 4 [1.]

TAULUKKO 4. Tarkasteltavien huoneistojen ilmamäärät

| Huone | Asunto 70 C | |
|-------|-----------------|-----------------|
| | $q_{v,p}$ (l/s) | $q_{v,t}$ (l/s) |
| OH | - 13 | 8 |
| MH1 | - | 12 |
| MH2 | - | 6 |
| K | -15 | - |
| PH | -5 | 5 |

Ilmanvaihdon tehostuksen vaikutusta astetuntimäärään verrattiin kasvattamalla ilmavirtoja 1,5-kertaisiksi kesäkuukausina. Vertailuasunnon tuloilmavirta oli 31,0 l/s ja poistoilmavirta 33,0 l/s. Ilmavirtoja tehostamalla tuloilmavirraksi saatiin 46,5 l/s ja poistoilmavirraksi 49,5 l/s. Kuvassa 24 on esitetty astetuntimäärät, kun haastavimman huoneiston ilmavirtoja kasvatettiin.



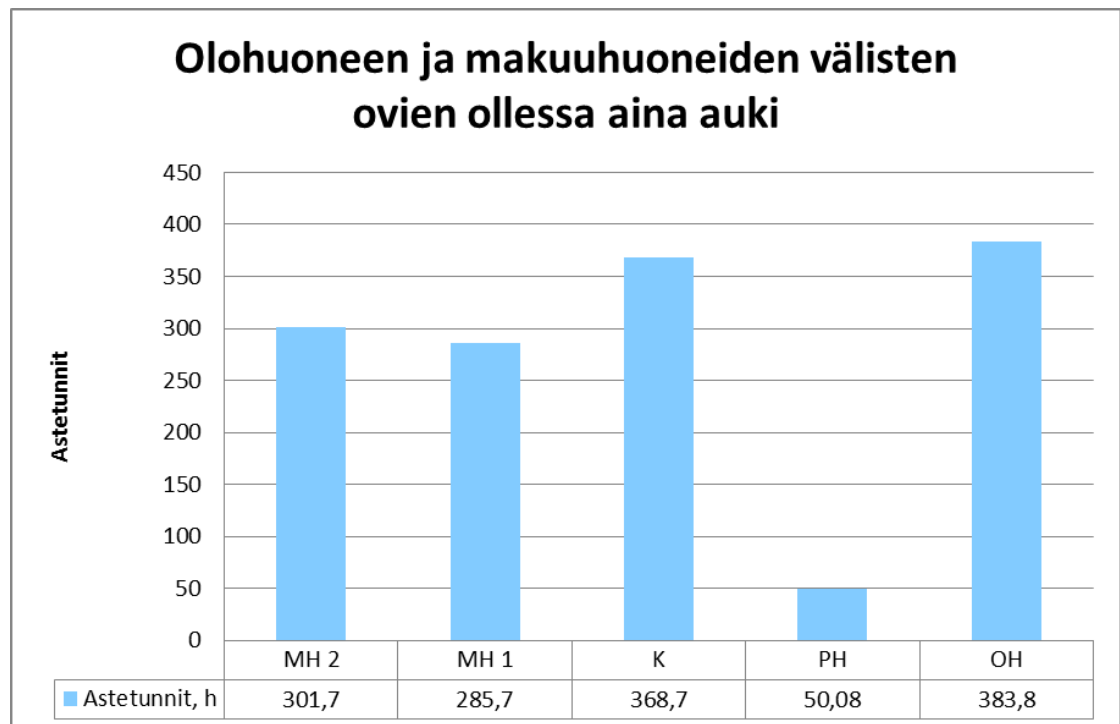
KUVA 24. Astetunnit 1,5 kertaisella ilmanvaihdon tehostuksella

Ilmanvaihdon tehostuksella saadaan aikaan huomattaviakin muutoksia huonelämpötiloihin. Pelkällä ilmavirtojen tehostamisella päästään lähes alle 150 astetunniin. Tämänlainen tehostus vaatii jo rakennuksen alustavassa suunnitteluvaiheessa tarkkaa suunnittelua ilmanvaihtokoneen ja kanaviston suunnittelussa.

11.3.6 Ovien aukiolo

Huoneistossa olevien sisäovien asennolla on myös oma vaikutuksensa vallitseviin sisälämpötiloihin kesäkuukausina. Pidettäessä ovia auki vyöhykkeiden väliset ilmamäärät pääsevät sekoittumaan ja sitä kautta viileämmän vyöhykkeen ilma sekoittuu lämpimämmän vyöhykkeen ilmaan. Ilmamäärien sekoituessa koko huoneiston lämpötila tasaantuu. Simuloitaessa ei saa pitää ns. likaisten tilojen ovia auki, mutta makuuhuoneen ja olohuoneen välisten ovien auki pitäminen on sallittua. Vertailuratkaisun

simuloinnissa vyöhykkeiden väliset sisäovet pidettiin kiinni. Asetuntimäärän muutosta tarkasteltiin, kun makuuhuoneiden ja olohuoneen väliset ovet pidettiin auki asennossa. Kuvassa 25 on esitetty asetuntimäärät, kun haastavimman huoneiston makuuhuoneiden ja olohuoneen väliset ovet pidettiin auki.



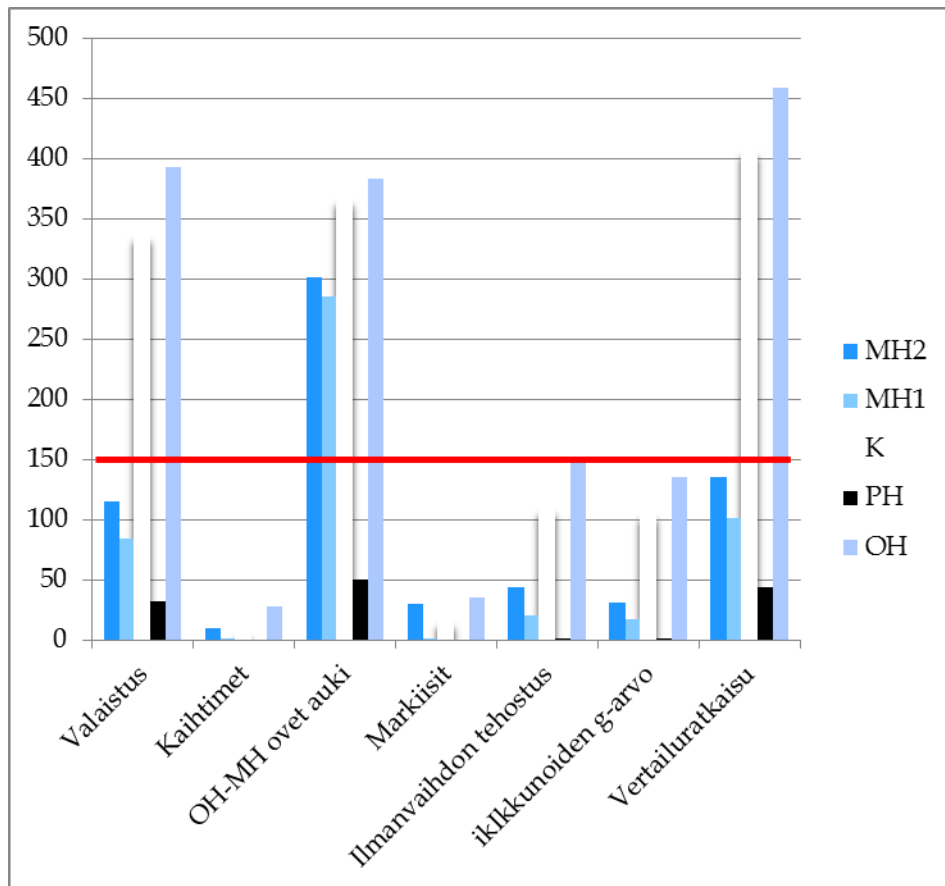
KUVA 23. Asetunnit olohuoneen makuuhuoneiden välisten ovien ollessa auki

Makuuhuoneiden ovien auki pitäminen pienentää haastavimpien huoneiden asetuntimäärää, mutta sillä on todella suuri heikentävä vaikutus muiden huoneiden sisälämpötilaoloihin. Muiden huoneiden olosuhteet huononevat radikaalisti avattaessa huoneiden väliset ovet. Tässä tapauksessa ilmamäärien sekoittumisella oli suurempi negatiivinen vaikutus.

