

Jukka Rytälä

## **E-LUVUN LASKENTA PIENTALOISSA**

## **E-LUVUN LASKENTA PIENTALOISSA**

Jukka Ryttilä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talonrakennustekniikka

---

Tekijä: Jukka Ryttilä  
Opinnäytetyön nimi: E-luvun laskenta pientaloissa  
Työn ohjaaja: Martti Hekkanen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014 Sivumäärä: 39 + 2 liitettä

---

Uusi laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013 tuli voimaan 1.6.2013 ja on siitä asti ollut energiatodistuksen taustalla tärkein laki. Energian kokonaiskulutuksesta 40 % kuluu rakennuksissa. Säädöksillä edistetään tavoitteita energiatehokkuuden parantamisessa. Tämän opinnäytetyön aiheena on laskea pientalon energialuku uusien määräysten mukaan rakentamismääräyskokoelman D5- ja D3-ohjeiden mukaan.

Työ aloitettiin laatimalla Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskentapohja pientalon energialuvun määrittämiseen. Aluksi esitetään kohteen perustiedot ja laskennan lähtöarvot, joiden jälkeen esitetään laskennan vaiheet rakennusmääräyskokoelman D5 ja D3 mukaan. E-luku laskettiin suoralle sähkölämmitykselle, kaukolämmölle ja maalämmölle. Lisäksi kokeiltiin ilmavuotoluvun sekä ikkunoiden ja ovien U-arvojen vaikutusta E-lukuun. Lopuksi arvioitiin saatuja tuloksia.

Energiamuotojen kertoimilla laskettujen tulosten perusteella voidaan todeta, että suorasähkölämmitystä ei suositella yksinään lämmitysmuodoksi tulevaisuudessa. Kaukolämpö ja uusiutuvat polttoaineet ovat hyviä lämmitys ratkaisuja.

---

Asiasanat:  
D5, energiatodistus, E-luku, energiankulutus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, House Building Engineering

---

Author(s): Jukka Rytilä

Title of thesis: Energy Calculation in Detached house

Supervisor(s): Martti Hekkanen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014 Pages: 39 +  
2appendices

---

Buildings use almost 40% of all energy in Finland. New law about energy certifications come into effect 1.6.2013 and since then it has been the most important law behind energy certifications. The subject in this thesis is calculating energy efficiency in a detached house according to the Finnish Building Regulations (parts D3 and D5).

The purpose of the thesis was to draw up a spreadsheet with Excel and calculate the energy efficiency act. At first, the basics and output values of the example building has been presented. Energy efficiency has been calculated for electrical heating, district heating and geothermal heating. At the end, the results have been estimated.

In the results it can be seen that electrical heating is a bad solution. District heating and geothermal heating are better solutions.

---

Keywords:  
energy certifications, energy efficiency act, D5

# SISÄLLYS

|  |    |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ  | 3  |
| ABSTRACT   | 4  |
| SISÄLLYS   | 5  |
| 1 JOHDANTO   | 7  |
| 1.1 Työn tausta ja tavoitteet                                  | 7  |
| 1.2 Esimerkkikohde   | 7  |
| 2 ENERGIATODISTUSTA KOSKEVAT KANSALLISET MÄÄRÄYKSET            | 10 |
| 2.1 Kansallinen lainsäädäntö                                   | 10 |
| 2.2 Tavoitteet   | 10 |
| 2.3 Tavanomainen menettely                                     | 11 |
| 2.4 Kevennetty energiatodistusmenettely                        | 12 |
| 3 LÄMMITYSENERGIAKULUTUKSEN LASKENTA                           | 13 |
| 3.1 Energiakulutuksen laskennan vaiheet                        | 13 |
| 3.2 Johtumislämpöhäviöt  | 14 |
| 3.3 Ilmanvaihdon ja vuotoilmanvaihdon energiankulutus          | 16 |
| 3.3.1 Ilmanvaihto  | 16 |
| 3.3.2 Vuotoilma  | 17 |
| 3.3.3 Tulo- ja korvausilma                                     | 18 |
| 3.4 Käyttöveden energiankulutus                                | 19 |
| 3.5 Tilojen lämmitysenergian tarve                             | 19 |
| 3.6 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus                   | 21 |
| 3.6.1 Sähköenergian kulutus laitteista                         | 22 |
| 3.6.2 Sähköenergian kulutus valaistuksesta                     | 22 |
| 3.7 Lämpökuormat   | 23 |
| 3.7.1 Lämpökuorma ihmisistä                                    | 23 |
| 3.7.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma              | 24 |
| 3.7.3 Ikkunoista rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia   | 24 |
| 3.7.4 Lämpimän käyttöveden varastoinnin ja kierron lämpökuorma | 25 |
| 3.7.5 Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia                | 26 |
| 3.8 Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus       | 28 |
| 3.8.1 Varaava tulisija   | 28 |

|   |    |
|---|----|
| 3.8.2 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergia         | 28 |
| 3.8.3 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia            | 29 |
| 3.8.4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus            | 30 |
| 3.8.5 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus    | 30 |
| 3.9 E-luvun laskenta                                  | 31 |
| 3.10 Lämmitysmuotona kaukolämpö                       | 32 |
| 4 TUTKIMUKSESSA KEHITETTY SOVELLUS E-LUVUN LASKENTAAN | 33 |
| 4.1 Ohjelman testausta                                | 33 |
| 4.1.1 Lämmitysmuotona maalämpö                        | 33 |
| 4.1.2 Ikkunat ja ovat paremmalla U-arvolla            | 35 |
| 4.1.3 Ilmavuotoluvun vaikutus                         | 36 |
| 5 POHDINTA  | 37 |
| LÄHTEET   | 38 |
| LIITTEET  | 39 |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä lasketaan pientalon energialuku rakentamismääräyskoelman D5 ja D3 ohjeiden mukaan. Rakennusten energiatodistus uudistui 1.6.2013, joten halusin perehtyä uudistettuihin energiatodistismääräyksiin. Tavoitteena oli tehdä taulukkolaskentaohjelma sekä tutkia sovellutuksen avulla erilaisten rakenneratkaisujen ja lämmitysmuotojen vaikutusta energiankulutukseen ja E-lukuun. Rakennuksen energiankulutuksella tarkoitetaan energian kulutusta lämmitettyä nettoalaa kohti. Rakennuksen tai jonkun sen osan kokonaisenergiankulutuksella eli E-luvulla tarkoitetaan laskennallisen vuotuisen osatoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulojen summaa energiamuodoittain lämmitettyä nettoalaa kohti.

Työn kohteena oli vuonna 2012 valmistunut yksikerroksinen sähkölämmitteinen pientalo. Aluksi tehtiin laskentapohja Excel-tilukkolaskentaohjelmalla energialuvun laskemiseksi. Ohjelmalla lasketuilla tuloksilla vertaillaan eri rakenneratkaisuja ja lämmitysmuodon vaikutusta alkuperäiseen energialukuun.

Luvussa 1 esitetään tutkimuskohteen perustiedot, tutkittavat rakenteet ja lämmitysmuotovalinnat. Luvussa 2 esitetään energiatodistusta koskevat määräykset ja Suomen kansalliset rakennuksen energiatehokkuuteen liittyvät tavoitteet. Luvussa 3 esitetään, miten rakennuksen lämmitysenergiankulutus lasketaan. Luvussa 4 esitetään työn tulokset ja arvioidaan kehitetyn ohjelman soveltuvuutta E-luvun määrittämiseen.

## 1.2 Esimerkkikohte

Esimerkkikohteen perustiedot ja laskennan lähtöarvot on esitetty taulukoissa 1-6. Tiedot on saatu piirustuksista mittaamalla ja asukkailta kyselemällä. Käyttöveden ja taloussähkön kulutukset ovat todellisia. E-luku lasketaan nykyisin nettoalaa kohden, mikä lasketaan ulkoseinien sisäpintojen mukaa. Ovien ja ikkunoiden pinta-alat lasketaan karmirakenteen ulkomittojen mukaan. Ulkoseinien pinta-alat lasketaan sisämittojen mukaan alapohjan yläpinnasta yläpohjan ala-

pintaan, mistä vähennetään ikkunoiden ja ovien pinta-alat. Yläpohjan pinta-ala lasketaan myös ulkoseinien sisämittojen mukaan, mistä vähennetään mahdollisten kattoikkunoiden alat. Lämpivientejä ei vähennetä pinta-alasta. Ikkunoiden vertailuarvo on 15 % kerrosalasta ja kuitenkin enintään 50 % julkisivupinta-alasta. Esimerkkikohteessa määrä hieman ylittyy, mutta se on huomioitu tassa-laskennassa. Rakennuksen pohjakuvat ja leikkaukset ovat liitteenä (liite 1).

*TAULUKKO 1. Perustiedot kohteesta (asuinrakennus)*

|  |          |
|--|----------|
| Rakennustyyppi                                 | Pientalo |
| Kokonaisbruttoala                              | 124,7    |
| Lämmitettävä bruttoala                         | 113,0    |
| Huoneistoala, htm <sup>2</sup>                 | 113,0    |
| Huoneala, hum <sup>2</sup>                     | 108,8    |
| Rakennustilavuus, rm <sup>3</sup>              | 451,0    |
| Lämmitettävä rakennustilavuus, rm <sup>3</sup> | 304,8    |
| Sisälämpötilan tavoitearvo, °C                 | 21       |

*TAULUKKO 2. Perustiedot kohteesta (varistorakennus)*

|  |         |
|--|---------|
| Rakennustyyppi                                 | Varasto |
| Kokonaisbruttoala                              | 16,4    |
| Lämmitettävä bruttoala                         | 12,7    |
| Huoneistoala, htm <sup>2</sup>                 | 12,7    |
| Huoneala, hum <sup>2</sup>                     | 12,4    |
| Rakennustilavuus, rm <sup>3</sup>              | 54,7    |
| Lämmitettävä rakennustilavuus, rm <sup>3</sup> | 33,0    |
| Sisälämpötilan tavoitearvo, °C                 | 17      |

*TAULUKKO 3. Asuinrakennuksen rakenteet*

| Rakennusosa | Yks            | Määrä | Määrä/brm <sup>2</sup> | U-arvo |
|-------------|----------------|-------|------------------------|--------|
| Alapohja    | m <sup>2</sup> | 113,0 | 124,7                  | 0,14   |
| Yläpohja    | m <sup>2</sup> | 113,4 | 124,7                  | 0,08   |
| Ulkoseinä   | m <sup>2</sup> | 88,0  | 115,26                 | 0,15   |
| Ikkunat     | m <sup>2</sup> | 20,96 | 20,96                  | 1      |
| Ulko-ovet   | m <sup>2</sup> | 6,3   | 6,3                    | 1      |



TAULUKKO 4. Varastorakennuksen rakenteet

| Rakennusosa | Yks            | Määrä | Määrä/brm <sup>2</sup> | U-arvo |
|-------------|----------------|-------|------------------------|--------|
| Alapohja    | m <sup>2</sup> | 12,7  | 16,4                   | 0,14   |
| Yläpohja    | m <sup>2</sup> | 12,7  | 16,4                   | 0,08   |
| Ulkoseinä   | m <sup>2</sup> | 27,0  | 31,4                   | 0,18   |
| Ikkunat     | m <sup>2</sup> | 0,6   | 0,6                    | 1      |
| Ulko-ovet   | m <sup>2</sup> | 3,8   | 3,8                    | 1      |

TAULUKKO 5. Talotekniset järjestelmät ja laskennan lähtöarvot (asuinrakennus)

|                              |                         |       |
|------------------------------|-------------------------|-------|
| Ilmanvaihto                  | yks                     |       |
| Ilmanvaihdon poistoilmamäärä | m <sup>3</sup> /h       | 162,7 |
| LTO-vuosihyötysuhde          | %                       | 71    |
| Vaipan ilmavuotoluku         | 1/h                     | 4     |
| Käyttövedenkulutus           | l/hlö,vrk               | 91    |
| Taloussähkön kulutus         | kWh/hum <sup>2</sup> ,v | 128,7 |
| Asukkaiden lukumäärä         | hlö                     | 3     |
| Lämmitysjärjestelmä          | sähköinen lattial.      |       |

TAULUKKO 6. Talotekniset järjestelmät ja laskennan lähtöarvot (varastorakennus)

|                              |                    |       |
|------------------------------|--------------------|-------|
| Ilmanvaihto                  | yks                |       |
| Ilmanvaihdon poistoilmamäärä | m <sup>3</sup> /h  | 162,7 |
| LTO-vuosihyötysuhde          | %                  | 71    |
| Vaipan ilmavuotoluku         | 1/h                | 4     |
| Lämmitysjärjestelmä          | sähköinen lattial. |       |

## **2 ENERGIATODISTUSTA KOSKEVAT KANSALLISET MÄÄRÄYKSET**

### **2.1 Kansallinen lainsäädäntö**

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013 tuli voimaan 1.6.2013 ja on siitä asti ollut energiatodistuksen taustalla tärkein laki. Energiatodistusta koskevia keskeisiä säädöksiä ovat myös valtioneuvoston asetus rakennuksen energiatodistuksen laatijan pätevyydestä ja kevennetyn energiatodistusmenettelyn edellytyksistä 170/2013 sekä ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 176/2013. Lisäksi maankäyttö- ja rakennuslaissa annetaan rakennusten energiatehokkuuteen liittyviä säännöksiä, jotka Suomen rakentamismääräyskokoelmassa julkaistaan. (3.)

