



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Antero Rokala

# Pientalon E-luvun laskenta ja vertailu todelliseen kulutukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

5.10.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Antero Rokala Pientalon E-luvun laskenta ja vertailu todelliseen kulutukseen 21 sivua + 1 liite 5.10.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-urakointi
Ohjaajat	yliopettaja Lauri Heikkinen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laskea sähkölämmitteisen pientalon E-luku ja tämän mukaisesti saatujen tuloksien vertailu rakennuksen todelliseen energiankulutukseen.</p> <p>Tulosten saavuttaminen vaati tutustumista pientalokohteeseen sekä laskemista yleisesti tunnettujen taloteknisten laskentakaavojen avulla. Työssä perehdyttiin rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuusosioon.</p> <p>Työssä käsiteltiin ilmanvaihdon, lämpimän käyttöveden, lämpökuormien sekä johtumislämpöhäviöiden osuudet omina kappaleinaan perustietoineen. Osuuksittain esitetään laskemiseen tarvittavat määräyksien mukaiset arvot sekä laskeminen kohteen osalta.</p> <p>Tuloksina saavutettiin E-luku ja sijoittuminen energiatodistusluokkaan sekä ero laskennallisen ja todellisen kulutuksen välillä. Työ antaa hyvän yleiskuvan E-luvun laskennasta sekä energiatodistuksesta.</p>	
Avainsanat	omakotitalo, energiatehokkuus, E-luku

Author Title Number of Pages Date	Antero Rokala Calculated and Actual Energy Consumption of Small Residential Building 21 pages + 1 appendix 5 October 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Contracting
Instructor	Lauri Heikkinen, Principal Lecturer
<p>The purpose of the bachelor's thesis was to calculate the energy efficiency class of a small residential building and the placement of said building in energy certificate classification. In addition, the calculations were used to compare the results of the calculated energy consumption with the actual energy consumption.</p> <p>This bachelor's thesis was done with the necessary calculations openly demonstrated, giving great oversight into the calculation of energy certificate classification. Various sources of information were used during the final year project, such as national building regulations and the laws of Finland. This bachelor's thesis also discussed the calculation of energy consumption, as well as offered basic knowledge of domestic hot water, ventilation, conduction heat losses and heat load.</p> <p>This bachelor's thesis resulted in classifying the energy certificate class of the studied property. A slight discrepancy was revealed in the comparison of the calculated energy consumption with actual energy consumption. The results cannot be applied on a large scale as this thesis only features one property.</p>	
Keywords	small residential building, energy efficiency

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kohteen esittely	1
3	Energiatodistus	2
4	Laskemisen perusteet	5
5	Rakennuksen johtumislämpöhäviöt	6
6	Ilmanvaihdon laskennan osuudet	9
7	Lämmin käyttövesi	13
8	Lämpökuormat	15
9	E-luku	20
10	Vertailu todelliseen kulutukseen	20
11	Yhteenveto	21
	Lähteet	22

Liite 1. Kuukausitason laskentamenetelmällä saatuja tuloksia.

## Lyhenteet

ARA Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus

LTO lämmöntalteenotto

RakMK Suomen rakentamismääräyskokoelma

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia esimerkkipientalon sijoittumista energiatodistusluokkaan sekä vertailla suhdetta todelliseen kulutukseen ja laskennallisen kulutuksen välillä. Lasken työssäni E-luvun antaen esimerkin joidenkin osakohtien laskennasta antaen lukijalle melko täsmällisen kuvan energiatodistuksen laskennan perusteista.

Lopputuloksena arvioidaan laskennallisen kulutuksen osumista todelliseen kulutukseen sekä syitä mahdollisille eroavaisuuksille. Työ antaa siten hyvän osoituksen erinäköisten karkeiden arvioiden tekemiseen energiankulutuksen suhteen usealle osa-alueelle.

## 2 Kohteen esittely

Kohde on Vantaalla sijaitseva vuonna 2005 rakennettu täystiilitalo. Kohde on kalliorinteeseen louhimalla perustettu talo, joka on rakennettu murskepedin päälle jatkuvan yhtenäisen anturaperustuksen varaan. Talo on kaksikerroksinen, ja sen alapohja on maanvarainen betonilaatta vähintään 300 millimetrin sepelikerroksen ja eristestyroksin päällä. Alemman kerroksen yhteydessä on myös puolilämmin autotalli. Ulkoseinät ovat harkkomuurattuja, ja tämän muurauksen päältä alkaa kantava tiilimuuraus sekä julkisivumuuraus. Julkisivuverhous on toteutettu poltetulla tiiliverhoilulla porrastaen maanmuotojen mukaisesti. Kaikki alakerran kantavat väliseinät ovat kahi-tiilestä muurattuja. Märkätilojen kevyet väliseinät taasen ovat ohutsaumamuurattua kahi-ponttia.

Välipohja on paikallavalettu 160 millimetrin kantava teräsbetonilaatta, jonka päältä nousee ulkoseinien kantava muurattu kahi-tiiliseinä. Yläkerran väliseinät ovat peltirunkoisia kevyitä kipsiväliseiniä. Yläpohja on tehdasvalmisteinen NR-kattoristikkorakenteinen, jossa huoneiston puolella kipsilevy ja höyrysulun päällä 400 millimetriä villaa. Vesikatto on aluskatteellinen harjakatto betonitiilikatteella. Kattotuolien väliin räystäälle on jouduttu rakentamaan ääniloukut kohteen lentomelualueelle sijoittumisen takia.

Asunnossa on varaava sähkölämmitys, joka toteuttaa lämmityksen lähinnä yöaikaan, hyödyntäen yösähkön halvempaa hintaa, lukuun ottamatta pesuhuoneita, joiden perus-

lämmitys on päällä jatkuvasti. Talo on kaksikerroksinen, ja kerroksista alempi on osittain maanvastainen. Alemman kerroksen yhteydessä on myös puolilämmin autotalli.

Takkana toimii tulikivi yhtiöiden TU 1450 teholla 3,2 kW. Kiukaana on Helon varaava sähkökiuas. Kohteen ilmanvaihto on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä ilmanvaihtokoneella Enervent LTR-3, joka on varustettu pyörivällä lämmönsiirtimellä. Päätelaitteet ovat perusmallin tuloilmaventtiileitä KTS-100/125 ja poistopuolella KSO-100/125

### 3 Energiatodistus

Energiatodistuksen laadinnan ja vaatimuksien lähtökohdat tulevat Euroopan parlamentin neuvoston direktiivistä 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. Laki rakennuksen energiatodistuksesta 2013/50 on kansallinen tulkinta kyseisestä direktiivistä.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta vuonna 2013 muutti käytännöt nykyisenlaisiksi. Tämän takia ennen yleisin tyyppi eli isännöitsijätodistukseen sisältyvä energiatodistus on poistunut, eivätkä vanhat kyseisellä tavalla luodut ole enää voimassa, vaan ovat poistuneet käytöstä viimeistään vuonna 2014. Energiatodistusten laadinnan pohjana on nykyisin E-luvun laskeminen, jota käsitellään tuonnempana. [1]

Energiatodistus on nykyään voimassa enintään kymmenen vuotta ja energiatodistuksen voimassaoloa valvoo Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) [2]. ARA kertoo toimenpiteet tilanteessa, jossa energiatodistusta ei lain vaatimuksen mukaan ole, menevän seuraavasti:

- 1) Kehotus korjata tilanne, mikäli ei korjaannu tämän seurauksena
- 2) Käskypäätös, jota voidaan tehostaa uhkasakolla

Uhkasakolle arviot ARAn mukaan vuokraus- ja myyntitilanteissa ovat lueteltuna kuvassa 1.

