

Joni Hartikainen

# Toteutuneiden ja laskennallisten energiakulutusten vertailu ja energiatehokkuuden tarkastelu asuinkohteissa

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Insinöörityö  
25.03.2014

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Joni Hartikainen Toteutuneiden ja laskennallisten energiakulutusten vertailu ja energiatehokkuuden tarkastelu asuin-kohteissa  60 sivua + 4 liitettä 25.03.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	suunnittelupäällikkö, DI Pellervo Matilainen osaamialuepäällikkö, TkT Piia Sormunen
<p>Rakennuksissa käytetyn ja rakentamiseen kuluva energia on yli 40 % kokonaisenergian kulutuksesta sekä kasvihuonepäästöjen osuus lähes 40 %. Kovasti huhuttu ilmastonmuutos on siis todellinen. Rakentamisen sekä rakennuksissa käytettävän energiankulutus on suuri, ja potentiaalia pienentämiseen on paljon varsinkin vanhoissa rakennuksissa.</p> <p>Insinööriyössä tutkitaan rakennuksen laskennallisen energiakulutuksen sekä toteutuneen energiakulutuksen eroja. Laskennallinen kulutus on määritetty aiemman energiatodistulain- ja asetuksen mukaan. Energiankulutus asuintalossa koostuu monesta eri tekijästä, ja siksi todellinen energiankulutus voi poiketa paljon laskennallisesta energiankulutuksesta.</p> <p>Uusimpien rakennuksien energiankulutus määritetään suunnitteluvaiheessa laskentaohjelmistoa apuna käyttäen. Tarkoituksena on tutkia kahdesta asuinkerrostalosta, kuinka niiden laskennalliset energiakulutukset eroavat toteutuneista energiankulutuksista. Ensimmäisessä kohteessa keskitytään rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen ja toisessa kohteessa tutkitaan itse rakennusta ja siinä syntyviä eroja energiankulutuksessa.</p> <p>Uudet energiamääräykset pakottavat laskemaan uudisrakennukselle rakennuksen E-luvun, joka määritetään laskennallisesti standardikäytöllä. Se määrittää kenties enemmän rakennuksen energiankäytön vaikutusta ympäristöön kuin rakennuksen energiatehokkuutta. Työssä on laskettu 9 laskentatapausta, jossa tarkastellaan eri tekijöiden vaikutusta rakennuksen E-lukuun. Laskennan referenssitapaukseksi on valittu kohteitten todellinen tapaus.</p> <p>Suurimmat erot toteutuneen ja laskennallisen energiakulutuksen välillä havaittiin olevan asumistottumuksissa, sekä todennäköisimmin asukkaiden puutteellisista oikeitten sisälämpötilojen tiedoista. Ilmaislämpöjen osuus on selvästi haastavin määrittellä muihin laskennallisiin ilmaislämpöihin verrattuna. Energiatehokkuusluokan parantaminen A-luokkaan nykyisillä keinoilla on haastavaa ilman uusiutuvaa omavaraistuotantoa tai tilanteessa, jossa talo lämmitetään kaukolämmöllä.</p>	
Avainsanat	ostoenergian vertailu, energiatehokkuus, E-luku

Author Title	Joni Hartikainen Differences between calculated and actual energy consumption and energy efficiency analyze in buildings.
Number of Pages Date	60 pages + 4 appendices 25 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC engineering, Design orientation
Instructors	Pellervo Matilainen, Design Manager Piia Sormunen, Head of Department
<p>The energy consumption of new buildings is calculated in the planning phase with the help of various programs. This final year project studied how the calculated energy consumption of two high-rise buildings was different from the actual one. In the first case, the study focused on the calculated differences, and in the second case the purpose is to consider the differences caused by the actual building.</p> <p>In addition to the two case studies, the new energy certificates were calculated for nine separate cases to see the effects of different factors on the certificate. The aim is to classify the buildings in energy efficiency classes from A to G. The real case in this study was selected as the reference the calculations were compared to.</p> <p>The major differences between the calculations and reality were caused, on one hand, by the habits of the dwellers and, on the other hand, incorrect data on the temperatures in different rooms given by the inhabitants. The most difficult part to determine for the calculations seemed to be the share of free-energy. Energy efficiency renovations cannot take the dweller or constructor to A-grade without self-sufficient production. Therefore, it is very difficult to achieve grade A if the heating is produced by district heating.</p>	
Keywords	income energy comparison, energy efficiency, e-figure

# Sisällys

Lyhenteet

Määritelmät

1	Johdanto	1
1.1	Yleistä	1
1.2	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	2
2	Asuintalojen energiankulutus	5
2.1	Yleistä	5
2.2	Energiankulutukseen vaikuttavat tekijät	6
2.2.1	Lämpöhäviöenergiat	9
2.2.2	Vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia	9
2.2.3	Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia	9
2.2.4	Käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia	9
2.2.5	Järjestelmien lämpöhäviöenergiat	9
2.2.6	Kiinteistösähkönkulutus	10
2.2.7	Lämpökuormat	10
2.3	Energiatodistus	11
2.3.1	Yleistä	11
2.3.2	Energiatodistuksen määräykset	13
2.3.3	Energiatodistuksen laadinta	14
2.3.4	Pinta-alat	15
2.3.5	U-arvot	15
2.3.6	Rakennuksen muotoilu ja massiivisuus	16
2.3.7	Vedenkulutus	16
2.3.8	Laitesähkön kulutus	17
2.4	Laskennallisen energiankulutuksen kulku ja siihen liittyvät määräykset	17
2.5	Todellisen energiankulutuksen mittaaminen asuinkohteissa	19
	Rakennuksen energiankulutuksen esitystapa	19
3	Energiakulutusten vertailu toteutuneissa kohteissa	20
3.1	Leppävaaran torni	20
3.1.1	Rakennuksen lähtötiedot	20

3.1.2	Lasketun ja toteutuneen kulutuksen vertailu	22
3.2	Martintorni	29
3.2.1	Rakennuksen lähtötiedot	29
3.2.2	Lasketun ja toteutuneen kulutuksen vertailu	31
3.3	Yhteenveto ja johtopäätökset	37
4	Asuinrakennusten energiatehokkuusluokka ja sen parantaminen	47
4.1	Lähtötiedot laskentaa varten	49
4.2	Laskennan tulokset	55
4.3	Yhteenveto ja johtopäätökset	59
	Lähteet	60
	Liitteet	
	Liite 1. Laskennan lähtötiedot, laskentatapaus 1, Leppävaaran torni	
	Liite 2. E-luvun sallitut raja-arvot	
	Liite 3. Laskennan lähtötiedot, laskentatapaus 9, Leppävaaran torni	
	Liite 4. Laskennan lähtötiedot, laskentatapaus 1, Martintorni	
	Liite 5. Laskennan lähtötiedot, laskentatapaus 9, Martintorni	

## Lyhenteet

AP	Alapohja
ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus
brm <sup>2</sup>	Rakennuksen bruttopinta-ala. Bruttopinta-ala voidaan laskea rakennuksen kaikkien kerrostasoalojen summasta. Standardissa SFS 5139 on määritelty tämä tarkemmin. [4]
Ikk	Ikkuna
Q <sub>aur</sub>	Auringon säteilystä saatava hyödynnettävissä oleva energia [kWh].
Q <sub>henk</sub>	Henkilöistä vapautuva energiamäärä, jota hyödynnetään lämpötehon laskennassa. Yhdestä ihmisestä vapautuva teho on 70 W [kWh].
Q <sub>ikkv,kuorma</sub>	Lämpimän käyttöveden käytöstä johtuvat lämpökuormat, ja niistä hyödynnettävissä oleva energiamäärä [kWh].
Q <sub>lämm.kuorma</sub>	Lämmitysjärjestelmän häviöt ja niistä hyödynnettävissä oleva energiamäärä [kWh].
Q <sub>säh</sub>	Kiinteistösähkölaitteista aiheutuvien häviöiden hyödynnettävissä oleva lämpöenergia [kWh].
rm <sup>3</sup>	Rakennuskuutiometri [m <sup>3</sup> ].
US	Ulkoseinä
VP	Välipohja
YP	Yläpohja

## Määritelmät

E-luku	”E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden [13].”
energiamuotokerroin	Energialähteen tai energiatuotantomuodon kerroin, jolla painotetaan eri energiamuodot energialuvun laskemiseksi [13].
energiatehokkuus	Mittari, jolla mitataan asuinrakennuksen energiankulutusta monen eri tekijän summana, kuten terveellisyys ja viihtyvyys. Asuinrakennuksissa tätä mitataan ET-luvulla tai 1.7.2012 jälkeen E-luvulla. [6]
ET-luku	Edellisen energiatodistustlain ja asetuksen mukainen luku, joka laskettiin vuodesta 2008 vuoteen 2012. ET-luku lasketaan summaamalla rakennuksen vuotuiset energiankulutukset jaettuna bruttopinta-alalla. Suuremmissa rakennuksissa ET-luku on kiinteistösähkön, lämmitysenergian ja tilojen jäähdytysenergian summa jaettuna bruttoneliöllä. [6]
energiankulutus	Vuosittainen lämmitykseen, sähkölaitteisiin sekä jäähdytykseen kulutettu energiamäärä [7].
huoneala [Hum <sup>2</sup> ]	Huoneitten yhteenlaskettu pinta-ala, joka rajoittuu sisäseiniin. Ulkoseiniä ei oteta huomioon.
lämmitystarveluku	Yhteen laskettu kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Yleisesti käytössä oleva S17 tarkoittaa oletetun +17 °C:n sisä- ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotusta.
mitoitettava lämpötila	Sisä- ja ulkolämpötila, jolla rakennus on mitoitettu vastaamaan kulutuksen tarpeita [7].

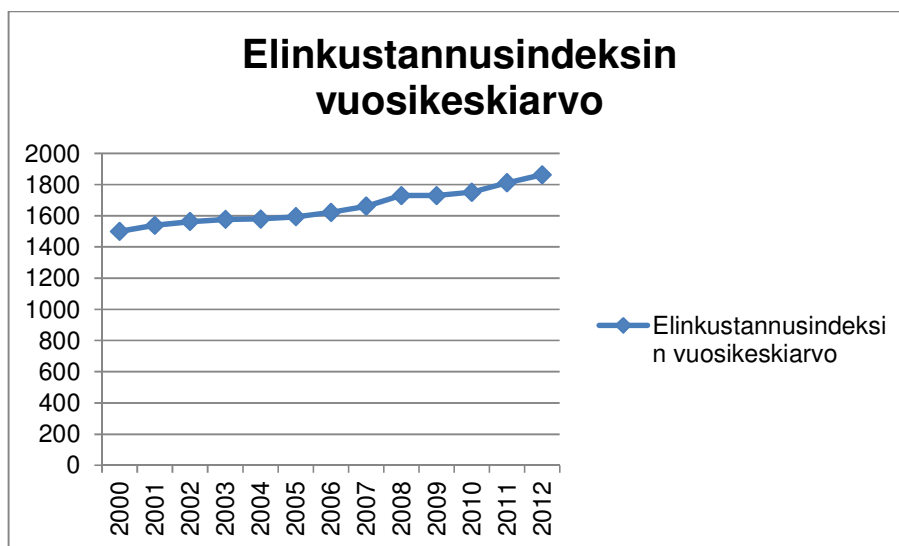
n <sub>50</sub> ilmavuotoluku	Luku kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmamäärä vaihtuu tunnissa, kun aiheutetaan 50 Pa:n ali- tai ylipaine. Luku kuvaa rakennuksen ilmatiiviyttä, 1/h [14].
ostoenergiankulutus	Vuosittainen energiamäärä, joka tuodaan joko sähkönä, kaukolämpönä, kaukokylmänä tai polttoaineena [7].
q <sub>50</sub> ilmavuotoluku	Rakennusvaipan keskimääräinen vuotoilmamäärä tunnissa, kun aiheutetaan 50 Pa:in ali- tai ylipaine. Luku on riippuvainen rakennuksen sisämitoista laskettuna vaipan pinta-alasta aukotuksineen, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h. [13]
Rak. ostoenergia	Rakennuksen ostoenergia on rakennuksen taserajan sisäänpäin yli tulevaa energiamäärä, jota tarvitaan olosuhteiden ylläpitoon, kWh/a [13].
U-arvo	Lämpövirran tiheys, joka läpäisee rakennusosan tietyllä teholla, kun lämpötilaero ulko- ja sisäpuolella on määritetty astemäärä. U-arvon yksikkö on W/m <sup>2</sup> K. [7]
uusiutuva omavaraisenergia	Omalla tontilla tuotettu uusiutuva energia, joka tuodaan rakennukseen taserajan yli sisään ja jota käytetään rakennuksen olosuhteiden hallintaan [14].



# 1 Johdanto

## 1.1 Yleistä

Rakennuksissa käytetyn ja rakentamiseen kuluva energian on yli 40 % kokonaisenergian kulutuksesta ja kasvihuonepäästöjen osuus lähes 40 %. Kovasti huhuttu ilmastonmuutos on siis todellinen. Rakentamisen sekä rakennuksissa käytettävän energian kulutus on suuri, ja potentiaalia pienentämiseen on paljon varsinkin vanhemmissa rakennuksissa. Ilmastonmuutoksesta on jo kerätty paljon tietoa, ja muutoksia ilmastossa on havaittu paljon. Rakennukset ovat monimutkainen kompleksi. Tämän takia energian vähentämiseksi ei ole yhtä ainoaa ratkaisua, vaan tapoja on monia, kun kulutus koostuu monesta eri tekijästä. Ratkaisuna tähän on eri järjestelmien ja rakennusten oikea käyttö. Myös arjen valinnat vaikuttavat ratkaisuihin kuinka energiatehokkaita rakennuksia rakennetaan. Asiakas maksaa lompakollaan kaiken ylimääräisen energiaa säästävää ratkaisun ja saa siitä hyödyn takaisin jonkun vuoden kuluttua. Hyötyjä, jotka halutaan sijoittaa omaan asuintaloon, on hyvä punnita ennen remonttia. Kuinka energiatehokas on rakennus, jota halutaan?. Miten vaikuttaa ilmastonmuutokseen? Ja kuinka asuintalo remontoidaan?. [1]



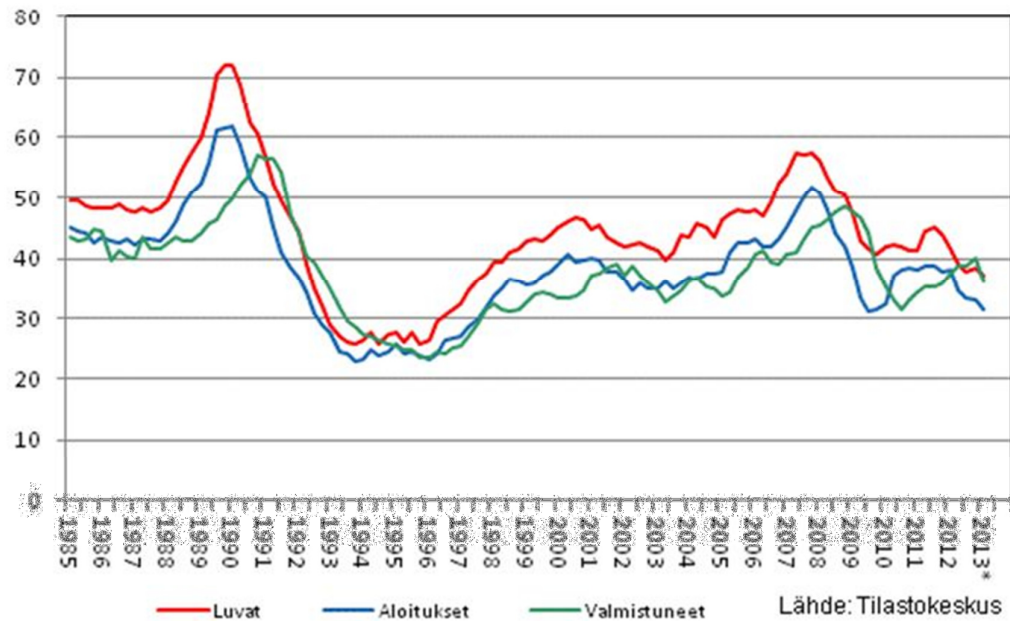
Kuva 1. Elinkustannusindeksin nousu vuodesta 2000. Lähde Tilastokeskus.

Kuvasta 1 voidaan tarkastella, kuinka elinkustannusindeksi on vuodesta 2000 noussut Tilastokeskuksen keräämien tietojen mukaan jatkuvasti korkeammaksi. Elinkustannusindeksiä tarkastellessa tulee mietittyä, kuinka itse voi vaikuttaa oman rahankulutuksensa pienentämiseen omassa taloudessa ja osittainen vastaus voi olla asumistottumuksissa ja energiaa säästävissä toimenpiteissä.

## 1.2 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tehokkaimmista keinoista saavuttaa rakennuksissa parempi energiatehokkuus on muuttaa lainsäädäntöä. Näin on tapahtunut nyt vuosina 2003, 2007, 2010 ja 2012 [7]. Tavoitteena on kiristää koko aika määräyksiä ja saavuttaa vuonna 2020 lähes nollaenergiataso rakentamisessa. EU-ilmasto ja energiapolitiikasta annettiin määräys huhtikuussa vuonna 2009, että 20 prosenttia energiasta tulisi saada uusiutuvista lähteistä ja 20 prosenttia tulisi lisätä energiatehokkuutta sekä 20 prosentilla vähentää EU:n kasvihuonepäästöjä. [8]

Uudisrakentamisen määrä on tällä hetkellä laskussa tilastokeskuksen mukaan. Kuva 1 kertoo asuintuotannon kehityksen vuosilta 1985–2013 [9].

Kuvio 1. Uudisrakentamisen liukuva vuosisumma, milj. m<sup>3</sup>Kuva 2. Asuinrakentamisen määrä Suomessa milj. m<sup>3</sup>:ä kohden [9].

Uudet järjestelmät sekä lisääntyvät kotitalouslaitteet tulevat lisäämään entistä enemmän energiankulutusta. Suurin osa energiasta menee edelleen talojen lämmitykseen ja käyttöveden lämmitykseen; kotitalouslaitteiden osuus oli vuonna 2011 16 prosenttia. Tulevaisuudessa tähän asiaan kiinnitetään entistä enemmän huomiota, ja nyt rakennusta luovuttaessa on annettava energiatodistus, jonka laatii rakennuksen omistaja. Omistaja on loppukädessä vastuussa siitä, että rakennus toteuttaa viranomaisten määräämät arvot. Tulevaisuudessa energianhinta nousee varmasti, ja ostajalle energiatehokkuus alkaa merkitä enemmän, koska loppujen lopuksi käytöstä maksaa asukas. [10]

Tavoitteena työlle on tutkia, kuinka laskennallisen menetelmän tulokset osuvat kohdilleen toteutuneen energiankulutuksen kanssa ja mahdollisista eroista tehdä johtopäätöksiä. Laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen eroja on varmasti johtuen monesta eri tekijästä. Erojen selvittelyn tarkoituksena on tutkia, mistä nämä johtuvat ja onko niitä mahdollista supistaa, jotta saadaan jo alkuvaiheessa hyvin tarkka laskelma toteutuneesta kulutuksesta. Tämä vaikuttaa markkinointiin ja luotettavuuteen

energiatarkastelussa. Laskennallinen energiankulutus on saatu asettamalla lähtötietoja D.O.F tech energia -ohjelmaan, joka simuloi rakennuksen kuukausittaisen energiankulutuksen ja jonka avulla saadaan hyvät lähtökohdat määrittämään rakennuksen laskennallinen energiatehokkuusluku. D.O.F tech energia -ohjelma laskee aikaisemman, vuonna 2008 voimaan tulleen energiatodistuslain ja asetuksen mukaisen energiatehokkuusluvun rakennukselle.