Energiatehokkuuden parantamista korjausrakentamisessa säätävä ympäristöministeriön asetus 4/13 tuli kaikkien rakennusten osalta voimaan 1.9.2013. Se tarkoittaa, että haettaessa toimenpide- tai rakennuslupaa korjauskohteelle on suunnittelussa otettava huomioon myös energiatehokkuuden parantaminen. (7.)

### **2.2 Tavoitteet**

Tavoitteena rakennuksien energiatehokkuutta koskevalla lainsäädännöllä on energiatehokkuuden parantaminen ja uusiutuvien energiamuotojen käyttäminen sekä energiakulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen rakennuksissa. (3.)

Suomessa energian kokonaiskulutuksesta 40 % kuluu rakennuksissa. Säädöksillä edistetään Suomen tavoitteita energiatehokkuuden parantamisessa ja toimeenpannaan rakennuksien energiatehokkuusdirektiiviä. Hyvä energiatehokkuus vähentää rakennuksen käytönaikaisia kustannuksia ja energian hinnan noustessa rajoittaa asumiskustannusten nousua. Energiatehokkuuden parantamisella on myös vaikutuksia asumismukavuuteen. (3.)

## 2.3 Tavanomainen menettely

Uudisrakentamisessa energiatodistus laaditaan rakennuslupavaiheessa. Energiatodistus ja energiaselvitys ovat hyviä työkaluja, joita kannattaa hyödyntää rakennusta suunniteltaessa. Energiatodistus on tarkistettava lopuksi ennen rakennuksen käyttöönottoa, koska rakennusvaiheessa osa laskennallisista tiedoista on voinut muuttua. Olemassa olevalle talolle tarvitaan energiatodistus, kun niitä myydään tai vuokrataan. Energiatodistuksen saa laatia pätevätyt henkilö. (4.)

Ennen vuotta 1980 valmistuneille pientaloille energiatodistus vaaditaan 1.7.2017 alkaen. Lisäksi rivi- ja ketjutaloille ja liike- ja toimistorakennuksille on annettu siirtymäaikaa 1.7.2014 saakka sekä hoitoalan rakennuksille ja kokoon-  
tumis- ja opetusrakennuksille 1.7.2015 saakka. (5.)

Seuraavilta rakennuksilta energiatodistusta ei vaadita energiatodistuksesta annetun lain 3 §:n mukaan:

- 1) rakennus, jonka pinta-ala on enintään 50 neliömetriä;
- 2) loma-asumiseen tarkoitettu rakennus, jota ei käytetä majoituselinkeinon harjoittamiseen;
- 3) tilapäinen tai määräaikainen rakennus;
- 4) teollisuus- ja korjaamorakennus, uimahalli, jäähalli, varastorakennus, liikenteen rakennus sekä rakennukseen liittyvä tai erillinen moottoriajoneuvosuoja;
- 5) muuhun kuin asuinkäyttöön tarkoitettu maanilarakennus, jossa energiantarve on vähäinen tai jota käytetään alalla, jota koskee kansallinen alakohtainen energiatehokkuussopimus (maatilojen energiaohjelma);
- 6) rakennus, joka on suojeltu maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaisella kaavalla, valtion omistamien rakennusten suojelusta annetun asetuksen (480/1985), rakennusperinnön suojelemisesta an-

netun lain (498/2010) tai sitä edeltävien lakien mukaisella päätöksellä tai rakennusta, joka sijaitsee maailman kulttuuri- ja luonnonperinnön suojelemisesta tehdyn yleissopimuksen (SopS 19/1987) mukaisessa maailmanperintöluetteloon hyväksytyssä kohteessa tai on kohteena viranomaisten välisessä rakennuksen suojelua koskevassa sopimuksessa;

7) kirkko tai muu uskonnollisen yhteisön omistama rakennus, jossa on vain kokoontumiseen tai hartauden harjoittamiseen taikka näitä palvelemaan toimintaan tarkoitettuja tiloja;

8) kasvihuone, väestönsuoja tai muu rakennus, jonka käyttö tarkoitukseensa vaikeutuisi kohtuuttomasti, jos niihin sovellettaisiin rakennusten energiatehokkuutta koskevia säännöksiä ja määräyksiä, eikä

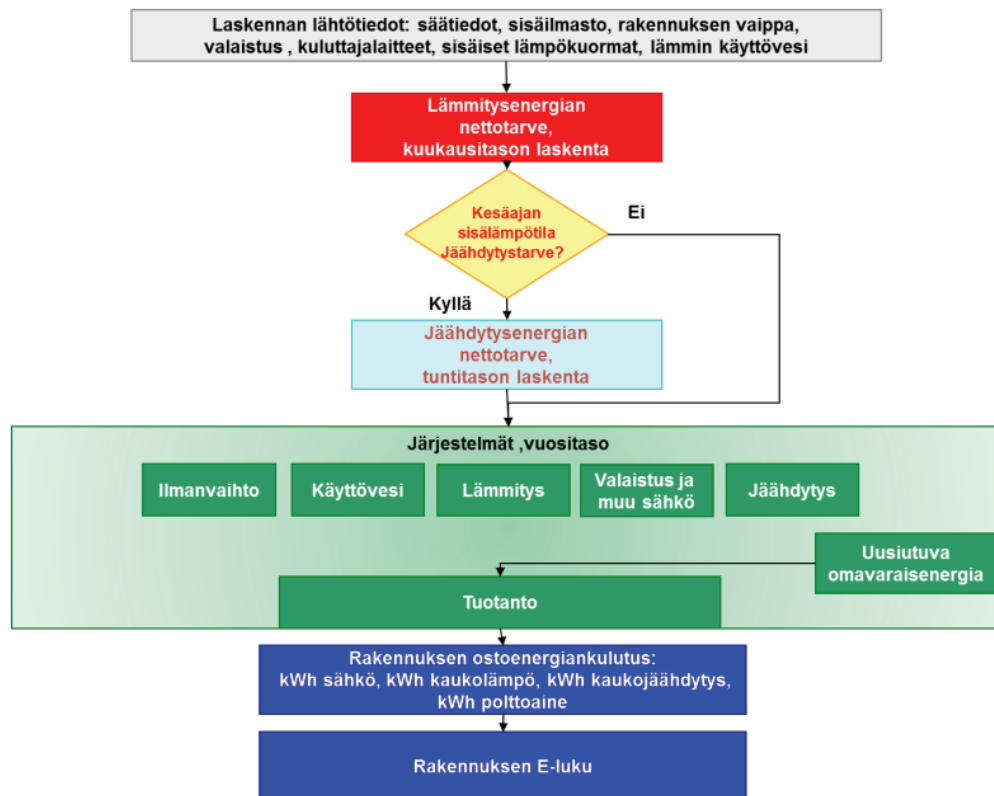
9) puolustushallinnon käytössä oleva rakennus. (6.)

#### **2.4 Kevennetty energiatodistusmenettely**

Tietyissä erityistilanteissa voidaan energiatodistus laatia kevennetyn energiatodistusmenettelyn mukaan. Tällaista menettelyä voidaan käyttää, jos myytävänä tai vuokrattavana oleva kohde on arvoltaan vähäinen. Kohde on arvoltaan vähäinen, jos myyntihinta kohteessa alittaa 50 000 euroa tai vuokra kuukaudessa on alle 350 euroa. Muita syitä kevennettyyn menettelyyn on, jos kohteen myynti tai vuokraus tapahtuu lähisukulaisen välillä tai kohde ei ole julkisesti esillä myyntiä varten. Kevennetty energiatodistus laaditaan omalla lomakkeella ja energiatehokkuutta rakennuksessa kuvaa tunnus H. (6.)

## 3 LÄMMITYSENERGIAKULUTUKSEN LASKENTA

### 3.1 Energiakulutuksen laskennan vaiheet



KUVA 1. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet (1, s.12)

Rakennuksen energiankulutus lasketaan D5/2012 mukaan. (Kuva 1.) Laskennan lähtötietoina tarvitaan säätiedot, sisäilmasto, rakennuksen vaippa, valaistus, kuluttajalaitteet, sisäiset lämpökuormat ja lämmin käyttövesi. Kokonaisenergiankulutuksen laskennassa ja kesäajan huonelämpötilojen laskennassa käytetään D3/2012 liitteen 2 säävyöhykkeen 1 säätietoja. Sisäilmaston laskennassa tarvittavat ilmanvaihtomäärät ja sisätilan lämpötilat on esitetty D3/2012:n taulukossa 2. Rakennuksen vaipan tiedot saadaan piirustuksista tai kohteessa mittaamalla. Ilmavuotolukuna käytetään  $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ , jos ilmanpitävyyttä ei toisin osoiteta mittaamalla tai muilla menetelmillä. Rakennuksen lämpökuormat valaistuksesta, kuluttajalaitteista ja ihmisistä lämmitettyä nettoalaa kohden on esitetty D3/2012:n taulukossa 3. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian laskennassa käytetään D3/2012:n taulukossa 5 annettuja arvoja. (1, s. 12.)

Lämmitysenergiankulutuksen laskenta kuukausitasolla tehdään rakennusmääräyskokoelman D5/2012 mukaisesti. Laskenta kuvataan tarkemmin luvussa 3.5. Järjestelmistä lämmitysenergian tarpeeseen vaikuttavat ilmanvaihto-, käyttövesi-, lämmitys-, sähkö- ja jäähdytysjärjestelmä. Näiden laskenta kuvataan luvuissa 3.6, 3.7 ja 3.8. Laskennan tuloksena saadaan tieto rakennuksen lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta lämmitysmuodoittain. Rakennuksen E-luku määritetään ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti. (1, s. 13.)

### 3.2 Johtumislämpöhäviöt

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipasta muodostuvat ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöstä sekä kylmäsiltojen aiheuttamista viivamaisista lämpöhäviöistä. Lämpöhäviöitä voi myös olla puolilämpimiin tiloihin rakennuksen ympärillä. Kuten tässä esimerkki kohteessa on puolilämmin varasto ulkoseinää vasten. Johtumislämpöhäviöt lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 1. (1, s. 16.)

$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_e - T_u) \Delta t / 1000$$

KAAVA 1

Alapohjan johtumislämpöhäviön laskennassa käytetään ulkolämpötilana maan kuukausittaista keskilämpötilaa, joka saadaan rakentamismääräyskokoelman D5 taulukosta 3.4. Taulukon arvot sopivat jokaiselle säävyöhykkeelle ja maalajille. (1, s. 18.)

Lisäkonduktanssien arvot on saatu rakentamismääräyskokoelmasta D5 taulukosta 3.1 ja 3.2. Kylmäsilta ulkoseinän ja varaston välillä jätetään tässä työssä huomioimatta, koska se oletetaan merkitykseltään vähäiseksi. Kylmäsilat ja lisäkonduktanssit on esitetty taulukossa 7. Kylmäsiltojen lämpöhäviöt on laskettu kaavalla 2. (1, s. 17.)

TAULUKKO 7. Kylmäsiltojen pituudet ja lisäkonduktanssit esimerkkikohteessa

| Kylmäsilat           | Kylmäsilan pituus<br>L,m | Lisäkonduktanssi<br>$\psi$ , W/(m K) | L $\Psi$<br>W/°C |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Ulkoseinä-yläpohja   | 40,1                     | 0,05                                 | 2,01             |
| Ulkoseinä-alapohja   | 40,0                     | 0,10                                 | 4,00             |
| Ikkunat ja ovet      | 85,4                     | 0,04                                 | 3,42             |
| Ulkoseinä ulkonurkka | 10,5                     | 0,04                                 | 0,42             |
| Ulkoseinä sisänurkka |                          |                                      |                  |
| Yhteensä             |                          |                                      | 9,84             |

$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \frac{(\sum L_k \psi_k) * (T_s - T_u) \Delta t}{1000}$$

KAAVA 2

Johtumislämpöhäviöt on laskettu kaavalla 3. Laskut syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja johtumislämpöhäviöt näkyvät taulukossa 8.