11.4 Yhteenveto

Auringon aiheuttamaa haitallista säteilyenergian vaikutusta voidaan ehkäistä rakennuksen muodoilla, rakenteellisilla varjostuksilla, ikkunoiden suuntauksella, koolla ja lasituksen teknisillä ominaisuuksilla. [6, s. 8.] Kesäajan huonelämpötiloja voidaan hallita tehokkaasti myös tehostamalla ilmanvaihtoa haastavimpina kuukausina. Vertai-

lun tulosten perusteella huonelämpötilat putosivat suunnitteluratkaisuun nähden eniten markiiseilla, ikkunoiden g-arvoa muuttamalla sekä pitämällä kaihtimet kiinni kesäkuukaudet. Huonona puolena kaihtimien kiinni pitämisessä voi olla sen heikentävä vaikutus sisäviihtyvyyteen, koska luonnonvaloa ei sisätiloihin silloin pääse kovinkaan paljon. Markiisien vaikutus huonelämpötiloihin oli myös erinomainen, mutta ulkonäölliset seikat saattavat usein olla este niiden käytölle. Vertailun tuloksena ikkunoiden g-arvon muutoksella saatiin paras vaikutus, jos otetaan huomioon sisäviihtyvyys ja ulkonäölliset seikat. Tässä tapauksessa rakennuksen ulkonäköä ei tarvitsisi muuttaa arkkitehtuurisesti huonelämpötilojen hallinnan vuoksi. Ilmanvaihdon tehostuksella päästiin myös erinomaisiin tuloksiin, mutta ongelmatekijänä tässä ratkaisussa voi olla ilmavirtojen kasvattamisesta syntyvä ääni ja suunnittelun haastavuus, kun ilmavirtoja kasvatetaan. Ilmavirtojen kasvattaminen vaatii ilmanvaihtokoneelta enemmän ja kanavisto tarvitsee enemmän tilaa, jotta ilmanvaihto saadaan toteutettua sisäolosuhteita heikentämättä. Kun ulkonäöllisiä seikkoja ei oteta huomioon, on markiiseilla paras vaikutus sisäviihtyvyyden ja huonelämpötilojen kannalta. Luonnonvaloa pääsee sisään ja olosuhteet pysyvät hallinnassa. Kuvassa 26 on esitetty yhteenveto kaikkien vertailtavien ratkaisujen vaikutuksista kesäajan huonelämpötiloihin.



KUVA 24. Yhteenveto eri ratkaisujen vaikuttavuudesta huonelämpötiloihin

12 JOHTOPÄÄTÖKSET


Uusien energiamääräyksien vuoksi rakennuksien suunnitteluun joudutaan käyttämään entistä enemmän aikaa, ja siinä tulee ottaa huomioon enemmän muuttuvia tekijöitä. Uusien energiamääräyksien myötä uudisrakentamista pyritään ohjaamaan energiatehokkaampaan suuntaan, joka omalta osaltaan lisää rakennusprojektien haastavuutta. Rakennuksista pyritään saamaan energiatehokkaita huonontamatta asumisviihtyvyyttä, mikä usein johtaa siihen, että rakennuskustannukset myös nousevat. Rakennuksien lämmitysenergian tarve on pienentynyt uusien vaatimuksien myötä, jonka vuoksi rakennuksen energiankulutuksen kannalta tärkeimmiksi tekijöiksi osoittautuvat taloteknisten järjestelmien toteutus. Rakenteiden lämmöneristävydessä on päästy niin pitkälle, että energiansäästöllisesti kannattavinta on kiinnittää huomio toteutettavaan talotekniikkaan. Asuinkerrostaloissa hyvällä ilmanvaihtokoneella sekä lämpimän käyttövedenkiertojohdon pituuden minimoimisella saavutetaan energiansäästöllisesti suurimmat vaikutukset ostoenergiassa ja E-luvussa. Rakenteiden lisäeristämällä ei


ole suurta merkitystä rakennuksen ostoenergiaan ja E-lukuun asuinkerrostalojen osalta. Asuinkerrostalojen suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon kesäaikaiset sisälämpötilat ja pyrkiä estämään huoneistojen ylikäynnemistä. Parhaimmiksi huonelämpötilojen hallintakeinoiksi osoittautuivat markiisien käyttö, kun otetaan huomioon sisäviihtyvyys. Saatujen tuloksien perusteella voidaan todeta, että optimaalisimpiin arvoihin rakennuksen E-luvun ja ostoenergian kannalta päästään normaaleilla rakennusmääräyksien asettamalla minimivaatimuksilla rakenteiden lämmönjohtavuuksilla sekä hyvin suunnitelluilla taloteknisillä laitteistoilla.


LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. Suomen rakennusmääräyskokoelma osa D2. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 15.2.2013.
2. Ympäristöministeriö. Suomen rakennusmääräyskokoelma osa D3. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 10.2.2013.
3. Ympäristöministeriö. Suomen rakennusmääräyskokoelma osa D5 Luonnos. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 28.3.2013.
4. Ympäristöministeriö. Tekninen liite muistioon: Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE394582A-37E0-4E21-A2C4-F22EFE93C696%7D/31281>. Päivitetty 28.3.2011. Luettu 12.2.2013.
5. Ympäristöministeriö. Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135713&lan=fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 10.3.2013.
6. Ympäristöministeriö. D3 laskentaopas. Kesäajan huonelämpötilan vaatimustenmukaisuuden osoittaminen. PDF-dokumentti. http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/d3_s_2012.pdf. Päivitetty 14.9.2012. Luettu 4.4.2013.
7. Kurnitski, Jarek. Energiamääräykset 2012 – Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy. 2012.
8. Jakotec Oy. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.jakotec.fi/data/tuotteet/kerrostalotuotteet/index.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 11.5.2013.
9. Teknologiateollisuus. WWW-sivu. <http://teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/lto-vuosihy-tysuhteen-laskenta.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 10.2.2013.
10. Motiva Oy. Yrityksen WWW-sivut. http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_energiatehokkuus. Ei päivitystietoja. Luettu 10.2.2013.


Vertailuratkaisun E-luku ja ostoenergia printscreensit

Lämmitystapa:  Kaukolämpö

Jälkilämmityspatteri:  Sähkö

Omavaraissähköenergia (kWh/a):  0

| E-luku | E-luokka | Ostoenergia | Tasauslaskenta | Tehontarve |
|---|----------|---|----------------|------------|
| Todellinen ostoenergia sijaintipaikkakunnan mukaisella säävyöhykkeellä. | | | | |
| Säävyöhyke I | | | | |
| | | Ostoenergia/m ² : | Ostoenergia: | |
| | | (kWh/m ²) | (kWh) | |
| | | Tilojen lämmitys:  | 26.75 | 139600 |
| | | Jälkilämmityspatteri:  | 23.52 | 122731 |
| | | Lämmin käyttövesi:  | 53.18 | 277537 |
| | | Sähkölaitteet:  | 38.16 | 199172 |
| | | Jäähdytys:  | 0.00 | 0 |
| | | Kaikki yhteensä:  | 141.61 | 739039 |

| E-luku | E-luokka | Ostoenergia | Tasauslaskenta | Tehontarve |
|----------------|----------|---|----------------|--|
| (Säävyöhyke I) | | | | |
| | | Ostoenergia: | E-luku: | |
| | | Tilojen lämmitys (kWh/m ²):  | 28.67 | 22.14 |
| | | Jälkilämmityspatteri (kWh/m ²):  | 28.90 | 49.13 |
| | | Lämmin käyttövesi (kWh/m ²):  | 53.18 | 37.29 |
| | | Sähkölaitteet (kWh/m ²):  | 39.42 | 67.01 |
| | | Jäähdytys (kWh/m ²):  | 0.00 | 0 |
| | | Kaikki yhteensä (kWh/m ²):  | 150.17 | 175.58 |
| | | E-luku: | Raja-arvo: | |
| | | E-luku ja sen raja-arvo:  | 176 |  130 |