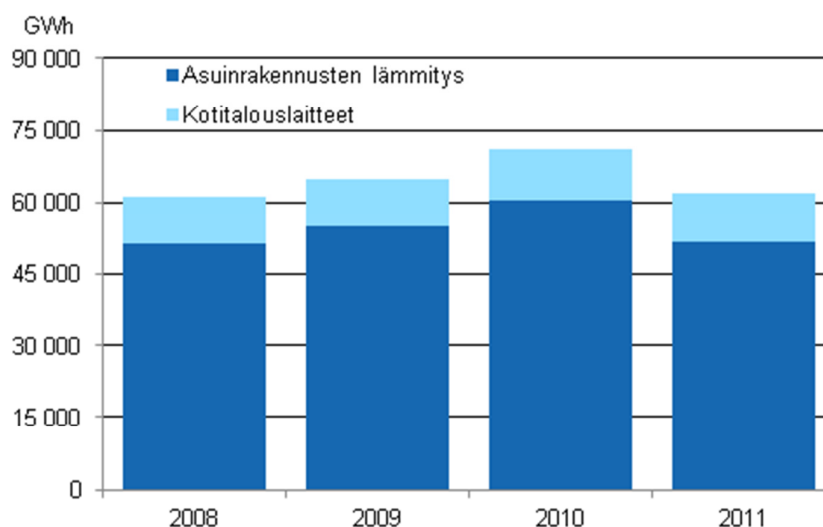
Tutkimuksen toisen osan tavoite on miettiä, kuinka pääsee lähemmäksi kohti matalaenergiarakennusta tällä hetkellä olevilla menetelmillä ja määräyksillä. Laskentatapauksissa ensimmäisen laskennan on tarkoitus kuvata mahdollisimman lähellä olevaa oikeaa tapausta. Referenssitapauksesta pyritään parantamaan energiatehokkuutta muun muassa ratkaisuilla ja menetelmillä, jotka on koottu taulukkoon 10. Tarkoituksena on päästä yleisesti käytössä olevilla ratkaisuilla, esim. kaukolämmöllä, parempaan energiatehokkuusluokkaan ja tuoda siihen vierelle muita ratkaisuja, jotka edesauttavat kohti parempaa energiatehokkuusluokkaan pääsemistä.

Laskenta tehdään sivuston [www.laskentapalvelut.fi](http://www.laskentapalvelut.fi) -laskurilla, jonka D.O.F tech on valmistanut. Laskenta tehdään nykyisen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 (RakMk D3) mukaisilla laskentasäännöillä.

## 2 Asuintalojen energiankulutus

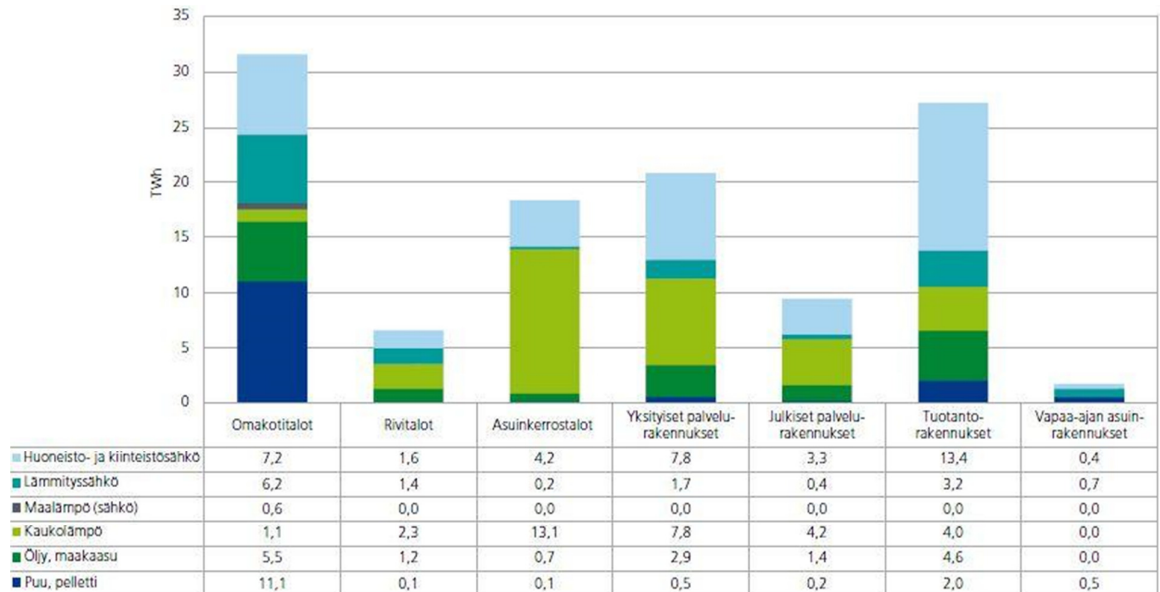
### 2.1 Yleistä

Tilastokeskuksen mukaan asuinrakennusten energiankulutus vuonna 2011 oli 61 884 gigawattituntia (GWh). Tästä kulutuksesta 84 prosenttia kului asuinrakennusten lämmitykseen ja 16 prosenttia kotitalouslaitteisiin. Yleisimmin rakennuksia lämmitettiin vuosina 2008–2011 kaukolämmöllä. [2]



Kuva 3. Asuinrakennusten energiankulutuksen jakauma [2].

Asuinrakentamisen kanta on iso Suomessa verrattuna toimitilarakentamiseen. Suurimmat säästöpotentiaalit saadaan siis asuinrakennuksen kehittämisestä eikä toimitilarakentamisesta. Kuva 3 kertoo eri rakennustyyppien energiankulutuksen vuodelta 2007, mistä voi havaita, kuinka yhteenlaskettu energiankulutus asuinrakentamisellakin on suuri. [1] Kuvassa 4 on eritelty tarkemmin eri rakennusmuodot ja niiden käyttämä primäärienergiämäärä ja tapa, jolla energia on tuotettu.



Kuva 4. Eri rakennustyyppien jakauma vuonna 2007 [1].

## 2.2 Energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

Koko rakennuksen energiankulutus vuosittaisella tasolla lasketaan kaavalla [7].

$$E_{\text{rakennus}} = Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}} + Q_{\text{jäähdytys,tilat}} \quad (1)$$

$E_{\text{rakennus}}$  Rakennuksen energiakulutus, KWh

$Q_{\text{lämmitys}}$  Rakennuksen lämmitysenergiakulutus, KWh

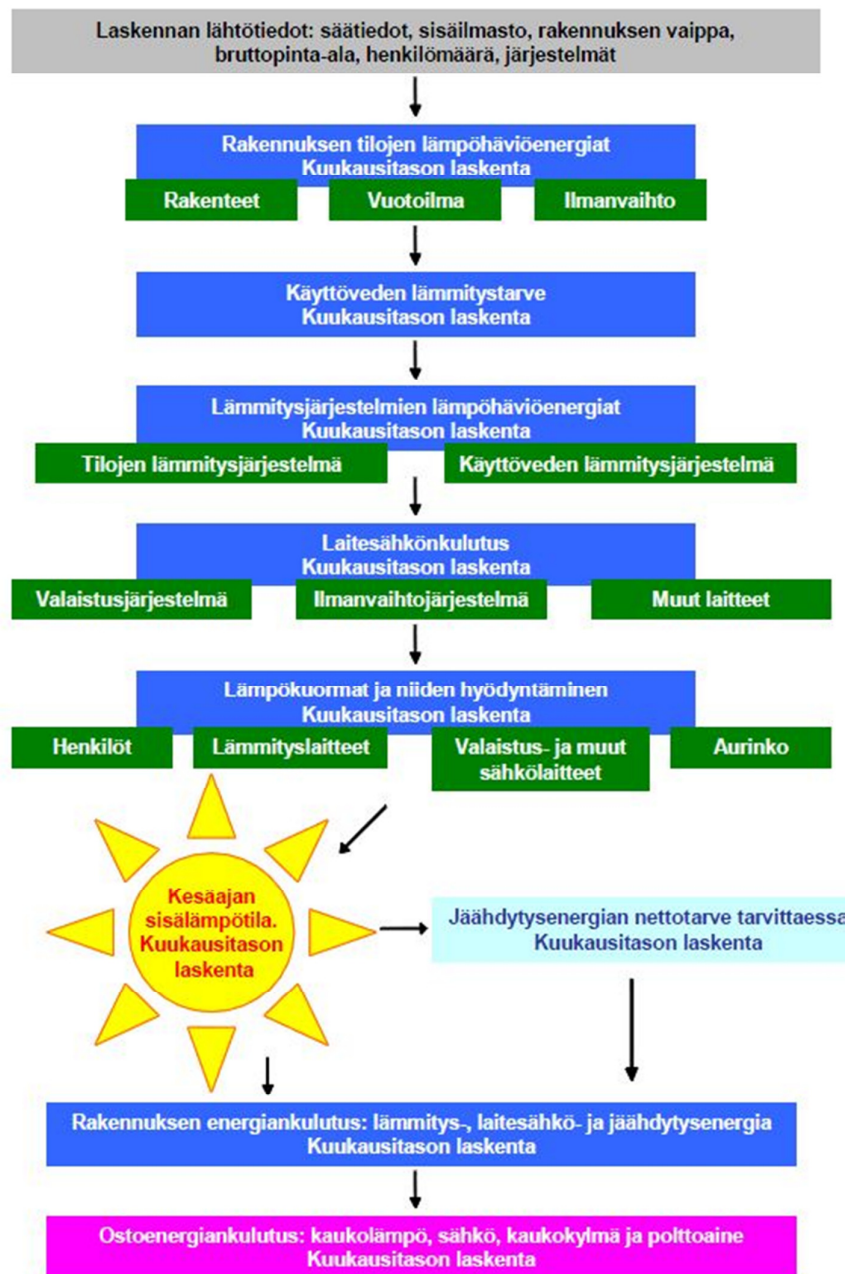
$W_{\text{laitesähkö}}$  Rakennusten laitteiden sähköenergiakulutus, KWh

$Q_{\text{jäähdytys,tilat}}$  Rakennuksen jäähdytyksen energiakulutus, KWh

Kuvassa 5 on esitetty laskennan eteneminen aikaisemman energiatodistuksen ja asetuksen mukaisella laskentamenetelmällä, mistä kaikesta nämä koostuvat ja tarkennettu hieman miten, loppuarvoon päästään. Laskennan eteneminen oli kuvan 5

mukainen, kun rakennukselle määritettiin ET-lukua, jonka tarkoitus oli määrittää vuonna 2008 rakennuksen energiatehokkuusluokka ET-luvun avulla. Aikaisemman energiatodistustilain ja -asetuksen mukainen ET-luku syntyi laskemalla vuosittainen energiankulutus, jonka rakennusten olosuhteiden hallinta tarvitsee, ja jakamalla se rakennuksen bruttoneliöllä.

ET-luku kertoi myös rakennuksen energiakulutuksen aikaisemmin ennen kuin uusi laki otettiin käyttöön. ET-lukua on laskettu vuodesta 2008 saakka, ja se on 1.6.2013 tulleilla uusilla lakimuutoksilla muutettu kaikissa rakennuksissa E-luvuksi. ET-luvun laskenta lopetettiin 30. kesäkuuta 2012. Vuoden verran E-lukua laskettiin uusiin rakennuksiin, ja 30 kesäkuuta tulleet määräykset ottavat kantaa jo korjausrakentamiseen. ET-lukua ei siis lasketa enää rakennusten energiatodistuksen yhteydessä, mutta siihen voi törmätä vielä jo lasketuissa kohteissa. ET-luku saadaan laskemalla rakennuksen laskennallinen energiantarve ja jakamalla se rakennuksen bruttoalalla, johon kuuluu lämmitys, käyttövesi, sähkölaitteet ja jäähdytys. [6]



Kuva 5. Rakennuksen energialaskennan kulutuksen eri vaiheet, vanha laskentatapa [7].



### 2.2.1 Lämpöhäviöenergiat

Rakennuksesta johtuva lämpöhäviöenergia voidaan laskea, jos tiedetään eri rakennetyyppien U-arvot, pinta-ala sekä mitoittavat ulko- ja sisälämpötilat. Tämä arvo kertoo, kuinka suurella teholla energiaa johtuu rakenteiden läpi [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]. [7]

### 2.2.2 Vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia

Vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia on rakenteiden tiiviyteen vaikuttava tekijä. Mitä tiiviimpi rakennus on, sitä vähemmän rakenteiden läpi vuotaa ilmaa, joka poistaa lämpöenergiaa. [7]

### 2.2.3 Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia

Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia tarkoittaa lämmitystä sen hetkisestä ulkoilmasta tuloilman lämpötilan tavoitearvoon. Tässä kohtaa otetaan huomioon myös ilmanvaihtokoneen LTO-kennon hyötysuhde. [7]

### 2.2.4 Käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia

Kulutetun lämpimän veden energiantarve on yleensä noin 40 prosenttia kokonaisvedenkulutuksesta. Tällä tavoin laskemalla saadaan selville arvioitu lämpimän veden energiantarve. [7]

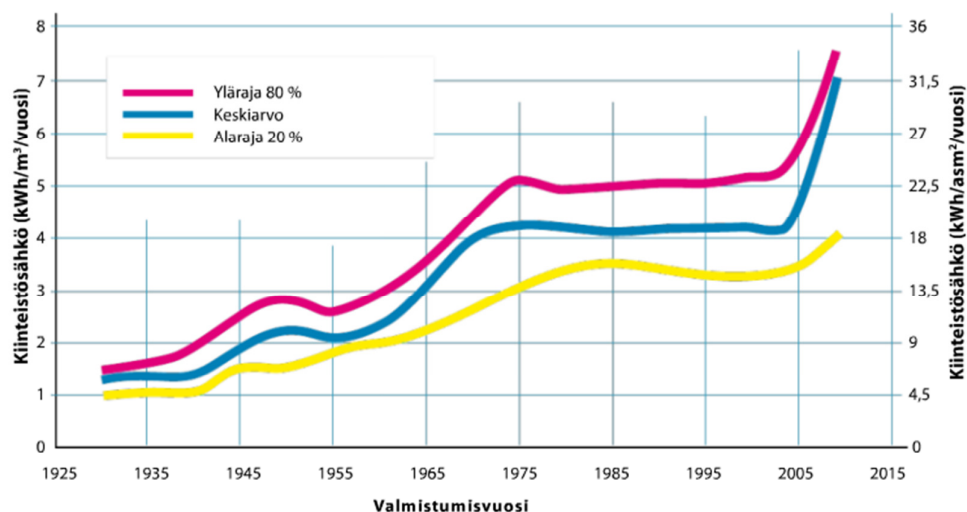
### 2.2.5 Järjestelmien lämpöhäviöenergiat

Eri järjestelmät johtavat lämpöä pois joko tuottaessa tai kuljettaessa sitä eteenpäin. Tämä määrä on suoraan pois sen lopullisesta hyötyyn menevästä energiasta, ja miinustamalla hukkalämpö kokonaisenergian kulutuksesta ja jakamalla tulos kokonaisenergiankulutuksella saadaan laitteelle määriteltyä hyötysuhde. [7]

## 2.2.6 Kiinteistösähkönkulutus

Kiinteistösähköä kuluu enimmäkseen valaistukseen, puhaltimiin ja pumppuihin, autopaikkojen lämmitystolppiin ja pienemmät määrät kuluu talosaunaan, hissiin ja pesutupaan. Tämä kaikki maksetaan joko vuokrassa tai vastikkeen yhteydessä. [15]

Tämän lisäksi jokainen talous maksaa oman huoneiston kytketyistä sähkölaitteista kuten valaistuksesta, elektroniikasta, ruoanvalmistuksesta ja kodinhoitoa varten tarvittavista laitteista. Sähkön kulutus kasvaa vuosivuodelta asuinrakennuksissa lisääntyvien kotitalouslaitteiden takia. Asuinkerrostaloissa kiinteistösähkön kulutus on noin 2–5 kWh/rm<sup>3</sup>/v. Rivitaloissa vastaava luku on noin 2–6 kWh/rm<sup>3</sup>/v. Kuvan 6 kuvaaja kertoo hyvin, kuinka sähkönkulutus on harpannut kahtena ajankohtana, joista ensimmäinen on 1960-luku, jolloin siirryttiin käyttämään painovoimaisen ilmastoinnin sijasta koneellista poistoilmanvaihtoa. Toinen ajankohta sijoittuu vuodelle 2003, jolloin siirryttiin käyttämään koneellisen poistoilmanvaihdon sijasta koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa. [15]



Kuva 6. Asuinkerrostalojen kiinteistösähkön kulutus [15].

## 2.2.7 Lämpökuormat

Lämpökuormat ovat hyödyksi saatua lämpöä, jota voidaan käyttää hyväksi laskennassa ja joka voidaan vähentää kokonaistarpeesta, jolloin voidaan ehkäistä

liikaa energiankäyttöä tai ylläampemistä talvella. Tähän osa-alueeseen kuuluvat mm. henkilöiden luovuttamat lämpökuormat, lämmityslaitteista vapautuva lämpöenergia, valaistuksesta ja laitteista johtuva lämpöenergia, ikkunoiden kautta tuleva aurinkoenergia sekä lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia. [7]

## 2.3 Energiatodistus

### 2.3.1 Yleistä

Rakennuksien energiatehokkuuden vaatimukset osoitetaan E-luvulla ( $\text{KWh/m}^2/\text{v}$ ) [12]. E-luku on eri energiamuotojen kertoimilla painotettu saatu vuotuinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden. Energiatodistus on vaadittu vuodesta 2008 alkaen uusille rakennuksille [6]. Energiatodistuksen tarkoitus on luokitella asunto energiatehokkuusluokkiin A–G, A on energiatehokkain ja G taas vähiten energiatehokas. Luokittelun tarkoitus on saattaa asiakkaalle tieto siitä, kuinka energiatehokas asunto on, koska mitä enemmän asunto säästää energiaa, sitä enemmän asukas säästää rahaa. Tällä tavoin kannustetaan rakentamaan entistä enemmän energiatehokkaita rakennuksia ja käyttämään enemmän uusiutuvia energialähteitä rakennusten olosuhteiden hallinnassa. [10] Rakennusten luokittelu eri energiatehokkuusluokkiin tekee rakennuksista vertailun keskenään helpommaksi. Kaikki laskennassa (kuva 7) käytetyt luvut perustuvat standardikulutuksiin, joten asukkaan henkilökohtaiset kulutustottumukset eivät vaikuta energialuokkaan. [10] E-luvun laskenta otettiin käyttöön 1. heinäkuuta 2012, ja se korvasi vanhan ET-luvun [1]. Aikaisemmin laskettu tapa oli ET-luku, jossa ei esimerkiksi painotettu energiamuotokertoimilla.

Pientalojen energiatodistus on voimassa laskennasta 10 vuotta sisältäen seuraavat laskelmat [10]:

- pinta-alat
- U-arvot
- massiivisuus rakennuksen ominaisuuksien pohjalta

- $n_{50}$  ilmavuotoluku
- vedenkulutus
- laitesähkön kulutus.