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinät}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}}$$

$$+ Q_{\text{ikkunat}} + Q_{\text{oveet}} + Q_{\text{muut}} + Q_{\text{kylmäsilat}}$$

KAAVA 3

TAULUKKO 8. Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipasta esimerkkikohteessa

|                   | Q <sub>ulkoseinät</sub> | Q <sub>yläpohja</sub> | Q <sub>alapohja</sub> | Q <sub>ikkunat</sub> | Q <sub>oveet</sub> | Q <sub>kylmäsilat</sub> | Q <sub>muut</sub> | Q <sub>joht yhteensä</sub> |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|
| Tammikuu          | 222,12                  | 168,54                | 122,76                | 389,39               | 117,04             | 182,79                  | 4,8               | 1202,64                    |
| Helmikuu          | 204,89                  | 155,46                | 121,51                | 359,17               | 107,96             | 168,61                  | 4,3               | 1117,59                    |
| Maaliskuu         | 209,76                  | 159,15                | 146,30                | 367,71               | 110,52             | 172,62                  | 4,8               | 1166,07                    |
| Huhtikuu          | 142,04                  | 107,78                | 152,97                | 249,00               | 74,84              | 116,89                  | 4,6               | 843,53                     |
| Toukokuu          | 91,09                   | 69,12                 | 158,07                | 159,69               | 48,00              | 74,96                   | 4,8               | 600,92                     |
| Kesäkuu           | 58,28                   | 44,22                 | 141,58                | 102,17               | 30,71              | 47,96                   | 4,6               | 424,92                     |
| Heinäkuu          | 32,91                   | 24,97                 | 122,76                | 57,70                | 17,34              | 27,09                   | 4,8               | 282,78                     |
| Elokuu            | 44,03                   | 33,41                 | 110,99                | 77,19                | 23,20              | 36,24                   | 4,8               | 325,07                     |
| Syyskuu           | 90,13                   | 68,39                 | 96,02                 | 158,00               | 47,49              | 74,17                   | 4,6               | 534,21                     |
| Lokakuu           | 131,66                  | 99,89                 | 87,45                 | 230,79               | 69,37              | 108,34                  | 4,8               | 727,51                     |
| Marraskuu         | 176,48                  | 133,90                | 84,63                 | 309,37               | 92,99              | 145,23                  | 4,6               | 942,60                     |
| Joulukuu          | 206,29                  | 156,52                | 99,22                 | 361,63               | 108,70             | 169,76                  | 4,8               | 1102,12                    |
| <b>Koko vuosi</b> | <b>1609,69</b>          | <b>1221,35</b>        | <b>1444,28</b>        | <b>2821,82</b>       | <b>848,16</b>      | <b>1324,67</b>          | <b>56,51</b>      | <b>9326,48</b>             |

### 3.3 Ilmanvaihdon ja vuotoilmanvaihdon energiankulutus

#### 3.3.1 Ilmanvaihto

Tässä esitettyä lämmitysenergian nettotarpeen laskentamenetelmää voidaan käyttää silloin, kun järjestelmässä käytetään vakioilmavirtaa ja prosessissa lämmitetään vain ilmaa. Jos ilmankäsittelyprosessissa jäähdytetään tai kostutetaan tai järjestelmä on ilmamääräsäätöinen, lasketaan energiatarve toisella tavalla. (1, s. 20.)

Lämmitysenergian nettotarve lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle erikseen kaavalla 4, koska hyötysuhteet ilmanvaihtokoneen ja lämmönjakelujärjestelmien välillä poikkeavat toisistaan. Lisäksi tuloilman lämmitykseen saatetaan käyttää erilaista energiamuotoa kuin tilojen lämmitykseen. (1, s. 21.)

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 4}$$

$$T_{lto} = T_u + \frac{\Phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad \text{KAAVA 5}$$

$$\Phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,puisto} (T_s - T_u) \quad \text{KAAVA 6}$$

Lämmöntalteenoton jälkeinen keskimääräinen tuloilmalämpötila kuukaudessa lasketaan kaavalla 5. Lämmöntalteenotolla otettu teho lasketaan kaavalla 6. Vuosihyötysuhdetta  $\eta_{a,ivkone}$  voidaan käyttää kaikkina kuukausina. Jos lämmöntalteenottoa ei ole, niin lämpötilana  $T_{lto}$  käytetään ulkoilman lämpötilaa  $T_u$ . Tuloilmavirran lämpötilana  $\Delta T_{puhallin}$  voidaan käyttää arvoa  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , jos ei ole käytössä laskennassa tarvittavia lähtöarvoja. Lämmöntalteenotto ja jälkilämmitys ovat kesä-, heinä- ja elokuussa poissa käytöstä. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilana käytetään  $18^\circ\text{C}$ , jos ei ole tarkempaa tietoa saatavilla. Laskut on syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja lämmitysenergian nettotarve taulukossa 9. (1, s. 22.)



TAULUKKO 9. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve ja tuloilman lämpötila esimerkkikohteessa

|            | $T_{lto}$<br>°C | $T_{sp}$<br>°C | $Q_{iv}$<br>kWh |
|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Tammikuu   | 13,76           | 18,00          | 150,98          |
| Helmikuu   | 13,61           | 18,00          | 141,97          |
| Maaliskuu  | 14,16           | 18,00          | 134,71          |
| Huhtikuu   | 16,22           | 18,00          | 50,18           |
| Toukokuu   | 17,50           | 18,00          | 0,00            |
| Kesäkuu    | 19,04           | 19,54          | 0,00            |
| Heinäkuu   | 19,93           | 20,43          | 0,00            |
| Elokuu     | 19,56           | 20,06          | 0,00            |
| Syyskuu    | 17,50           | 18,00          | 0,00            |
| Lokakuu    | 16,71           | 18,00          | 31,96           |
| Marraskuu  | 15,06           | 18,00          | 95,48           |
| Joulukuu   | 14,27           | 18,00          | 130,15          |
| Koko vuosi |                 |                | 735,44          |

### 3.3.2 Vuotoilma

Rakenteiden epätiivyydestä johtuvan vuotoilman lämpenemiseen tarvittava energia lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 7. Ilma-  
vuotolukuna käytetään arvoa  $4\text{m}^3$ , koska ilmanpitävyyttä ei tunneta. Kaavassa  
tarvittava vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 8. Kertoimena x käytetään arvoa 35,  
koska rakennus on yksikerroksinen. Laskut syötetty itse tehtyyn Excel-  
laskentapohjaan ja vuotoilman lämpenemisen energian tarve taulukossa 10.  
(1, s. 19.)

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

KAAVA 7

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50} A_{\text{vaiippa}}}{3600 * x}$$

KAAVA 8

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{4 * 341,64}{3600 * 35} = 0,010846\text{m}^3/\text{s}$$

TAULUKKO 10. Vuotoilman lämpenemisen energian tarve esimerkkikohteessa

|            | $Q_{\text{vuotoilma}}$ |
|------------|------------------------|
| Tammikuu   | 241,79                 |
| Helmikuu   | 223,02                 |
| Maaliskuu  | 228,33                 |
| Huhtikuu   | 154,62                 |
| Toukokuu   | 99,15                  |
| Kesäkuu    | 63,44                  |
| Heinäkuu   | 35,83                  |
| Elokuu     | 47,93                  |
| Syyskuu    | 98,11                  |
| Lokakuu    | 143,31                 |
| Marraskuu  | 192,10                 |
| Joulukuu   | 224,55                 |
| Koko vuosi | 1752,17                |

### 3.3.3 Tulo- ja korvausilma

Tilassa tapahtuva tuloilman lämpeneminen lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle erikseen kaavalla 9. Lämpöenergian tarve korvausilman lämpenemiseen lasketaan kaavalla 10 ja korvausilmavirta kaavalla 11. Tuloilmavirran ollessa yhtä suuri tai suurempi kuin poistoilmavirta ei korvausilmavirtaa ole. Laskut on syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja tuloilman lämpenemien tilassa esitetty taulukossa 11. (1, s. 23.)

$$Q_{iv,tuloilma} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 9}$$

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_a) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 10}$$

$$q_{v,korvausilma} = \sum t_d t_v q_{v,poisto} - \sum t_d t_v q_{v,tulo} \quad \text{KAAVA 11}$$

TAULUKKO 11. Tuloilman lämpeneminen tilassa esimerkkikohteessa

|            | $Q_{iv,tuloilma}$ | $Q_{iv,korvausilma}$ |
|------------|-------------------|----------------------|
| Tammikuu   | 121,06            | 0,00                 |
| Helmikuu   | 109,35            | 0,00                 |
| Maaliskuu  | 121,06            | 0,00                 |
| Huhtikuu   | 117,16            | 0,00                 |
| Toukokuu   | 121,06            | 0,00                 |
| Kesäkuu    | 57,15             | 0,00                 |
| Heinäkuu   | 23,12             | 0,00                 |
| Elokuu     | 37,75             | 0,00                 |
| Syyskuu    | 117,16            | 0,00                 |
| Lokakuu    | 121,06            | 0,00                 |
| Marraskuu  | 117,16            | 0,00                 |
| Joulukuu   | 121,06            | 0,00                 |
| Koko vuosi | 1184,16           | 0,00                 |

### 3.4 Käyttöveden energiankulutus

Lämmitysenergian nettotarve käyttövedelle lasketaan rakentamismääräyskoelman D3/2012 taulukon 5 mukaan kaavalla 12. Energiantarpeeksi taulukosta saadaan 35 kWh/(m<sup>2</sup> a) ja lämmitettyä nettoalaa rakennuksessa on 113 m<sup>2</sup>. Jos lämmitysenergian nettotarve käyttövedelle ylittää 4200kWh/a, käytetään kyseistä arvoa. (1, s. 24.)

$$Q_{ikv,netto} = 35 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} * A_{netto}$$

KAAVA 12

$$Q_{ikv,netto} = 35 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} * 113\text{m}^2 = 3955 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

### 3.5 Tilojen lämmitysenergian tarve

Kaavalla 13 lasketaan tilojen lämmitysenergian tarve. Laskut on syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja lämmitysenergian tarve on esitetty taulukossa 12. (1, s. 15.)

$$Q_{tila} = Q_{johd} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma}$$

KAAVA 13

TAULUKKO 12. Tilojen lämmitysenergian tarve esimerkkikohteessa

|            | $Q_{\text{tila}}$ |
|------------|-------------------|
| Tammikuu   | 1565,49           |
| Helmikuu   | 1449,96           |
| Maaliskuu  | 1515,46           |
| Huhtikuu   | 1115,31           |
| Toukokuu   | 821,14            |
| Kesäkuu    | 545,51            |
| Heinäkuu   | 341,73            |
| Elokuu     | 410,75            |
| Syyskuu    | 749,48            |
| Lokakuu    | 991,88            |
| Marraskuu  | 1251,86           |
| Joulukuu   | 1447,74           |
| Koko vuosi | 12206,30          |

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 14. Lämpöenergia sisäistä lämpökuormista on esitetty luvussa 3.7.5. Laskut on syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja lämmitysenergian nettotarve on esitetty taulukossa 13. (1, s. 15.)