Omakoti- ja paritalot	800 €
Rivitalot	2 000 – 4 000 €
Kerrostalot	4 000 – 6 000 €
Muut	800 – 6 000 €

Kuva 1. Arviot uhkasakoista energiatodistuksien puuttumisesta myynti- ja vuokraustilanteessa. [3]

Kuitenkin kaikki tilanteet arvioidaan tapauskohtaisesti, eikä kuvan osoittamia esimerkkihintoja voida pitää ehdottomina lukemina. [3]

Energiatodistuksen laadinnassa on kahden vaativuusluokan tehtäviä, jotka ovat perustaso ja ylempi taso sekä näiden lisäksi muutamissa poikkeustapauksissa sallittu kevennetty menettely.

Pätevyysvaatimukset nykyisenmuotoisille energiatodistuksille ovat esitettynä valtioneuvoston asetuksessa rakennuksen energiatodistuksen laatijan pätevyydestä ja kevennetyn energiatodistusmenettelyn edellytyksistä (170/2013). Seuraavana kokonaisuudessaan toinen momentti lainattuna koskien perustason energiatodistuksen laatijalta edellytettävää tutkintoa tai työkokemuksesta:

” Vaativuustasoltaan perustason energiatodistuksen laatijalla on oltava rakennus-, talotekniikka- tai energiatekniikka-alan ylempi korkeakoulututkinto tai ammattikorkeakoulututkinto taikka aikaisempi rakennusinsinöörin, rakennusarkkitehdin, lvi-, kone- tai sähköinsinöörin, lvi- tai sähkötekniikon taikka rakennusmestarin tutkinto.

Tutkinnon korvaavaksi työkokemukseksi hyväksytään vähintään kolmen vuoden työkokemus rakennusten energiatehokkuuteen liittyvissä tehtävissä.”

Verrattuna saman asetuksen kolmanteen momenttiin, joka esittää ylemmän tason energiatodistuksen laatimiseen vaadittavat pätevyydet, voidaan todeta eroavaisuudet pieneksi. Ero aiemmin esitettyyn perustason pätevyyteen on ylemmän tason pätevyydessä seuraava:

- 1 Teknikon tai rakennusmestarin tutkinto ei anna pätevyyttä
- 2 Koulutuksen korvaaminen onnistuu vain, mikäli henkilöllä on perustason pätevyys, ja tämän lisäksi yhden vuoden työkokemus dynaamisen laskentamenetelmän käytöstä rakennusten energiatehokkuuden laskennassa.



Kevennetyn energiatodistusmenettelyn mukaisessa todistuksessa ei laatijalla ole pätevyysvaatimusta. Kevennetty menettely on vain erityisiä tapauksia varten, ja mikäli kiinteistön arvo on todella matala. Kevennetty menettely on esitetty laissa energiatodistuksessa mahdolliseksi seuraavin ehdoin [2]:

1. Rakennus/kiinteistö/huoneisto/sellaisen hallintaoikeus enintään kaksi huoneistoa käsittävässä rakennuksessa on hyvin vähäinen
2. Muu erityisen perusteltu syy, kuten lähisukulaisten välinen myynti tai vuokraus

Näitä molempia on avattu tarkemmin valtioneuvoston asetuksessa rakennuksen energiatodistuksen laatijan pätevydestä ja kevennetyn energiatodistusmenettelyn edellytyksistä (170/2013) seuraavanlaisesti kohdistuen ylempänä esitettyyn vastaavaan numeroon:

1. Myytävän rakennuksen, kiinteistön, huoneiston tai sen hallintaoikeuden arvo on vähäinen, kun hinta on alle 50 000 €.
2. Lähisukulaisten välisten kauppojen lisäksi, muuksi erityiseksi syyksi lasketaan seuraavat seikat:
  - a. Kohteen myynti tai vuokraus ei tapahdu julkisesti.
  - b. Vuokra on alle 350 euroa.

Kevennetty menettely käytännössä tarkoittaa vapautusta energiatodistuksen laadinnasta, sillä kevennetty energiatodistuksessa täytettävänä kohtana on käytännössä vain osoite ja laatija. [4]

Rakennuksen osalle luodaan oma energiatodistuksensa merkittävästi toisistaan poikkeaville osille käyttötarkoituksien merkittävästi poiketessa toisistaan. Kuitenkin pinta-alan on oltava vähintään 50 neliometriä ja vastattava ainakin kymmentä prosenttia lämmitetystä nettoalasta. [5]

## 4 Laskemisen perusteet

Eri rakennustyypeille on annettu erilaisia annettuja lähtöarvoja. Nämä on jaettu luokkiin, jotka on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun vaatimustasot käyttötarkoituserityksittäin kertoo, että rakennus kuuluu luokkaan 1. Saman asetuksen (10 § Ulkoilmavirrat ja huonelämpötilat) mukaan ulkoilmavirta lasketaan arvon  $0,4 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$  mukaan ja huonelämpötilana on käytettävä arvoa  $21 \text{ °C}$ , vaikka todelliset arvot poikkeaisivatkin näistä. [6]

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 määrää laskennan tehtäväksi menetelmällä, joka ottaa huomioon vähintään seuraavat kohdat:

- rakennusosien ja niiden liitosten lämpöominaisuudet, rakennuksen ilmanpitävyys, ilmanvaihdon ilmavirta
- sisäilman lämpötila
- lämpimän käyttöveden tarve
- ilmanvaihdon lämmöntalteenotto
- lämpökuormat henkilöistä, valaistuksesta, sähkölaitteista, lämpimästä käyttövedestä ja auringosta
- tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve
- käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve
- ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian tarve
- kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergian tarve.

Ja jos rakennukseen on rakennettu jokin seuraavista, täytyy huomioida

- aurinkokeräimen lämmöntuotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa
- aurinkopaneelin sähköntuotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa
- jäteveden lämmöntalteenotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa.

Luonnollisesti viimeisimmät kolme voidaan jättää huomiotta, mikäli rakennuksessa ei ole järjestelmiä näiden hyödyntämistä varten. Lähdetään siis avaamaan näiden laskentaa kohteen osalta seuraavaksi ympäristöministeriön vaatimalla laajuudella. [6]

## 5 Rakennuksen johtumislämpöhäviöt

Aloitetaan E-luvun laskenta johtumislämpöhäviöistä. Johtumislämpöhäviöt ovat erityisen korostetussa asemassa pientalon kohdalla, siitä yksinkertaisesta syystä, että näiden rakennusvaipan pinta-ala on suuri verrattuna lattiapinta-alaan. [7] Näiden laskentaa varten tarvitaan rakenneosien pinta-ala tiedot sisämittojen mukaisesti laskettuna. Tässä kohteessa on kolmea erilaista ulkoseinää. Tämän lisäksi täytyy tietää tai laskea U-arvot jokaisen kohdalle, sekä ikkunoiden ja oville. Kohteen tilanteessa oli saatavilla Pihla ikkunoiden todistus lähinnä ovien ja ikkunoiden äänieristävyyden takia, josta taulukosta saatiin samalla molempien tarkat U-arvot ikkunoille ja oville. Puolilämmintä autotallia ja asuintiloja erottaa kahitiilestä tehty seinä. Autotallin ja asunnon väliselle seinälle ei ollut löydettävissä U-arvolaskelmia, joten se on selvitetty ja laskettu piirustusten perusteella.