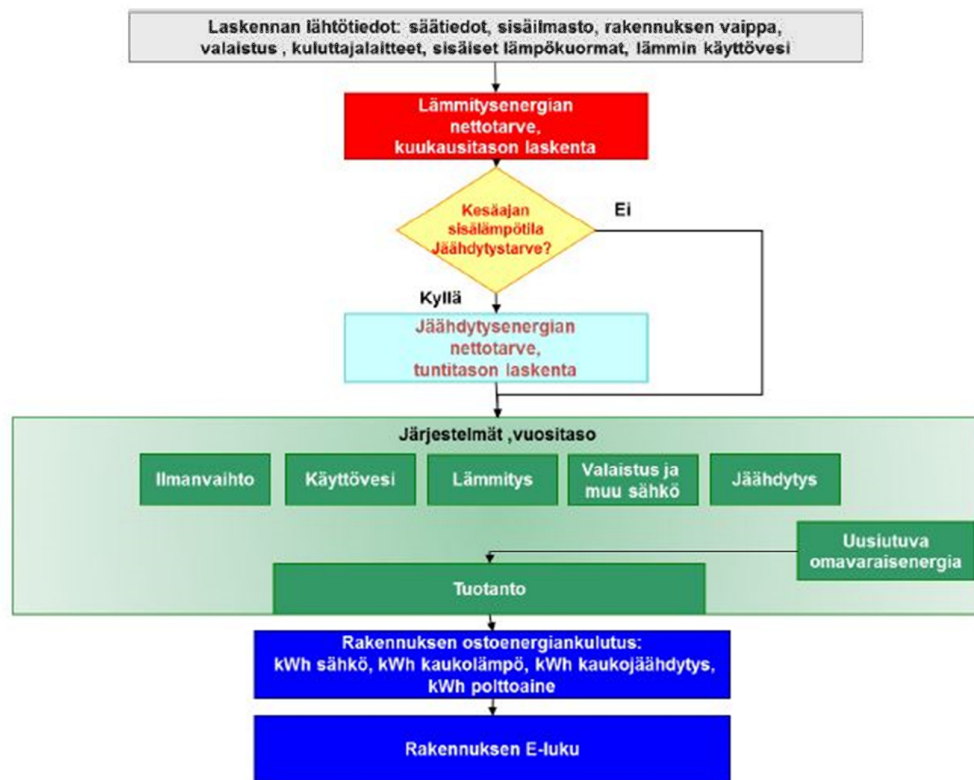
U-arvo ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka läpäisee rakennusosan tietyllä teholla, kun lämpötilaero ulko- ja sisäpuolella on määritetty astemäärä. U-arvon yksikkö on  $W/m^2K$ .

Ilmavuotoluku  $n_{50}$  kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmamäärä vaihtuu tunnissa, kun aiheutetaan 50 Pa:n ali- tai ylipaine. Luku kuvaa rakennuksen ilmatiiviyttä, 1/h.

Eri energiamuotojen kertoimet ovat seuraavat E-luvun laskennan painotusta varten [13]:

- |                            |     |
|----------------------------|-----|
| - sähkö                    | 1,7 |
| - kaukolämpö               | 0,7 |
| - kaukojäähdytys           | 0,4 |
| - fossiiliset polttoaineet | 1,0 |

Energiamuotokertoimet perustuvat luonnonvarojen käyttämiseen. Energiamuotokertoimilla otetaan huomioon rakennuksen elinkaaren energiakulutuksen vaikutus luonnonvarojen käyttöön. Kertoimien tarkoitus on ohjata rakentamista eteenpäin kohti energiatehokkaita rakennuksia sekä säästävää luonnonvarojen käyttöä. Suurempi energiamuotokerroin kertoo sen, kuinka paljon enemmän sen valmistaminen rakennuksia käytettäväksi energiaksi kuluttaa luonnonvaroja. Samalla tällaiset luonnonvaroja enemmän käytettävät rakennukset olisi tarkoitus rakentaa vähemmän energiaa kuluttaviksi. [16]



Kuva 7. Rakennuksen energialaskennan eri vaiheet, uusi tapa [14].

### 2.3.2 Energiatodistuksen määräykset

Rakennuksen energiantodistuksen hankkimisen vastuu on rakennuksen omistajalla ellei vastuusopimuksilla ole toisin määrätty [10].

Energiantodistus on tarkoitus laatia koko rakennukselle, ellei sen käyttötarkoitus muutu rakennuksen jossain toisessa osassa olennaisesti [10].

Energiantodistuksen laatimiseen tarvitsee käydä tenttimässä pätevyys, jonka järjestää FISE Oy tai vastaavan yrityksen auktorisoima asiantuntija. Energiantodistuksen saa ainoastaan laatia henkilö, jonka pätevyys on todettu olevan voimassa. ARA rekisteröi kaikki uudet laskennan mukaiset energiantodistukset, jotta voidaan helpommin valvoa pätevyksiä ja taitoja. [10]

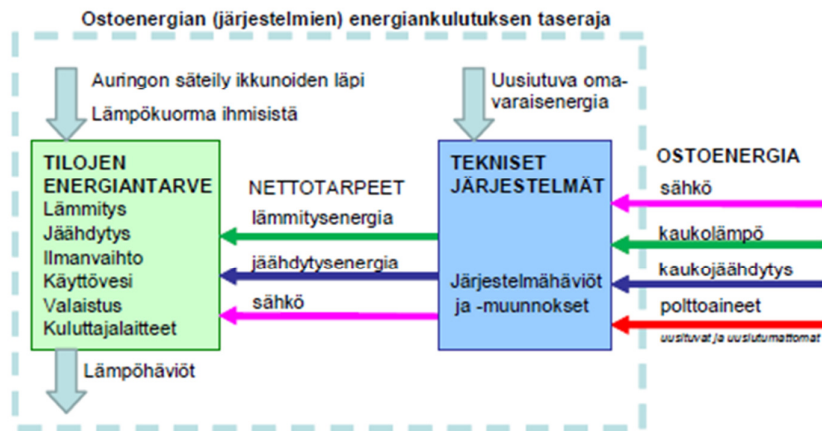
Energiatodistuksen valvontaviranomaisina toimivat ympäristöministeriö sekä ARA. Ympäristöministeriöllä on tähän korkein valvontajohto, sen tehtävänä on valvoa pätevyksiä myöntävän toimintaa. [10]

Energiatodistusta ei tarvitse hankkia, jos jokin rakennuksen osa täyttää seuraavat ehdot [10]:

- pinta-ala enintään 50 m<sup>2</sup>
- loma-asumiseen tarkoitettua asunto, jolla ei ole tarkoitus hankkia elantoa majoituksella, esim. vuokrattavat lomamökit
- tilapäinen tai määräaikainen rakennus
- teollisuus- tai korjaamorakennukset, uimahallit, jäähallit, varastot
- maatilarakennukset, jossa ei ole tarkoitus asua tai energian käyttö on muutenkin vähäinen, esim. navetat
- kirkko tai muu uskonnollinen rakennus, jossa on tarkoitus harjoittaa uskonnollisia hartauksia
- kasvihuone tai väestönsuoja
- puolustushallinnon rakennus.

### 2.3.3 Energiatodistuksen laadinta

Energiatodistus laaditaan ostoenergian perusteella, jonka eri osat painotetaan kaikki erikseen eri energiamuotokertoimilla (ks. luku 2.3.1). Ostoenergialla on oma taserajansa (kuva 8), johon kuuluu tilojen energiantarpeet sekä tekniset järjestelmät. Uusiutuvan omavaraisenergian käyttö, kuten aurinkopaneelien tuottama energian käyttö vähentää suoraan ostoenergian tarvetta ja näin ollen pienentää E-lukua huomattavasti. [13]



Kuva 8. Ostoenergiankulutuksen taseraja [13].

### 2.3.4 Pinta-alat

ET-luvun laskennassa käytettiin pinta-alana bruttoneliötä ( $\text{brm}^2$ ), jonka avulla jaettiin vuosittainen rakennuksen energiankulutus ja saatiin energiatehokkuusluku [6].

E-luvun laskentamenetelmässä käytetään ainoastaan nettopinta-alaa, johon kuuluu myös väliseinät [13].

### 2.3.5 U-arvot

Ympäristöministeriö on asettanut vertailulämpöhäviön laskennassa rakennuksen seinille U-arvot, joita käytetään perustapauksen laskennassa ja tätä referenssitapausta vetaillaan eri variaatioihin, jota energialaskija tutkii saavuttaakseen parhaan mahdollisen ratkaisun. Yleisimmät asuinrakennuksissa käytössä olevat U-arvot esitetty alla. [13]

seinä	0,17 W/( $\text{m}^2\text{K}$ )
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09 W/( $\text{m}^2\text{K}$ )

ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17 W/m <sup>2</sup> K
maata vasten oleva rakennusosa	0,16 W/m <sup>2</sup> K
ikkunat, ovi, savunpoisto ja uloskäyntiluukku	1,0 W/m <sup>2</sup> K.

### 2.3.6 Rakennuksen muotoilu ja massiivisuus

Lämpöhäviöiden määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla, jossa käytetään rakennuksen todellisia geometriatietoja. Tasauslaskelma on laskennallinen tapa, jossa tarkastetaan lämpöhäviöiden määräystenmukaisuus. Tässä otetaan huomioon säännölliset kylmäsillat, mutta ei liitoskohtia. [13]

ET-luvun laskennassa käytetty  $n_{50}$  (1/h) -luku kertoi ilmavuotoluvun 50 Pa:n erolla mitattuna asuinrakennuksessa.  $n_{50}$ -luku laskettiin rakennuksen kuutiotilavuuden mukaan. Nykyään E-luvun laskennassa käytetty  $q_{50}$  (m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)) -luku lasketaan vaipan pinta-alan mukaan, jos ilmatiiviyttä ei ole mitattu erikseen, on käytettävä arvoa  $q_{50} = 4$  (m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)). [13]

Rakenteiden massiivisuuteen vaikuttaa myös ilmanvaihdon mitoitus ja siihen tarvittava lämmitysenergia. Mitä suuremmat ovat lämmitettävät tilat, sitä enemmän tarvitaan energiaa lämmittämään ilmanvaihtoa, koska ilmavirta suurenee rakennuksen kasvaessa. [13]

### 2.3.7 Vedenkulutus

Vedenkulutus on standardoitu kokonaan uudessa laskentamenetelmässä, joten käyttötottumukset ei vaikuttaisi ollenkaan lopputulokseen. ET-luvun laskennassa määritettiin laskennallinen vedenkulutus aluksi energiatodistukseen ja se korjattiin vuoden päästä toteutuneella vedenkulutuksella [13]. Vedenkulutuksen vertailuarvona käytetään asuinrakennuksissa 600 dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> a) tai 50 dm<sup>3</sup>/as/vrk. [13]



### 2.3.8 Laitesähkön kulutus

Laitesähkön kulutus syntyy rakennuksen valaistus-sähköstä, ilmanvaihtojärjestelmän sähköstä ja muusta sähköstä, johon kuuluu esim. autotolpat. Tähän osaan ei lasketa mukaan, jos rakennus on lämmitetty tai jäähdytetty sähköllä. [13]

## 2.4 Laskennallisen energiankulutuksen kulku ja siihen liittyvät määräykset

E-lukua varten on laskettava rakennuksen ostoenergiankulutus, joka lasketaan RakMk:n D3 ja D5 avulla rakennuksen standardikäytössä [13].

Energialaskennan tapa määritellään kohteen alussa. Jos rakennukseen tulee jäähdytys muutenkin kuin yksittäisiin tiloihin tulee, energialaskelma toteuttaa tuntitason dynaamisella laskentamenetelmällä. Dynaamista laskentamenetelmää käytetään siksi, että määräysten mukaisuuden osoittaminen vaatii kesäajan huonelämpötilan hallinnan toteutumisen. Jos jäähdytystä ei tule, se voidaan suorittaa D5:n antamien ohjeitten mukaan. Dynaaminen laskentaohjelma ottaa huomioon auringonsäteilyn vaikutuksen jäähdytykseen. [13]

Kun rakennuksen ostoenergiankulutus on määritetty lämmitettyä nettoalaa kohden laskemasta riippuen, se painotetaan erikseen vielä energiamuotokertoimilla ja tämä lopputulos on rakennuksen E-luku [13].

Rakennuksen ilmavuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4 \text{ (m}^3/\text{m}^2\text{h)}$ , ja tätä arvoa käytetään laskennassa, ellei sitä erikseen määritellä mittaamalla vähintään 20 % huoneistoista [13].

rakenteiden U-arvot vertailu laskennassa [13].

seinä	0,17 W/m <sup>2</sup> K
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09 W/m <sup>2</sup> K
maata vasten oleva rakennusosa	0,16 W/m <sup>2</sup> K

ikkunat, ovet

1,0 W/m<sup>2</sup>K

Rakennukset vuotavat ilmaa rakenteiden läpi, ja rakennuksen aiheuttama lämpöhäviö lasketaan kaavalla 2 [13].

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (2)$$

$H_{vuotoilma}$  on vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

$\rho_i$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(KgK)

$q_{v, vuotoilma}$  on vuotoilmavirta, m<sup>3</sup>/s.

Poistoilmanvaihto vie mukanaan energiaa pois, ja sitä otetaan talteen lämmöntalteenottolaitteistolla joka lämmittää puolestaan tuloilmaa asuntoon. LTO-laitteiston vuosihyötysuhde määrittää, kuinka paljon energiaa otetaan talteen vuositason poistoilmasta tuloilmaan. RakMk D3 määrittää, että rakennuksen poistoilmasta on otettava talteen vähintään 45 % lämpömäärästä, joka vastaa rakennuksen ilmanvaihdon lämmittämiseen menevää energiaa. Ilmanvaihtolaitteiston kuluttama energia lasketaan kaavalla 3. Ilmanvaihdon koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaisähkönkulutus saa olla enintään 2,0 kW/m<sup>3</sup>s. [13]

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d t_v (1 - \eta_a) \quad (3)$$

$H_{iv}$  on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

$\rho_i$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 Ws/(KgK)

$q_{v,poisto}$  on standardikäytön laskennallinen poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$t_d$  on vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

$t_v$  on viikottainen käyntiaikasuhte, vrk/7vrk

$\eta_a$  on 1 – LTO -laitteiston vuosihyötysuhde

## 2.5 Todellisen energiankulutuksen mittaus asuinkohteissa

D3 määrittää rakennuksen energiakäytön mittaukset seuraavasti:

Rakennukset varustetaan energiakäytön mittauksella tai mittausvalmiudella siten, että rakennuksen eri energiamuotojen käyttö voidaan helposti selvittää. Mittauksista voidaan luopua, jos mittauksen tai mittausvalmiuden rakentaminen voidaan osoittaa epätarkoituksenmukaiseksi. [13]

### Rakennuksen energiankulutuksen esitystapa

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus esitetään yleensä vuotuisena ominaiskulutuksena, joko tilavuutta tai asuinpinta-alaa kohden. Kun kulutus ilmoitetaan tilavuuden funktiona, puhutaan lämpöindeksistä. Lämpöindeksi kertoo, kuinka paljon energiaa kuluu rakennuskuutiometriä kohden. [15]

Lämpöindeksi normeerataan vastaamaan vertailuvuotta lämmitystarveluvulla. Näin saadaan vuosittaiset kulutukset keskenään vertailukelpoiseksi. Etelä-Suomessa 1960–80-luvulla valmistuneiden rakennusten lämpöindeksi on 45–60 kWh/m<sup>3</sup>/a. Keski-Suomessa 10–15 % suurempi ja taas Pohjois-Suomessa 25–30 % suurempi. [15]

Asuinpinta-alaa kohden esittämällä lämpöenergiankulutus voidaan lämpöindekst luvut muuttaa suoraan muuntokertoimilla, jotka ovat asuinkerrostaloille 4,5 ja asuinrivitaloille 3,5. Kertoimet perustuvat tilastotietoihin rakennustilavuuksista sekä asuinneliöistä. [15]

### 3 Energiakulutusten vertailu toteutuneissa kohteissa

#### 3.1 Leppävaaran torni

##### 3.1.1 Rakennuksen lähtötiedot

Leppävaaran torni sijaitsee Leppävaarassa kauppakeskus Sellon läheisyydessä, ja siinä on 21 kerrosta, joista alimmassa kerroksessa on kaksi liikehuoneistoa ja tekniset tilat. Loput kerrokset on varattu asuinhuoneistoille, joita on siis 20 kerrosta kokonaisuudessaan. Leppävaaran torni on Skanskan rakentama kokonaisuus, jonka pääsuunnittelijana on toiminut Timo Vormala Gullichsen, Vormala Arkkitehdit Ky. Leppävaaran torniin liitetyn energiatodistuksen jättöpäivä oli 26.4.2010. Rakennus on aloitettu vuonna 2008, joten energiamääräyksissä sekä energiatehokkuusvaatimuksissa käytetään siihen asti tulleita määräyksiä. Kohde lämmitetään kokonaan kaukolämmöllä ja ilmastointikoneeseen kytketty jälkilämmityspatteri lämmitetään myös kaukolämmöllä. Ilmastointikone on keskitetty ja asuntokohtaisilla säätimillä varustettu, ja se palvelee koko rakennusta.

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuusluokka on D. Laskennallinen energiatehokkuusluokka on määritelty aikaisemman energiatodistuksen ja asetuksen mukaisilla menetelmillä. Tämä luku ei olisi vastaava enää uudella laskentamenetelmällä, joka korvasi laskennan 1.6.2012.

Kohteen laskennassa käytetyt lähtötiedot

D.O.F tech -ohjelmalla laskettu vuosittainen energiankulutus riippuu täysin laatijan antamista lähtöarvoista ohjelmaan. Nämä lähtöarvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Laskennassa käytetyt lähtötiedot, Leppävaaran torni

Laskennassa käytetyt lähtötiedot Leppävaaran torni	
Rakennustilavuus	35730 m <sup>3</sup>
Ilmatilavuus	28086 m <sup>3</sup>
Bruttoneliöt	11038 brm <sup>2</sup>
Kerroslukumäärä	21
Asuntojen lukumäärä	113

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia vuodessa	9,43 kWh/brm <sup>2</sup>
Ilmavuotoluku n <sub>50</sub>	2
Lämmöntuotantolaitteen vuosihyötysuhdekerroin	1
Lämmityksen kehityshäviöt	22076 kWh/a
Lämmityksen muut häviöt	11,00 kWh/brm <sup>2</sup> /a
Käyttöveden kehityshäviöt	0 kWh/a
Käyttöveden kierto-häviöt	15,00 kWh/brm <sup>2</sup> /a
Lämmityksen häviöistä aiheutuvan lämpökuorman osuus	70 %
Lämpimän käyttöveden häviöstä aiheutuvan lämpökuorman osuus	50 %
Lämpöjärjestelmä	Kaukolämpö 100 %
Lämmönjakelutapa	Radiaattoriverkosto 70/40 °C
LTO:n vuosihyötysuhde: Laskennassa	50 %
U-arvot	
o Yläpohja = 0,16 W/m <sup>2</sup> K	0,16 W/m <sup>2</sup> K
o Ulkoseinä =	0,24 W/m <sup>2</sup> K
o Alapohja =	0,22 W/m <sup>2</sup> K
o Ikkuna =	1,4 W/m <sup>2</sup> K
o Parvekeovet =	1,4 W/m <sup>2</sup> K
o Ulko-ovet =	1,8 W/m <sup>2</sup> K
Ilmastointikoneen suunniteltu virtaama	15 336 m <sup>3</sup> /h = 4,26 m <sup>3</sup> /s
Keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika	24 h
Keskimääräinen viikottainen käyntiaika	7 vrk
Ilmastointikoneen laitteiston ominaisteho	10 224 W
Jälkilämmityspatterin tuloilman lämpötilan asetusarvo	17 °C
Tuloilmavirran suhde poistoilmaan	0,9
Erillispoistojen ilmavirta	4 464 m <sup>3</sup> /h = 1,24 m <sup>3</sup> /s
Erillispoistojen vuorokautinen käyntiaika	24 h
Erillispoistojen viikottainen käyntiaika	7 vrk
Erillispoistojen laitteistojen ominaisteho	1240 W
Lämpimän vedenkulutus	14150 ltr/vrk
Lämpimän veden lämpötila	55 °C
Käyttövesijärjestelmään tulevan veden lämpötila	5 °C
Lämpökuormaksi tuleva osuus lämpöhäviöenergiasta	30 %
Yhtestilojen valaistus	19208 kWh/a
IV Sähkö	100424 kWh/a
Pumput, hissit, automaatio, talosauna, kerhohuone	61106 kWh/a
Pihavalaistus, autopaikkalämmitys, sulanapito	25826 kWh/a
Pihavalaistus	25 826 kWh/a

### 3.1.2 Lasketun ja toteutuneen kulutuksen vertailu

Jotta laskennassa voidaan vertailla kulutuksia keskenään, on laskennallinen kulutusdata normeerattava Helsingin säädataan tarkasteluvuodelta. Vaikka rakennus sijaitsee Espoossa, ei Espoole ole erikseen vertailudataa, vaan käytetään samaa arvoa kuin Helsingissä. Laskennallinen data normeerataan sen takia, että sitä joudutaan käyttämään myöhemmin vielä E-luvun laskennassa ja vertailussa. Lämmitystarveluku normeerataan sen vertailukelpoisuuden takia, jotta kaksi eri paikassa tai eri vuosina samassa paikassa olevaa rakennusta voisi vertailla keskenään. Ilmatieteen laitoksen sivuilta on ollut vuoden 2013 alusta ilmaiseksi kulutusdata saatavilla, jonka avulla normeeraus täytyy tehdä. Vuonna 2012, joka on tämän rakennuksen vertailuvuosi, oli lämmitystarveluku Jyväskylässä 4 936. Helsingin lämmitystarveluku oli taas 3 797 vuonna 2012.