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sisilämpö}}$$

KAAVA 14

TAULUKKO 13. Tilojen lämmitysenergian nettotarve esimerkkikohteessa

|            | $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ |
|------------|-------------------------------------|
| Tammikuu   | 1170,85                             |
| Helmikuu   | 968,89                              |
| Maaliskuu  | 758,83                              |
| Huhtikuu   | 256,01                              |
| Toukokuu   | 49,22                               |
| Kesäkuu    | 7,27                                |
| Heinäkuu   | 0,51                                |
| Elokuu     | 2,00                                |
| Syyskuu    | 81,23                               |
| Lokakuu    | 487,61                              |
| Marraskuu  | 853,26                              |
| Joulukuu   | 1060,56                             |
| Koko vuosi | 5696,25                             |

### 3.6 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Laskettaessa sähkönkulutusta kuluttajalaitteille ja valaistukselle käytetään rakentamismääräyskokoelman D3/2012 taulukon 3 ominaisarvoja lämmitettyyn nettoalaan suhteutettuna. Lisäksi huomioidaan käyttöaika ja käyttöaste, jotka ovat esitetty taulukossa 14. Käyttöaika kertoo, paljonko rakennusta käytetään vuorokaudessa tunteina ja kuinka monta päivää viikossa. Kuukausittainen käyttöaika saadaan näiden tulona. Pientalossa käyttöajaksi on määritelty 24 tuntia vuorokaudessa viikon jokaisena päivänä, joten käyttötuntien osuudeksi kuukaudessa saadaan 100 % kaavalla 15. (2, s. 19.)

$$\left( \begin{array}{c} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{kuukauden} \\ \text{tunneista} \end{array} \right) = \frac{24\text{h}}{24\text{h}} * \frac{7\text{vrk}}{7\text{vrk}} = 1 = 100\%$$

KAAVA 15

TAULUKKO 14. Sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti

| Käyttötarkoitukseluokka                    | Kellonaika <sup>d</sup> | Käyttöaika |      | Käyttöaste<br>- | Valaistus<br>W/m <sup>2</sup> | Kuluttajalaitteet<br>W/m <sup>2</sup> | Ihmiset <sup>a</sup><br>W/m <sup>2</sup> |
|--|-------------------------|------------|------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
|  |                         | h/24h      | d/7d |                 |                               |                                       |  |
| Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo | 00:00-24:00             | 24         | 7    | 0,6             | 8 <sup>b,c</sup>              | 3                                     | 2  |
| Asuinkerrostalo                            | 00:00-24:00             | 24         | 7    | 0,6             | 11 <sup>b,c</sup>             | 4                                     | 3  |
| Toimistorakennus                           | 07:00-18:00             | 11         | 5    | 0,65            | 12 <sup>c</sup>               | 12                                    | 5  |
| Liikerakennus                              | 08:00-21:00             | 13         | 6    | 1               | 19 <sup>c</sup>               | 1                                     | 2  |
| Majoitusliikerakennus                      | 00:00-24:00             | 24         | 7    | 0,3             | 14 <sup>c</sup>               | 4                                     | 4  |
| Opetusrakennus ja päiväkot                 | 08:00-16:00             | 8          | 5    | 0,6             | 18 <sup>c</sup>               | 8                                     | 14                                       |
| Liikuntahalli                              | 08:00-22:00             | 14         | 7    | 0,5             | 12 <sup>c</sup>               | 0                                     | 5  |
| Sairaala                                   | 00:00-24:00             | 24         | 7    | 0,6             | 9 <sup>c</sup>                | 9                                     | 8  |

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyttöaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Käyttöasteella tarkoitetaan rakennuksen kuukausittaista käyttöaikaa, jolloin valaistus ja laitteet ovat päällä. Laitteiden käyttöaste rakennuksessa on 0,6, jolloin oletetaan laitteiden olevan päällä rakennuksen käyttöajasta 60 %. Valaistuksen käyttöaste rakennuksessa on 0,1, jolloin oletetaan valaistuksen olevan päällä rakennuksen käyttöajasta 10 %.

### 3.6.1 Sähköenergian kulutus laitteista

Laskettaessa kuluttajalaitteiden sähköenergiakulutusta käytetään D3/2012:n taulukkoa 3, josta saadaan ominaissähkötehoksi kuluttajalaitteille  $3 \text{ W/m}^2$ . Nettoala rakennuksessa on  $113 \text{ m}^2$ , jolloin kuluttajalaitteiden teho saadaan kaavalla 16. (2, s. 19.)

$$(\text{laitteiden teho}) = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * A_{\text{netto}}$$

KAAVA 16

$$(\text{laitteiden teho}) = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 113 \text{ m}^2 = 339 \text{ W}$$

Tällä teholla oletetaan kuluttajalaitteiden kuluttavan sähköenergiaa ja lämmittävän samalla rakennuksen tiloja, kun laitteet ovat käytössä D3/2012:n taulukossa 3 kerroituina käyttöaikoina. Laskennassa huomioidaan myös käyttöaika ja käyttöaste. Koko vuoden sähköenergiankulutus kuluttajalaitteille saadaan kaavalla 17. (2, s. 19.)

$$W_{\text{kuluttajalaitteet}} = \frac{(\text{laitteiden teho})}{1000} * \left( \frac{\text{käyttötuntien osuus kuukauden tunneista}}{\text{kuukauden}} \right) * (\text{laitteiden käyttöaste}) * \left( \frac{\text{kuukauden tuntien lukumäärä}}{\text{kuukauden}} \right)$$

$$W_{\text{kuluttajalaitteet}} = \frac{339}{1000} * 1 * 0,6 * 8760 = 1781,78 \text{ kWh/a}$$

KAAVA 17

### 3.6.2 Sähköenergian kulutus valaistuksesta

Laskettaessa sähkönkulutusta valaistukselle käytetään D3/2012:n taulukkoa 3, josta saadaan valaistuksen ominaissähkötehoksi  $8 \text{ W/m}^2$ . Nettoala rakennuksessa on  $113 \text{ m}^2$ , jolloin valaistuksen teho saadaan kaavalla 18. (2, s. 19.)

$$(\text{valaistuksen teho}) = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * A_{\text{netto}}$$

KAAVA 18

$$(\text{valaistuksen teho}) = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 113 \text{ m}^2 = 904 \text{ W}$$

Tällä teholla oletetaan valaistuksen kuluttavan sähköenergiaa ja lämmittävän samalla rakennuksen tiloja, kun laitteet ovat käytössä D3/2012:n taulukossa 3 olevina käyttöaikoina. Laskennassa huomioidaan myös käyttöaika ja käyttöaste. Koko vuoden sähköenergiankulutus valaistukselle saadaan kaavalla 19. (2, s. 19.)

$$W_{\text{valaistus}} = \frac{\text{(valaistuksen teho)}}{1000} * \left( \frac{\text{(käyttötuntien osuus kuukauden tunneista)}}{\text{kuukauden tuntien lukumäärä}} \right) * \text{(valaistuksen käyttöaste)}$$

$$W_{\text{valaistus}} = \frac{904}{1000} * 1 * 0,1 * 8760 = 791,90 \text{ kWh/a}$$

KAAVA 19

### 3.7 Lämpökuormat

#### 3.7.1 Lämpökuorma ihmisistä

Laskettaessa ihmisten luovuttamaa lämpökuormaa käytetään rakentamismääräyskokoelman D3/2012 taulukkoa 3, josta saadaan ihmisten ominaislämpötehoksi  $2 \text{ W/m}^2$ . Lämmitetty nettoala rakennuksessa on  $113 \text{ m}^2$ , jolloin lämpötehoksi ihmisille saadaan kaavalla 20. (2, s. 19.)

$$\left( \frac{\text{ihmisten lämpöteho}}{\text{m}^2} \right) = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * A_{\text{netto}}$$

KAAVA 20

$$\left( \frac{\text{ihmisten lämpöteho}}{\text{m}^2} \right) = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 113 \text{ m}^2 = 226 \text{ W}$$

Tällä teholla oletetaan ihmisten lämmittävän sisätiloja rakennuksessa silloin, kun ihmisiä on paikalla. Laskennassa huomioidaan myös D3/2012 taulukossa 3 esitetyt käyttöaika ja käyttöaste. Kuukausittainen käyttöaika rakennuksessa saadaan laskettua kaavalla 21. (2, s. 19.)

$$\left( \frac{\text{käyttötuntien osuus kuukauden tunneista}}{24\text{h}} * \frac{7\text{vrk}}{7\text{vrk}} \right) = 1 = 100\%$$

KAAVA 21

Käyttöaste rakennuksella on 0,6 eli oletetaan, että ihmiset ovat paikalla 60 % käyttöajasta. Koko vuoden ihmisten lämpökuormaksi saadaan kaavalla 22.

$$Q_{\text{henk}} = \frac{226}{1000} * 1 * 0,6 * 8760 = 1187,86 \text{ kWh/a}$$

KAAVA 22

### 3.7.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma

Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuormaksi tulee suoraan niiden sähkönkulutus. Lämpökuorma valaistuksesta ja laitteista lasketaan kaavalla 23. (1, s. 30.)

$$Q_{\text{säh}} = W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{valaistus}}$$

KAAVA 23

$$Q_{\text{säh}} = 1781,78 + 791,90 = 1695,90 \text{ kWh/a}$$

### 3.7.3 Ikkunoista rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia

Auringon säteilyä tuleva lämpökuorma ikkunoiden kautta lasketaan D5/2012:n mukaan kaavalla 24. Kaavassa tarvittava kokonaisläpäisykerroin lasketaan kaavalla 25, jos valoaukon auringon kokonaisläpäisykerrointa (g) ei tunneta. Auringonsäteilyn kohtisuora kokonaisläpäisykerroin ikkunan valoaukossa  $g_{\text{kohtisuora}}$  on esitetty D5/2012:n taulukossa 5.1. Pystypinnoille tuleva auringon kokonaisläpäisyenergia eri ilmansuuntiin on esitetty D3/2012:n liitteen 2 taulukossa 2. Läpäisyn kokonaiskorjauskertoimelle ( $F_{\text{läpäisy}}$ ) tulee käyttää arvoa 0,5, jos tarkemmin määriteltä arvoa ei ole käytettävissä. Laskut on syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja lämpökuormat näkyvät taulukossa 15. (1, s. 30–32.)

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

KAAVA 24

$$= \sum G_{\text{säteily, pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g$$



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

KAAVA 25

$$g = 0,9 * 0,70 = 0,63$$

TAULUKKO 15. Auringon säteilystä tuleva lämpökuorma ikkunoiden kautta esimerkkikohteessa

| Q <sub>aur</sub> | Pohjoinen | Koillinen | Itä  | Kaakko  | Etelä | Lounas  | Länsi | Luode  |
|------------------|-----------|-----------|------|---------|-------|---------|-------|--------|
| Tammikuu         | 0,00      | 0,89      | 0,00 | 32,80   | 0,00  | 12,57   | 0,00  | 7,70   |
| Helmikuu         | 0,00      | 2,61      | 0,00 | 107,02  | 0,00  | 40,88   | 0,00  | 22,93  |
| Maaliskuu        | 0,00      | 7,20      | 0,00 | 259,28  | 0,00  | 91,82   | 0,00  | 60,44  |
| Huhtikuu         | 0,00      | 10,64     | 0,00 | 349,04  | 0,00  | 134,42  | 0,00  | 93,04  |
| Toukokuu         | 0,00      | 15,52     | 0,00 | 425,68  | 0,00  | 155,45  | 0,00  | 124,98 |
| Kesäkuu          | 0,00      | 16,61     | 0,00 | 379,42  | 0,00  | 146,72  | 0,00  | 145,95 |
| Heinäkuu         | 0,00      | 17,22     | 0,00 | 424,99  | 0,00  | 170,14  | 0,00  | 149,39 |
| Elokuu           | 0,00      | 12,55     | 0,00 | 365,95  | 0,00  | 122,77  | 0,00  | 100,08 |
| Syyskuu          | 0,00      | 7,09      | 0,00 | 289,66  | 0,00  | 115,50  | 0,00  | 62,41  |
| Lokakuu          | 0,00      | 2,95      | 0,00 | 97,70   | 0,00  | 39,69   | 0,00  | 25,72  |
| Marraskuu        | 0,00      | 1,04      | 0,00 | 42,46   | 0,00  | 16,27   | 0,00  | 9,17   |
| Joulukuu         | 0,00      | 0,60      | 0,00 | 29,00   | 0,00  | 11,64   | 0,00  | 5,24   |
| Koko vuosi       | 0,00      | 94,92     | 0,00 | 2803,00 | 0,00  | 1057,87 | 0,00  | 807,04 |

### 3.7.4 Lämpimän käyttöveden varastoinnin ja kierron lämpökuorma

Kiertojohdot lämpimälle käyttövedelle ei rakennuksessa ole, joten kiertojohdon lämpöhäviöksi saadaan 0kWh/a kaavalla 26. Lämpimän käyttöveden varastoinnista tulevat häviöt saadaan energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteestä 1 taulukosta 8. Käyttövesivaraajan tilavuus rakennuksessa on 200dm<sup>3</sup> ja eristettä siinä on 100 mm. Joten häviöksi lämpimälle käyttövedelle saadaan siten 500kWh/vuosi kaavalla 27. (8, s. 11.)

$$Q_{\text{ikv,kierto}} = 0 \frac{\text{kWh}}{\alpha}$$

KAAVA 26

$$Q_{\text{ikv,varastointi}} = 500 \frac{\text{kWh}}{\alpha}$$

KAAVA 27

Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnista tulee 50 % lämpökuormaksi energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) mukaan. Lämpökuormat lasketaan kaavoilla 28 ja 29. (8, s. 10.)

$$Q_{\text{ikv,kierto,kuorma}} = 0,5 * 0 = 0 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \quad \text{KAAVA 28}$$

$$Q_{\text{ikv,varastointi,kuorma}} = 0,5 * 500 = 250 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \quad \text{KAAVA 29}$$

### 3.7.5 Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia

Rakennuksen lämpökuormat muodostuvat laitteista, valaistuksesta, ihmisistä ja ikkunoiden kautta tulevasta auringon säteilyenergiasta, jotka osittain voidaan käyttää hyväksi rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuormien hyödyntäminen on mahdollista vain, jos lämmitystarvetta esiintyy ja lämmöntuottoa rakennuksessa vähennetään samanaikaisesta säätölaitteiden avulla. Lämpökuormien kokonaismäärä rakennuksessa lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 30. Laskut syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja lämpökuormat näkyvät taulukossa 16. (1, s. 34.)