$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (1)$$

Johtumislämpöhäviöt lasketaan kaavan (1) mukaan jokaiselle kuukaudelle ja rakennusosalle erikseen. Pinta-alat lasketaan jokaiselle rakennusosalle erikseen sisämittojen mukaan. Kaikki rakennusosat (ulkoseinä, alapohja, yläpohja, ikkunat, ovet) lasketaan erikseen alojen mukaisesti. [7] Tarkasteltavassa rakennuksessa oli useita erityyppisiä seinärakenteita, joiden kaikkien johtumislämpöhäviöt on laskettava omina kuukausitarkasteluinaan. Alla on ensimmäisen ulkoseinärakenteen osalta tammikuun laskenta avattuna. Tässä työssä kaavoissa esitetyt laskennat on pyöristetty kahden desimaalin tarkkuudelle luottavuuden parantamiseksi, mutta laskennassa käytetty tarkkoja arvoja, minkä takia pientä vaihtelua voi esiintyä.

$$Q_{Us1} = 0,23 * 26,74 * (21 - (-3,97)) * 31 * 24 = 114,24 \quad (1.1)$$

Tämä toistetaan kaikille rakenteille kyseisten alojen mukaan. Selvyyden vuoksi osoitan alla olevalla taulukolla esimerkinomaisesti tulokset kaikkien kolmen seinätyypin kohdalle. Tässä taulukossa ei selvyyden vuoksi ole mukana muita kuin ulkoseinärakenteet. Ikkunat ovet ja ylä- sekä alapohjarakenteet eivät ole mukana taulukossa, mutta luonnollisesti täytyy edelleen laskea samalla tavalla. Kaavalla 1.1 on laskettu tammikuun ulkoseinän rakenne 1:n johtumislämpöhäviöt.

Taulukko 1. Esitettyinä johtumislämpöhäviöt eri seinärakenteiden osalta kuukausitason tarkastelu vaatimuksen mukaisesti.

	US1	US2	US3
	Häviöt	Häviöt	Häviöt
TAMMIKUU	114,24	91,82	293,42
HELMIKUU	105,37	84,70	270,65
MAALISKUU	108,89	87,52	279,67
HUHTIKUU	73,05	58,72	187,63
TOUKOKUU	46,85	37,66	120,33
KESÄKUU	29,97	24,09	76,99
HEINÄKUU	16,93	13,61	43,48
ELOKUU	22,65	18,20	58,17
SYYSKUU	46,36	37,26	119,06
LOKAKUU	67,71	54,43	173,91
MARRASKUU	90,76	72,95	233,12
JOULUKUU	106,09	85,28	272,50

Kuukausittaisen tason tarkastelu on vähimmäisvaatimus E-luvun laskemisessa taulukon 1 osoittamalla tavalla. Jos lasketaan muun lämpöiseen tilaan rajoittuvaa tilaa, käytetään ulkolämpötilana kyseisen tilan lämpötilaa ja nämä on liitetty laskentaan kohdassa Q<sub>muu</sub>. Maanvastaisen seinän tapauksessa maanvastaisesta seinästä ulkoilmaan johtuva energia voidaan laskea kaavan (1) mukaisesti maan lämmönvastus huomioiden. [8]

Alapohjan lämpöhäviölaskennassa täytyy huomioida erinäiset tilanteet, jossa alapohjan alla lämpötila ei ole sama kuin ulkoilman lämpötila. Nyt laskettavassa tilanteessa on maanvastainen alapohja, jonka laskennassa ei voi käyttää arvona ulkoilman lämpötilaa, vaan alapohjan alapuolinen lämpötila on laskettava erikseen kaavalla:

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} \quad (2)$$

Maan ja ulkoilman keskilämpötilan arvona käytetään 5 °C:ta. [6] Tämän perusteella saadaan vuoden keskilämpötilaksi 5,57 °C, joten alapohjan alapuolisen maan vuosittaiseksi (T<sub>maa,vuosi</sub>) arvoksi saadaan 10,57 °C. Tämän jälkeen päästäänkin laskemaan kuukausittaiset arvot alapohjan alapuolisen maan lämpötilalle, jotta voidaan jatkaa johtumislämpöhäviöiden laskemista alapohjan osalta.

Taulukko 2. Maan kuukausittaiset keskilämpötilat laskentavyöhykkeelle 1.

	$T_{\text{maa,kuukausi}}$
TAMMIKUU	10,57
HELMIKUU	9,57
MAALISKUU	8,57
HUHTIKUU	7,57
TOUKOKUU	7,57
KESÄKUU	8,57
HEINÄKUU	10,57
ELOKUU	11,57
SYYSKUU	12,57
LOKAKUU	13,57
MARRASKUU	13,57
JOULUKUU	12,57

Taulukossa 2 on esitetty maan keskilämpötila kuukausittain. Tämä on tehty vähentämällä maan vuosittaisesta arvosta kuukausittainen arvo rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeen taulukon 3.4 mukaan. Tämän takia saadaan laskettu alapohjan lämpöhäviöt käyttäen oheisen taulukon arvoja maan kuukausittaiselle keskilämpötilalle ja toistetaan kuukausittainen tarkastelu kuten seinienkin osalta. [6]

Kylmäsiltojen huomioiminen otetaan seuraavaksi. Viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssi lasketaan kaavalla 3. Nykyisin kun rakennuksen lämpöhäviöitä jatkuvasti pienennetään kohti energiatehokkaampia ratkaisuja, korostuu kylmäsiltojen osuus johdumislämpöhäviöiden osalta jatkuvasti, minkä takia niiden huomioon ottaminen jo suunnittelussa on jatkuvasti tärkeämpää. [9]

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

Lasketaan kylmäsilat liitoskohdille laskentaohjeen taulukon 3.1 mukaan väleille ulkoseinä – yläpohja, ulkoseinä – välipohja, ikkuna- ja oviaukot sekä ulkoseinä ja alapohja. Näiden kaikkien liitoskohtien pituudet on selvitettävä, jotta laskenta voidaan muilta osin suorittaa. Seuraavana esimerkkinä on tammikuulle laskettu kylmäsiltojen aiheuttama lämpöhäviö yläpohjan ja ulkoseinän välille. [9]

$$Q_{YP-US} = 38,3 * 0,05 * (21 - (-3,97)) * 24 * 34 / 1000 = 35,58 \quad (3.1)$$

Ulkoseinät ovat tiiltä, joten arvona kylmäsillan laskemiseen on laskentaohjeen taulukon 3.1 mukaan annettuna lisäkonduktanssina 0,05, jolloin pystytään laskemaan kaavan 3.1. mukaisesti. Erityisenä huomiona haluan nostaa esiin sisänurkan negatiivisen arvon -0,05, kaikki rakennuksen kulmat eivät siis suinkaan ole samanlaisia laskennallisesti. Kylmäsiltojen huomioon ottaminen onnistuu energiatodistusasetuksen liitteen 1 kohdan 2.2.3:n mukaan olemassa olevalle rakennukselle myös lisäämällä kokonaisjohtumislämpöhäviöihin kymmenen prosenttia. [9]