Taulukko 2. Vuoden 2012 lämmitystarveluvut paikkakunnille, Ilmatieteen laitos [20].

Lämmitystarveluku	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
Helsinki	633	692	502	387	120	8	0	0	75	302	386	692	3797
Jyväskylä	821	818	590	471	158	39	0	58	208	410	476	887	4936

Kulutuksista normeerataan vain ne tiedot, joihin lämmitystarveluku vaikuttaa, kuten rakennuksessa tapahtuvat lämpöhäviöt. Veden kulutusta ei normeerata, koska siihen tarvittava energia on sama kaikkialla Suomessa. Ennen normeerausta on poimittava lämmitystarvelukuun vaikuttavat kulutukset ja normeerattava ne erikseen, minkä jälkeen hyötykuormat vasta vähennetään niistä. Hyötykuormia ei normeerata, koska ne ovat samat myös joka paikkakunnalla. Normeerattavat tiedot ovat

- rakenteiden läpi johtuva energia
- ilmanvaihdon ja vuotoilman tarvitsema energia
- jälkilämmityspatterin energiankulutus.

Lämmitystarveluvun normeeraaminen tapahtuu vertailupaikkakunnalle kaavalla 2.

$$Q_{norm} = \frac{S_{n\ vpkunta}}{S_{n\ rak.sij.kunta}} \times \sum Q_{normk} + Q_{norme} - Q_{hyötykuormat}$$

(2) $Q_{norm}$  on normeerattu uusi lämmityksen kulutus vertailupaikkakuntaan, kWh/a

$S_{n\ vpkunta}$  on vertailupaikkakunnan lämmitystarveluku

$S_{n\ rak.sij. kunta}$  on rakennuksen sijaintikunnan lämmitystarveluku

$Q_{normk}$  on normeerattavat kulutukset, jotka vaikuttavat lämmitystarvelukuun

$Q_{norme}$  on ei -normeerattavat kulutukset, kuten veden lämmitykseen menevä energia

$Q_{hyötykuormat}$  on hyötykuormat, joita syntyy eri järjestelmistä ja sähkölaitteista

Taulukossa 3 on lueteltu eri kulutukset luokittain Leppävaaran tornissa. Normeerattavat kulutukset ovat kaikki muut paitsi lämpimään käyttövedeen liittyvät kulutukset.

Taulukko 3. Leppävaaran tornin kulutukset luokittain sekä normeerattu kulutus vuodelle 2012.

Leppävaaran torni	kWh/a	$Q_{norm}$ , kWh/a
<b>Rakenteiden läpi johtuva energia, kok</b>	<b>715 480</b>	<b>550 380</b>
$Q_{joht}$ Yläpohja	25 055	19 273
$Q_{joht}$ Ulkoseinä	179 707	138 239
$Q_{joht}$ Alapohja	26 210	20 162
$Q_{joht}$ Ikkunat + ovet	484 508	372 706
<b>Ilmanvaihdon ja vuotoilman tarvitsema Q</b>	<b>800 297</b>	<b>615 626</b>
$Q_{vuotoilma}$	119 677	92 061
$Q_{ilmanvaihto}$	680 620	523 564
<b>Käyttöveden lämmityksen tarvitsema Q</b>	<b>466 847</b>	<b>466 847</b>
$Q_{lkv, netto}$	301 277	301 277

Q <sub>lkv</sub> , häviöt	165 570	165 570
<b>Jälkilämmityspatterin energiankulutus</b>	<b>199 954</b>	<b>153 814</b>
<b>Sähkölaitteiden kulutus, kiinteistösähkö</b>	<b>206 565</b>	<b>206 565</b>
Yhteistilojen valaistus	19 208	19 208
Ilmanvaihdon sähkönkulutus	100 424	100 424
Pumput, hissit, talosauna, kerhouone	61 106	61 106
Pihavalaistus, autopaikkalämmitys	25 826	25 826
<b>Lämpökuormat, Yhteensä</b>	<b>878 488</b>	<b>878 488</b>
Q <sub>henk</sub>	104 088	104 088
Q <sub>säh</sub>	216 464	216 464
Q <sub>lämm</sub> , kuorma	100 446	100 446
Q <sub>lkv</sub> , kuorma	173 168	173 168
Q <sub>aur</sub>	284 322	284 322
<b>Hyödyksi saatava energia laskennassa</b>	<b>763 676</b>	<b>763 676</b>
Lämmityksen energiantarve	1 515 777	1 166 006
lämmityksen nettoenergian tarve	752 101	402 330
Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	143 494	143 494
Tilojen lämmitysenergiankulutus	895 595	545 824
Lämmitysenergian kulutusyhteensä	1 362 442	1 012 671
Kiinteistösähkön kulutus	206 565	206 565
Rakennuksen energiankulutus	1 569 007	1 219 236

Laskennassa ei ole otettu huomioon, että Leppävaaran torniin kiinteistösähkön piiriin kuuluu myös kylpyhuoneitten lattialämmitys, joka nostaa kulutusta huomattavasti. Isännöitsijätoimiston mukaan voidaan toteutuneesta kulutuksesta vähentää 30 %. Prosentuaalinen luku perustuu kokemuksiin, jotka isännöitsijätoimisto on kerännyt Skanskan kanssa omista kohteistaan vertailemalla kulutuksen kasvua ilman, että lattialämmitys olisi kytketty siihen. Kulutusraportin mukaan, jonka on toimittanut isännöitsijätoimisto, vuoden 2012 todellinen kulutus on eri järjestelmille seuraava.

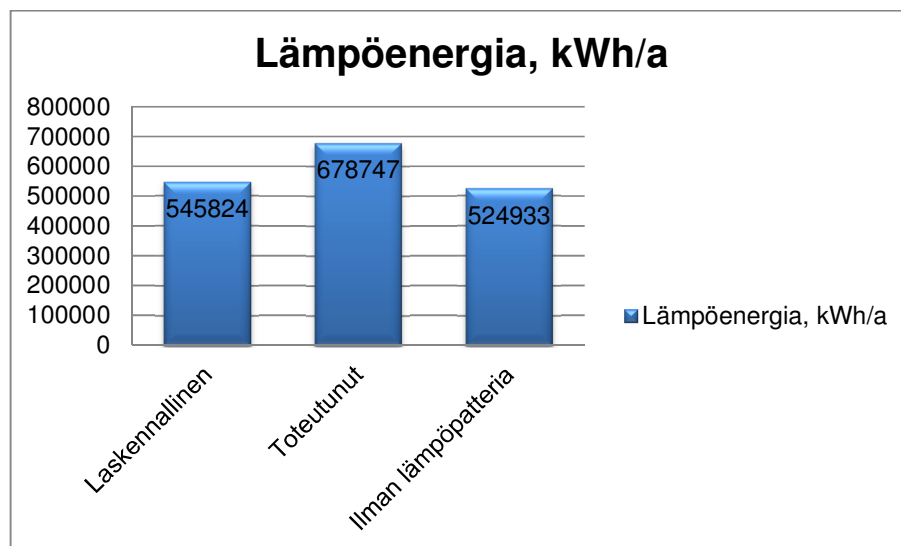
Lämmönkulutus 834,7 MWh/a

Vedenkulutus 6722,1 m<sup>3</sup>/a

Kiinteistösähkönkulutus 380 956 kWh/a (30 % tästä lattialämmitykseen).  
266 669 kWh/a (30 % vähenettynä).



Lämmönkulutukseen kuuluu myös lämmitysvedeen menevä energiankulutus. Vähentämällä lämmitysvedeen kuluva osuus energiankulutuksesta saadaan pelkkä lämmitysenergian tarvitsema osuus. Veden kulutuslukemat sisältävät sekä kylmän että lämpimän veden kulutuksen. Lämpimän veden osuuden voidaan arvioida olevan 40 % kokonaisveden kulutuksesta. Veden energiankulutus laskennassa voidaan käyttää arvoa  $58 \text{ kWh/m}^3$ , joka perustuu seuraaviin arvoihin: Veden tiheys,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ , ominaislämpökapasiteetti  $C_p = 4,2 \text{ kJ/kgK}$ , lämpötilaero  $\Delta t = 55-5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Luku kertoo sen, kuinka paljon menee energiaa kuution lämmittämiseen vettä, kun yksi kuutio lämmintä vettä on kulunut.

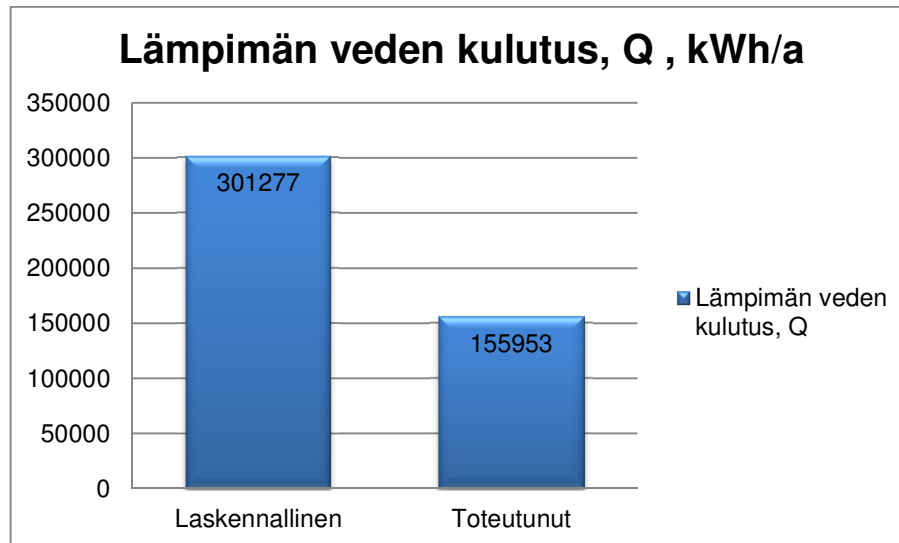


Kuva 9. Lämpöenergian kulutuksen vertailu, Leppävaaran torni.

Laskennallinen energiankulutus (kuva 9) jää todellisesta energiankulutuksesta noin 19,5 %. Toteutuneessa energiankulutuksessa on vielä sisällä lämmityspatterin kulutus, joten todellisuudessa näiden kahden ero on pienempi. Laskennallisessa energiankulutuksessa ei ole mukana tuloilman jälkilämmityspatteria; se on jätetty kokonaan huomioimatta tästä. Jos toteutunesta kulutuksesta poistetaan vielä laskennallinen lämpöpatterin kulutus, joka on normeerattu Helsingin säädatalle, voidaan huomata, että kulutukset ovat lähellä toisiaan.

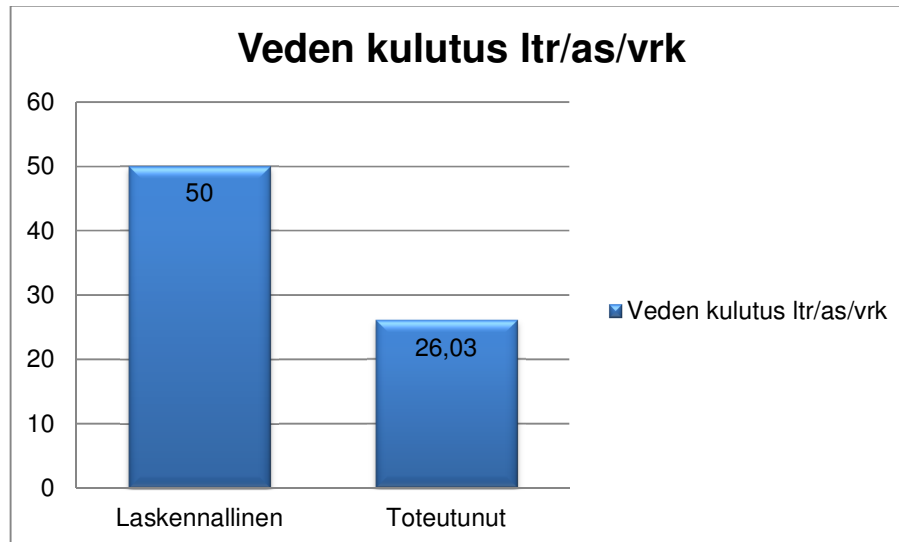
Tässä tapauksessa toteutunut kulutus on noin 21 000 kWh/a pienempi kuin laskennallinen kulutus. Bruttoneliöissä kulutus on  $1,9 \text{ kWh/brm}^2$  pienempi, ja taas

prosentuaalisesti tämä tekee 3,8 % vähemmän kuin laskennallinen. Laskennallisen kulutuksen suurempi ero voi johtua vaikeasti arvioitavissa olevasta häviöprosentista kunkin järjestelmän kohdalla. Laskennassa annetaan jokin häviöprosenttiarvo, jonka oletetaan olevan suoraa hyötyä rakennuksen lämmitykselle.



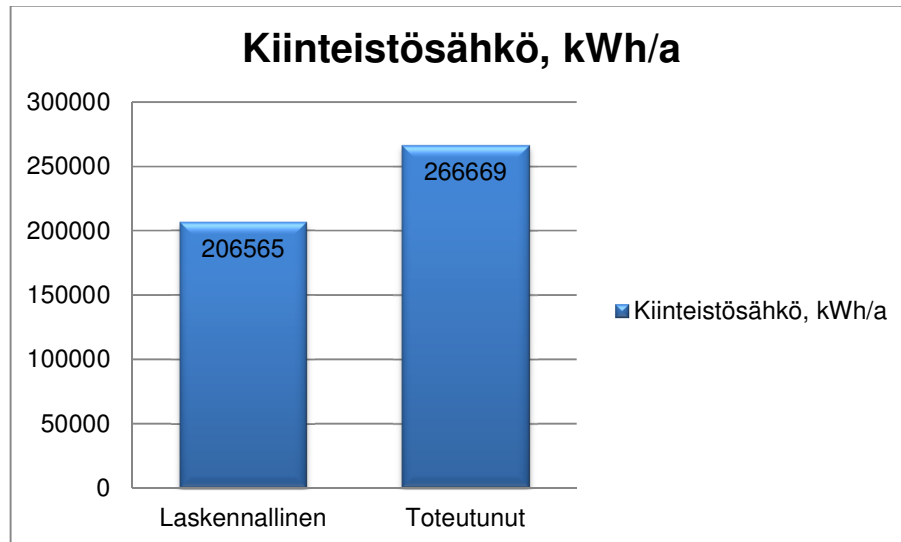
Kuva 10. Lämpimän veden energiakulutuksen vertailu, Leppävaaran torni.

Lämpimän veden energiakulutuksen vertailussa (kuva 10) on jätetty häviöt kokonaan pois, laskennallisesta sekä toteutuneesta, koska ne ovat samat molemmilla. Lämpimän veden kulutusta on vaikea arvioida vanhaan ET-laskentatodistukseen, koska siinä ei ole otettu huomioon ollenkaan kulutustottumuksia. Laskennassa oleva arvo on Motivan sivujen antaman valtakunnallisesta keskiarvosta vielä alempi. Valtakunnallinen keskiarvo on 155 ltr/as/vrk; laskennassa käytetty arvo on 125 ltr/as/vrk kokonaiskulutukselle.



Kuva 11. Lämpimän veden kulutus. Ltr/as/vrk, Leppävaaran torni.

Lämpimän veden kulutusta (kuva 11) on helpompi verrata, kun muuntaa kulutuslukeman tutumpaan muotoon. Tässä tapauksessa lämpimän veden kulutus on laskennallista kulutusta huomattavasti vähempää. Laskennassa käytetty 50 (ltr/as/vrk) on suoraan rakentamismääräyskokoelmasta otettu arvo, joka positiivisesti on jäänyt huomattavasti suuremmaksi kuin toteutunut. Lämpimän veden kulutuksen valtakunnallinen keskiarvo Motivan tilastoista on 62 (ltr/as/vrk). Toteutunut arvo jää laskennallisesta kulutuksesta 48 % vajaaksi, ja voidaan vain arvailla miksi. Talossa todennäköisesti asuu iältään vanhempaa porukkaa ja ei juurikaan lapsiperheitä, joilla kulutus voi olla valtakunnallista keskiarvoa suurempaakin. Veden kulutukseen kiinnitetään tulevaisuudessa entistä enemmän huomiota, koska vesi on ehtyvä luonnonvara, jota ilman ei voida elää. Veden kulutukseen suurimpia eroja tekee suihkussa käynti. Suihkusta tulee ulos noin 12 litraa minuutissa vettä, mikä tarkoittaa 10 minuutin suihkukerralla 120:tä litraa vettä. Käyttöveden lämmitys asuinrakennuksissa muodostaa suuren osan tehosta, jota tarvitaan koko rakennuksessa. Tehoa ei voida pudottaa asuinrakennuksissa. Rakentamismääräyskokoelman osa D1 määrää, että veden lämpötila ei saa pudota alle 55 °C:n, koska *Legionella*-bakteerin syntymisriski kasvaa, mitä lähemmäs arvoa 20–40 °C mennään. Käyttäjät voivat siis itse vaikuttaa käyttöveden lämmitykseen kuluvaan energiaan suoraan kulutustottumuksilla.



Kuva 12. Kiinteistösähkön kulutuksen vertailu, Leppävaaran torni.

Kiinteistösähkönkulutus koostuu monesta eri tekijästä ja on vaikea arvioida, olisiko jokin yksittäinen laite tai järjestelmä tuonut toteutunutta kulutusta suuremmaksi. Leppävaaran tornissa laskennassa käytetyt arvot ovat suoraan vuosikulutuksia, jotka määrittelee Skanskan energialaskija. Vertailuun vaikuttavat laatijan asettamat lähtötiedot laskennalle, ja niistä saatava lopputulos kertoo, kuinka lähelle laskennallinen kulutus osuu toteutunutta. Leppävaaran tornin kaltaisessa kohteessa ei suositella käytettävien bruttoneliöperustaisia arvoja, vaan käytetään suoraan valmistajan antamia tehoja laskennassa ja lasketaan vuosikulutus juuri käyttöaikataulujen mukaisesti. Bruttoneliöperusteisen laskennan virhemarginaalit voivat kasvaa suureksi, koska kohteessa bruttoneliöitä on 11 038. Kohteessa mukavuuslattialämmitys kuuluu kiinteistösähkön piiriin, mikä tuottaa väistämättä eroa. Laskennassa kuvassa 12 olevassa vertailussa mukavuuslattialämmitys on huomioitu vähentämällä kiinteistösähkön kulutuksesta 30 %, mikä on isännöitsijän antama arvo, ja perustuu isännöitsijätoimiston mukaan kokemukseen samankaltaisissa kohteissa.