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{ikv,kierto,kuorma}} + Q_{\text{ikv,varastointi,kuorma}} \quad \text{KAAVA 30}$$

TAULUKKO 16. Rakennuksen lämpökuormat esimerkkikohteessa

|            | $Q_{\text{henk}}$ | $Q_{\text{säh}}$ | $Q_{\text{aur}}$ | $Q_{\text{ikv, kierto kuorma}}$ | $Q_{\text{ikv varastointi kuorma}}$ | $Q_{\text{lämpökuormat}}$ |
|------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Tammikuu   | 100,89            | 218,59           | 53,95            | 0                               | 21,23                               | 394,66                    |
| Helmikuu   | 91,12             | 197,43           | 173,45           | 0                               | 19,18                               | 481,18                    |
| Maaliskuu  | 100,89            | 218,59           | 418,73           | 0                               | 21,23                               | 759,44                    |
| Huhtikuu   | 97,63             | 211,54           | 587,13           | 0                               | 20,55                               | 916,85                    |
| Toukokuu   | 100,89            | 218,59           | 721,63           | 0                               | 21,23                               | 1062,34                   |
| Kesäkuu    | 97,63             | 211,54           | 688,70           | 0                               | 20,55                               | 1018,41                   |
| Heinäkuu   | 100,89            | 218,59           | 761,73           | 0                               | 21,23                               | 1102,44                   |
| Elokuu     | 100,89            | 218,59           | 601,36           | 0                               | 21,23                               | 942,07                    |
| Syyskuu    | 97,63             | 211,54           | 474,65           | 0                               | 20,55                               | 804,37                    |
| Lokakuu    | 100,89            | 218,59           | 166,06           | 0                               | 21,23                               | 506,76                    |
| Marraskuu  | 97,63             | 211,54           | 68,95            | 0                               | 20,55                               | 398,67                    |
| Joulukuu   | 100,89            | 218,59           | 46,49            | 0                               | 21,23                               | 387,20                    |
| Koko vuosi | 1187,86           | 2573,69          | 4762,83          | 0                               | 250,00                              | 8774,38                   |

Lämmityksessä hyödynnettävä lämpökuormien energia lasketaan rakennuksen lämpökuormien ja kuukausittaisen hyödyntämistason tulona. Hyödyntämistason laskeminen lämpökuormille aloitetaan laskemalla ominaislämpöhäviö rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 31. (1, s. 35.)

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

KAAVA 31

Lämpökapasiteetti saadaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 32. Sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti rakennuksessa tulee D5/2012:n taulukosta 5.6. Lämpökapasiteetin ja ominaislämpöhäviön avulla lasketaan rakennuksen aikavakio rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 33. Suhdeluku lämpökuormille lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 34. Kaavassa 36 tarvittava numeerinen parametri a lasketaan kaavalla 35. Kuukausittainen hyödyntämistaso lämpökuormille lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 36. (1, s. 35- 36.)

$$C_{rak} = A_{netto} C_{rak,omin}$$

KAAVA 32

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}}$$

KAAVA 33

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

KAAVA 34

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

KAAVA 35

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

KAAVA 36

Hyödyksi saatu lämpökuormien energia lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 37. Laskut syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja hyödyksi saadut energiat näkyvät taulukossa 17. (1, s. 34.)

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}}$$

KAAVA 37

TAULUKKO 17. Lämpökuormista hyödyksi saatu energia esimerkkikohteessa

|            | Q <sub>sis.lämpö</sub> |
|------------|------------------------|
| Tammikuu   | 394,65                 |
| Helmikuu   | 481,07                 |
| Maaliskuu  | 756,63                 |
| Huhtikuu   | 859,30                 |
| Toukokuu   | 771,92                 |
| Kesäkuu    | 538,24                 |
| Heinäkuu   | 341,22                 |
| Elokuu     | 408,75                 |
| Syyskuu    | 668,25                 |
| Lokakuu    | 504,27                 |
| Marraskuu  | 398,60                 |
| Joulukuu   | 387,18                 |
| Koko vuosi | 6510,06                |

### 3.8 Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus

#### 3.8.1 Varaava tulisija

Varaavan tulisijan luovuttamalle lämpöenergialle voidaan käyttää enintään arvoa 2000 kWh/a. Ostoenergian kulutusta laskettaessa tulisijan kokonaisvuosihyötysuhteena käytetään (YM asetus 176/2013) liitteen 1 mukaan arvoa 0,60. Tulisijan rakennukseen luovuttama lämpöenergia saadaan kaavalla 38. (8, s. 15.)

$$Q_{\text{tulisija}} = \frac{2000}{0,6} = 3333,3 \frac{\text{kWh}}{\alpha}$$

KAAVA 38

#### 3.8.2 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergia

Lämpöenergian tarve lämmityksessä lämmönjakojärjestelmittäin lasketaan kaavalla 39. Asunnossa on varaava tulisija, joka huomioidaan vähentämällä tulisijan tuottama lämpöenergia  $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$  kokonaisarvosta. Sähköisen lattialämmityksen hyötysuhteeksi saadaan 0,85 (YM asetus 176/2013) liitteen 1 tau-

lukosta 9. Lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähkön kulutus lasketaan kaavalla 40. Rakennuksessa on sähköinen lattialämmitys, jolloin apulaitteiden sähkönkulutukseksi saadaan 0,5 kWh/(m<sup>2</sup> a). Lämpöenergian tarve ilmanvaihton lämmitysjärjestelmälle lasketaan kaavalla 41. Hyötysuhde ilmanvaihtokoneen lämmityspattereille oletetaan olevan 100 % (YM asetus 176/2013 mukaan), joten lämmitysenergian nettotarve on yhtä suuri kuin lämpöenergian kokonaistarve. (1, s. 35; 8, s.12.)

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} + Q_{\text{varastointi,ulos}} \quad \text{KAAVA 39}$$

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{5696,25 - 2000}{0,85} + 0 + 0 = 4348,52 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A_{\text{netto,i}} \quad \text{KAAVA 40}$$

$$W_{\text{tilat}} = 0,5 * 113 = 56,5 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$Q_{\text{lämmitys,iv}} = \frac{Q_{\text{iv}}}{1,00} \quad \text{KAAVA 41}$$

$$Q_{\text{lämmitys,iv}} = \frac{735,44}{1,00} = 735,44 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

### 3.8.3 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia

Lämpöenergian kokonaistarve käyttövedelle lasketaan rakentamismääräyskoelman D5 mukaan kaavalla 42. Käyttöveden siirron hyötysuhde on esitetty energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 taulukossa 5. Näin siirron hyötysuhteeksi saadaan taulukosta 0,85. (1, s. 41; 8, s. 10)

$$Q_{\text{lämmitys,ikv}} = \frac{Q_{\text{ikv,netto}}}{\eta_{\text{ikv,siirto}}} + Q_{\text{ikv,varastointi}} + Q_{\text{ikv,kierto}} \quad \text{KAAVA 42}$$

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{3955}{0,89} + 500 + 0 = 4943,82 \frac{kWh}{a}$$

### 3.8.4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Energiankulutus lämmitysjärjestelmässä koostuu lämmitysenergian ja sähköenergian kulutuksesta, jotka lasketaan erikseen. Lämpöenergian kulutus lämmitysjärjestelmässä lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 43. Jos rakennuksessa on muitakin lämmöntuottojärjestelmiä, lämmitysenergian kulutus lasketaan järjestelmittäin kyseisen järjestelmän hyötysuhteen ja lämmöntarpeen avulla. (1, s. 44.)

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys, tilat}} + Q_{\text{lämmitys, tv}} + Q_{\text{lämmitys, lkv}} - Q_{\text{aurinko, lkv}} - Q_{\text{muu tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad \text{KAAVA 43}$$

### 3.8.5 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiakulutus lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5:n mukaan kaavalla 44. Kaavassa tarvittava ominaissähköteho (SFP) lasketaan D5:n mukaan kaavalla 45. Sähkönkulutusta ilmanvaihtojärjestelmälle laskettaessa käytetään rakentamismääräyskokoelman D3/2012:ssa esitettyjä käyntiaikoja ja ilmavirtoja. Tulokset on esitetty taulukossa 18. (1, s. 52; 2, s. 18-19.)

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum SFP q_v \Delta t + W_{\text{iv, muu}} \quad \text{KAAVA 44}$$

$$SFP = \frac{P_{\text{puh}}}{q_v} \quad \text{KAAVA 45}$$

TAULUKKO 18. Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus esimerkkikohteessa

|            | $W_{\text{ilmanvaihto}}$ |
|------------|--------------------------|
| Tammikuu   | 67,26                    |
| Helmikuu   | 60,75                    |
| Maaliskuu  | 67,26                    |
| Huhtikuu   | 65,09                    |
| Toukokuu   | 67,26                    |
| Kesäkuu    | 65,09                    |
| Heinäkuu   | 67,26                    |
| Elokuu     | 67,26                    |
| Syyskuu    | 65,09                    |
| Lokakuu    | 67,26                    |
| Marraskuu  | 65,09                    |
| Joulukuu   | 67,26                    |
| Koko vuosi | 791,90                   |

### 3.9 E-luvun laskenta

Ostoenergiankulutus muutetaan kokonaisenergiankulutukseksi käyttämällä energiamuotojen kertoimia. Energiamuotojen kertoimet on esitetty rakentamismääräyskokoelmassa D3/2012 luvussa 2.1.3. Sähköllä kerroin on 1,7 ja uusiutuvalla polttoaineella kerroin on 0,5. Kokonaisenergiankulutus saadaan laske-  
malla sähkönkulutus ja polttopuiden käytöstä johtuva energian kulutus yhteen kaavalla 46. Tämän rakennuksen E-luku on näin ollen 217,09 kWh/a. Laskut syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja tulokset näkyvät taulukossa 18. (1, s. 14; 2, s. 8, s. 3.)

$$E - luku = \left( \begin{array}{c} \text{sähkönkulutuksesta} \\ \text{johtuva} \\ \text{kokonaisenergiankulutus} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{polttopuiden} \\ \text{aiheuttama} \\ \text{kokonaisenergiankulutus} \end{array} \right)$$

KAAVA 46

$$E - luku = 202,34 + 14,75 = 217,09 \frac{kWh}{a}$$

TAULUKKO 18. Osto- ja kokonaisenergiankulutus esimerkkikohteessa

| Energiamuoto                   | Ostoenergiakulutus |                        | Kerroin    | Kokonaisenergian kulutus |                                      |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                                | kWh/a              | kWh/(m <sup>2</sup> a) |            | kWh <sub>E</sub> /a      | kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a) |
| <b>Sähkö</b>                   | <b>13449,87</b>    | <b>119,03</b>          | <b>1,7</b> | <b>22864,78</b>          | <b>202,34</b>                        |
| Tilojen lämmitys               | 4348,52            | 38,48                  | 1,7        | 7392,49                  | 65,42                                |
| Käyttöveden lämmitys           | 4943,82            | 43,75                  | 1,7        | 8404,49                  | 74,38                                |
| Tuloilman lämmitys             | 735,44             | 6,51                   | 1,7        | 1250,24                  | 11,06                                |
| Iv puhaltimet                  | 791,90             | 7,01                   | 1,7        | 1346,24                  | 11,91                                |
| Lämmönjaon apulaitteet         | 56,50              | 0,50                   | 1,7        | 96,05                    | 0,85                                 |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 2573,69            | 22,78                  | 1,7        | 4375,27                  | 38,72                                |
| <b>Uusiutuvat polttoaineet</b> | <b>3333,33</b>     | <b>29,50</b>           | <b>0,5</b> | <b>1666,67</b>           | <b>14,75</b>                         |
| Varaava tulisija               | 3333,33            |                        | 0,5        |                          |                                      |
| <b>Yhteensä</b>                |                    |                        |            | <b>24531,45</b>          | <b>217,09</b>                        |

### 3.10 Lämmitysmuotona kaukolämpö

Lasketaan E-luku esimerkkikohteeseen, jos lämmitysmuotona olisi kaukolämpö ja vesikiertoinen lattialämmitys. Kaukolämmön energiamuodonkerroin on 0,7, ja lämmitysenergian tuoton hyötysuhde on 0,94. Vesikiertoisen lattialämmityksen tuoton hyötysuhde on 0,8 ja apulaitteiden sähkönkulutus on 2,5kWh/(m<sup>2</sup> vuosi). Laskut syötetty itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja tulokset näkyvät taulukossa 19. Ostoenergiankulutus kaukolämmöllä on hieman suurempi kuin suoralla sähkölämmityksellä mutta E-luku huomattavasti pienempi, joten huomataan, että energiamuotojen kertoimilla on suuri vaikutus E-lukuun. Laskelmat ovat liitteenä (liite 2). (2, s. 8; 1, s. 40,44.)