## 6 Ilmanvaihdon laskennan osuudet

Säävyöhykkeen ulkoilman keskilämpötilan kuukausitilastot ovat löydettävissä Ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta liitteestä 1. Huolimatta rakennuksen sijainti paikkakunnasta, tehdään E-luvun laskenta joka tapauksessa 1. säävyöhykkeelle Helsinki-Vantaa. [6]

Luokkien mukaiset käyntiajat löytyvät ympäristöministeriön asetuksesta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Luokkaan 1 kuuluvassa rakennuksessa ulkoilmavirta lasketaan arvon  $0,4 \text{ dm}^3/(\text{s/m}^2)$  mukaan ja poistoilmavirta on määrätty samaksi. Huonelämpötilana on käytettävä arvoa  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , vaikka todelliset arvot poikkeaisivatkin näistä. [6. 10§, 11§]

Energiatehokkuus asetuksen 1010/2017 yhdennentoista momentin rakennuksen vakioidun käytön taulukon mukaan saadaan ilmanvaihdon käyttöajaksi sata prosenttia. Laitteiden käyttöaika on 60 ja valaistuksen 10 prosenttia ajasta pientalokohteen osalta. [6]

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta kertoo: ”Kun lasketaan uusien rakennuksien ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarvetta ja sähkönkäyttöä, ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena ja ominaissähkötehona käytetään suunnitelmien arvoja.” Olemassa oleville rakennuksille kuten myös laskemassani kohteessa käytetään arvoja, jotka on saatu ajantasaisista rakennuksen asiakirjoista kuten piirustuksista tai vastaavista, tai useat arvot voi myös selvittää tarkastuksen yhteydessä. [10]

Lasketaan rakentamismääräyskokoelman rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeen mukaisesti. Lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho aiemmin mainitun ohjeen kaavan 3.12 mukaan [11]

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v p_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (4)$$

Lasketaan joka kuukauden keskimääräisen lämpötilan mukaan säävyöhykkeelle 1 kaavan 4 mukaan. Tulo- ja poistoilma ovat yhtä suuret, joten nettoalan ollessa 128 m<sup>2</sup> saadaan alakohtaisella ilmamäärällä kerrottuna poistoilmavirraksi 51,2 l/s, joka muutetaan vielä kuutioiksi sekunnissa, jolloin suureet ovat tiedossa ja voidaan sijoittaa kaavan 4 mukaan.

$$\phi_{lto} = 0,739 * \frac{24}{24} * \frac{7}{7} * 1,2 * 1000 * 0,0512 * (21 - (-3,97)) = 1133,74 \quad (4.1)$$

Valmistajan ilmoittama vuosihyötysuhde  $\eta_{a,ivkone}$  on kohteen tapauksessa pyörivä lämmönvaihdin arvolla 0,739. Mikäli tietoa ei ole saatavilla, Ympäristöministeriön moniste 122, kohta 4.2 viittaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 kohtaan 3.4.2 vuodelta 2003, joka kertoo tarkemmat jatko-ohjeet karkean arvion saamiseksi. Tätä kannattaa kuitenkin välttää sen antaman heikon tuloksen vuoksi.

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila lasketaan seuraavalla kaavalla (5)

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v p_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (5)$$

Kaavan 5 mukaisesti lasketaan lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila tammikuulle. Lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on oleellinen, koska LTO:n kautta hyväksi otettu energia vähentää ostoenergian tarvetta huomattavasti.

$$T_{lto} = -3,97 + \frac{1133,74}{\frac{24}{24} * \frac{7}{7} * 1,2 * 1000 * 0,0512} = 14,48 \quad (5.1)$$

Ilmanvaihdon lämmityksen nettoenergian tarpeen laskenta saadaan näin eteenpäin, kun edellisen laskennan mukainen LTO:n jälkeinen lämpötila on selvillä kaavan 5.1 mukaisesti.

Ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittava energiamäärä lasketaan kaavalla 6. Energiatodistusasetuksen mukaan sähköisellä lämmityspatterilla ilmanvaihdon lämmitysenergian laskennassa ei ole lämpöhäviötä. Taulukosta 10 voidaan todeta huonekohtaisen sähkölämmityksen vuosihyötysuhteenkin olevan 1. Täten kaavalla 6 laskettujen kuukausikohtaisten arvojen summa on sellaisenaan ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittava energia. [10]

Kyseisen ilmanvaihtokoneen lämpötilasuhte on mitattu standardin SFS-EN 13141-7 mukaisesti. Tämän takia puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu on jo mukana lämpötilasuhteessa, jonka ansiosta voidaan puhaltimen aiheuttamana lämpötila nousuna käyttää arvoa nolla. Mikäli puhaltimessa tapahtuvaa lämpötilan nousun vaatimaan laskentaan tarvittavia arvoja ei ole saatavilla voidaan laskennassa käyttää oletusarvona 0,5 °C. Sisäänpuhalluksen lämpötilana voidaan käyttää arvoa 18 °C, mikäli tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. [11]

$$Q_{iv} = t_d t_v p_i c_{pi} q_{v,tulo} \left( (T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000 \quad (6)$$

Kaavassa 6 tarvittavat arvot ovat täten selvillä, joten sijoitetaan nämä ja saadaan yksinkertaisesti asia eteenpäin sijoittamalla arvot kaavaan. Otetaan esimerkkinä jälleen tammikuu.

$$Q_{iv} = \frac{24}{24} * \frac{7}{7} * 1,2 * 1000 * 0,0512 * ((18 - 0) - 14,48) * 24 * 31 / 1000 = 160,77 \quad (6.1)$$

Tässä tuloksessa kaavan 6.1 mukaisesti on kuitenkin huomioimatta, että kyseinen tuuloilma puhalletaan tilaan kylmempänä kuin tilassa oleva ilma, joten ilmanvaihdon sisään tuoman ilman lämpenemiseen tarvitaan energiaa. Tämäkin on kuitenkin laskettavissa seuraavalla kaavalla [7].

$$Q_{iv,tuloilma} = t_d t_v p_i c_{pi} q_{tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad (7)$$

Jälleen yksinkertaisen sijoituksen jälkeen saadaan kaava 7 kohteen tilanteessa täytettyä tammikuun osalta seuraavan näköiseksi.

$$Q_{iv,tuloilma} = \frac{24}{24} * \frac{7}{7} * 1,2 * 1000 * 0,052 * (21 - 18) * 31 * 24 / 1000 = 137,13 \quad (7.1)$$



Täten on saatu tammikuun osalta selville sisään puhalletun ilman lämpeneminen talossa kaavan 7.1 mukaisesti. Korvausilmavirran lämmityksen energian tarvetta varten pitäisi laskea korvausilmavirta seuraavalla kaavalla.

$$q_{v, korvausilma} = \sum t_d t_v q_{v, poisto} - \sum t_d t_v q_{v, tulo} \quad (8)$$

Kuitenkin kohteen tilanteessa ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 määrää tulo- ja poistoilmavirran samaksi. Täten tällaisessa tulo- ja poistoilmanvaihto järjestelmässä ei voi joutua laskemaan korvausilmaa kyseisen pientalon tapauksessa. Täten kaavalle kahdeksan ei tässä tilanteessa tule käyttöä.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sähköenergian kulutus selvitetään Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeen mukaisesti.

$$W_{ilmanvaihto} = \sum SFP q_v \Delta_t + W_{iv, muu} \quad (9)$$

Ilmanvaihtokoneiden käynti on jatkuvaa aikaisemmin selvitettyjen arvojen vuoksi, joten voidaan suoraan laskea koko vuoden kulutus, kunhan saadaan kaavaa 9 varten selville SFP-luku. Tämä arvo voidaan laskea suoraan koko vuodelle.