## 3.2 Martintorni

### 3.2.1 Rakennuksen lähtötiedot

As Oy Vantaan Martintorni sijaitsee Vantaan Martinlaaksossa ja on 15-kerroksinen asuinkerrostalo. Martintorni rakennettiin vuosina 2010–2012. Vantaan Martintorni on Skanskan urakoima kokonaisuus, joka on liitetty Vantaan Energian kaukolämpöverkostoon. Kaukolämmöllä lämmitetään käyttöveden tarvitsema energia sekä tilojen lämpöhäviöenergiat ja ilmastoinnin jälkilämmityspatterin tarvitsema energia. Rakennuksen peruslämmitys hoidetaan patteriverkostoon liitettävillä radiaattoreilla ja konvektoreilla. Yleisissä pesutiloissa lämmitys hoidetaan mukavuuslattialämmityksellä, joka toimii sähköllä. Asuntojen pesutiloissa, jotka rajoittuvat ulkoseiniin, on myös kytkettynä erillinen kuivauspatteri, joka on liitetty käyttöveden kiertojohtoon. Ilmastointi on keskitetty koneellinen tulo- ja poistoratkaisu, joka on varustettu lämmöntalteenotolla.

Martintornissa on mukavuuslattialämmitys samanlainen kuin Leppävaaran tornissa. Tämä otetaan laskelmissa huomioon vertailussa vähentämällä 30 % pois kiinteistösähkön kulutuksesta.

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuusluokka on A. Rakennuksen energiatehokkuusluokka on määritelty aikaisemman energiatodistulain ja asetuksen mukaisilla mentelmillä.

Taulukossa 4 on esitetty laskennassa käytetyt lähtötiedot.

Taulukko 4. Laskennassa käytetyt lähtötiedot, Martintorni.

Laskennassa käytetyt lähtötiedot Martintorni	
Rakennustilavuus	21 541 m <sup>3</sup>
Ilmatilavuus	15 868 m <sup>3</sup>
Bruttoneliöt	6 835 brm <sup>2</sup>
Kerroslukumäärä	15
Asuntojen lukumäärä	68
Henkilöiden luovuttama lämpöenergia vuodessa	7,80 kWh/brm <sup>2</sup>
Ilmavuotoluku n <sub>50</sub>	0,9

Lämmöntuotantolaitteen vuosihyötysuhdekerroin	1
Lämmityksen kehityshäviöt	13 670 kWh/a
Lämmityksen muut häviöt	11,00 kWh/brm <sup>2</sup> /a
Käyttöveden kehityshäviöt	0 kWh/a
Käyttöveden kiertohäviöt	15,00 kWh/brm <sup>2</sup> /a
Lämmityksen häviöistä aiheutuvan lämpökuorman osuus	70 %
Lämpimän käyttöveden häviöstä aiheutuvan lämpökuorman osuus	50 %
Lämpöjärjestelmä	Kaukolämpö 100%
Lämmönjakelutapa	Radiaattoriverkosto 70/40 °C
LTO:n vuosihyötysuhde	47 %
U-arvot	
o Yläpohja	0,15 W/m <sup>2</sup> K
o Ulkoseinä	0,23 W/m <sup>2</sup> K
o Alapohja	0,22 W/m <sup>2</sup> K
o Ikkuna	1,0 W/m <sup>2</sup> K
o Parvekeovet	1,0 W/m <sup>2</sup> K
o Ulko-ovet	1,2 W/m <sup>2</sup> K
Ilmastointikoneen suunniteltu virtaama	7 329 m <sup>3</sup> /h = 2,04 m <sup>3</sup> /s
Keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika	24 h
Keskimääräinen viikottainen käyntiaika	7 vrk
Ilmastointikoneen laitteiston ominaisteho	4 557 W
Jälkilämmityspatterin tuloilman lämpötilan asetusarvo	18 °C
Tuloilmavirran suhde poistoilmaan	0,91
Erillispoistojen ilmavirta	2 520 m <sup>3</sup> /h = 0,7 m <sup>3</sup> /s
Erillispoistojen vuorokautinen käyntiaika	24 h
Erillispoistonon viikottainen käyntiaika	7 vrk
Erillispoistojen laitteistojen ominaisteho	1 240 W
Lämpimän vedenkulutus	7 250 ltr/vrk
Lämpimän veden lämpötila	55 °C
Käyttövesijärjestelmään tulevan veden lämpötila	5 °C
Lämpökuormaksi tuleva osuus lämpöhäviöenergiasta	30 %
Yhtestilojen valaistus	11 921 kWh/a
IV Sähkö	44 588 kWh/a
Pumpu, hissit, automaatio, talosauna, kerhohuone	40 632 kWh/a
Pihavalaistus, autopaikkalämmitys, sulanapito	13 670 kWh/a

### 3.2.2 Lasketun ja toteutuneen kulutuksen vertailu

Martintornissakin normeeraus tapahtuu samalla tavalla kuin edellisessä kappaleessa Leppävaaran tornissa. Ilmatieteen laitokselta saatavilla lämmitystarveluvuilla (taulukko 5), jotka ovat hyvä työkalu eri rakennuksien vertailuun eri paikkakunnilla. D.O.F tech laskee Jyväskylään kulutustiedot ja tarkasteltavana vuotena on sama kuin edellinen vuosi, voidaan tässä kohteessa käyttää samoja lämmitystarvelukuja laskennassa kuin Leppävaaran tornissa.

Taulukko 5. Lämmitystarveluvut vuodelta 2012 & 2013 Helsinkiin ja Jyväskylään, Ilmatieteen laitos [20].

Paikkakunta-kohtainen lämmitystarveluku kuukausittain													
Paikkakunta	Ma rra	Joulu kuu	Tamm ikuu	Helm ikuu	Maali skuu	Huht ikuu	Touk okuu	Kesä kuu	Hein äkuu	Elo kuu	Syys kuu	Loka kuu	Vuosi
Helsinki	386	692	678	527	690	417	73	0	0	0	91	291	3845
Jyväskylä	476	887	821	818	590	471	158	39	0	58	208	410	4936

Taulukko 5 kertoo ajalle 1.11.2012–31.10.2013 tarvittavat lämmitystarveluvut, joiden avulla on laskettu kokonainen energiankulutus rakennukselle.

Normeeraaminen tapahtuu kaavalla 2, jotta tulokset olisivat vertailtavissa todellisen kulutuksen kanssa. Martintornista ei ole kokonaista kalenterivuotta saatavilla, joten tarkastelu täytyy tehdä ajalle 1.11.2012–31.10.2013. D.O.F tech antaa suoraan laskennalliset kulutukset eri kuukausille, ja tiedot on näin ollen hyvä ottaa suoraan sieltä normeerattavaksi. Vuotuisesta lämmitystarveluvusta on vähennetty marraskuun sekä joulukuun lämmitystarveluvut (taulukko 5).

Taulukko 6. Martintornin kulutukset luokittain ja normeerattu kulutus ajalle 1.11.2012–31.10.2013.

Martintorni	kWh/a	Qnorm, kWh/a
<b>Rakenteiden läpi johtuva energia, kok</b>	<b>321 654</b>	<b>250 559</b>
Q <sub>joht</sub> Yläpohja	23 609	18 391
Q <sub>joht</sub> Ulkoseinä	115 921	90 299
Q <sub>joht</sub> Alapohja	22 861	17 808
Q <sub>joht</sub> Ikkunat + ovet	159 263	124 061
<b>Ilmanvaihdon ja vuotoilman tarvitsema Q</b>	<b>387 012</b>	<b>301 471</b>
Q <sub>vuotoilma</sub>	30 427	23 702
Q <sub>ilmanvaihto</sub>	356 585	277 769
<b>Käyttöveden lämmityksen tarvitsema Q</b>	<b>256 890</b>	<b>256 890</b>
Q <sub>lkv, netto</sub>	154 365	154 365
Q <sub>lkv, häviöt</sub>	102 525	102 525
<b>Jälkilämmityspatterin energiankulutus</b>	<b>128 803</b>	<b>100 334</b>
<b>Sähkölaitteiden kulutus, kiinteistösähkö</b>	<b>92 291</b>	<b>92 291</b>
Yhteistilojen valaistus	9 923	9 923
Ilmanvaihdon sähkönkulutus	37 143	37 143
Pumput, hissit, talosauna, kerhouone	33 846	33 846
Pihavalaistus, autopaikkalämmitys	11 379	11 379
<b>Lämpökuormat, Yhteensä</b>	<b>520 549</b>	<b>520 549</b>
Q <sub>henk</sub>	44 404	44 404
Q <sub>säh</sub>	162 659	162 659
Q <sub>lämm, kuorma</sub>	44 810	44 810
Q <sub>lkv, kuorma</sub>	81 267	81 267
Q <sub>aur</sub>	110 377	110 377
<b>Hyödyksi saatava energia laskennassa</b>	<b>428 365</b>	<b>428 365</b>
Lämmityksen energiantarve	708 666	552 030
lämmityksen nettoenergian tarve	280 301	123 665
Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	88 855	88 855
Tilojen lämmitysenergiankulutus	369 156	212 520
Lämmitysenergian kulutusyhteensä	626 046	469 410
Kiinteistösähkön kulutus	110 811	110 811
Rakennuksen energiankulutus	736 857	580 221



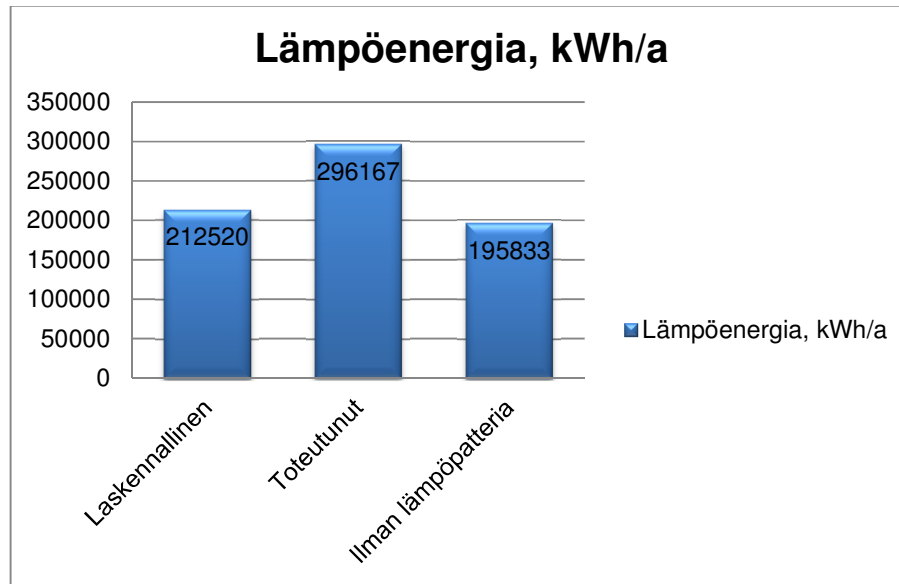
Lämmityksen nettoenergian tarpeeseen ei tässä laskennassa lisätä tuloilman jälkilämmityspatterin tarvitsemaa energiamäärää, vaan se jätetään huomioimatta, koska sitä ei tarkastella erikseen vaan sen laskennallinen normeerattu arvo poistetaan toteutuneesta arvosta.

Isännöitsijätoimiston toimittavat todelliset kulutusarvot ovat seuraavat. Lämmitysenergia sisältää tuloilman lämmityspatterin ja lämpimän käyttöveden lämmityksen vuodelle 2013.

Lämmitys	242 000 kWh ajalta	1.4.2012–31.1.2012
Lämmitys	302 000 kWh ajalta	1.1.2013–31.10.2013
Kiinteistösähkö	43 000 kWh ajalta	1.4.2012–31.1.2012
Kiinteistösähkö	51 000 kWh ajalta	1.1.2013–31.10.2013
Veden kulutus	2 323 m <sup>3</sup> ajalta	1.4.2012–31.1.2012
Veden kulutus	3 844 m <sup>3</sup> ajalta	1.1.2013–31.10.2013

Näistä kahdesta vuodesta on tehtävä yhden vuoden kulutus, jolloin rakennukset ovat helpommin keskenään vertailtavissa. Vuodesta 2012 otetaan laskentaan marraskuu ja joulukuu sekä koko vuoden 2013 kulutus lokakuun loppuun saakka.

Toteutunut energia on jaettu lämmitystarveluvun avulla prosentuaalisesti eri kuukausille, ja tästä luvusta on vielä vähennetty käyttöveden tarvitsema energiankulutus toteutuneesta vesimäärästä, sekä laskennallinen ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin kulutus. Näin ollen kulutusta voidaan vertailla pelkästään tilojen tarvitseman lämmitysenergian kanssa (kuva 13).



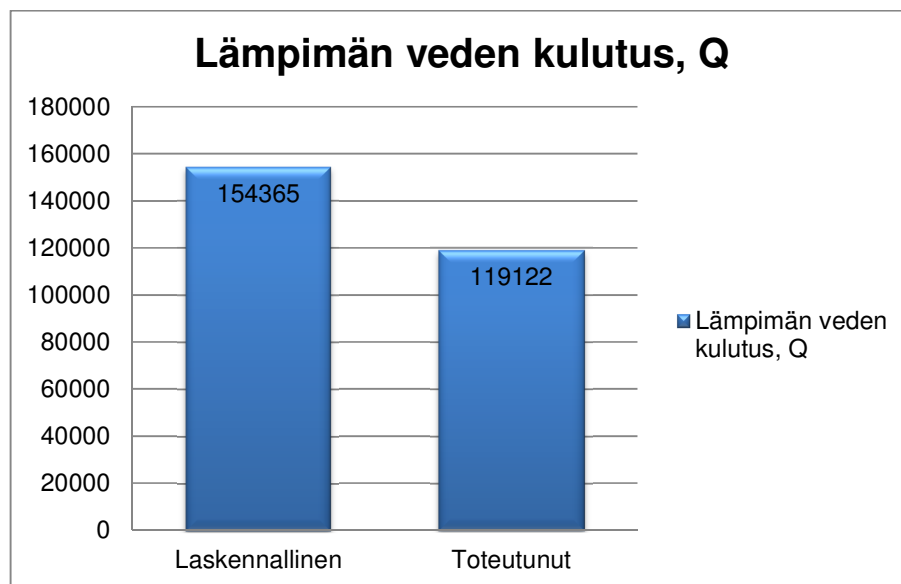
Kuva 13. Lämpöenergian vertailu, Martintorni.

Asuinkohteitten lämmityksen samanvertaisuus laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen kanssa johtuu hyvin pitkälti asukkaiden mukavuus- ja kulutustottumuksista. Lämpöverkosto säädetään niin, että se toteuttaa 21 °C jokaiselle radiaattorille, ja tämän asetusarvon muuttaminen suuremmaksi muuttaa energian kulutusta suuremmaksi. Monissa mittauksissa on huomattu, että kiinteistöissä pidetään liian korkeaa lämpötilaa asunnoissa. Liian korkean lämpötilan ylläpitäminen on epäterveellistä. Liian korkean lämpötilan ylläpitäminen voi aiheuttaa hengitystieongelmia, keskittymisvaikeuksia sekä väsymistä. Pahimmassa tapauksessa liian suuri lämpötila asunnossa voi aiheuttaa asukkaan tuuletusikkunan aukaisemisen, mikä vielä nostaa entistä enemmän energiankulutusta. Asuinkerrostaloissa lämmitysjärjestelmä on yhteinen, ja siksi säädettävyyden kannattaisi olla mahdollisimman pieni.

Taulukko 7. Asuin- ja yleisten tilojen ohjearvoja lämpötiloille.

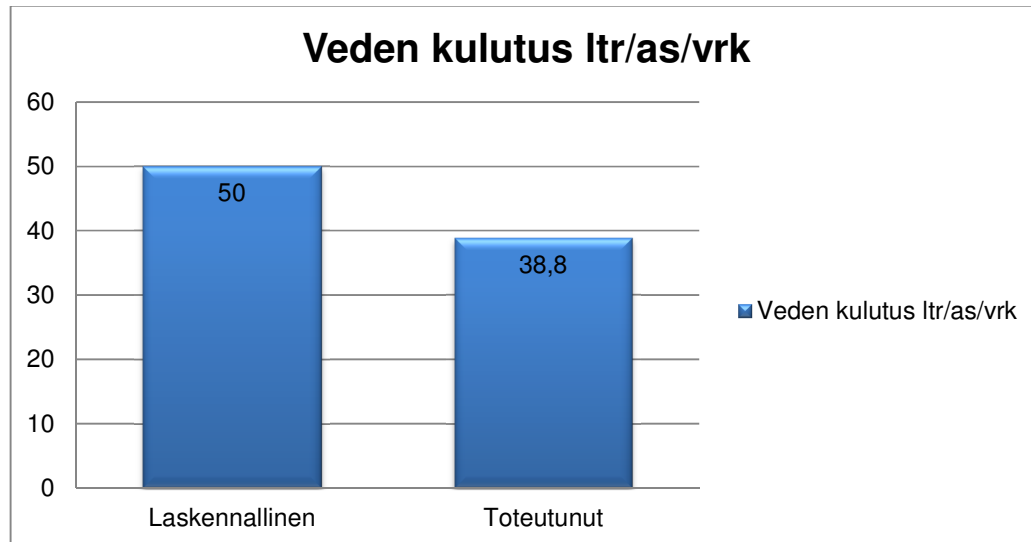
Yleisten tilojen lämpötilojen ohjearvoja huoneissa talvisin. Lähde Motiva.			
Asuintilat	Yleinen ohjerarvo	Yleiset tilat	Yleinen ohjeisarvo
Keittiö ja olohuone	20–22 °C	Porrashuoneet ja varastotilat	15–18 °C
Makuuhuoneet	18–21 °C	Kylmäkellarit	4–6 °C
Kylpy- ja pesuhuone	21–23 °C	Pukuhuoneet ja pesutuvat	20–22 °C
Eteinen ja vaatehuone	18–20 °C	Pesuhuoneet	21–23 °C
		Saunan löylyhuoneet	20–22 °C

Jos asuinkerrostalojen parkkihalleja pidetään jossain tietyssä asetusarvossa, voi tämä aiheuttaa todellisen kulutuksen kasvua jonkin verran rakennuksesa. Talvella kylmät autot ajetaan parkkihalliin sisään, ja autot lämpenevät asetusarvoon yönaikana. Aamulla taas autot ajetaan ulos parkkihallista, ja lämmitetty energia viedään niiden mukana energiahukkana. Suuremmissa asuinrakennuksissa, kuten Leppävaaran tornissa ei tätä asetusarvoa suositella pidettävän autohalleissa, jos lämpötilaliukuma vain sallitaan parkkihallissa.