TAULUKKO 19. Osto- ja kokonaisenergiankulutus esimerkkikohteessa

| Energiamuoto                   | Ostoenergiakulutus |                        | Kerroin    | Kokonaisenergian kulutus |                                      |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                                | kWh/a              | kWh/(m <sup>2</sup> a) |            | kWh <sub>E</sub> /a      | kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a) |
| <b>Kaukolämpö/sähkö</b>        | <b>14558,13</b>    | <b>128,83</b>          |            | <b>14574,22</b>          | <b>128,98</b>                        |
| Tilojen lämmitys               | 4915,22            | 43,50                  | 0,7        | 3440,65                  | 30,45                                |
| Käyttöveden lämmitys           | 5259,38            | 46,54                  | 0,7        | 3681,57                  | 32,58                                |
| Tuloilman lämmitys             | 735,44             | 6,51                   | 1,7        | 1250,24                  | 11,06                                |
| Iv puhaltimet                  | 791,90             | 7,01                   | 1,7        | 1346,24                  | 11,91                                |
| Lämmönjaon apulaitteet         | 282,50             | 2,50                   | 1,7        | 480,25                   | 4,25                                 |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 2573,69            | 22,78                  | 1,7        | 4375,27                  | 38,72                                |
| <b>Uusiutuvat polttoaineet</b> | <b>3333,33</b>     | <b>29,50</b>           | <b>0,5</b> | <b>1666,67</b>           | <b>14,75</b>                         |
| Varaava tulisija               | 3333,33            |                        | 0,5        |                          |                                      |
| <b>Yhteensä</b>                |                    |                        |            | <b>16240,89</b>          | <b>143,72</b>                        |



## 4 TUTKIMUKSESSA KEHITETTY SOVELLUS E-LUVUN LASKENTAAN

### 4.1 Ohjelman testausta

Kokeillaan, kuinka suuri merkitys lämmitysmuodolla on rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen. Lisäksi testataan ilmavuotoluvun vaikutus sekä ikkunoiden ja ovien U-arvojen vaikutus energiankulutukseen.

#### 4.1.1 Lämmitysmuotona maalämpö

Lasketaan rakennuksen E-luku maalämmöllä ja vesikiertoisella lattialämmityksellä. Laskenta aloitetaan laskemalla lämpöpumpun sähköenergian kulutus rakentamismääräyskokoelman D5/2012 luvussa 6.6 olevalla tavalla. Aluksi poimitaan lämpöpumpun kattama osuus käyttöveden ja tilojen lämmitysenergian summasta rakentamismääräyskokoelman D5 liitteen 2 taulukosta L2.1. Lämpöpumpun tuottamalle lämpöteholle ja rakennuksen lämmityksen mitoitustehon suhteena käytetään arvoa 0,70, menoveden mitoituslämpötilana 40°C ja tilojen ja lämpimän käyttöveden suhde saadaan kaavalla 47. (1, s. 70.)

Lämpöpumpun kattama osuus käyttöveden ja tilojen lämmitysenergian summasta saadaan kaavalla 48 rakentamismääräyskokoelmasta D5 taulukosta L2.1 interpoloimalla. Lämpöpumpun osuus käyttöveden ja tilojen lämmitysenergiasta on 95 %. Loput 5 % tuotetaan lämpöpumpun sähkövastuksella. (1, s. 70.)

Käyttöveden ja tilojen lämmitysenergian summa lasketaan kaavalla 49. Sähköenergian kulutus lämpöpumpulle kasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavalla 50. Energiatodistusasetuksen (176/2013) liitteen 1 taulukon 13 mukaan tilojen lämmittämisen SFP-luvuksi saadaan 3,1 ja käyttöveden lämmitykselle SFP-luku on 2,3. (1, s. 49; 8, s. 14.)

Lämpöpumpun tilojen lämmittämiseen kuluva sähköenergia lasketaan kaavalla 51 ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva sähköenergia kaavalla 52. Lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus vesikiertoiselle lattialämmitykselle lasketaan kaavalla 53. Energiatodistusasetuksen (YM 176/2013) liit-

teen 1 taulukosta 9 apulaitteiden sähköenergiankulutukseksi saadaan 2,5kWh(m<sup>2</sup> a) meno- ja paluulämpötilojen ollessa 40/30 °C. (1, s. 48; 8, s. 12.)

Laskut syötetään itse tehtyyn Excel-laskentapohjaan ja tulokset näkyvät taulukossa 20. Sähkönkulutus vähenee 5284,5kWh/a ja kokonaisenergiankulutus vähenee 79,5 kWh/(m<sup>2</sup> a).

$$\frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}}}{Q_{\text{lämmitys,ikv}}} = \frac{4348,52}{4943,82} = 0,88$$

KAAVA 47

$$x = \frac{Q_{LP}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,ikv}}} = 0,958 \approx 0,96$$

KAAVA 48

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,ikv}} = Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,ikv}} = 9292,34 \text{ kWh}$$

KAAVA 49

$$W_{LP,\text{lämmitys}} = x \left( \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}}}{SFP_{\text{tilat}}} + \frac{Q_{\text{lämmitys,ikv}}}{SFP_{\text{ikv}}} \right) + (1-x)Q_{\text{lämmitys,tilat,ikv}}$$

KAAVA 50

$$W_{LP,\text{lämmitys}} = 0,96 \left( \frac{4348,52}{3,1} + \frac{4943,82}{2,3} \right) + (1-0,96) * 9292,34 = 3781,84 \text{ kWh}$$

$$W_{LP,\text{lämmitys,tilat}} = 0,96 \left( \frac{4348,52}{3,1} \right) + (1-0,96) * 4348,52 = 1520,58 \text{ kWh}$$

KAAVA 51

$$W_{LP,\text{lämmitys,ikv}} = 0,96 \left( \frac{4943,82}{2,3} \right) + (1-0,96) * 4943,82 = 2261,26 \text{ kWh}$$

KAAVA 52

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A_{\text{netto}} = 282,5 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

KAAVA 53

TAULUKKO 20. Osto- ja kokonaisenergiankulutus esimerkkikohteessa

| Energiamuoto                   | Ostoenergiakulutus |                        | Kerroin    | Kokonaisenergian kulutus |                                      |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                                | kWh/a              | kWh/(m <sup>2</sup> a) |            | kWh <sub>E</sub> /a      | kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a) |
| <b>Sähkö</b>                   | <b>8165,37</b>     | <b>72,26</b>           | <b>1,7</b> | <b>13881,13</b>          | <b>122,84</b>                        |
| Tilojen lämmitys               | 1520,58            | 13,46                  | 1,7        | 2584,99                  | 22,88                                |
| Käyttöveden lämmitys           | 2261,26            | 20,01                  | 1,7        | 3844,14                  | 34,02                                |
| Tuloilman lämmitys             | 735,44             | 6,51                   | 1,7        | 1250,24                  | 11,06                                |
| Iv puhaltimet                  | 791,90             | 7,01                   | 1,7        | 1346,24                  | 11,91                                |
| Lämmönjaon apulaitteet         | 282,50             | 2,50                   | 1,7        | 480,25                   | 4,25                                 |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 2573,69            | 22,78                  | 1,7        | 4375,27                  | 38,72                                |
| <b>Uusiutuvat polttoaineet</b> | <b>3333,33</b>     | <b>29,50</b>           | <b>0,5</b> | <b>1666,67</b>           | <b>14,75</b>                         |
| Varaava tulisija               | 3333,33            |                        | 0,5        |                          |                                      |
| <b>Yhteensä</b>                |                    |                        |            | <b>15547,79</b>          | <b>137,59</b>                        |

#### 4.1.2 Ikkunat ja ovat paremmalla U-arvolla

Rakennuksessa ikkunoiden ja ovien U-arvo on 1,0 W/(m<sup>2</sup> K). Kokeillaan, kuinka suuri vaikutus kokonaisenergiankulutukseen on, jos ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykerroin olisi 0,6 W/(m<sup>2</sup> K). Sähkönkulutus vähenee 1442,01 kWh/a ja kokonaisenergiankulutus vähenee 21,69 kWh/(m<sup>2</sup> a). Tulokset näkyvät taulukossa 21.

TAULUKKO 21. Osto- ja kokonaisenergiankulutus esimerkkikohteessa

| Energiamuoto                   | Ostoenergiakulutus |                        | Kerroin    | Kokonaisenergian kulutus |                                      |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                                | kWh/a              | kWh/(m <sup>2</sup> a) |            | kWh <sub>E</sub> /a      | kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a) |
| <b>Sähkö</b>                   | <b>12007,86</b>    | <b>106,26</b>          | <b>1,7</b> | <b>20413,36</b>          | <b>180,65</b>                        |
| Tilojen lämmitys               | 2906,51            | 25,72                  | 1,7        | 4941,07                  | 43,73                                |
| Käyttöveden lämmitys           | 4943,82            | 43,75                  | 1,7        | 8404,49                  | 74,38                                |
| Tuloilman lämmitys             | 735,44             | 6,51                   | 1,7        | 1250,24                  | 11,06                                |
| Iv puhaltimet                  | 791,90             | 7,01                   | 1,7        | 1346,24                  | 11,91                                |
| Lämmönjaon apulaitteet         | 56,50              | 0,50                   | 1,7        | 96,05                    | 0,85                                 |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 2573,69            | 22,78                  | 1,7        | 4375,27                  | 38,72                                |
| <b>Uusiutuvat polttoaineet</b> | <b>3333,33</b>     | <b>29,50</b>           | <b>0,5</b> | <b>1666,67</b>           | <b>14,75</b>                         |
| Varaava tulisija               | 3333,33            |                        | 0,5        |                          |                                      |
| <b>Yhteensä</b>                |                    |                        |            | <b>22080,03</b>          | <b>195,40</b>                        |

#### 4.1.3 Ilmavuotoluvun vaikutus

Rakennuksen ilmavuotolukuna lämmitysenergian tarpeen laskemisessa käytetään arvoa  $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ , jos ilmanpitävyyttä ei tunneta. Ilmavuotolukuna voidaan kuitenkin käyttää parempaa arvoa, jos ilmanpitävyydestä tehdään erillistarkastus. Kokeillaan, kuinka suuri vaikutus on kokonaisenergiankulutukseen, jos ilmavuotolukuna käytetään arvoa  $1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . Sähkönkulutus vähenee 1293,54 kWh/a ja kokonaisenergiankulutus vähenee  $19,46 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Tulokset näkyvät taulukossa 22.

TAULUKKO 22. Osto- ja kokonaisenergiankulutus esimerkkikohteessa

| Energiamuoto                   | Ostoenergiakulutus |                        | Kerroin    | Kokonaisenergian kulutus |                                      |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                                | kWh/a              | kWh/(m <sup>2</sup> a) |            | kWh <sub>E</sub> /a      | kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a) |
| <b>Sähkö</b>                   | <b>12156,33</b>    | <b>107,58</b>          | <b>1,7</b> | <b>20665,77</b>          | <b>182,88</b>                        |
| Tilojen lämmitys               | 3054,99            | 27,04                  | 1,7        | 5193,48                  | 45,96                                |
| Käyttöveden lämmitys           | 4943,82            | 43,75                  | 1,7        | 8404,49                  | 74,38                                |
| Tuloilman lämmitys             | 735,44             | 6,51                   | 1,7        | 1250,24                  | 11,06                                |
| Iv puhaltimet                  | 791,90             | 7,01                   | 1,7        | 1346,24                  | 11,91                                |
| Lämmönjaon apulaitteet         | 56,50              | 0,50                   | 1,7        | 96,05                    | 0,85                                 |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 2573,69            | 22,78                  | 1,7        | 4375,27                  | 38,72                                |
| <b>Uusiutuvat polttoaineet</b> | <b>3333,33</b>     | <b>29,50</b>           | <b>0,5</b> | <b>1666,67</b>           | <b>14,75</b>                         |
| Varaava tulisija               | 3333,33            |                        | 0,5        |                          |                                      |
| <b>Yhteensä</b>                |                    |                        |            | <b>22332,43</b>          | <b>197,63</b>                        |

## 5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tehdä taulukkolaskentaohjelma sekä tutkia sovellutuksen avulla erilaisten rakenneratkaisujen ja lämmitysmuotojen vaikutusta energiankulutukseen ja E-lukuun. Energialuku laskettiin rakentamismääräyskokoelman D5 ja D3 ohjeiden mukaan. Laskennan lähtöarvoina tarvitaan rakenteita ja teknisiä järjestelmiä laskentahetkellä parhaiten kuvaavat arvot. Lähtöarvoina voidaan käyttää suunnitteluarvoja, piirustuksista saatavia arvoja tai tarkastuksen yhteydessä saatuja arvoja. E-luvun laskennassa suurin virhe tehdään pinta-alojen laskennassa. Erityisesti ikkunoiden pinta-alojen oikea laskenta vaikuttaa tulokseen.