Rakennusvaipan vuotoilmavirta lasketaan ilmapuotoluvusta. Ympäristöministeriön asetus energiatodistuksesta antaa rakennusvaipan ilmanvuotoluvun arvo ( $q_{50}$ ) rakennusluvan vireille tulovuoden perusteella, jonka avulla saadaan laskettua koko rakennuksen ilmanvuotoluku ( $n_{50}$ ), mikäli tätä ei ole suunnitelmissa luotu tai tarkemmin mitattu. [10]

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaiippa}} * V = \frac{4}{234,07} * 280,9 = 4,8 \quad (10)$$

Rakennuksen ilmanvuotoluku laskettuna kaavan 10 mukaisesti. Täten päästään laskemaan vuotoilmavirta kaavalla 11.

$$q_{v, vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 * x} * A_{vaiippa} = \frac{4,8}{3600 * 25} * 234,07 = 0,013 \quad (11)$$

Rakenteiden läpi tuleva vuotoilma laskettuna kaavalla 11 on luonnollisesti lämmittämättöä, joten vuotoilman lämpenemisen tarve lasketaan jälleen kuukausittain seuraavalla kaavalla.

(12)

$$\begin{aligned}
 Q_{vuotoilma} &= p_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \\
 &= 1,2 * 1000 * 0,013 * (21 - (-3,97)) * 24 * 31 / 1000 = 289,92
 \end{aligned}$$

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan yhdistämällä rakennuksen lämpöhäviöt yhteen. Tätä varten on laskettu äsken kaavalla 14 vuotoilman lämpenemiseen vaadittava energia, aiemmin johtumishäviöt, tuloilman lämmittämiseen vaadittava energia ja korvausilman lämpenemiseen vaadittava energia. Korvausilma jää tosin esimerkin tapauksessa nolaksi ilmanvaihdon ollessa määrätty E-luvun laskennassa esimerkin tapauksessa tasapainoon. Lisätään tammikuun osalta yhteen tilan tarvitsema lämmitysenergia.

(13)

$$\begin{aligned}
 Q_{tila} &= Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma} \\
 &= 1716,27 + 289,92 + 137,13 + 0 = 2143,32
 \end{aligned}$$

Kuitenkin tähän saadaan vielä hyödynnettyä asunnon muut sisäiset lämmönlähteet, kuten valaistus ja ihmisistä tuleva lämmitysenergia. Nämä lämpökuormat vähennetään tilan tarvitsemasta lämmitystehontarpeesta ja saadaan tasapainotettu tulos tarvittavasta tilan ostolämmitysenergiasta. Tätä ennen joudutaan kuitenkin laskemaan sisäisistä lämpökuormista osuus, joka hyödynnetään lämmityksessä.

## 7 Lämmin käyttövesi

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta antaa käyttötarkoitukseluokan mukaisen käyttöveden lämmitysenergian tarpeen vuodessa. Lämmitysenergian nettotarve kappale määrää, että nettotarve lämmitysenergialle käyttöveden kohdalla on laskettava 12 §:n mukaan. Taulukoituna arvona ensimmäiselle luokalle on 35 kWh/m<sup>2</sup> a. Alana on edelleen 128 neliometriä, joten kerrotaan se taulukon mukaisella nettotarpeena lämmitettyä nettoalaa kohti. Tällä päästään tulokseen 4 480 kWh/a. [6]

Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta määrää luokkaan yksi suurimmaksi tarpeeksi asuntokohtaisesti 4 200 kWh, joten tuloksen ylittäessä kyseinen tarve käytetään arvoa 4 200 kWh. Tällä saataisiin suurin mahdollinen arvo asuntoa kohtaan, joten tar-

kastellaan muut annetut vaihtoehdot sikäli, kun kyseisessä kohteessa asuu vain yksi henkilö ja on selvästi ymmärrettävissä, ettei käyttö voi olla tätä luokkaa. [11]

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, kertoo, että mikäli lämpimän käyttöveden laskennassa ei ole kyse määräystenmukaisuuden osoittamisesta, on lisäksi henkilöperusteinen laskentamahdollisuus. [8]

Aloitetaan laskemalla henkilöperusteinen kuutiomäärä lämpimän käyttöveden kulutukselle, jonka jälkeen voidaan laskea lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarve. [8] Tämä onnistuu alla olevien kaavojen mukaisesti.

$$V_{lkv} = nV_{lkv,omin,henk}\Delta t/1000 \quad (14)$$

$$Q_{lkv,netto} = p_i c_{pi} V_{lkv} (T_{lvk} - T_{kv})/3600 \quad (15)$$

Muihin tarkasteluihin kuin energiatehokkuuden määräystenmukaisuuden osoittamiseen voidaan käyttää kyseistä kaavaa. Täten lasketaan henkilöperusteisesti seuraavalla tavalla, koska henkilöitä on yksi. Jos kokonaiskäyttöveden kulutus on tiedossa, voidaan lämpimän käyttöveden osuutena käyttää neljäkymmentä prosenttia. Mikäli halutaan laskea käyttöveden kulutus pinta-alasta, voidaan se suorittaa vaihtamalla henkilöperusteinen ominaiskulutuksen arvo lämpimän käyttöveden ominaiskulutukseksi vuodessa ( $m^3/m^2$ ) ja kertomalla pinta-alalla henkilöiden lukumäärän sijaan. [8]

$$V_{lkv} = 1 * 50 * 365/1000 = 18,25 \quad (14.1)$$

$$Q_{lkv,netto} = 1000 * 4,2 * 18,25 * 50/3600 = 1064,85 \quad (15.1)$$

Täten on saatu tarvittavat arvot lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeen laskemiseksi. Kaava 16 näyttää tähän tarvittavat lähtötiedot, kun on ensin selvitetty tulokset kaavoilla neljatoista ja viisitoista.

$$Q_{lämmitys,lvk} = \frac{Q_{lkv,netto}}{n_{lkv,siirto}} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto} + Q_{lkv,ulos} - Q_{lvk,lto} \quad (16)$$

Kiertojohtoa asunnossa ei ole, joten kierron lämpöhäviöt ovat nolla. Täten myös luonnollisesti käyttöveden lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan asettuu nolaksi, eikä asunnossa ole jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmää, jolloin kolme viimeistä muut-

tujaa asettuvat nolaksi, jolloin lämpimän käyttöveden lämpöenergia saadaan yksinkertaisesti kaavan 16 mukaisesti. [8]

$$Q_{\text{lämmitys, kv}} = \frac{1064,85}{0,85} + 1300 + 0 + 0 - 0 = 2552,45 \quad (16.1)$$

Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde voidaan arvioida rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta taulukon 6.4 mukaisesti. Erilliselle pientalolle ilman kiertoa lämpimän käyttöveden putkiston ollessa suojaputkessa saadaan lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhteeksi 0,85. Ja taasen lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuinen häviö taulukon 6.5 mukaisesti, varaajan lämpöhäviöksi 300 litran varaajalle 40 mm eristeellä 1 300 kWh/vuosi. Ja koska varaaja sijaitsee rakennuksen vaipan sisäpuolella, lisätään energiamääräyksen mukaisesti puolet varaajan häviöstä vuotuiseseen lämpökuormaan. [8]