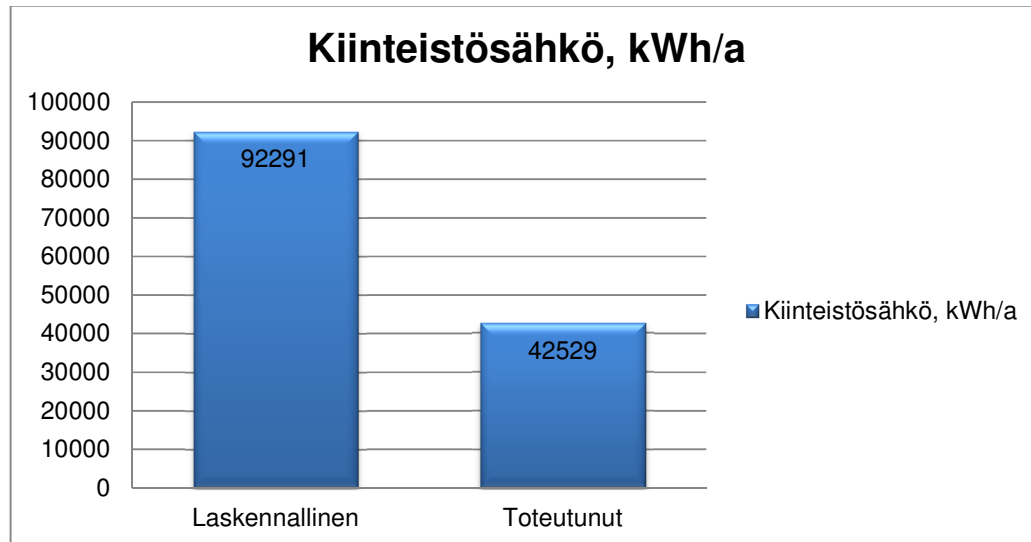
Kuva 14. Lämpimän veden kulutuksen energiavertailu.

Lämpimän veden kulutus Martintornissakin on jäänyt laskennan arvosta huomattavasti alaspäin. Tämä selittyy todennäköisimmin asukkaiden kulutustottumuksilla. Toteutunut arvo jää laskennallisesta arvosta noin 11 l/s pienemmäksi, mikä on hurjaa säästöä energiankulutuksen kannalta (kuva 14). Asuntokohtaiset mittarit ovat varmasti suuri syy luvun poikkeamaan. Asukkaat maksavat itse omasta pussistaan veden kulutuksen, mikä saa asukkaat väkisin seuraamaan omaa kulutusta eurojen kannalta. Suihkussa käynti uudenaikaisilla suihkupäillä on parantanut veden kulutusta siten, että suihkusta tuleva virtaama muutetaan pienemmäksi, mutta suihkusta tuleva paine ei muutu merkittävästi. Tämä voi olla yksi ratkaisu veden säästöön laskennalliseen verrattuna.



Kuva 15. Lämpimän veden kulutuksen vertailu ltr/as/vrk.

Veden kulutuksen seuranta on oiva työkalu asuinkohteissa tapahtuvien poikkeamien seurantaan. Jos tuntitason kulutus on esimerkiksi yöaikana suurta, on järjestelmässä mitä todennäköisimmin vuoto, joka on syytä korjata pikaisesti. Molemmissa kohteissa, jotka ovat tässä vertailussa, on veden kulutus kiinteistössä huomattavasti pienempi kuin laskennallinen. Mahdollisesti syynä tähän ovat vain Skanskan asettamat tavoitteet vesikalusteille, jotka asennetaan asuinkohteisiin. Skanskan asuinkohteissa mitataan tällä hetkellä lämpöä koko rakennuksessa, ja tämä raportoidaan isännöitsijätoimiston kautta suoraan kokonaislämpöenergiana, joka sisältää kaiken mahdollisen kaukolämpöenergian kulutuksen. Lämpimän veden energiakulutuksen seuranta olisi hyvä, jolloin voisi verrata lukua, kuinka paljon menee energiaa yhden kuution lämmittämiseen vettä. Jos lämmittämiseen menevä energia on enemmän kuin  $58 \text{ kWh/m}^3$ , lämmitetään vettä liian lämpimäksi. Liian vähäinen kulutus puolestaan kertoo, että vettä lämmitetään liian kylmäksi, mikä voi altistaa veden saastumisen *Legionella*-bakteerille. Lämpimän veden energiakulutuksen mittaus onnistuu, jos tulevan kylmän veden lämpötilaa mitataan.



Kuva 16. Kiinteistösähkön vertailu Martintornissa.

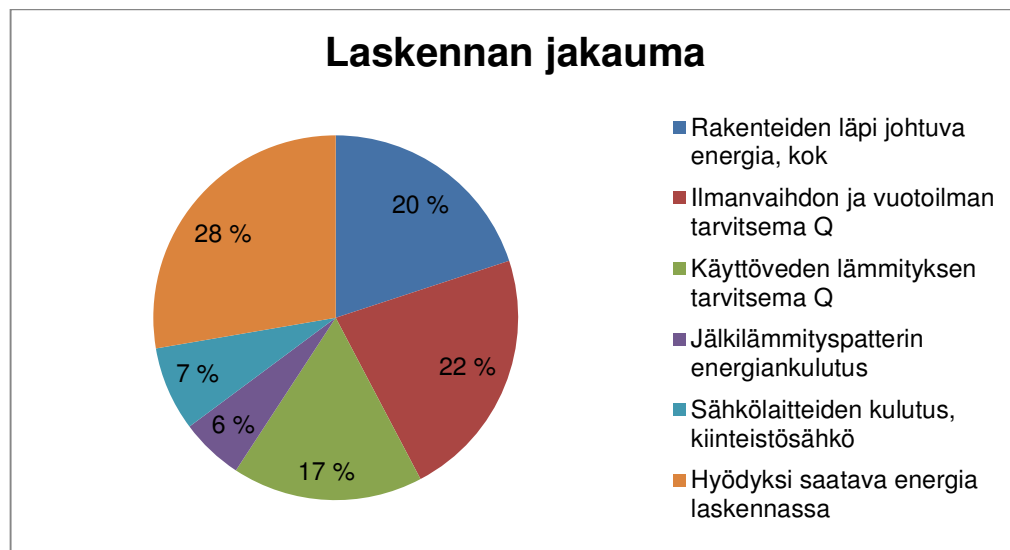
Kiinteistösähkön kulutus on 14,5 % suurempi toteutuneessa kuin laskennallisessa kulutuksessa (kuva 16). Kiinteistösähkö koostuu rakennuksen yleisten tilojen valaistuksesta, sekä pumpuista, hisseistä, autopaikkojen lämmityksestä ja ilmanvaihdosta. Koska toteutunut kulutus on huomattavasti suurempi, on hyvä tutkia onko kyseisen kohteen järjestelmässä mahdollisesti jotain vikoja. Suuria piikkejä kulutukseen voi aiheutua, jos esimerkiksi valaisintehot eivät ole samoja kuin laskennallisesti on määritelty tai kaukolämpöpaketti on alimitoitettu, jolloin pumput joutuvat tekemään enemmän työtä. Pumppujen mitoitus on hyvä huomioida 10 %:n suurentamisvara, jos suunniteltuun järjestelmään tehdään muutoksia, jotka vaikuttavat paineentuottoon. Ilmanvaihdon puhaltimiin on hyvä huomioida korkean rakennuksen kerrostuma, joka lisää paineentuottoa puhaltimissa, ja myös laskea tälle 10 %:n suurentamisvara mahdollisia muutoksia varten. Sähkönkulutuksen piikkejä olisi hyvä seurata mahdollisten vikojen etsimiseksi.

### 3.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Lämpöenergian hinta on koko aika kasvussa, ja asuntoa markkinoidessa asiakkaalle on hyötyä, jos laskennalliset ostoenergian kulutukset osuvat lähelle totuutta. Asiakkaat

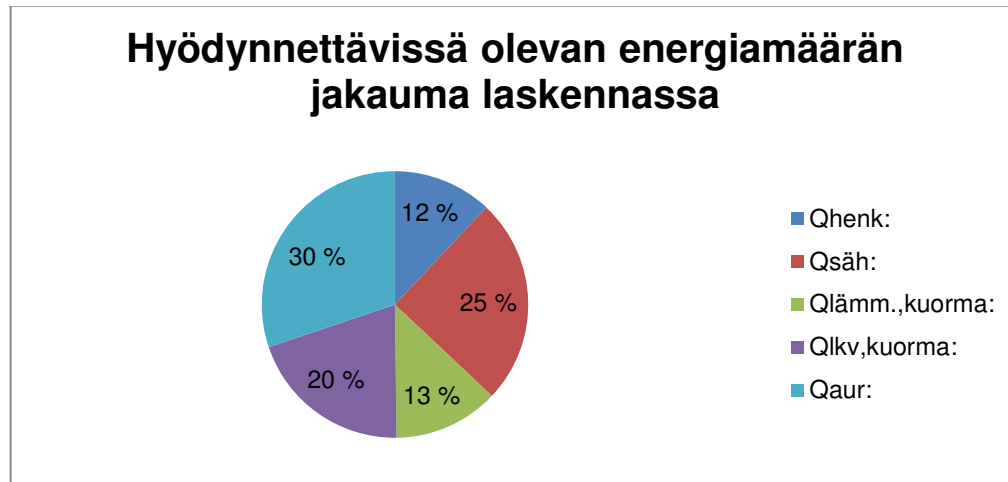
eivät välttämättä ole tilannetietoisia siitä, mitä kaikkia haasteita laskennallisen kulutuksen määrittäminen pitää sisällään, vaan ymmärtävät vain sen, mitä heille on luvattu energiatodistuksessa. Energiatodistuksen laatiminen ET-laskennalla oli aikanaan täysin riippuvainen lähtötietojen asettelusta ja tutkinnasta, ja monia eri muuttujia rakennuksen kulutustarkastelussa on vaikea arvioida etukäteen.

Lämmitysenergian vertailu Leppävaaran tornissa on osunut lähtötietoasettelussa todella lähelle toteutunutta arvoa. Ilmaislämpöjen osuus laskennassa on suurin. Tässä on siis otettu jo huomioon prosentit, jotka ovat suoraa hyötyä lämmitykselle, ei siis koko kuormaa (kuva 17). Tämä osuus on huomattavasti haastavin määritellä.



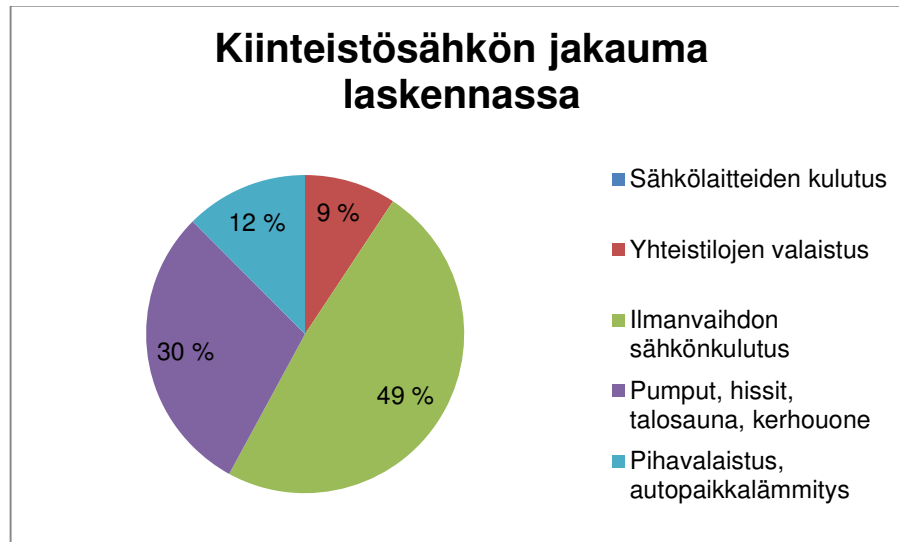
Kuva 17. Leppävaaran tornin laskennan kulutuksen jakauma prosenteissa.

Ilmaislämpöjen määrittelemine on tärkeää ajatellen lopputulosta asiakkaalle. Jotta asiakas saisi hyvin lähelle osuvan energiatodistuksen laskennallisen kulutuksen osalta ja luottaisi enemmän laskennan antaviin arvoihin ostovaiheessa, oikein toteutuneena olisi se suoraa ennakkomarkkinointiarvoa Skanskalle. Ilmanvaihdon ja vuotoilman tarvitsema energia on suurinta tässä kohteessa, koska kohteessa on iso määrä rakennuskuutioita. Leppävaaran tornin kaltaisissa kohteissa on tärkeää miettiä ilmapuotoluvun  $q_{50}$  vaikutusta energiatehokkuuteen, ja siksi ei ole ihme, että rakennuksien tiiviyyteen kiinnitetään entistä enemmän huomiota koko ajan.



Kuva 18. Hyödynnettävissä olevan energiamäärän jakauma, Leppävaaran torni.

Leppävaaran tornissa suurin osa hyödynnettävästä energiasta koostuu rakennukseen osuvasta auringonpaisteesta. D.O.F tech energia -ohjelma laskee auringosta hyödyksi saatavan energian rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. E-luvun laskennassa nykyään käytetään dynaamisia laskentamenetelmiä, jotka simuloivat auringon paistetta ja laskevat siitä saatavat kuormat riippuen rakennuksen julkisivun suuntauksesta. Tähän tulokseen ei voida vaikuttaa millään tavalla, mutta seuraavaksi suurin osuus lämpökuormista on kiinteistösähkön häviöillä. Jos kiinteistösähkön arvio laskennassa väärin ja myös siitä syntyvät lämpökuormat, on sillä toiseksi suurin vaikutus lämmitysenergian heittelyyn. Suurimmaksi potiksi muodostuvat vaikutettavissa oleviin lukuihin juuri kiinteistösähkön häviöt sekä lämpimän käyttöveden laitteista, tällä osuudella on pottia laskennassa 45 %. Leppävaaran tornissa lämpöenergian kulutus on osunut liki kohdalleen toteutuneen kulutuksen kanssa; tällaisissa kohteissa on hyvä ottaa hyödynnettävissä oleva kulutusjakauma talteen ja verrata sitä samankaltaisiin kohteisiin, jotta saadaan varmuutta lopputulokselle (kuva 18). Uudet energialaskijat voisivat hyötyä onnistuneista kohteista ja lähteä rakentamaan omaa tietotaitoa näitten pohjalta.



Kuva 19. Kiinteistösähkön jakauma Leppävaaran tornissa.

Kuvassa 19 huomataan, kuinka suurin osa kiinteistösähkössä muodostuu Leppävaaran tornissa ilmanvaihdon sähkönkulutuksesta. Sähkön laskennallisessa arvioinnissa on vaikea määritellä, kuinka suurella käytöllä esimerkiksi taloyhtiön sauna on todellisuudessa. Suosittelen Skanskalle kerättävän nykyistä kohteista tietoa kiinteistöön kuuluvista laitteista, kuinka suuren osan ajasta laitteet ovat käytössä keskimäärin viikkoaikataululla ja käytettävän laskennallista arvoa niistä. Ehdotuksena olisi esimerkiksi tehdä oma seurantamahdollisuus kiinteistösähkönkulutukseen ja sitä kautta parantaa tietämystä, kuinka paljon rakennettujen kiinteistöjen sähkölaitteet käyttävät energiaa. Hyvä tapa olisi tekemällä luvusta keskimääräinen netto/bruttoneliökohtainen arvo, jota voitaisiin hyödyntää rakennuksen sähkönkulutuksen tarkastelussa todellisuudessa.

Liian iso lämmitysenergian kulutus voi johtua myös kiinteistöjen asukkaiden puutteellisesta tiedosta hyvistä ohjelämpötiloista asunnoissa. Jokaisen uuden kohteen alussa on hyvä toimittaa asukkaille taulukon 7 mukainen printti liitettynä muihin kirjeisiin, jossa kerrotaan jokaisen huoneen ohjeellinen lämpötila-arvo talvelle. Tämä printti kantautuu myös ennen pitkään taloyhtiön hallituksen kokouksiin. Taloyhtiön hallituksessa voidaan päättää ohjeelliset arvot, joita noudatetaan rakennuksen yleisissä tiloissa, mikä puolestaan säästää energiaa. Asukkaille järjestetään tulevaisuudessa seurantamahdollisuus omiin kulutuksiin henkilökohtaisen paneelin kautta. Tämä paneeli on hyödyllinen mahdollisten ylimääräisten ongelmien



seuraamiseen. Asukkaille on hyvä ohjeistaa, että he tarkkailevat mahdollisia piikkejä paneelissa ja ilmottavat heti asiasta vastaavalle taholle, jotta mahdolliset viat voidaan ratkaista.

Asuinkerrostaloissa on hyvä sopia kulutuksen seurannasta jonkun tahon kanssa, joka osaa huomata talossa tapahtumat poikkeamat. Vaikka kulutuspaneelit olisivat olemassa, on seuranta hyvä käyttää aktiivisesti myös tähän tarkoitukseen. Vedenkulutuksessa huomattuja poikkeamia on hyvä lähteä miettimään, jos kulutus on liian suuri. Asuinkohteissa sekä asuinkerrostaloissa liian suuri paine vesiverkostossa aiheuttaa ylimääräisiä kuluja kiinteistölle. Esimerkiksi suihkuhanasta tuleva normivirtaama on 0,2 dm<sup>3</sup>/s. Tämä voidaan yksinkertaisesti tarkastaa isolla sangolla, johon lasketaan esimerkiksi 30 sekuntia vettä, jolloin sankossa pitäisi olla 6 litraa vettä. Jos laskennallisesti paineen mittaaminen onnistuu, voidaan tällä tavoin nopeammin laskea kaikkien asuntojen vesipisteitten virtaamat. Kalusteesta saatavaa virtaamaa voidaan tarkastella D1:stä saadulla kaavalla 3.

$$q_v = \sqrt{\frac{\Delta P_n}{\Delta P_{nn}}} \times q_n \quad (3)$$

$q_v$  on kalusteesta saatava virtaama l/s

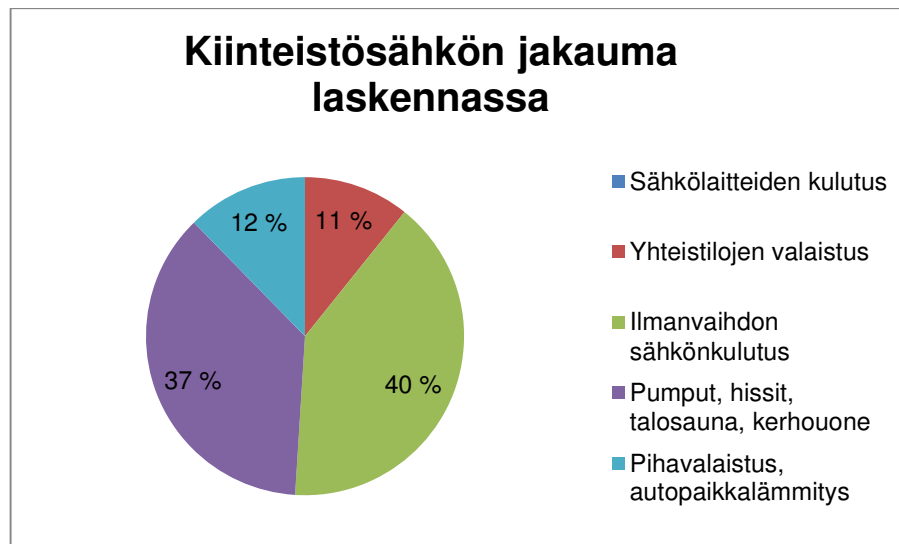
$\Delta P_n$  on kalusteelle käytettävissä oleva paine-ero sen korkeudella ilman kytkentäjohtoa, Pa

$\Delta P_{nn}$  on kalusteen sekä kytkentäjohtoon yhteen laskettu painehäviö, Pa

$q_n$  on kalusteen normivirtaama, dm<sup>3</sup>/s.