IDA Indoor Climate and Energy vers. 4.5

Simulated by TOMMI TIIMONEN
Date 5.9.2013 18:11:56 [27]

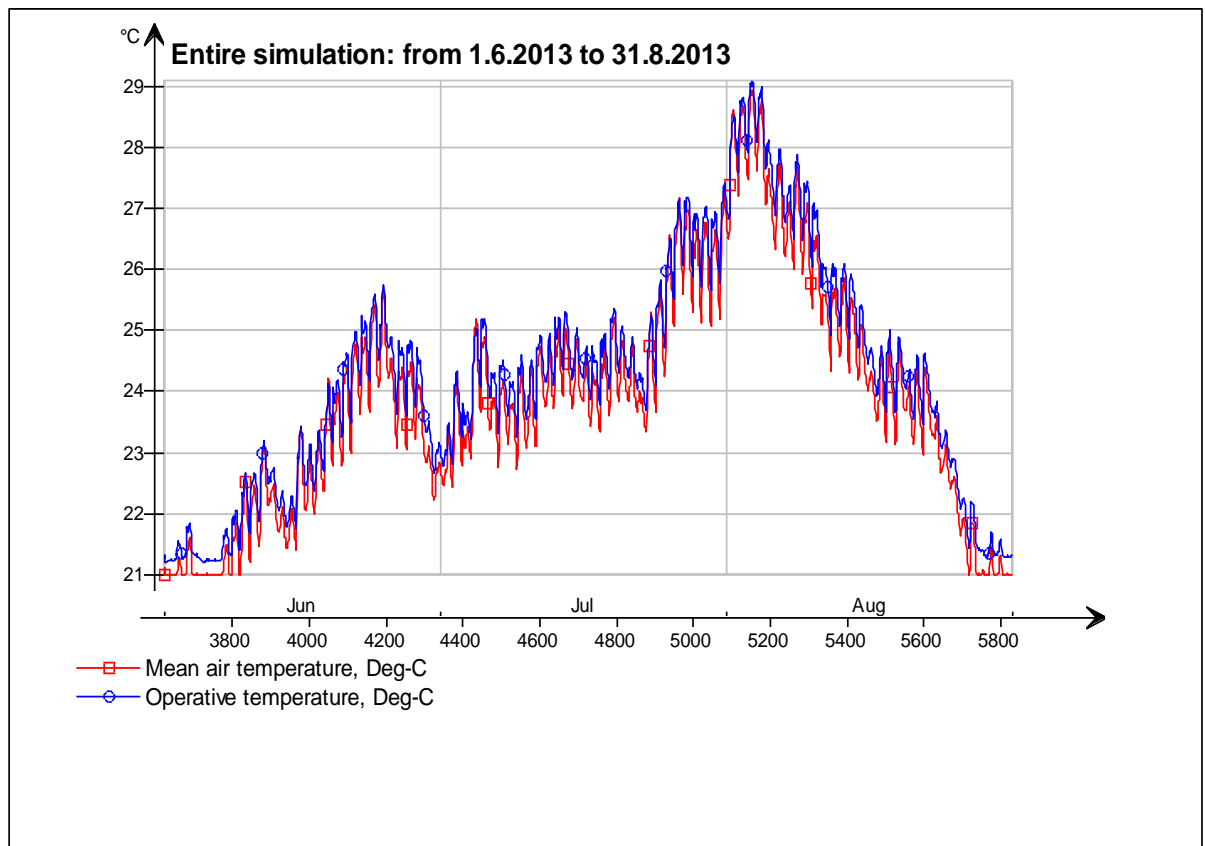
**13 PROJECT DATA**

| | |
|-------------------|---|
| Project name | Huonelämpötila |
| Customer | |
| Description | <p>Mallinnus perustuu vesiradiaattorijärjestelmään 70/40 lämpötiloilla, joka liitetty kaukolämmön alakeskukseen. Mallinnus D3-2012 mukainen.</p> <p>Mallinnusta täydennetty D5-2012 arvoilla seuraavasti:</p> <ul style="list-style-type: none"> -D5 2012 taulukko 3.1-3.3, rakenteiden väliset kylmäsillat -KL-alakeskuksen vuosihyötysuhde ja sähkönkäyttö, D5-2012 taulukko 6.6 (ja 6.7) -Lämmitysjärjestelmän häviöt, D5-2012 kohta 6.2 -Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, D5-2012 taulukko 6.2 |
| Location | Helsinki |
| Climate | Climate file HKi-Vantaa_Ref_2012 |
| Simulation type | Custom simulation |
| Simulation period | 1.6.2013 - 31.8.2013 |

14 SIMULATION RESULTS

15 MH 2 ASUNTO C70

16 Main temperatures



17 Energy for "MH 2 asunto C70"

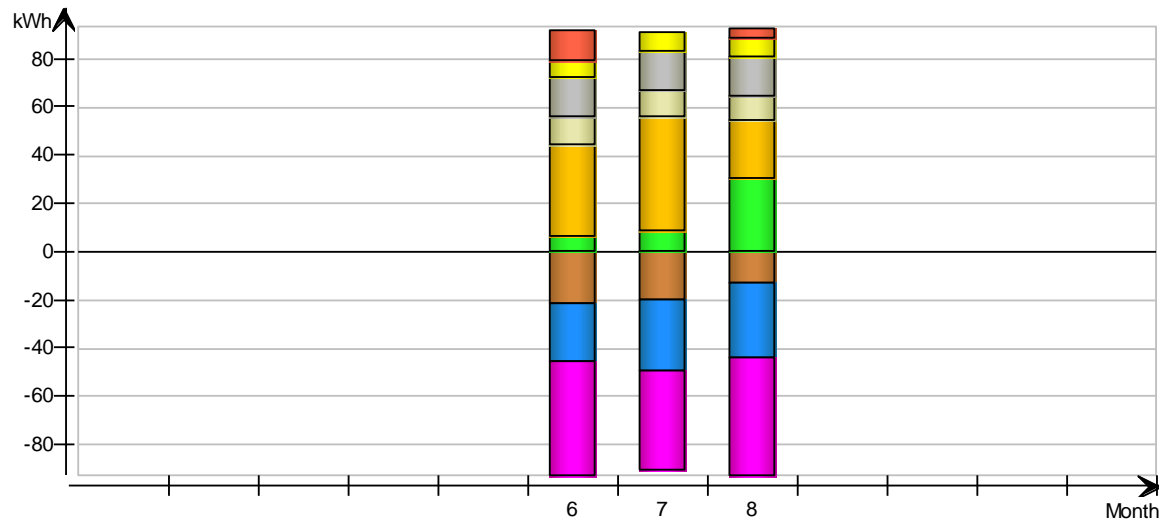
17.1.1 Energy for "MH 2 asunto C70"

kWh (sensible only)

| Month | Envelope & Thermal bridges | Internal Walls and Masses | Window & Solar | Mech. supply air | Infiltration & Openings | Occupants | Equipment | Lighting | Local heating units | Local cooling units | Net losses |
|--------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|---------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | |
| 6 | -21.8 | 6.7 | 38.0 | -23.9 | -46.9 | 11.7 | 16.2 | 7.4 | 12.9 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | -20.3 | 8.6 | 47.6 | -29.4 | -41.3 | 10.7 | 16.8 | 7.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | -13.2 | 30.4 | 24.5 | -31.2 | -48.6 | 10.3 | 16.8 | 7.7 | 3.7 | 0.0 | 0.0 |
| Total | -55.4 | 45.7 | 110.1 | -84.5 | -136.8 | 32.6 | 49.8 | 22.8 | 16.6 | 0.0 | 0.0 |
| During | -12.4 | 8.7 | 8.9 | -11.4 | -31.5 | 7.3 | 9.4 | 4.3 | 16.8 | 0.0 | 0.0 |

Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|
| heating | | | | | | | | | | | |
| During cooling | -11.8 | 0.7 | 29.6 | -14.9 | -18.3 | 3.7 | 7.7 | 3.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rest of time | -31.1 | 36.3 | 71.6 | -58.2 | -87.0 | 21.6 | 32.7 | 15.0 | -0.2 | 0.0 | 0.0 |

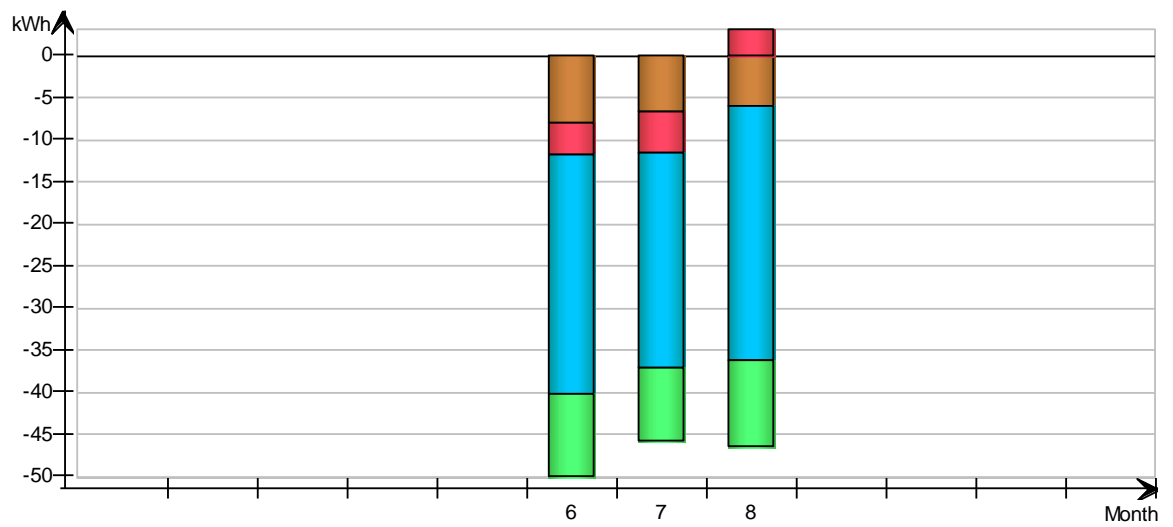


17.1.2 Envelope transmission

kWh

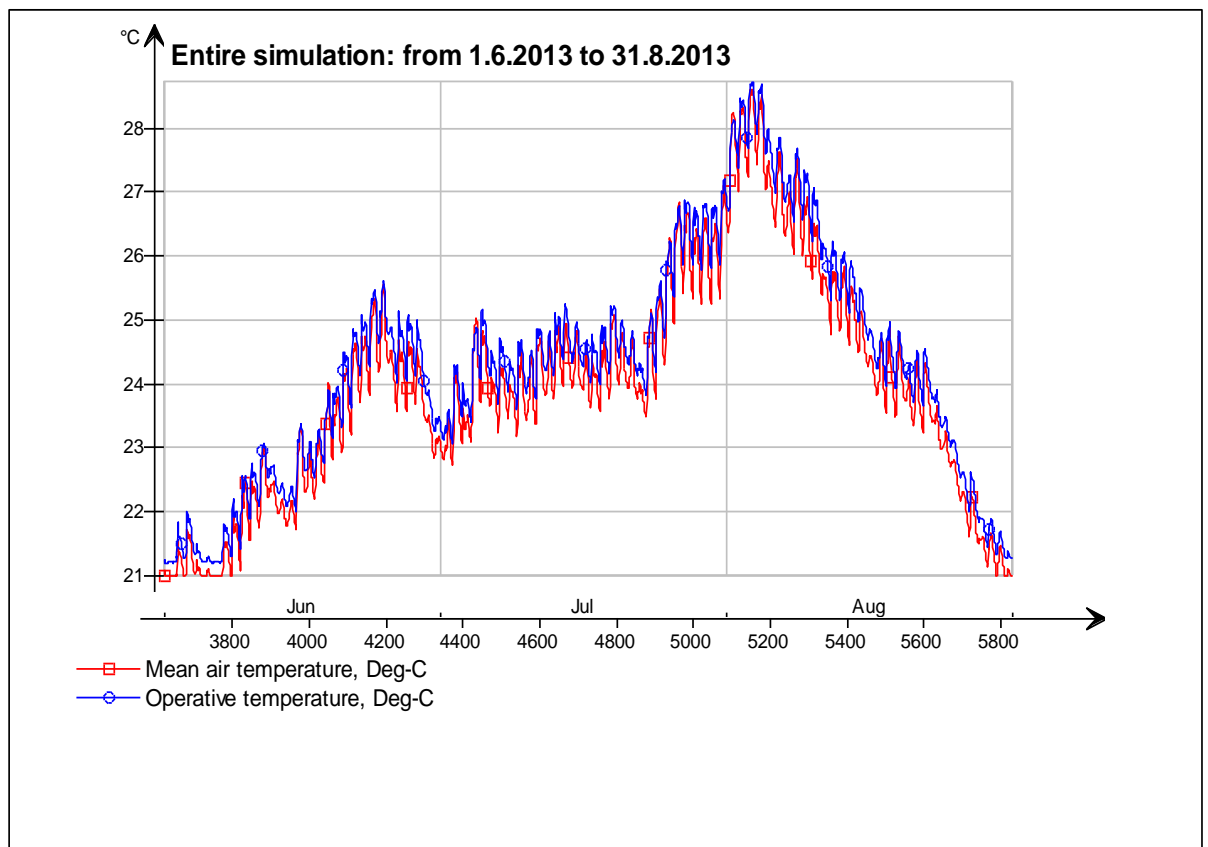
| Month | Walls | Roof | Floor | Windows | Doors | Thermal bridges |
|----------------|-------|------|-------|---------|-------|-----------------|
| 6 | -8.1 | -3.9 | 0.0 | -28.5 | 0.0 | -9.8 |
| 7 | -6.7 | -4.9 | 0.0 | -25.7 | 0.0 | -8.7 |
| 8 | -6.1 | 3.1 | 0.0 | -30.2 | 0.0 | -10.2 |
| Total | -21.0 | -5.8 | 0.0 | -84.4 | 0.0 | -28.6 |
| During heating | -5.3 | -0.5 | 0.0 | -18.9 | 0.0 | -6.6 |
| During cooling | -4.1 | -3.8 | 0.0 | -11.4 | 0.0 | -3.9 |
| Rest of time | -11.6 | -1.5 | 0.0 | -54.1 | 0.0 | -18.1 |

Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset



18 MH 1 ASUNTO C70

19 Main temperatures



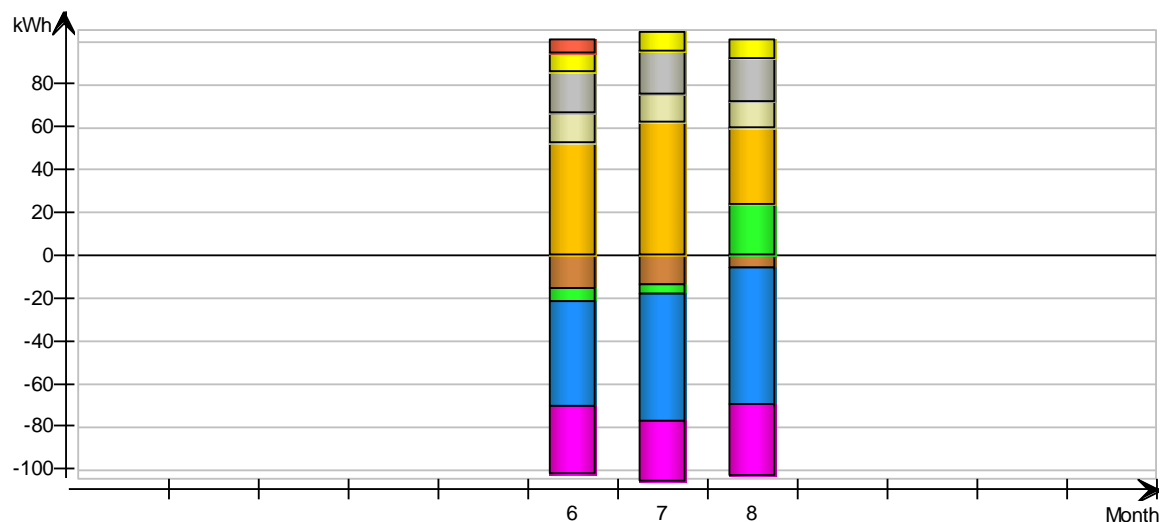
20 Energy for "MH 1 asunto C70"

20.1.1 Energy for "MH 1 asunto C70"

kWh (sensible only)

Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset

| Month | Envelope & Thermal bridges | Internal Walls and Masses | Window & Solar | Mech. supply air | Infiltration & Openings | Occupants | Equipment | Lighting | Local heating units | Local cooling units | Net losses |
|----------------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|---------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | |
| 6 | -15.4 | -6.0 | 52.9 | -48.9 | -31.6 | 14.3 | 19.9 | 9.1 | 6.1 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | -13.9 | -4.1 | 62.1 | -58.9 | -27.7 | 13.1 | 20.5 | 9.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | -6.1 | 23.4 | 36.2 | -63.1 | -32.9 | 12.6 | 20.5 | 9.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| Total | -35.4 | 13.3 | 151.2 | -171.0 | -92.2 | 39.9 | 60.9 | 27.9 | 6.5 | 0.0 | 0.0 |
| During heating | -6.7 | 4.1 | 12.7 | -20.1 | -18.7 | 7.7 | 9.9 | 4.6 | 6.6 | 0.0 | 0.0 |
| During cooling | -8.2 | -4.0 | 34.9 | -28.5 | -11.9 | 4.5 | 9.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rest of time | -20.5 | 13.2 | 103.6 | -122.4 | -61.6 | 27.7 | 41.8 | 19.1 | -0.1 | 0.0 | 0.0 |

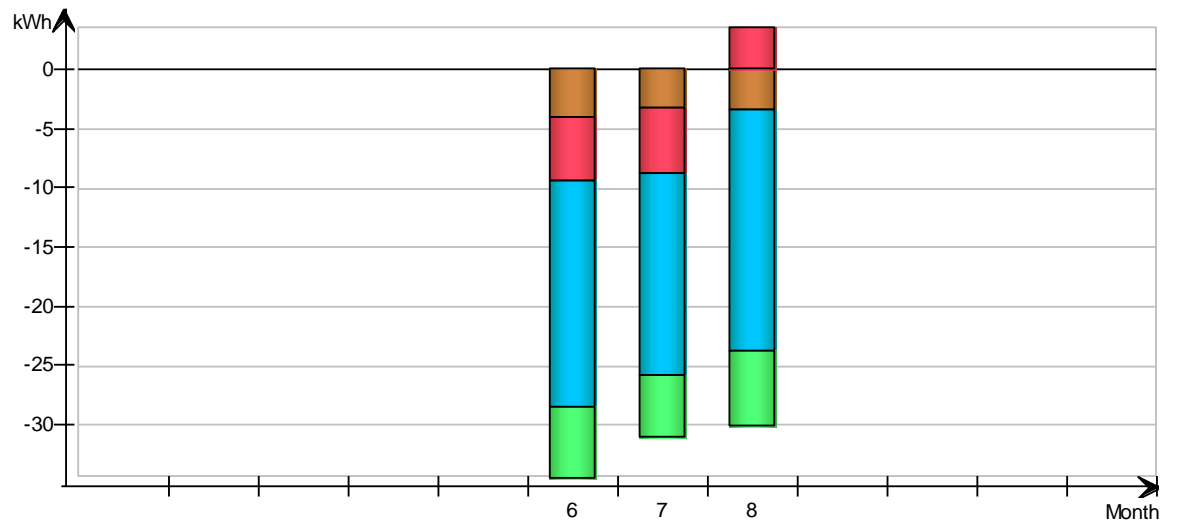


20.1.2 Envelope transmission

kWh

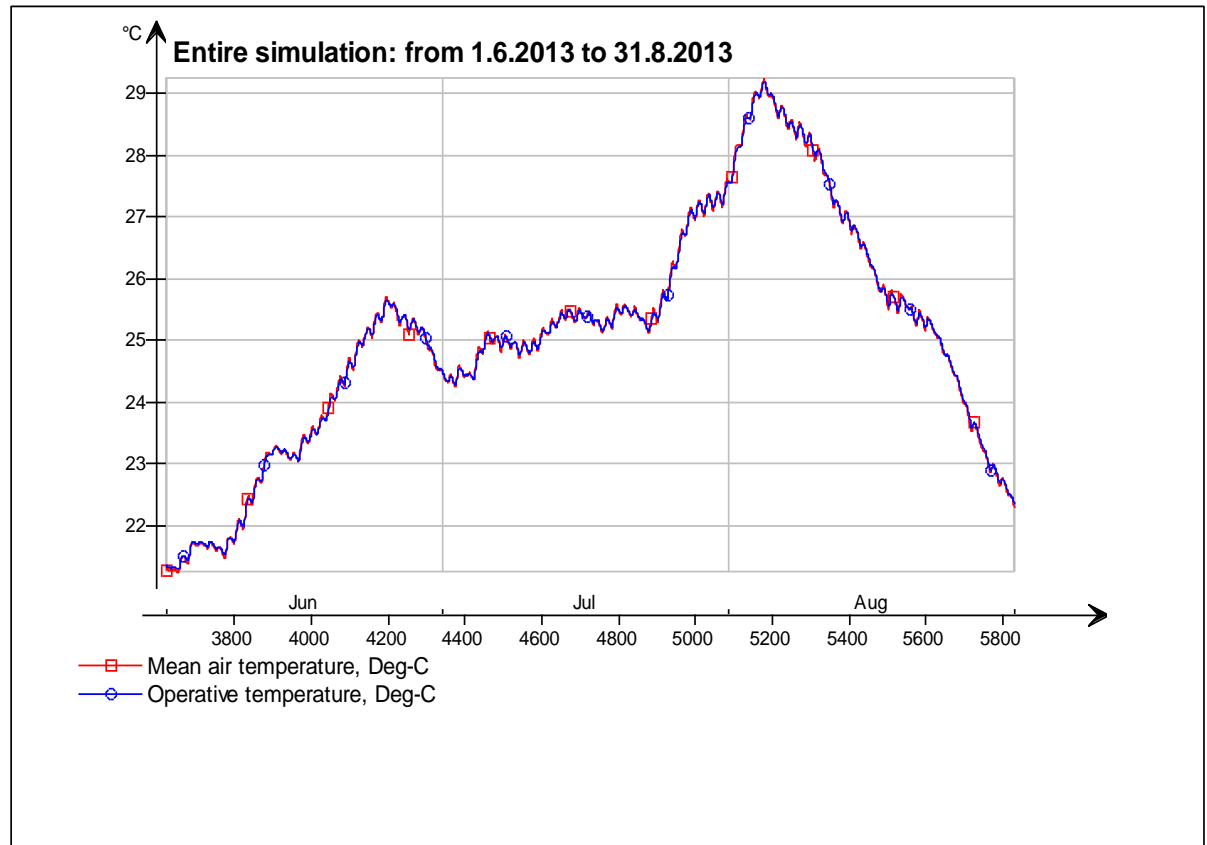
| Month | Walls | Roof | Floor | Windows | Doors | Thermal bridges |
|----------------|-------|------|-------|---------|-------|-----------------|
| | | | | | | |
| 6 | -4.1 | -5.3 | 0.0 | -19.0 | 0.0 | -6.0 |
| 7 | -3.3 | -5.4 | 0.0 | -16.9 | 0.0 | -5.2 |
| 8 | -3.4 | 3.6 | 0.0 | -20.4 | 0.0 | -6.2 |
| Total | -10.8 | -7.2 | 0.0 | -56.4 | 0.0 | -17.4 |
| During heating | -2.3 | -0.8 | 0.0 | -11.3 | 0.0 | -3.5 |
| During cooling | -1.9 | -4.1 | 0.0 | -7.2 | 0.0 | -2.2 |
| Rest of time | -6.6 | -2.3 | 0.0 | -37.9 | 0.0 | -11.7 |

Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset



21 K ASUNTO C70

22 Main temperatures



23 Energy for "K asunto C70"

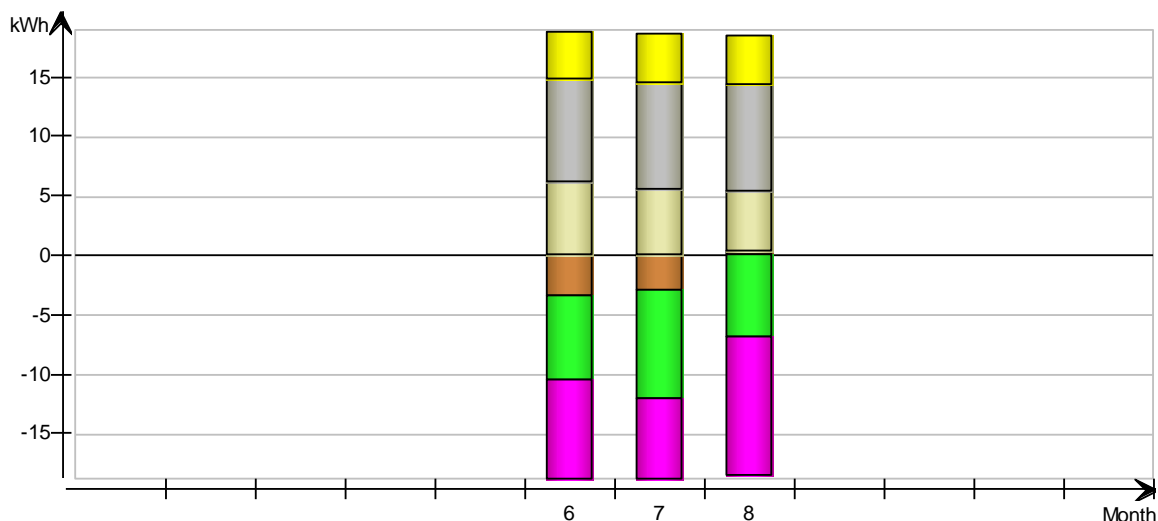
23.1.1 Energy for "K asunto C70"

kWh (sensible only)

| Month | Envelope & Thermal bridges | Internal Walls and Masses | Window & Solar | Mech. supply air | Infiltration & Openings | Occupants | Equipment | Lighting | Local heating units | Local cooling units | Net losses |
|----------------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|---------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | |
| 6 | -3.5 | -7.0 | 0.0 | 0.0 | -8.4 | 6.2 | 8.7 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | -2.9 | -9.0 | 0.0 | 0.0 | -6.7 | 5.6 | 9.0 | 4.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | 0.3 | -6.9 | 0.0 | 0.0 | -11.6 | 5.1 | 9.0 | 4.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Total | -6.0 | -22.9 | 0.0 | 0.0 | -26.6 | 17.0 | 26.7 | 12.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| During heating | -1.1 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | -3.0 | 1.8 | 2.3 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset

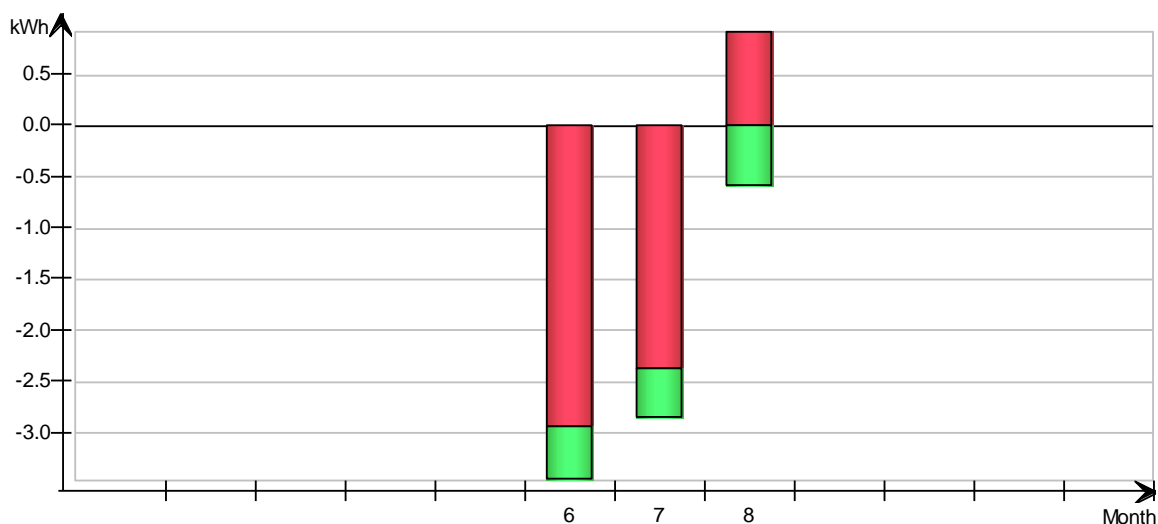
| | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|-------|-----|-----|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| During cooling | -1.4 | -5.4 | 0.0 | 0.0 | -5.7 | 3.2 | 6.5 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rest of time | -3.5 | -16.5 | 0.0 | 0.0 | -17.9 | 12.0 | 17.9 | 8.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |



23.1.2 Envelope transmission

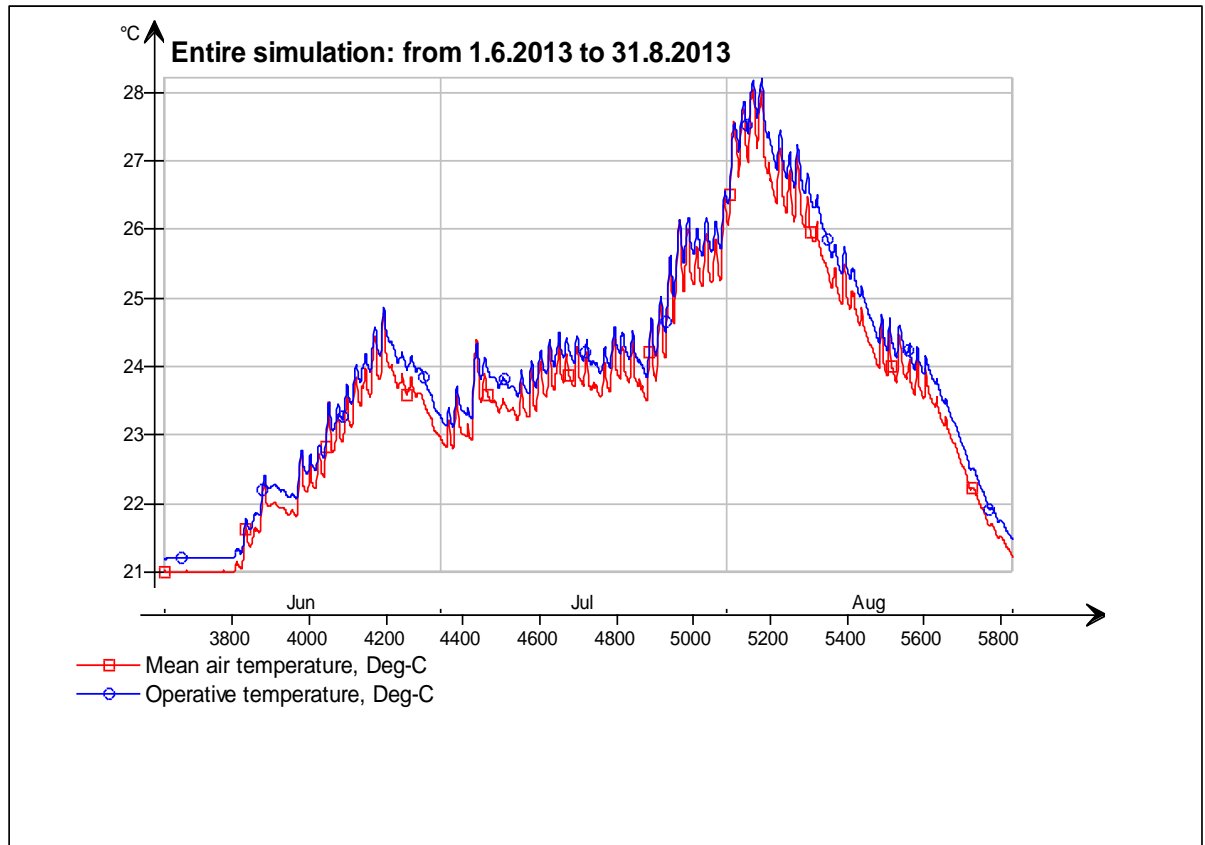
kWh

| Month | Walls | Roof | Floor | Windows | Doors | Thermal bridges |
|----------------|-------|------|-------|---------|-------|-----------------|
| 6 | 0.0 | -3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.5 |
| 7 | 0.0 | -2.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.5 |
| 8 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.6 |
| Total | 0.0 | -4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.6 |
| During heating | 0.0 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.2 |
| During cooling | 0.0 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.4 |
| Rest of time | 0.0 | -2.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.9 |



24 PH ASUNTO C70

25 Main temperatures



26 Energy for "PH asunto C70"

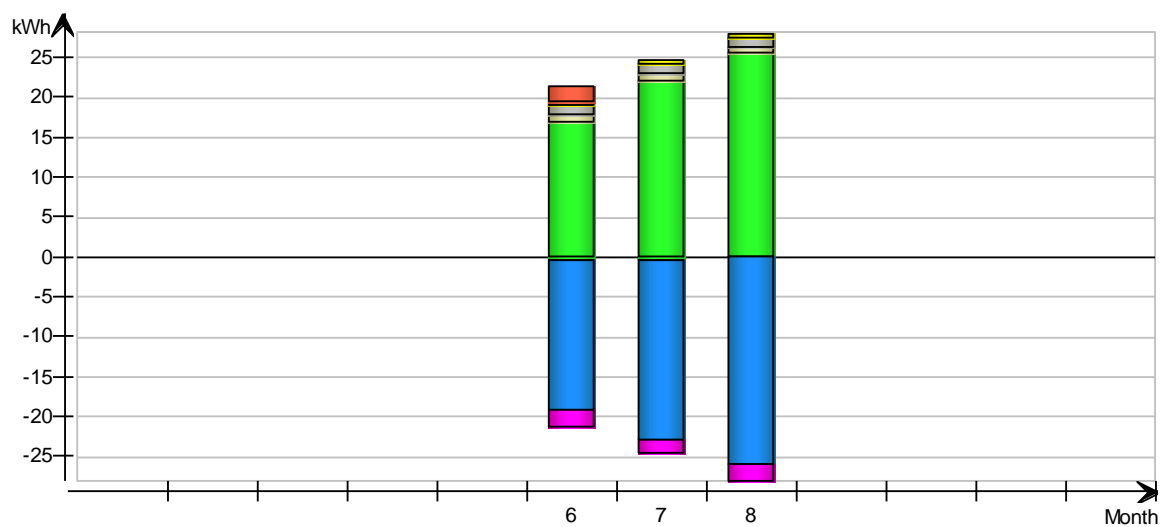
26.1.1 Energy for "PH asunto C70"

kWh (sensible only)

| Month | Envelope & Thermal bridges | Internal Walls and Masses | Window & Solar | Mech. supply air | Infiltration & Openings | Occupants | Equipment | Lighting | Local heating units | Local cooling units | Net losses |
|----------------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|---------------------|------------|
| 6 | -0.4 | 16.8 | 0.0 | -18.8 | -2.0 | 0.9 | 1.2 | 0.6 | 1.8 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | -0.4 | 22.1 | 0.0 | -22.6 | -1.7 | 0.8 | 1.3 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | 0.0 | 25.5 | 0.0 | -26.0 | -2.1 | 0.8 | 1.3 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Total | -0.9 | 64.4 | 0.0 | -67.4 | -5.8 | 2.5 | 3.8 | 1.7 | 1.8 | 0.0 | 0.0 |
| During heating | -0.2 | 7.8 | 0.0 | -9.6 | -1.3 | 0.6 | 0.7 | 0.3 | 1.8 | 0.0 | 0.0 |
| During cooling | -0.1 | 7.9 | 0.0 | -8.1 | -0.5 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset

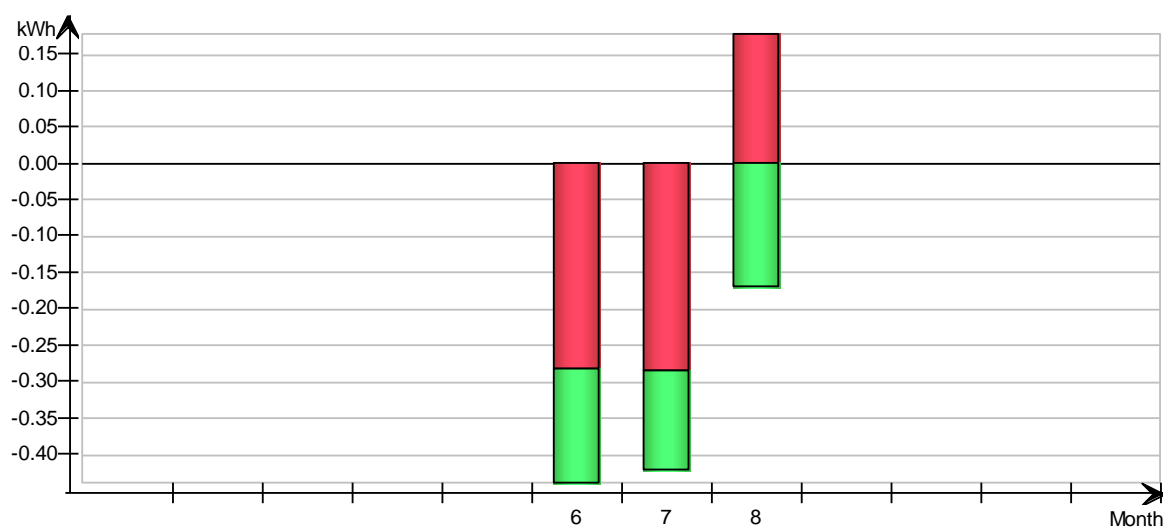
| | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|-----|-------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Rest of time | -0.6 | 48.7 | 0.0 | -49.7 | -4.0 | 1.7 | 2.7 | 1.2 | -0.0 | 0.0 | 0.0 |
|--------------|------|------|-----|-------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|