## 8 Lämpökuormat

Lämpökuormia E-lukua varten ei voi selvittää rakennuksen energian kulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeen mukaan sillä, energiamääräyksen mukaan lämpökuorma ihmisille, kuluttajalaitteille sekä valaistukselle on laskettava E-lukua varten seuraavalla kaavalla 17. [6]

$$Q = kP \frac{t_d}{24} \frac{t_w}{7} \frac{8760}{1000} \quad (17)$$

$$= 0,6 * 2 * 128 * 1 * 1 * \frac{8760}{1000} = 1345,54 \quad (17.1)$$

Samoin lasketaan valaistukselle ja kuluttajalaitteille taulukon arvojen mukaisesti. Huomiona kuitenkin, että näin saadaan vuotuinen lämpökuorma. Kuukausittaisen tarkastelun takia kuormat täytyy vielä jakaa päiviä vastaavalle osuudelle, jotta määräystenmukainen kuukausittainen tarkastelu saadaan toteutettua.

Lasketaan vielä kuluttajalaitteiden lämpökuorma yhteen valaistuksen kuorman kanssa, jolloin sähkölaitteiden lämpökuorma saadaan lisäämällä ne yhteen. Näin saadaan kaavalla 18 myöhemmin tarvittava arvo valmiiksi.

$$Q_{\text{säh}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} = 57,14 + 171,42 = 228,56 \quad (18)$$

Näin saatiin kaavalla 18 valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkulutus laskettua yhteen tammikuun osalta. Tämäkin toistetaan muille kuukausille erikseen.

Aurinkoenergiaa pääsee taloon ikkunoiden kautta, tämä täytyy ottaa huomioon E-luvun laskennassa vähentyneenä lämmitysenergian tarpeena. Ensimmäiseksi selvitetään ikkunoiden kehän karmien osuus suhteessa valopintaan.

Kehäkerroin lasketaan yksinkertaisesti mittaamalla ikkunan valoaukon pinta-ala ja jakamalla ikkunan koko pinta-alalla. Koko pinta-ala on jo tiedossa, sillä sitä tarvittiin johtumislämpöhäviöiden laskennassa.

$$F_{kehä} = \frac{0,325 \cdot 0,225}{0,39 \cdot 0,49} = 0,38 \quad (19)$$

Rakennuksen ikkunoita on viittä eri mallia, kuitenkin vain yksi ikkunamalli poikkeaa merkittävästi muista. Lasketaan siis muut kuin pienet ikkunat niiden kehäkertoimen keskiarvon perusteella sillä kyseisen vaikutus lopputuloksen kannalta on hyvin pieni.

Kohteessa on ikkunoiden lasien välissä valkoiset sälekaihtimet, tällöin saadaan verhoikortimeksi ( $F_{verho}$ ) 0,30. Arvo on kylläkin todella huono ja vähentää lämmityskaudellakin saatavaa lämmitysenergiaa. Jostain syystä oletuksena ei ole, että verhoja pidettäisiin lämmityskaudella auki. Kuitenkin on selvää, että järkevä tilankäyttäjä pitäisi näitä auki lämmityskauden ja käyttäisi niitä lähinnä liiallisen lämpenemisen estämiseen kesäkaudella ainakin energiatehokkuuden näkökulmasta. Tämä onkin luultavasti asettu jäädytetyjä kohteita silmällä pitäen. [11]

Varjostuksen suhteen rakennuksessa ei ole sivu- tai yläpuolelta vaikuttavia varjostuksia, ainut vaikuttava tekijä on ympäristön vaikutus. Etelässä päin vaikuttaa läheinen metsä noin 45 asteen kulmassa. Ohje rakennuksen lämmitystehontarpeen laskentaan taulukosta poimitaan tammikuun kohdalle arvo, joka muiden varjostusten puuttuessa asettuukin koko tulokseksi. Sivu- ja ylävarjostuksia ei kohteen tilanteessa ole joten ainoa vaikuttava tekijä tilanteessa on ympäristön varjostuksen korjauskertoimet  $F_{ympäristö}$ , sillä ylä- ja sivuvarjostuksien puuttuessa asettuu varjostuksen kokonaiskerroin asettuu suoraan samaksi. [11]

$$F_{varjostus} = F_{ympäristö} F_{ylävarjostus} F_{sivuvarjostus} \quad (20)$$

Kaavalla 20 lasketun varjostuksen korjauskertoimen ikkunoille jälkeen voidaan siirtyä säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskertoimiin. Ikkunoiden pinta-alakin on laskettavissa piirustuksista, joten jäljelle jää täten pystypinnan säteilyn ja läpäisy kertoimen selvittäminen. Lasketaan ensin varjostusten korjauskertoimet ilmansuunnittain.

$$F_{Läpäisy} = F_{kehä} F_{Verho} F_{Varjostus} \quad (21)$$

Tämä toistetaan jokaiselle kuukaudelle ja jokaiselle ilmansuunnalle joihin kohdistuu ikkunoita. Ympäristöministeriön asetuksesta löytyy taulukoituna arvot auringon kokonais säteilyenergiälle vaakatasossa ( $G_{säteily,pystypinta}$ ). [6]

Kohteen tilanteessa ikkunoiden aurinkoenergian kokonaisläpäisykerroin (G) on 0,55, joka käy ilmi ikkunatoimittajan todistuksesta. Tämän jälkeen onkin laskettu tarvittavat arvot auringon säteilystä aiheutuvan lämpöenergian huomioimiseksi. Esimerkiksi ikkunoiden läpi tuleva lämpöenergia pohjoisen ikkunoista tammikuussa.

$$Q_{aur} = G_{säteily,pystypinta} F_{Läpäisy} A_{ikk} G \quad (22)$$

$$Q_{aur} = 6.2 * 0,2172 * 9,22 * 0,55 = 6,83 kWh \quad (22.1)$$

Lisätään kaikkien ikkunallisten ilmansuuntien tulokset yhteen kuukaudelta, jolloin saadaan kuukauden arvo aurinkoenergialle kaavan 22 mukaisesti.

Seuraavaksi lämpökuormien vaikutus huomioon ottaen ihmiset, sähkölaitteet, aurinko lämpimän käyttöveden kierto sekä varastointi. Lämpökuorman kokonaiskuorma saadaan lisäämällä kuukausittain kaikki lämpökuormat yhteen kaavan 23 osoittamalla tavalla. [11]

$$Q_{lämpökuorma} = Q_{henk} + Q_{säh} + Q_{aur} + Q_{lkv,kierto,kuorma} + Q_{lkv,varastointi,kuorma} = 114,28 + 228,56 + 10,62 + 0 + 55,2 = 408,66 \quad (23)$$

Jotta saadaan kerroin lämpökuormien kuukausittaisille hyödyntämis- asteelle, joudutaan laskemaan muutama eri asia. Lähdetään rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviöstä, johon tarvitaan aikaisemmin laskettua tilojen lämmitystehontarvetta. Näin tehdään kuukausittain jokaiselle erikseen.

$$H_{tila} = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u)\Delta t} 1000 = \frac{2143,32}{(21 - (-3,97)) * 24 * 31} * 1000 = 115,37 \quad (24)$$

Tässä laskettuna tammikuun osuus kaavalla 24. Rakennus on raskasrakenteinen, jolloin sen sisäinen tehollinen ominaislämpökapasiteetti on pientalon osalta 200 Wh/(m<sup>2</sup> K). Tämä on helposti nähtävissä taulukosta rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennan taulukosta 5.6, sillä ulkoseinärakenne on tiili, väliseinärakenne harkko ja alapohja betoni. Kertomalla tehollinen ominaislämpökapasiteetti pinta-alalla saadaan lämpökapasiteetiksi ( $C_{rak}$ ) 25 600 Wh/K. Tämän jälkeen kyetään laskemaan rakennuksen aikavakio. [11]

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}} = \frac{25600}{115,37} = 221,89 \quad (25)$$

Kaavalla 25 lasketulla rakennuksen aikavakiota tarvitaan jatkossa kaavassa 27. Lämpökuorman suhde lämpöhäviöihin ( $\gamma$ ) tarvitaan myöhemmässä kaavassa 28.