Työ aloitettiin laatimalla Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskentapohja E-luvun laskemiseen. Esimerkkikohteelle laskettiin suoralla sähkölämmityksellä ja varaavalla tulisijalla E-luvuksi  $217,09 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Suurin sallittu E-luku kyseiselle pientalolle uusilla määräyksillä olisi  $204 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Vertailun vuoksi laskettiin myös E-luku kaukolämmölle  $143,72 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ja maalämmölle  $137,59 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Lisäksi kokeiltiin ilmapuotoluvun sekä ikkunoiden ja ovien U-arvojen parantamisen vaikutusta E-lukuun. Laskettujen tulosten perusteella voidaan päätellä, että energiamuotojen kertoimilla on suuri vaikutus rakennuksen energialukuun, joten sähkön käyttäminen rakennuksen lämmityksessä tulevaisuudessa ei ole kannattavaa. Esimerkkikohteessa suurin osa kokonaisenergiankulutuksesta tulee lämmitysenergiasta.

E-luku on laskennallinen luku eikä kuvaa todellisuutta, koska laskennassa ei huomioida sitä, miten rakennusta käytetään. Laskennan pohjalta ei siten kannata suunnitteluvaiheessa tehdä taloudellisia johtopäätöksiä. Työssä kehitettyä laskentapohjaa on kohtuullisen helppo käyttää, ja tyyppillisen pientalon laskenta sujuu alle puolessa tunnissa, jos lähtöarvot on helposti saatavilla. Työläintä laskemisessa on selvittää tarvittavat lähtötiedot. Ohjelmaa voisi kehittää jatkossa esimerkiksi alavetovalikoilla ja muilla pikatoiminnoilla.

## LÄHTEET

1. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012.
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012.
3. Ympäristöministeriö. Rakennuksen energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakennuksen\\_energiatehokkuutta\\_koskeva\\_lainsaadanto](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto). Hakupäivä 15.3.2014.
4. Motiva. Energiatodistus. Saatavissa: <http://motiva.fi/rakentaminen/energiatodistus>. Hakupäivä 17.3.2014.
5. Ympäristö. Rakennuksen energiatodistus. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Rakennuksen\\_energiatodistus/Rakennuksen\\_energiatodistus\(17447\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Rakennuksen_energiatodistus(17447)). Hakupäivä 20.3.2014.
6. Motiva. Energiatodistus. Milloin energiatodistus vaaditaan. Saatavissa: <http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/milloinvaaditaan/>. Hakupäivä 5.3.2014.
7. Ympäristö. Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuus. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Olemassa\\_olevan\\_rakennuksen\\_energiatehokkuus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Olemassa_olevan_rakennuksen_energiatehokkuus). Hakupäivä 7.4.2014.
8. Finlex. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodituksesta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6186.pdf>. Hakupäivä 3.5.2014.

## **LIITTEET**

Liite 1 Esimerkkikohteen pääkuvat

Liite 2 E-luvun laskenta kaukolämmitykselle

## Sisältö:

Pohjakuva

Julkisivukuvat ja leikkaus







|                               |      |                                     |
|-------------------------------|------|-------------------------------------|
| Rakennuksen käyttötarkoitus   |      |                                     |
| Rakennusvuosi                 | 2012 |                                     |
| Lämmitetty nettoala           | 113  | m <sup>2</sup>                      |
| Sisälämpötila                 | 21   | °C                                  |
| Puolilämpimän tilan lämpötila | 18   | °C                                  |
| Ilmavuotoluku                 | 4    | m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) |

**Rakennusvaipan umpiosat**

|                          | A              | U                    | U A  | %    |
|--------------------------|----------------|----------------------|------|------|
|                          | m <sup>2</sup> | W/(m <sup>2</sup> K) | W/K  |      |
| Ulkoseinät               | 79,71          | 0,15                 | 12,0 | 15,7 |
| US puolilämpimään tilaan | 8,27           | 0,26                 | 2,2  | 2,8  |
| Yläpohja                 | 113,40         | 0,08                 | 9,1  | 11,9 |
| Alapohja                 | 113,00         | 0,14                 | 15,8 | 20,8 |
| Ikkunat                  | 20,96          | 1,00                 | 21,0 | 27,5 |
| Ulko-ovet                | 6,30           | 1,00                 | 6,3  | 8,3  |
| Kylmäsillat              |                |                      | 9,8  | 12,9 |
| Rakennusvaipan pinta-ala | 341,64         |                      |      |      |

**Ikkunat ilmansuunnittain**

|           | A              | U                    | g-arvo |
|-----------|----------------|----------------------|--------|
|           | m <sup>2</sup> | W/(m <sup>2</sup> K) | -      |
| Pohjoinen |                | 1,00                 | 0,63   |
| Koillinen | 0,6            | 1,00                 | 0,63   |
| Itä       |                | 1,00                 | 0,63   |
| Kaakko    | 10,96          | 1,00                 | 0,63   |
| Etelä     |                | 1,00                 | 0,63   |
| Lounas    | 4,2            | 1,00                 | 0,63   |
| Länsi     |                | 1,00                 | 0,63   |
| Luode     | 5,2            | 1,00                 | 0,63   |

**Kylmäsillat**

|                      | Kylmäsillan pit. | Lisäkonduktanssi | LΨ   |
|----------------------|------------------|------------------|------|
|                      | L,m              | ψ, W/(m K)       | W/°C |
| Ulkoseinä-yläpohja   | 40,1             | 0,05             | 2,01 |
| Ulkoseinä-alapohja   | 40,0             | 0,10             | 4,00 |
| Ikkunat ja ovet      | 85,4             | 0,04             | 3,42 |
| Ulkoseinä ulkonurkka | 10,5             | 0,04             | 0,42 |
| Ulkoseinä sisänurkka |                  |                  |      |
| Yhteensä             |                  |                  | 9,84 |

**Lämmitysjärjestelmä**

|  |      |                        |
|--|------|------------------------|
| Lämmönjaon vuosihyötysuhde                                 | 0,8  | -                      |
| Apulaitteiden sähkönkulutus                                | 2,5  | kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Tuoton hyötysuhde tilojen lämmityksessä                    | 0,94 | -                      |
| Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus       | 0    | kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Tuoton hyötysuhde LKV:n lämmityksessä                      | 0,94 | -                      |
| LKV:n lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus | 0    | kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Tulisijat  | 2000 | kWh/a                  |

**LKV**

|                             |      |                                    |
|-----------------------------|------|------------------------------------|
| lämmitysenergian nettotarve | 35   | kWh/m <sup>2</sup> a)              |
| Nettotarpeen yläraja        | 4200 | kWh/a                              |
| Varastoinnin häviö          | 500  | kWh/a                              |
| Siirron hyötysuhde          | 0,89 | -                                  |
| Kierron lämpöhäviö          | 0    | kWh/a                              |
| LKV:n kulutus               | 0,6  | m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> a) |

**Ilmanvaihto**

|                                   |        |   |
|-----------------------------------|--------|---|
| LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde | 0,71   | -                                       |
| Tulo/poisto ilmavirta             | 0,0452 | (m <sup>3</sup> /s)/(m <sup>3</sup> /s) |
| Tuloilman sisäänpuhalluslämpötila | 18     | °C                                      |
| SFP-luku                          | 2      | kW/(m <sup>3</sup> /s)                  |

**Sisäiset lämpökuormat**

|                                |     |                  |
|--------------------------------|-----|------------------|
| Kuluttajalaitteiden teho       | 3   | W/m <sup>2</sup> |
| Kuluttajalaitteiden käyttöaste | 0,6 | -                |
| Valaistuksen teho              | 8   | W/m <sup>2</sup> |
| Valaistuksen käyttöaste        | 0,1 | -                |
| Lämpökuorma henkilöistä        | 2   | W/m <sup>2</sup> |
| Rakennuksen käyttöaikasuhte    | 0,6 | -                |

**Kuukausittaisten tuntien lukumäärä ja lämpötiloja**

| Kuukausi          | $T_u(^{\circ}\text{C})$ | $T_s-T_u(^{\circ}\text{C})$ | $\Delta t$ (h/kk) | $T_{\text{maa,kuukausi}}$ | $\Delta T_{\text{maa,kuukausi}}$ |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Tammikuu          | -3,97                   | 24,97                       | 744               | 10,57                     | 0,0                              |
| Helmikuu          | -4,50                   | 25,50                       | 672               | 9,57                      | -1,0                             |
| Maaliskuu         | -2,58                   | 23,58                       | 744               | 8,57                      | -2,0                             |
| Huhtikuu          | 4,50                    | 16,50                       | 720               | 7,57                      | -3,0                             |
| Toukokuu          | 10,76                   | 10,24                       | 744               | 7,57                      | -3,0                             |
| Kesäkuu           | 14,23                   | 6,77                        | 720               | 8,57                      | -2,0                             |
| Heinäkuu          | 17,30                   | 3,70                        | 744               | 10,57                     | 0,0                              |
| Elokuu            | 16,05                   | 4,95                        | 744               | 11,57                     | 1,0                              |
| Syyskuu           | 10,53                   | 10,47                       | 720               | 12,57                     | 2,0                              |
| Lokakuu           | 6,20                    | 14,80                       | 744               | 13,57                     | 3,0                              |
| Marraskuu         | 0,50                    | 20,50                       | 720               | 13,57                     | 3,0                              |
| Joulukuu          | -2,19                   | 23,19                       | 744               | 12,57                     | 2,0                              |
| <b>Koko vuosi</b> | 5,57                    | 15,43                       | 8760              | 10,57                     | 0,0                              |

**Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt (kWh)**

|                   | $Q_{\text{ulkoseinät}}$ | $Q_{\text{yläpohja}}$ | $Q_{\text{alapohja}}$ | $Q_{\text{ikkunat}}$ | $Q_{\text{ovet}}$ | $Q_{\text{kylmäsil-lat}}$ | $Q_{\text{muu-t}}$ | $Q_{\text{joht-yhteensä}}$ |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|
| Tammikuu          | 222,12                  | 168,54                | 122,76                | 389,39               | 117,04            | 182,79                    | 4,8                | 1202,64                    |
| Helmikuu          | 204,89                  | 155,46                | 121,51                | 359,17               | 107,96            | 168,61                    | 4,3                | 1117,59                    |
| Maaliskuu         | 209,76                  | 159,15                | 146,30                | 367,71               | 110,52            | 172,62                    | 4,8                | 1166,07                    |
| Huhtikuu          | 142,04                  | 107,78                | 152,97                | 249,00               | 74,84             | 116,89                    | 4,6                | 843,53                     |
| Toukokuu          | 91,09                   | 69,12                 | 158,07                | 159,69               | 48,00             | 74,96                     | 4,8                | 600,92                     |
| Kesäkuu           | 58,28                   | 44,22                 | 141,58                | 102,17               | 30,71             | 47,96                     | 4,6                | 424,92                     |
| Heinäkuu          | 32,91                   | 24,97                 | 122,76                | 57,70                | 17,34             | 27,09                     | 4,8                | 282,78                     |
| Elokuu            | 44,03                   | 33,41                 | 110,99                | 77,19                | 23,20             | 36,24                     | 4,8                | 325,07                     |
| Syyskuu           | 90,13                   | 68,39                 | 96,02                 | 158,00               | 47,49             | 74,17                     | 4,6                | 534,21                     |
| Lokakuu           | 131,66                  | 99,89                 | 87,45                 | 230,79               | 69,37             | 108,34                    | 4,8                | 727,51                     |
| Marraskuu         | 176,48                  | 133,90                | 84,63                 | 309,37               | 92,99             | 145,23                    | 4,6                | 942,60                     |
| Joulukuu          | 206,29                  | 156,52                | 99,22                 | 361,63               | 108,70            | 169,76                    | 4,8                | 1102,12                    |
| <b>Koko vuosi</b> | 1609,69                 | 1221,35               | 1444,28               | 2821,82              | 848,16            | 1324,67                   | 56,51              | 9326,48                    |

**Vuotoilman lämpenemisen energian tarve (kWh)**

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| $Q_{v,vuotoilma}$ | 0,010846 m <sup>3</sup> /s |
|                   | $Q_{vuotoilma}$            |
| Tammikuu          | 241,79                     |
| Helmikuu          | 223,02                     |
| Maaliskuu         | 228,33                     |
| Huhtikuu          | 154,62                     |
| Toukokuu          | 99,15                      |
| Kesäkuu           | 63,44                      |
| Heinäkuu          | 35,83                      |
| Elokuu            | 47,93                      |
| Syyskuu           | 98,11                      |
| Lokakuu           | 143,31                     |
| Marraskuu         | 192,10                     |
| Joulukuu          | 224,55                     |
| Koko vuosi        | 1752,17                    |

**Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve ja tuloilman lämpötila**

|            | $T_{lto}$<br>°C | $T_{sp}$<br>°C | $Q_{iv}$<br>kWh |
|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Tammikuu   | 13,76           | 18,00          | 150,98          |
| Helmikuu   | 13,61           | 18,00          | 141,97          |
| Maaliskuu  | 14,16           | 18,00          | 134,71          |
| Huhtikuu   | 16,22           | 18,00          | 50,18           |
| Toukokuu   | 17,50           | 18,00          | 0,00            |
| Kesäkuu    | 19,04           | 19,54          | 0,00            |
| Heinäkuu   | 19,93           | 20,43          | 0,00            |
| Elokuu     | 19,56           | 20,06          | 0,00            |
| Syyskuu    | 17,50           | 18,00          | 0,00            |
| Lokakuu    | 16,71           | 18,00          | 31,96           |
| Marraskuu  | 15,06           | 18,00          | 95,48           |
| Joulukuu   | 14,27           | 18,00          | 130,15          |
| Koko vuosi |                 |                | 735,44          |

**Tulo- ja korvausilman lämmitysenergia tarve**

|            | $Q_{iv,tuloilma}$ | $Q_{iv,korvausilma}$ |
|------------|-------------------|----------------------|
| Tammikuu   | 121,06            | 0,00                 |
| Helmikuu   | 109,35            | 0,00                 |
| Maaliskuu  | 121,06            | 0,00                 |
| Huhtikuu   | 117,16            | 0,00                 |
| Toukokuu   | 121,06            | 0,00                 |
| Kesäkuu    | 57,15             | 0,00                 |
| Heinäkuu   | 23,12             | 0,00                 |
| Elokuu     | 37,75             | 0,00                 |
| Syyskuu    | 117,16            | 0,00                 |
| Lokakuu    | 121,06            | 0,00                 |
| Marraskuu  | 117,16            | 0,00                 |
| Joulukuu   | 121,06            | 0,00                 |
| Koko vuosi | 1184,16           | 0,00                 |

**Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve**

|            | $Q_{tila}$ |
|------------|------------|
| Tammikuu   | 1565,49    |
| Helmikuu   | 1449,96    |
| Maaliskuu  | 1515,46    |
| Huhtikuu   | 1115,31    |
| Toukokuu   | 821,14     |
| Kesäkuu    | 545,51     |
| Heinäkuu   | 341,73     |
| Elokuu     | 410,75     |
| Syyskuu    | 749,48     |
| Lokakuu    | 991,88     |
| Marraskuu  | 1251,86    |
| Joulukuu   | 1447,74    |
| Koko vuosi | 12206,30   |

**Lämmitysenergian nettotarve (kWh)**

|            | $Q_{lämmitys, tilat, netto}$ |
|------------|------------------------------|
| Tammikuu   | 1170,85                      |
| Helmikuu   | 968,89                       |
| Maaliskuu  | 758,83                       |
| Huhtikuu   | 256,01                       |
| Toukokuu   | 49,22                        |
| Kesäkuu    | 7,27                         |
| Heinäkuu   | 0,51                         |
| Elokuu     | 2,00                         |
| Syyskuu    | 81,23                        |
| Lokakuu    | 487,61                       |
| Marraskuu  | 853,26                       |
| Joulukuu   | 1060,56                      |
| Koko vuosi | 5696,25                      |

**Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve (kWh/a)**

|                |      |
|----------------|------|
| $Q_{kv,netto}$ | 3955 |
|----------------|------|

**Lkv:n kierron ja varastoinnin lämpöhäviöt (kWh/a)**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| $Q_{kv,kierto}$      | 0   |
| $Q_{kv,varastointi}$ | 500 |

**Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus**

|            | $W_{\text{kuluttajalaitteet}}$ | $W_{\text{valaistus}}$ | $W_{\text{ilmanvaihto}}$ |
|------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Tammikuu   | 151,33                         | 67,26                  | 67,26                    |
| Helmikuu   | 136,68                         | 60,75                  | 60,75                    |
| Maaliskuu  | 151,33                         | 67,26                  | 67,26                    |
| Huhtikuu   | 146,45                         | 65,09                  | 65,09                    |
| Toukokuu   | 151,33                         | 67,26                  | 67,26                    |
| Kesäkuu    | 146,45                         | 65,09                  | 65,09                    |
| Heinäkuu   | 151,33                         | 67,26                  | 67,26                    |
| Elokuu     | 151,33                         | 67,26                  | 67,26                    |
| Syyskuu    | 146,45                         | 65,09                  | 65,09                    |
| Lokakuu    | 151,33                         | 67,26                  | 67,26                    |
| Marraskuu  | 146,45                         | 65,09                  | 65,09                    |
| Joulukuu   | 151,33                         | 67,26                  | 67,26                    |
| Koko vuosi | 1781,78                        | 791,90                 | 791,90                   |

**Lämpökuormat**

|            | $Q_{\text{henk}}$ | $Q_{\text{säh}}$ | $Q_{\text{aur}}$ | $Q_{\text{lkv, kiertö kuorma}}$ | $Q_{\text{lkv varastointi kuorma}}$ | $Q_{\text{lämpökuormat}}$ |
|------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Tammikuu   | 100,89            | 218,59           | 53,95            | 0                               | 21,23                               | 394,66                    |
| Helmikuu   | 91,12             | 197,43           | 173,45           | 0                               | 19,18                               | 481,18                    |
| Maaliskuu  | 100,89            | 218,59           | 418,73           | 0                               | 21,23                               | 759,44                    |
| Huhtikuu   | 97,63             | 211,54           | 587,13           | 0                               | 20,55                               | 916,85                    |
| Toukokuu   | 100,89            | 218,59           | 721,63           | 0                               | 21,23                               | 1062,34                   |
| Kesäkuu    | 97,63             | 211,54           | 688,70           | 0                               | 20,55                               | 1018,41                   |
| Heinäkuu   | 100,89            | 218,59           | 761,73           | 0                               | 21,23                               | 1102,44                   |
| Elokuu     | 100,89            | 218,59           | 601,36           | 0                               | 21,23                               | 942,07                    |
| Syyskuu    | 97,63             | 211,54           | 474,65           | 0                               | 20,55                               | 804,37                    |
| Lokakuu    | 100,89            | 218,59           | 166,06           | 0                               | 21,23                               | 506,76                    |
| Marraskuu  | 97,63             | 211,54           | 68,95            | 0                               | 20,55                               | 398,67                    |
| Joulukuu   | 100,89            | 218,59           | 46,49            | 0                               | 21,23                               | 387,20                    |
| Koko vuosi | 1187,86           | 2573,69          | 4762,83          | 0                               | 250,00                              | 8774,38                   |



| $Q_{aur}$  | Pohjoinen | Koillinen | Itä  | Kaakko  | Etelä | Lounas  | Länsi | Luode  |
|------------|-----------|-----------|------|---------|-------|---------|-------|--------|
| Tammikuu   | 0,00      | 0,89      | 0,00 | 32,80   | 0,00  | 12,57   | 0,00  | 7,70   |
| Helmikuu   | 0,00      | 2,61      | 0,00 | 107,02  | 0,00  | 40,88   | 0,00  | 22,93  |
| Maaliskuu  | 0,00      | 7,20      | 0,00 | 259,28  | 0,00  | 91,82   | 0,00  | 60,44  |
| Huhtikuu   | 0,00      | 10,64     | 0,00 | 349,04  | 0,00  | 134,42  | 0,00  | 93,04  |
| Toukokuu   | 0,00      | 15,52     | 0,00 | 425,68  | 0,00  | 155,45  | 0,00  | 124,98 |
| Kesäkuu    | 0,00      | 16,61     | 0,00 | 379,42  | 0,00  | 146,72  | 0,00  | 145,95 |
| Heinäkuu   | 0,00      | 17,22     | 0,00 | 424,99  | 0,00  | 170,14  | 0,00  | 149,39 |
| Elokuu     | 0,00      | 12,55     | 0,00 | 365,95  | 0,00  | 122,77  | 0,00  | 100,08 |
| Syyskuu    | 0,00      | 7,09      | 0,00 | 289,66  | 0,00  | 115,50  | 0,00  | 62,41  |
| Lokakuu    | 0,00      | 2,95      | 0,00 | 97,70   | 0,00  | 39,69   | 0,00  | 25,72  |
| Marraskuu  | 0,00      | 1,04      | 0,00 | 42,46   | 0,00  | 16,27   | 0,00  | 9,17   |
| Joulukuu   | 0,00      | 0,60      | 0,00 | 29,00   | 0,00  | 11,64   | 0,00  | 5,24   |
| Koko vuosi | 0,00      | 94,92     | 0,00 | 2803,00 | 0,00  | 1057,87 | 0,00  | 807,04 |

**Lämpökuormien hyödyntämisaste**

|            | $H_{tila}$ | $T$   | $\gamma$ | $a$   | $\eta_{lämpö}$ |
|------------|------------|-------|----------|-------|----------------|
| Tammikuu   | 84,27      | 93,87 | 0,25     | 7,258 | 1,00           |
| Helmikuu   | 84,62      | 93,48 | 0,33     | 7,232 | 1,00           |
| Maaliskuu  | 86,38      | 91,57 | 0,50     | 7,105 | 1,00           |
| Huhtikuu   | 93,88      | 84,26 | 0,82     | 6,617 | 0,94           |
| Toukokuu   | 107,78     | 73,39 | 1,29     | 5,893 | 0,73           |
| Kesäkuu    | 111,91     | 70,68 | 1,87     | 5,712 | 0,53           |
| Heinäkuu   | 124,14     | 63,72 | 3,23     | 5,248 | 0,31           |
| Elokuu     | 111,53     | 70,92 | 2,29     | 5,728 | 0,43           |
| Syyskuu    | 99,42      | 79,56 | 1,07     | 6,304 | 0,83           |
| Lokakuu    | 90,08      | 87,81 | 0,51     | 6,854 | 1,00           |
| Marraskuu  | 84,81      | 93,26 | 0,32     | 7,218 | 1,00           |
| Joulukuu   | 83,91      | 94,27 | 0,27     | 7,284 | 1,00           |
| Koko vuosi | 96,89      | 83,07 | 1,06     | 6,538 | 0,81           |

**Hyödyksi saatu energia**

|            | $Q_{\text{sis.lämpö}}$ |
|------------|------------------------|
| Tammikuu   | 394,65                 |
| Helmikuu   | 481,07                 |
| Maaliskuu  | 756,63                 |
| Huhtikuu   | 859,30                 |
| Toukokuu   | 771,92                 |
| Kesäkuu    | 538,24                 |
| Heinäkuu   | 341,22                 |
| Elokuu     | 408,75                 |
| Syyskuu    | 668,25                 |
| Lokakuu    | 504,27                 |
| Marraskuu  | 398,60                 |
| Joulukuu   | 387,18                 |
| Koko vuosi | 6510,06                |

**Lämmitysjärjestelmien energiankulutus (kWh/a)**

|           | $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ | $W_{\text{tilat}}$ | $Q_{\text{lämmitys,lkv}}$ | $Q_{\text{lkv,kierto}}$ | $W_{\text{lkv,pumppu}}$ | $Q_{\text{lämmitys,iv}}$ | $Q_{\text{lämmitys,iv,kulutus}}$ | $Q_{\text{lämmitys}}$ |
|-----------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Kokovuosi | 4915,22                     | 282,50             | 5259,38                   | 0                       | 0                       | 735,44                   | 735,44                           | 11192,54              |

**Kaukolämpö**

| Energiamuoto                   | Ostoenergiakulutus |                        | Kerroin    | Kokonaisenergian kulutus |                                      |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                                | kWh/a              | kWh/(m <sup>2</sup> a) |            | kWh <sub>E</sub> /a      | kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a) |
| <b>Kaukolämpö/sähkö</b>        | <b>14558,13</b>    | <b>128,83</b>          |            | <b>14574,22</b>          | <b>128,98</b>                        |
| Tilojen lämmitys               | 4915,22            | 43,50                  | 0,7        | 3440,65                  | 30,45                                |
| Käyttöveden lämmitys           | 5259,38            | 46,54                  | 0,7        | 3681,57                  | 32,58                                |
| Tuloilman lämmitys             | 735,44             | 6,51                   | 1,7        | 1250,24                  | 11,06                                |
| Iv puhaltimet                  | 791,90             | 7,01                   | 1,7        | 1346,24                  | 11,91                                |
| Lämmönjaon apulaitteet         | 282,50             | 2,50                   | 1,7        | 480,25                   | 4,25                                 |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 2573,69            | 22,78                  | 1,7        | 4375,27                  | 38,72                                |
| <b>Uusiutuvat polttoaineet</b> | <b>3333,33</b>     | <b>29,50</b>           | <b>0,5</b> | <b>1666,67</b>           | <b>14,75</b>                         |
| Varaava tulisija               | 3333,33            |                        | 0,5        |                          |                                      |
| <b>Yhteensä</b>                |                    |                        |            | <b>16240,89</b>          | <b>143,72</b>                        |