26.1.2 Envelope transmission

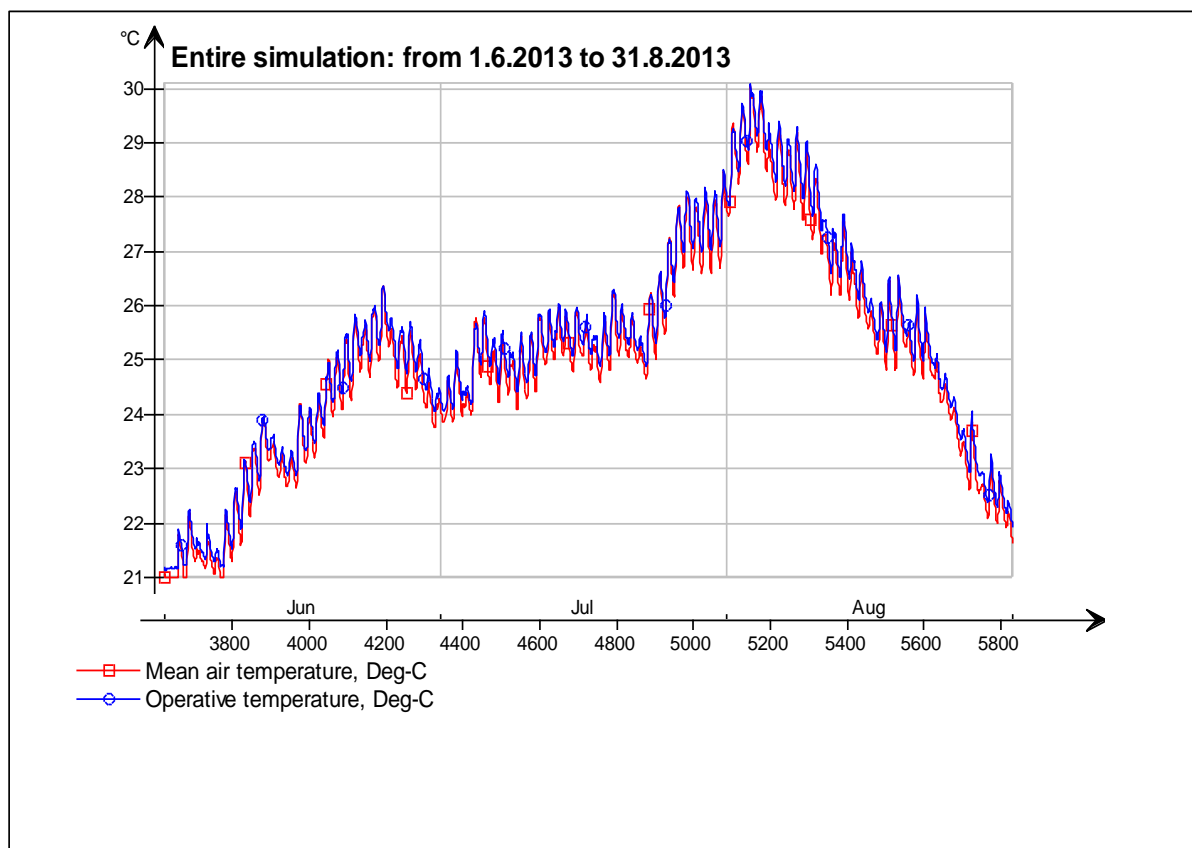
kWh

| Month | Walls | Roof | Floor | Windows | Doors | Thermal bridges |
|----------------|-------|------|-------|---------|-------|-----------------|
| 6 | 0.0 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.2 |
| 7 | 0.0 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| 8 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.2 |
| Total | 0.0 | -0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.5 |
| During heating | 0.0 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| During cooling | 0.0 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rest of time | 0.0 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.4 |



27 OH ASUNTO C70

28 Main temperatures



29 Energy for "OH asunto C70"

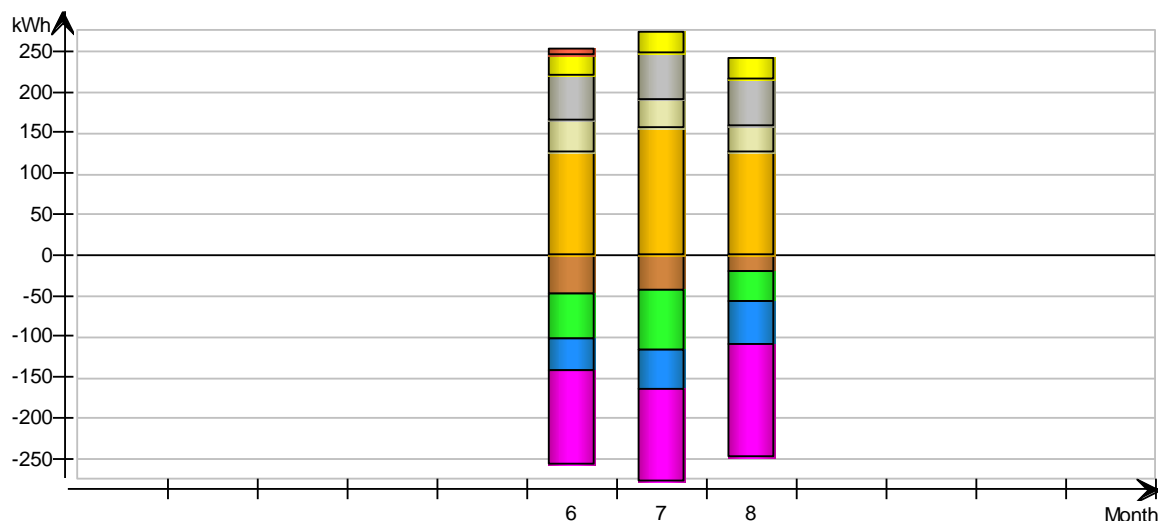
29.1.1 Energy for "OH asunto C70"

kWh (sensible only)

| Month | Envelope & Thermal bridges | Internal Walls and Masses | Window & Solar | Mech. supply air | Infiltration & Openings | Occupants | Equipment | Lighting | Local heating units | Local cooling units | Net losses |
|----------------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|---------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | |
| 6 | -47.0 | -55.3 | 125.9 | -37.5 | -115.0 | 39.4 | 56.5 | 25.9 | 8.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | -42.6 | -72.9 | 155.8 | -46.8 | -112.3 | 34.9 | 58.4 | 26.8 | -0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | -19.1 | -35.9 | 127.4 | -51.8 | -136.5 | 31.9 | 58.3 | 26.7 | -0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Total | -108.7 | -164.1 | 409.1 | -136.1 | -363.8 | 106.2 | 173.2 | 79.4 | 8.0 | 0.0 | 0.0 |
| During heating | -12.3 | -1.0 | 12.4 | -7.3 | -33.9 | 11.9 | 15.2 | 7.0 | 8.1 | 0.0 | 0.0 |

Vertailuratkaisun simuloinnin tulokset

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|------|------|-----|-----|
| During cooling | -40.5 | -80.0 | 169.8 | -40.2 | -93.4 | 20.4 | 44.6 | 20.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rest of time | -55.9 | -83.1 | 226.9 | -88.6 | -236.5 | 73.9 | 113.4 | 52.0 | -0.1 | 0.0 | 0.0 |



29.1.2 Envelope transmission

kWh

| Month | Walls | Roof | Floor | Windows | Doors | Thermal bridges |
|----------------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------------|
| | | | | | | |
| 6 | -11.7 | -19.9 | 0.0 | -48.7 | 0.0 | -15.4 |
| 7 | -9.3 | -19.0 | 0.0 | -45.3 | 0.0 | -14.3 |
| 8 | -9.6 | 7.7 | 0.0 | -54.9 | 0.0 | -17.1 |
| Total | -30.7 | -31.2 | 0.0 | -148.9 | 0.0 | -46.9 |
| During heating | -3.7 | -3.7 | 0.0 | -15.6 | 0.0 | -4.9 |
| During cooling | -9.9 | -18.9 | 0.0 | -36.3 | 0.0 | -11.6 |
| Rest of time | -17.1 | -8.6 | 0.0 | -97.0 | 0.0 | -30.4 |