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}} = \frac{408,66}{2143,32} = 0,19 \quad (26)$$

Seuraavaksi lasketaan apusuure ( $a$ ) joka riippuu aikavakiolaskennan tuloksesta seuraavan kaavan mukaisesti.

$$a = 1 + \frac{r}{15} = 1 + \frac{221,89}{15} = 15,79 \quad (27)$$

Nyt meillä on kaikki tarvittava lämpökuormien hyödyntämisastetta varten. Sikäli kun loogisesti on pääteltävissä, ettei esimerkiksi kesällä syntynyttä hukkalämpöä voida laskea hyödynnettäväksi energiatehokkuuden ja lämmityksen kannalta, täytyy kuukausittain eritellä syntyneet tuotot, jotka voidaan hyödyntää. Kaavalla 28 voidaan laskea tammikuun osalta lämpökuormien hyödyntämisaste.

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{(a+1)}} = \frac{1 - 0,19^{15,79}}{1 - 0,19^{(15,79+1)}} = 1 \quad (28)$$

Kaavan 28 tuloksen avulla saadaan laskettua lämmityksessä hyödynnettävä lämpökuormien osuus. Tammikuun hyödynnettävän lämmitysenergiankertoimeksi on saatu 1, joten tammikuun lämpökuorma täysin hyödynnettävissä lämmitykseen.

$$Q_{sis,lämpö} = n_{lämpö} Q_{lämpökuorma} = 1 * 408,66 = 408,66 \quad (29)$$

Sitten päästään vähentämään rakennuksen tarvitsemasta lämmitystekosta hyödynnettävissä olevat kuormat, koska nämä vähentävät ostoenergian kulutusta. Tammikuun osalta saadaan

$$Q_{lämmitys,tilat,netto} = Q_{tila} - Q_{sis,lämpö} = 2143,32 - 408,66 = 1734,66 \quad (30)$$

Sitten saadaksemme rakennuksen lämmitysjärjestelmältä tarvittavan tuoton ( $Q_{lämmitys,tilat,netto2}$ ). Vähennetään enää aikaisemman kaavan mukaan lasketun vuoden tuloksesta polttopuiden energia (kohteen tapauksessa energiatodistus asetuksen mukaisesti 3 000 kWh). Sitten siirrytään viimeiseen vaiheeseen, jossa otetaan huomioon lämmönjaon hyötysuhde. Ympäristöministeriön asetuksen 1048/2017 liitteen yksi, taulukko yhdeksän antaa sähkökäyttöiselle lattialämmitykselle niin maata vasten rajoittuvaan rakenteeseen kuin lämpimäänkin tilaan rajoittuvaan rakenteeseen vuosihyötysuhteen arvon 0,85. [10]

$$Q_{lämmitys,tilat} = \frac{Q_{lämmitys,tilat,netto2}}{\eta_{lämmitys,tilat}} + Q_{jakelu,ulos} + Q_{varastointi,ulos} = \frac{7909}{0,85} = 9304,70 \quad (31)$$

Nollaksi asetettiin jakelun ja varastoinnin arvot, joita ei tilanteessa tule kaavan 31 mukaisesti.

Täten päästään laskemaan E-lukua varten tarvittava suure  $W_{sähkö}$ . Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta kertoo määritelmäksi

" $W_{sähkö}$  on sähkön kulutus vuodessa, missä on otettu huomioon vähennykset rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristöstä vapaasti hyödynnettävästä energiasta otetusta energiasta siltä osin, kuin se on käytetty rakennuksessa siinä tapahtuvan vakioituun käyttöön perustuvan energiankulutuksen kattamiseen." [6]

Tähän tulokseen päästään yhdistämällä tulokset laskettuina kaavoista 6, 9, 16 ja 31. Näiden lisäksi lisätään kuluttajalaitteet ja valaistus (laskettu valmiiksi yhteen kaavalla 18), sekä lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden kulutus yksinkertaisella kertolaskulla pinta-ala kerrottuna arvolla 0,5. [6]



## 9 E-luku

Seuraavaksi päästään laskemaan E-luku, eli rakennuksen vuotuinen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergiankulutus painotettuna energiamuotojen kertoimilla pinta-alaa kohden. Laskennassa otetaan huomioon energiamuotojen kertoimet olennaisesti lopputulokseen vaikuttavana tekijänä, jotta voidaan vaikuttaa energiatehokkuuden lopputulokseen riippuen energiamuodon tuoton energiatehokkuudesta. [2]

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum f_{\text{polttoainei}} Q_{\text{polttoainei}} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}}$$

(32)

Kohteen tilanteessa ei ole jäähdytystä ja lämmitys tapahtuu vain takan ja sähköisen lämmityksen avulla. Täten poistetaan kaavasta 32 ylimääräinen, ja jäljelle jää vain puun ja sähkön osuus.

$$E = \frac{f_{\text{puu}} Q_{\text{puu}} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (33)$$

Polttopuun energiamuodon kertoimena käytetään 0,5 ja sähkön kertoimena 1,2. E-luvun saamme vihdoin sijoittamalla nämä kaavan 33 mukaisesti.

$$E = \frac{0,5 \cdot 5000 + 1,2 \cdot 16041,27}{128} = 169,92 \quad (33.1)$$

Täten saadaan E-luvuksi 170, sillä pyöristys tapahtuu ylöspäin. Tämä tuottaisi energiatodistusluokan C. Tähän päästään kohteen osalta E-luvun laskennan tuloksella 139–175. [10]

## 10 Vertailu todelliseen kulutukseen

Rakennuksen todellinen kulutus oli vuonna 2019 sähkölaitoksen tietojen mukaisesti 13 151 kWh. Tulos täytyy normeerata paikkakuntaan kohtaiseen normaalivuoden lämmitystarvelukukuun 4 097. Tämän tekemiseksi tarvitaan rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutuksen arvo. Tämä saadaan vähentämällä kokonaiskulutuksesta valais-

tuksen ja kuluttajalaitteiden sähkön kulutukset (kaava 18). Tämäkään ei ole suoraan verrattavissa aikaisempaan laskennalliseen energiankulutukseen johtuen mm. vuosien välisistä lämpötilaeroista. [12]

Normeerataan siis vuoden 2019 Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta löytyvällä lämmitystarveluvulla 3 629 vastaamaan normaalivuoden tilannetta 4 097. Lämpimän käyttöveden lukemana käytetään aikaisemmin laskettua arviota 2 552,45 kWh, joka vähennetään toteutuneesta kulutuksesta normeerausta varten, sillä käyttöveden lämmitysmäärä säilyy vakiona ulkolämpötilasta riippumatta. [12]

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} Q_{toteutunut} + W_{lämmin\ käyttövesi} = \frac{4097}{3629} * 7907,48 + 2552,45 = 11479,69$$

Tämän jälkeen lisätään takaisin taloussähkön osuus ja arvioitu polttopuun energiamäärä 5 000 kWh, jolloin vuosittaiseksi kulutukseksi saadaan 19 170,76 kWh. Saman lisäyksen jälkeen laskennallinen ostoenergiankulutus on 21 041,27 kWh. Tällöin laskennallinen arvo on lähes kymmenen (9,76) prosenttia suurempi kuin todellinen kulutus.