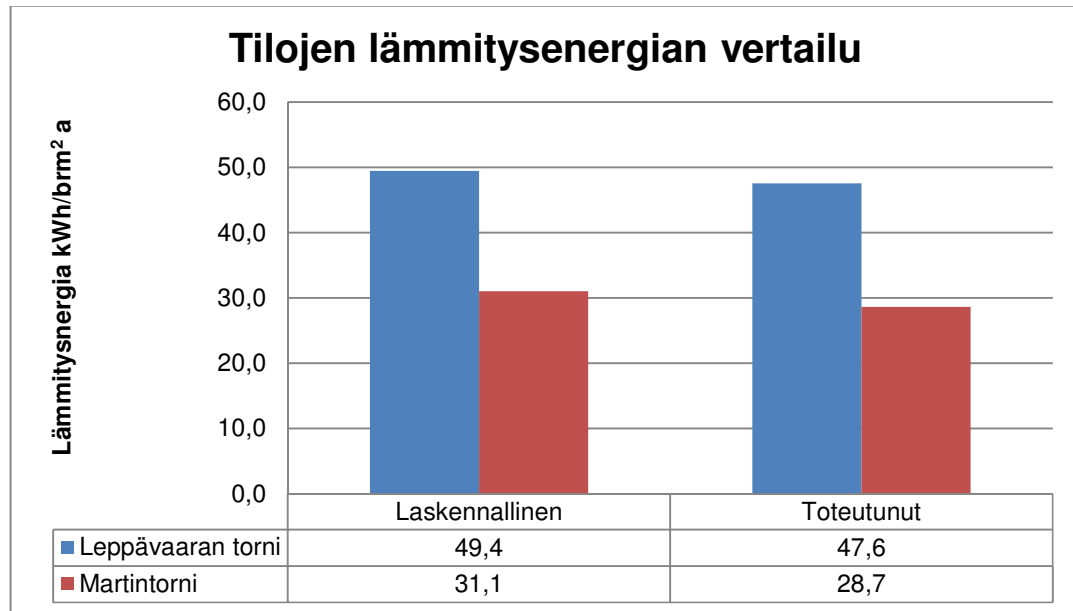
Laskennallisen arvon pitäisi olla D1:n määräyksen mukaan 70..150 % normivirtaamasta. Jos virtaama on edes lähellä 150 %:a talon vaikeammassa kohdassa, on suositeltavaa käyttää paineenalennusventtiiliä. Vakiopaineventtiili alentaa painetta vesiverkostossa haluttuun paineeseen, jotta saadaan jokaiselle kalusteelle lähes normivirtaaman mukainen virtaama. Tämä on hyvä ratkaisu asunnon liian suurelle vedenkulutukselle.

Jos kiinteistösähkön kulutukset ovat huomattavasti suurempia kuin laskennallinen kulutus, voidaan vikaa etsiä esimerkiksi laskennallisen kulutuksen avulla. Jos tarkkaa tietoa kulutuksesta on saatavilla järjestelmistä, voidaan todellista kulutusta verrata laskennalliseen kulutukseen ja miettiä, mistä järjestelmästä on kyse ja korjata mahdolliset viat (kuva 20).



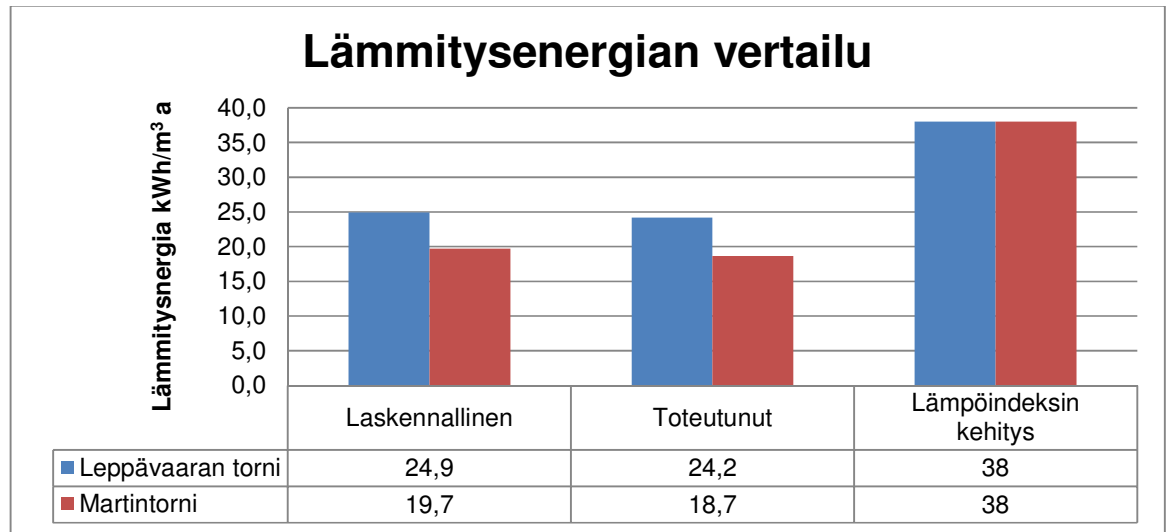
Kuva 20. Kiinteistösähkön jakauma Martintornissa.

Jakauman avulla (kuva 20) voidaan miettiä, mikä järjestelmästä on todennäköisimmin vian aiheuttaja. Koska kysymyksessä on suuri keskinäinen ero, mitä todennäköisimmin erot johtuvat ilmanvaihdon puhaltimista tai toiseksi suurimman osuuden ottavasta yleisten tilojen sähköisistä järjestelmistä tai kaukolämpöpaketin alimitoituksesta. Tässä täytyy olettaa, että laskennallinen kiinteistösähkön kulutus on laskettu lähestulkoon oikein ja laskijan lähtötiedot ovat olleet luotettavat.



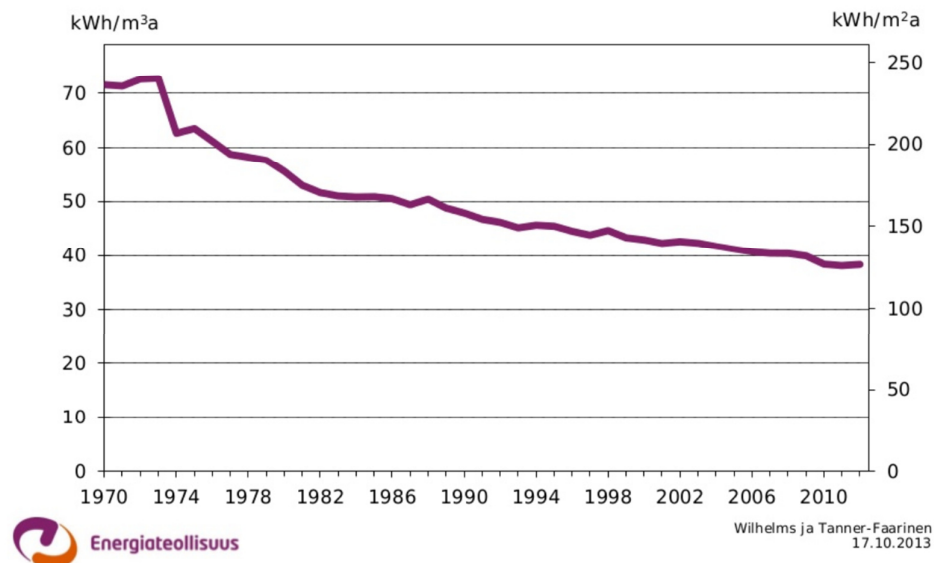
Kuva 21. Kohteitten vertailu bruttoneliöiden perusteella.

Leppävaaran torni on valmistunut vuonna 2010 ja Martintorni puolestaan vuonna 2012. Näiden kahden kohteen valmistumisvuodessa ei ole juurikaan eroa, mutta rakennuksen energiankulutuksessa, sekä laskennassa että toteutuneessa, on suuri ero (kuva 21). Leppävaaran tornissa käytetyt U-arvot seinissä ovat huomattavasti huonommat kuin Martintornissa, mikä viittaa suurempaan tilojen lämmitysenergian tarpeeseen.



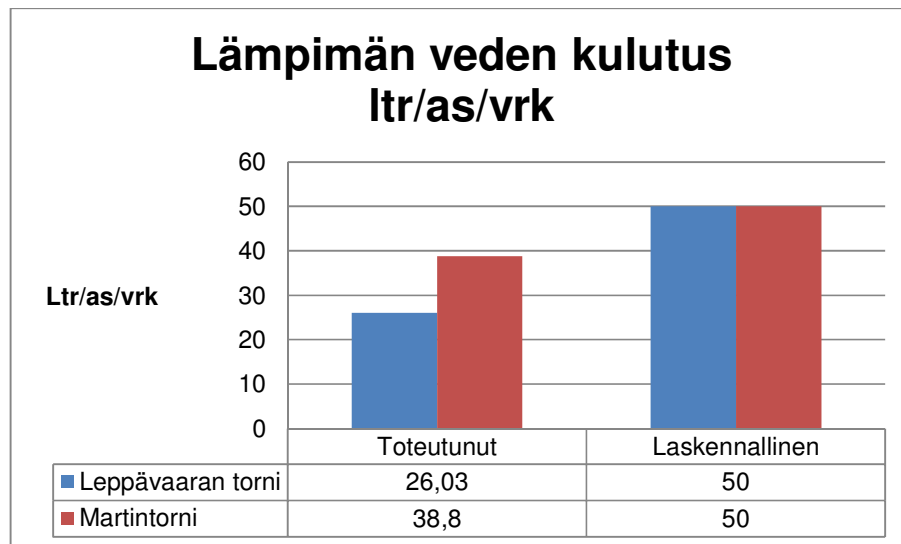
Kuva 22. Kohteitten vertailu ilmatilavuuden perusteella ja lämpöindeksin kehitys vuodelle 2012.

Kehittyvät rakennusten energiatehokkuusmääritykset auttavat selvästi rakentajia ohjaamaan rakennuksistaan vähemmän kuluttavia. Vaikka rakennukset ovat suuria, ovat molemmat rakennukset erittäin energiatehokkaita ratkaisuja. Kulutuksessa selvästi eroa syntyy seinien sekä ikkunoiden ja ovien U-arvojen paranemisesta Martintornissa (kuva 22).



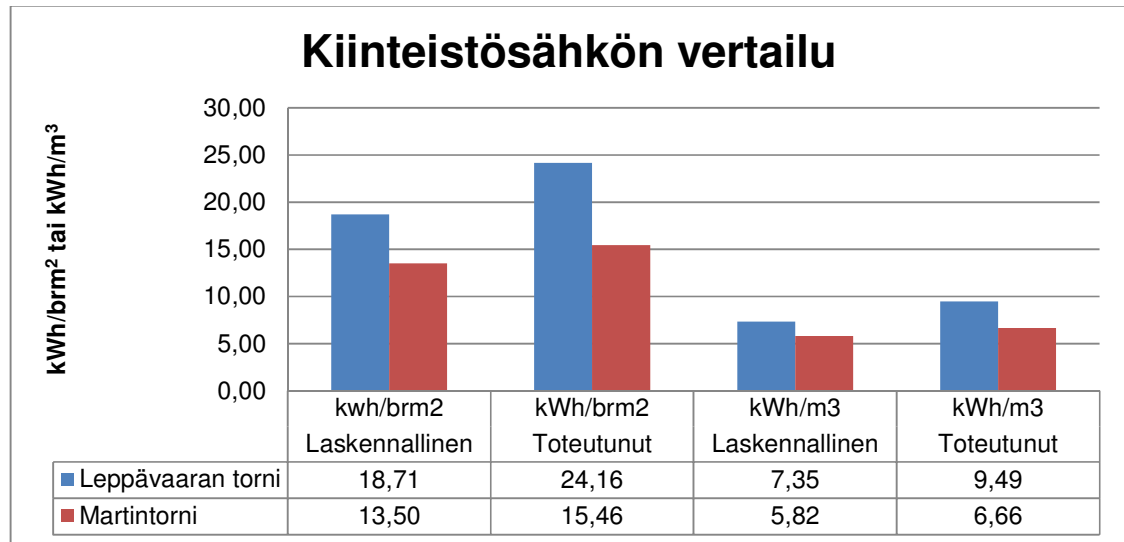
Kuva 23. Lämpöindeksin kehitys kaukolämmitetyissä taloissa. Energiateollisuus [17].

Kuva 23 kertoo selvästi, että molemmat kohteet ovat kehitykseltään pitkällä verrattuna energiateollisuuden kaukolämmitettyjen talojen kehitykseen. Vuonna 2012 sekä 2010 kaukolämmitettyjen rakennusten lämpöindeksi oli noin 38 kWh/m<sup>3</sup> a. Molemmat kohteet tästä ovat huomattavasti, sekä laskennallisesti että toteutuneesti, alle lämpöindeksikehitysluvun.



Kuva 24. Lämpimän veden kulutuksen vertailu asukaskohtaisesti.

Aiemmin mainittu valtakunnallinen keskiarvo lämpimän veden kulutukselle on 62 ltr/as/vrk, ja molemmissa torneissa kulutus on huomattavasti alle tämän luvun (kuva 24). Tämänkaltaiset luvut ovat tärkeitä tulevaisuuteen mentäessä puhtaan veden hupenemisen vuoksi, ja on hyvä huomata Skanskan asiaan kiinnittämä huomiot.



Kuva 25. Kiinteistösähkön keskenäinen vertailu.

Toteutunut kiinteistösähkön kulutus on suurempaa kuin laskennallinen, mikä todennäköisimmin johtuu kiinteistöissä olevista sähköisistä mukavuuslattialämmityksistä.

#### 4 Asuinrakennusten energiatehokkuusluokka ja sen parantaminen

Rakennusten energiatehokkuus on nyt kaikkialla Euroopassa suurennuslasin alla. Tulevaisuudessa rakennukset eivät saa kuluttaa energiaa, tai jopa tuottaa energiaa älykkäisiin verkkojärjestelmiin, jotta energiaa saadaan hyödynnettyä mahdollisimman paljon mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Tarkoituksena on laskea Leppävaaran tornin ja Martintornin E-luku D3-standardeilla sekä niitten todellisilla tiedoilla ja vertailla monia eri muuttujia, jotka vaikuttavat rakennuksen E-lukuun ja parantaa niitä. Laskennassa ei mietitä kustannuksia, jotka muodostuvat energiatehokkuusparannuksista, mutta nämä otetaan huomioon Henrik Kemppaisen ja Emil Laineen tekemässä insinööriyössä [18].

*”Energiatodistusasetuksen (176/2013) mukaisten energiatehokkuusluokkien edellytykset suunnitteluratkaisuille uusissa toimistorakennuksissa” [18].*

Kemppaisen ja Laineen insinööriyössä tutkittiin eri kustannusvaikutuksia. Työssä selvitettiin, mitkä energiatehokkuusratkaisut tuottavat eniten energiasäästöjä kustannusvaikutuksiin ja niitä pisteytettiin antamalla pisteitä väliltä -3...3, -3 tarkoittaa pienempiä investointeja ja suuria energiansäästöjä ja 3 tarkoittaa enemmän kustannuksia ja pieniä energiasäästöjä. Näitä mahdollisesti eniten hyötyä antavat pienellä kustannuksella tutkittuja arvoja käytetään simuloinnissa muiden ratkaisujen ohella. Kuvassa 26 olevat arvot on laskettu ja arvioitu toimistorakennuksille Kemppaisen ja Laineen toimesta, mutta hyödyllisiä arvoja sieltä saadaan myös asuinrakennuksiin. Asuinrakennuksissa harvoin on jäähdytystä, joten näihin vaikuttavia asioita ei oteta laskennassa mukaan.

Tapaus	Vaikutus investointikustannuksiin	Vaikutus käyttökustannuksiin	Summa
10. Ikkuna-alan pienennys n. 20 %	-1	-2	-3
25. Valaistustason pudotus, 9 W/m <sup>2</sup>	-1	-1	-2
3. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmapuotoluku q <sub>50</sub> = 3	0	-1	-1
4. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmapuotoluku q <sub>50</sub> = 2	0	-1	-1
12. Yötuuletus	0	-1	-1
13. Yöjäähdytys	0	-1	-1
16. Toimistokone LTO: hygroskooppinen pyörivä lämmönsiirrin	0	-1	-1
26. Kaukojäähdytys	0	-1	-1
14. Ilmanvaihdon vapaajäähdytys	0	-0,5	-0,5
6. Paremmat ikkunat	1,5	-2	-0,5
11. Passiivitalon rakenteet sekä ilmatiiveys	1	-1,2	-0,2
1. D3:n ja D5:n mukainen vertailuratkaisu	0	0	0
2. Rakennuksen suuntaus	0	0	0
5. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmapuotoluku q <sub>50</sub> = 1	1	-1	0
7. Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella	1	-1	0
17. IV-koneiden SFP-luku 1,7 kW/m <sup>3</sup> /s	1	-1	0
8. Paremmat ikkunat aurinkosuojauksella	2	-2	0
18. IV-koneiden SFP-luku 1,5 kW/m <sup>3</sup> /s	2	-2	0
9. Tavanomaiset ikkunat rakenteellisella aurinkosuojauksella	3	-3	0
19. Uusiutuvat omavaraisenergiat, maalämpö ja maajäähdytys	3	-3	0
27. Tarpeenmukainen ilmanvaihto	3	-3	0
29. Tavanomaiset ikkunat ulkopuolisilla säleillä, itä/länsi/etelä	3	-3	0
28. WC-tilojen IV-koneessa ei LTO:ta	-1	1	0
23. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 50 % LKV:stä	2	-1	1
15. Toimistokone LTO: levylämmönsiirrin	0	1	1
30. Pellettikattila lämpöenergiatuotannossa	1	0	1
20. Uusiutuvat omavaraisenergiat, ilma-vesilämpöpumppu	2	-1	1
22. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (300 m <sup>2</sup> kennoja)	3	-2	1
21. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (100 m <sup>2</sup> kennoja)	2	-1	1
24. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 90 % LKV:stä	3	-1	2

Kuva 26. Eri ratkaisusta saadut kustannusvaikutukset ja niiden arvojen summa Kempaisen ja Laineen mukaan [18].

E-luvun laskenta tehdään verkkosivustossa olevalla ohjelmalla laskentapalvelut.fi, joka on toteutettu yhteistyössä yrityksiensä D.O.F Tech ja Isover kanssa. Alustavat lähtötiedot on otettu D.O.F Tech energia -ohjelmasta, joka on aikaisemman energiatodistuslain ja asetuksen tapa laskea rakennuksen energiatehokkuusluku. Lähtötiedot arvioidaan niiltä osin, jotka eivät ole tiedossa, esimerkiksi rakennuksen kylmäsiilat.

Vaipan pinta-ala lasketaan rakennuksen korkeuden avulla ja siitä vähennetään yläpohja, alapohja sekä välipohjien viemät tilat. Jokaisen pohjan korkeudeksi arvioidaan 300 mm. Olemassa oleva n<sub>50</sub>-luku lasketaan D5:n kaavalla, joka muutetaan rakennuksen q<sub>50</sub>-luvuksi.

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (3)$$

q<sub>50</sub> on vaipan ilmapuotoluku 50 pa:n erolla, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,h



$n_{50}$  on vaipan ilmapuotoluku 50 pa:n erolla, 1/h

$A_{vaippa}$  on vaipan pinta-ala,  $m^2$

$V$  on rakennuksen ilmatilavuus,  $m^3$ .

#### 4.1 Lähtötiedot laskentaa varten

Laskennan lähtötiedot ovat valmiina D.O.F tech energia -ohjelmassa. Laskennan referenssitapauksena käytetään todellista tilannetta, koska tarkoitus on miettiä energiatehokkuusparannuksia kyseisiin rakennuksiin tulevaisuudessa tai jopa samankaltaisiin rakennuksiin uudisrakentamisessa.

Taulukossa 8–9 on esitetty lähtötiedot eri laskentatapauksissa ja taulukossa 10 on esitetty kaikkien laskentojen kuvaukset.