## 11 Yhteenveto

Voidaan todeta laskennallisen energiankulutuksen osuvan jotakuinkin lähelle todellista kulutusta. Kyseisessä tilanteessa todellinen kulutus osuu vuositasolla lähes 2 000 kWh alle laskennallisen arvion, mutta tämäkin tulos olisi edelleen samassa energialuokassa kuin laskennallisella E-luvulla saatuna. Kuitenkin lähes kymmenen prosentin heitto vaikuttaa mielestäni merkittävältä. Laskettavasta kohteesta ei ikävä kyllä ole saatavilla eriteltyjä arvoja tarkempaa tarkastelua varten. Käyttäjän tekemät valinnat vaikuttavat todelliseen kulutukseen olennaisella tavalla, joten täysin todellisuutta vastaavan tarkkuuden laskeminen ei ole mielekästä. Tähän vaikuttaisi erityisesti todellista suurempi käytetty polttopuun määrä, joka perustuukin vain täysin haastatteluun. Kohteen osalta ero lasketun arvion ja todellisen kulutuksen välillä on melko merkittävä.

## Lähteet

- 1 Rantala, Eino. 2014. Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. RIL 265-2014.
- 2 Laki rakennuksen energiatodistuksesta. 2013. 50/2013. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- 3 Energiatodistuksen puuttuminen voi johtaa uhkasakkoon. 2019. Uutiset ja tiedotteet. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA). < [https://www.ara.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset\\_ja\\_tiedotteet/Uutiset\\_ja\\_tiedotteet\\_2019](https://www.ara.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset_ja_tiedotteet/Uutiset_ja_tiedotteet_2019)> Uutinen 30.9.2019. Luettu 25.9.2020.
- 4 Valtioneuvoston asetus rakennuksen energiatodistuksen laatijan pätevydestä ja kevennetyn energiatodistusmenettelyn edellytyksistä. 2013. 170/2013
- 5 Energiatodistusopas 2018. Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen. 1.11.2018.
- 6 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- 7 Kurnitski, Jarek. 2012. Energiamääräykset 2012. Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy
- 8 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Ohjeet 2012.
- 9 Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012. Ympäristöministeriö 27.4.2012. Luettu 18.3.2020.
- 10 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2017. 1048/2017. Energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- 11 Energiatehokkuus. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö.
- 12 Lämmitystarveluku. 2014. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>> Luettu 22.5.2020.

## Liite 1. Kuukausitason laskentamenetelmällä saatuja tuloksia.

	Q <sub>joht</sub>	Q <sub>tila</sub>	H <sub>tila</sub>	Q <sub>lämpökuorma</sub>	τ
Tammikuu	1716	2143	115	409	222
Helmikuu	1611	2002	117	393	219
Maaliskuu	1656	2067	118	483	217
Huhtikuu	1165	1483	125	498	205
Toukokuu	800	1056	139	558	185
Kesäkuu	555	631	129	554	198
Heinäkuu	361	404	147	576	175
Elokuu	433	490	133	503	192
Syyskuu	755	1006	133	474	192
Lokakuu	1046	1355	123	432	208
Marraskuu	1370	1733	117	397	218
Joulukuu	1588	1994	116	406	221

	γ	a	η <sub>lämpö</sub>	Q <sub>sis,lämpö</sub>	Q <sub>lämmitys,tilat,netto</sub>
Tammikuu	0,19	15,79	1,00	409	1735
Helmikuu	0,20	15,61	1,00	393	1609
Maaliskuu	0,23	15,48	1,00	483	1584
Huhtikuu	0,34	14,67	1,00	498	985
Toukokuu	0,53	13,32	1,00	558	498
Kesäkuu	0,88	14,19	0,98	541	89
Heinäkuu	1,43	12,64	0,70	402	1
Elokuu	1,03	13,82	0,92	463	28
Syyskuu	0,47	13,79	1,00	474	532
Lokakuu	0,32	14,87	1,00	432	923
Marraskuu	0,23	15,54	1,00	397	1336
Joulukuu	0,20	15,76	1,00	406	1589

	φ <sub>tito</sub>	T <sub>tito</sub>	Q <sub>tito</sub>	Q <sub>iv</sub>	Q <sub>iv,tuloilma</sub>	Q <sub>vuotoilma</sub>
Tammikuu	1134	14,48	844	161	137	290
Helmikuu	1158	14,34	778	151	124	267
Maaliskuu	1071	14,85	797	144	137	274
Huhtikuu	749	16,69	539	58	133	185
Toukokuu	465	18,33	346		137	119
Kesäkuu	307	19,23	221			76
Heinäkuu	168	20,03	125			43
Elokuu	225	19,71	167			57
Syyskuu	475	18,27	342		133	118
Lokakuu	672	17,14	500	39	137	172
Marraskuu	931	15,65	670	104	133	230
Joulukuu	1053	14,95	783	140	137	269

	Pohjoinen	Itä	Etelä	Länsi
	Q <sub>aur</sub>	Q <sub>aur</sub>	Q <sub>aur</sub>	Q <sub>aur</sub>
Tammikuu	6,83	0,12	2,76	0,91
Helmikuu	19,06	0,47	10,64	3,10
Maaliskuu	44,41	1,46	30,67	8,68
Huhtikuu	48,37	2,40	45,97	16,01
Toukokuu	63,69	3,47	69,57	22,83
Kesäkuu	77,80	3,29	65,29	22,09
Heinäkuu	73,06	3,66	74,22	26,81
Elokuu	55,10	2,66	34,41	12,52
Syyskuu	36,25	1,70	38,75	11,78
Lokakuu	19,72	0,54	9,51	4,11
Marraskuu	7,93	0,16	2,88	1,22
Joulukuu	4,63	0,08	2,02	0,92

	Q <sub>henk</sub>	Q <sub>valaistus</sub>	Q <sub>slaitteet</sub>	Q <sub>säh</sub>	Q <sub>kv,varastointi,kuorma</sub>	Q <sub>aur</sub>	Q <sub>lämpökuorma</sub>
Tammikuu	114	57	171	229	55	11	409
Helmikuu	103	52	155	206	50	33	393
Maaliskuu	114	57	171	229	55	85	483
Huhtikuu	111	55	166	221	53	113	498
Toukokuu	114	57	171	229	55	160	558
Kesäkuu	111	55	166	221	53	168	554
Heinäkuu	114	57	171	229	55	178	576
Elokuu	114	57	171	229	55	105	503
Syyskuu	111	55	166	221	53	88	474
Lokakuu	114	57	171	229	55	34	432
Marraskuu	111	55	166	221	53	12	397
Joulukuu	114	57	171	229	55	8	406