Taulukko 8. Lähtötiedot, Leppävaaran torni

Laskentatapaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>U-arvot</b>									
<b>(W/m<sup>2</sup>K)</b>									
US1	0,24	0,17	0,24	0,24	0,24	0,24	0,17	0,17	0,11
US2	0,28	0,17	0,28	0,28	0,28	0,28	0,17	0,17	0,11
US3	0,25	0,17	0,25	0,25	0,25	0,25	0,17	0,17	0,11
YP	0,16	0,09	0,16	0,16	0,16	0,16	0,09	0,09	0,08
AP	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,14
ikk, itä	1,43	1,00	1,43	0,66	1,43	1,43	0,66	0,66	0,66
ikk, poh.	1,49	1,00	1,49	0,66	1,49	1,49	0,66	0,66	0,66
ikk, etelä	1,41	1,00	1,41	0,66	1,41	1,41	0,66	0,66	0,66
ikk, länsi	1,40	1,00	1,40	0,66	1,40	1,40	0,66	0,66	0,66
G-arvo	0,54	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55
ulko-ovet	1,57	1	1,57	1,57	1,57	1,57	1,00	1,00	0,4
<b>Ikkuna m<sup>2</sup></b>									
pohjoinen	232	232	232	185,6	232	232	232	185,6	185,6
itä	586	586	586	446,8	586	586	586	446,8	446,8



AP <sub>2</sub>	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,14
AP <sub>3</sub>	0,24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,14
ikk, itä	1,00	1,00	1,00	0,66	1,00	1,00	0,66	0,66	0,66	0,66
ikk, poh.	1,00	1,00	1,00	0,66	1,00	1,00	0,66	0,66	0,66	0,66
ikk, etelä	1,00	1,00	1,00	0,66	1,00	1,00	0,66	0,66	0,66	0,66
ikk, länsi	1,00	1,00	1,00	0,66	1,00	1,00	0,66	0,66	0,66	0,66
G-arvo	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
ulko-ovet	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,4
<b>Ikkuna m<sup>2</sup></b>										
pohjoinen	273	273	273	273	273	273	273	273	273	273
itä	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
etelä	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340
länsi	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
LTO % <sup>1)</sup>	47	47	47	47	47	47	47	47	47	80
IV SFP <sup>2)</sup>	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	1,5
KVKH <sup>3)</sup>	1025	10252	15448	10252	10252	10252	15448	15448	15448	15448
	25	5		5	5	5				
Erillinen valaistusteho	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	7 W/m <sup>2</sup>
<b>Konduktanssit</b>										
<b>ψ</b>										
US-US (ulko)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01
US-US (sisä)	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,01
US-YP	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01
US-AP	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01
US-IKK	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01
US-OVET	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01
q <sub>50</sub>	4	4	4	4	2	4	2	2	2	1
<b>Oma</b>										
sähköntuotanto (Kwh/a)	ei	ei	ei	ei	ei	14000	ei	14000	14000	28000
q <sub>iv</sub> l/s	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040

Taulukossa 10 on esitetty eri laskentatapauksien kuvaukset ja laskennan eteneminen, sekä miten energiatehokkuutta on paranneltu aikaisempaan verrattuna.

Taulukko 10. Laskentatapauksien kuvaus

Laskentatapaus	Kuvaus
Laskentatapaus 1	- Todellinen tapaus, lähtötiedot otettu D.O.F tech energia -ohjelmasta, jotka on laskettu aikaisemmin Skanskalla.
Laskentatapaus 2	- U-arvojen muuttaminen nykymääräyksiin
Laskentatapaus 3	- Kiertojohtoon eristyksen parantaminen
Laskentatapaus 4	- Ikkunoiden pinta-alan pienentäminen 20 %
Laskentatapaus 5	- q50-ilmavuotoluvun parantaminen
Laskentatapaus 6	- Aurinkopaneelien lisääminen
Laskentatapaus 7	- Yhteisvaikutuskokeilu - VTT:n passiivitoratkaisuja
Laskentatapaus 8	- Yhteisvaikutus kokeilu - 100 m <sup>2</sup> aurinkopaneelita - Ikkunan pinta-alan pienentäminen 20 %
Laskentatapaus 9	- Yhteisvaikutus - VTT:n passiivitoratkaisuja (U-arvot) - Erillinen valaistusteholaskenta - Aurinkopaneelita 200 m <sup>2</sup> - Lineaariset konduktanssit - Ilmavuotoluvun parannus - LTO:n vuosihyötysuhteen parantaminen - Tarpeenmukainen ilmanvaihto - SFP-luvun parantaminen nykymääräyksiin - Sähköisen lattialämmityksen poistaminen - Ikkuna-alan pienentäminen 20 % vain kohteessa Leppävaaran torni

Laskentatapaus 1 on laskennan referenssitapaus. Tapauksessa olleita arvoja muutellaan sen mukaan, mistä katsotaan olevan hyötyä rakennuksen E-luvulle. Referenssitapaus on arvioitu todellinen tapaus, joka on lähellä nykyisen rakennuksen

E-lukua. Arvioituja osia ovat ne, joita ei ollut tiedossa laskennassa. Kaikki lähtötiedot on esitetty taulukossa 8.

Arvioidut arvot laskennassa:

- Kylmäsilat
- Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteet, arvioitu 5 kWh/m<sup>2</sup>a
- Vaipan pinta-ala, m<sup>2</sup>, arvioitu 5 472 m<sup>2</sup>, Leppävaaran torni
- Vaipan pinta-ala, m<sup>2</sup>, arvioitu 3 570 m<sup>2</sup>, Martintorni.

Laskentatapauksessa 3 huomioitiin kiertojohtojen eristys paremmaksi, jolloin kiertojohtojen häviöt laskivat suuresti aikaisempaan verrattuna.

Laskentatapauksessa 4 otettiin huomioon Kemppaisen ja Laineen insinööriyöstä saadut isoimmat säästöt energiakustannuksista ja investointikustannuksista. Tapauksessa pienennettiin ikkunoiden pinta-alaa 20 %.

Laskentatapaus 5 on myös yksi kuvan 26 mukaan halvoista energiasäästötoimenpiteistä. Nykyinen q<sub>50</sub>-luku Leppävaaran tornissa karkeasti laskettuna on 10,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,h. Se lasketaan arvoon 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,h.

Laskentatapauksessa 6, 8 on asennettu rakennuksen katolle 100 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita. Aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa keskimäärin noin 140 kWh/m<sup>2</sup>a. Laskentatapaukseen 9 on lisätty vielä 100 m<sup>2</sup> lisää.

Tapaus 9 kattaa asuinkerrostalossa ratkaisut, jotka vievät mahdollisimman lähelle A-luokkaa. Ratkaisuun tuodaan aurinkopaneelipinta-alaltaan paljon omavaraistuotantoa ja tuodaan passiivitalon ratkaisut. Kuvissa 27 ja 28 on esitelty VTT:n ratkaisuja passiivitalon menetelmiin.

Ratkaisut	
<b>1. Hyvä lämmöneristys</b>	
Ulkoseinä	$U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Yläpohja	$U < 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$
Maanvarainen lattia	$0,1 < U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ !!Routasuojaus!!
Tuuletettu lattia	$U < 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ikkuna	$U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ulkaseivi	$U < 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
Kylmäsiilat	Lineaarinen konduktanssi $\lambda < 0,01 \text{ W/mK}$
Ilmanpitävyys	$n_{50} < 0,6 \text{ 1/h}$
Muotokerroin, vaipan pinta-ala/tilavuus	

Kuva 27. VTT:n ratkaisuja passiivitaloon [19].

Kuvan 27 annetut VTT:n arvot ovat maksimiohjearvoja passiivitalon ratkaisuihin, jotka otetaan huomioon suunnittelussa.

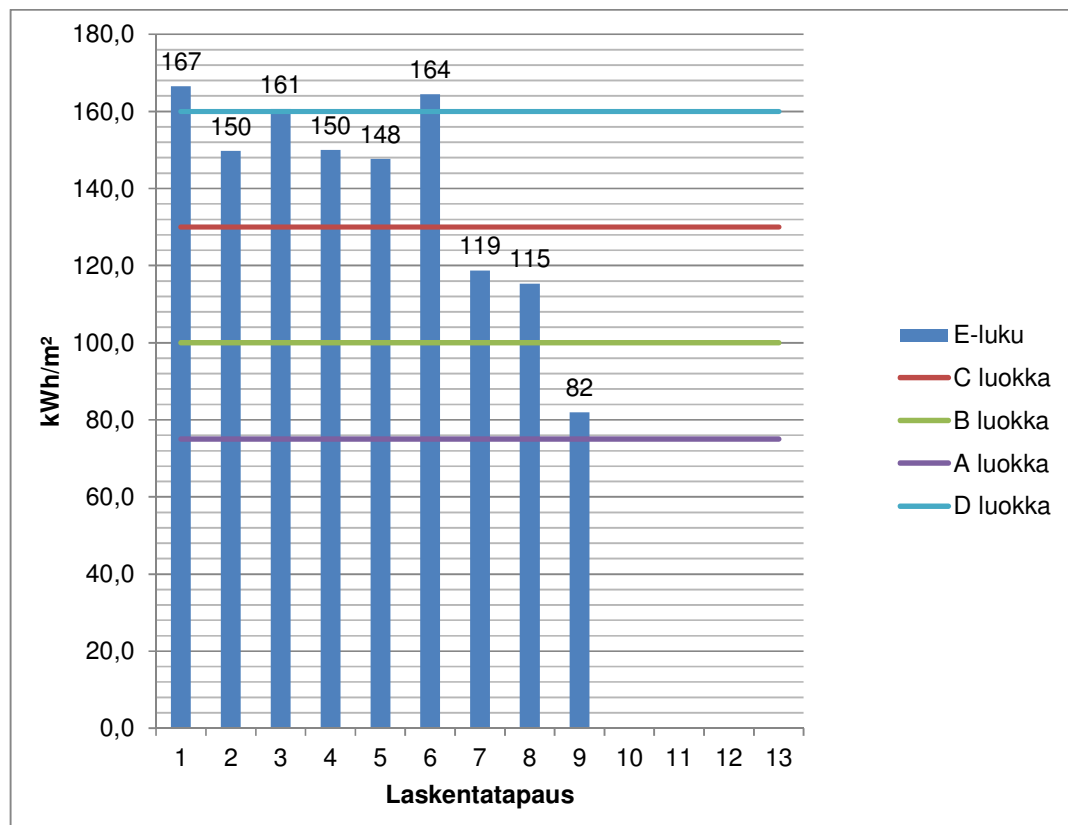
Ratkaisut ja menetelmät	
<b>2. Lämmön talteenotto ja sisäilman laatu</b>	
Ilmanvaihdon lämmön talteenotto	Vuosihyötysuhde $\eta_a > 70\%$
Tuloilman esilämmitys maan lämmöllä	Lämpökaivo tai maaputkisto
Lämpimän veden lämmön talteenotto	
Sisäilman laatu hyvällä ilmanvaihdolla	Tilakohtainen mitoitus, keskimäärin 0,5 1/h
<b>3. Tehokas lämmitys</b>	
Eristetyt lämminvesiputket	
Pieni lämmöntarve	$< 20 \text{ W/m}^2$ a mitoituslämpötilaerolla
Kevennetty lämmitysjärjestelmä	Esimerkiksi ilmanvaihtolämmitys
<b>4. Ilmaisenergioiden hyödyntäminen</b>	
Ikkunoiden lasiratkaisut	Auringon energian läpäisy
Talon suuntaus aurinkoon	Ikkunoiden sijoittaminen etelän puolelle
Aurinkokeräimet	
Rakennuksen massa	
Varjostus	

Kuva 28. VTT:n ratkaisuja passiivitaloon [19].

Kuvat 27 ja 28 koostuvat eri väreillä merkatuista menetelmistä passiivitalon suunnitteluarvoihin, joista valkoinen tarkoittaa muuta ratkaisua tai menetelmää, tumman harmaa tarkoittaa perusratkaisua tai menetelmää ja vaaleampi harmaa tarkoittaa usein käytettyä ratkaisua tai menetelmää.

#### 4.2 Laskennan tulokset

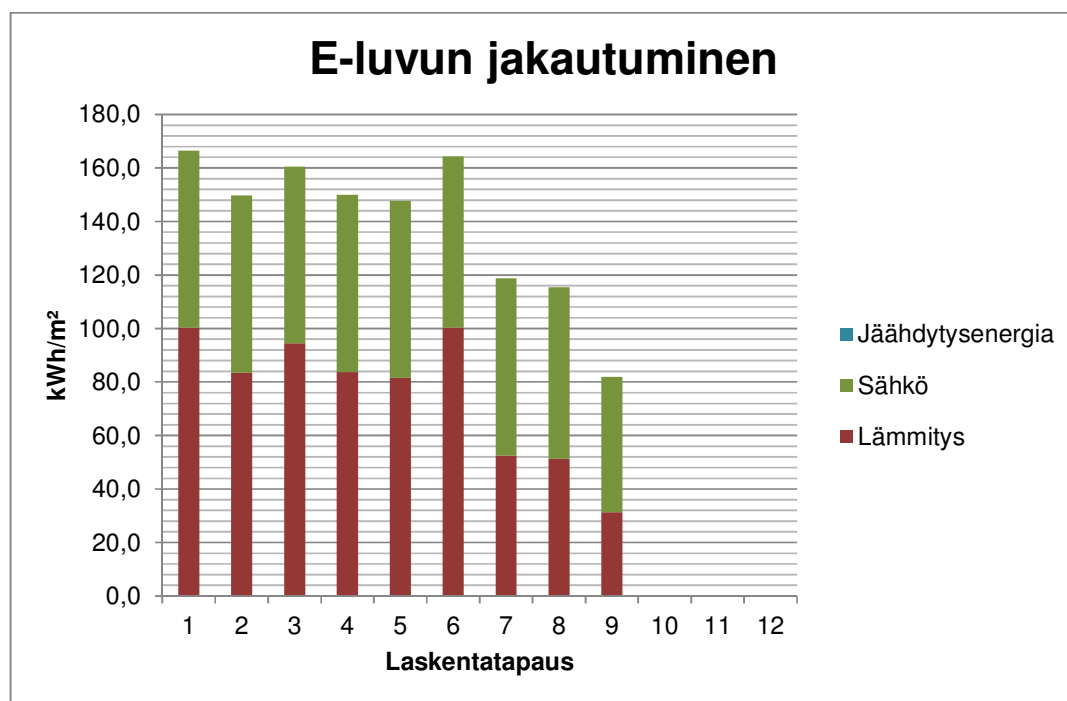
Energialaskelman tulokset esitetään kuvassa 29 yhdessä, jolloin ne ovat vertailtavissa parhaiten.



Kuva 29. Laskentatapauksien tulokset raja-arvoviivoineen Leppävaaran tornissa.

Suurimmat säästöt ovat selvästi rakenteissa, koska laskentatapaukset 2, 4, 5 ja 7 ovat niitä yksittäisiä ratkaisuja, jotka vaikuttavat rakennusten lämmönluovutukseen (kuva 29). Laskentatapauksessa 7 kaikkia edellisiä arvoja kokeiltiin yhdessä, mikä johti heti määräystenmukaisuuteen. Aurinkosähköpaneelien asentaminen rakennuksen katolle on erittäin kallista ja vaikuttaa vähän rakennuksen E-lukuun.

Laskentatapaus 9:ssä on jo passiivitalon U-arvot ( $W/m^2K$ ). Aurinkosähköä on tuotu  $100\text{ m}^2$  enemmän kuin laskentatapauksessa 6. Kaukolämmöllä ei tämän lisäyksen jälkeenkään päästä energiatodistusluokkaan A, vaikka aurinkosähköpaneeleita on  $200\text{ m}^2$  ja kaikkien sähköjärjestelmien ominaiskulutukset on pudotettu huomattavasti parempiin.  $200\text{ m}^2$  aurinkosähköpaneeleita vie noin  $15 \times 15\text{ m}$ . Jotta A-luokkaan päästään, on kiinteistön sähköjärjestelmiä korvattava todella hyvän hyötysuhteen omaavilla laitteilla tai jopa toisenlaisilla ratkaisuilla (kuva 29). Vaihtoehtoisesti A-luokkaan päästään, jos rakennuksen käyttöveden tarve tuotetaan omavaraisesti ja rakenteet muuten ovat hyvät. Passiiviratkaisut ovat jo mahdollisia rakennuksiin, mutta ovat erittäin kalliita.

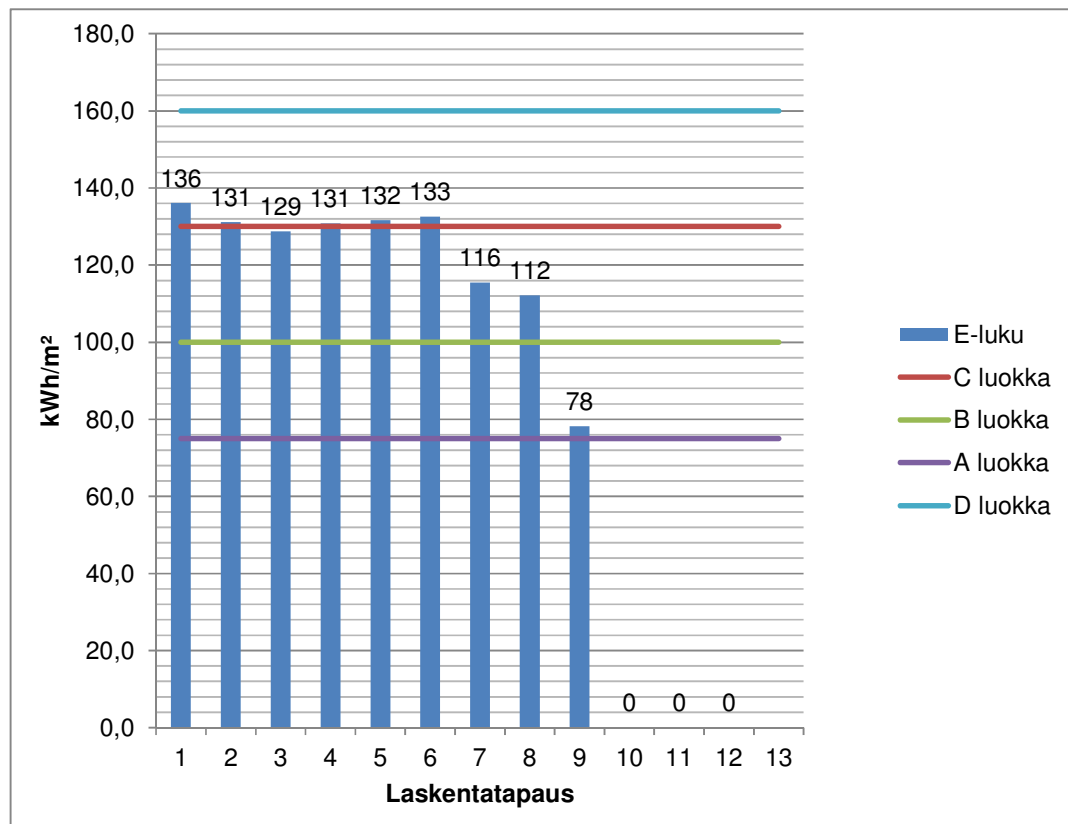


Kuva 30. E-luvun jakautuminen eri laskentatapauksissa Leppävaaran tornissa.



Nykyajan rakennustekniikalla voidaan tuoda lämmitysenergian tarve erittäin alas, mutta ongelmaksi koostuu sähköenergian tarve kiinteistölaiteille. Sähkön energiamuotokerroin on 1,7, joka voi aiheuttaa aina suuren E-luvun, jos sähkön nettotarve on suuri kiinteistössä (kuva 30). Sähköinen lattialämmitys poistettiin kokonaan laskentatapauksessa 9.

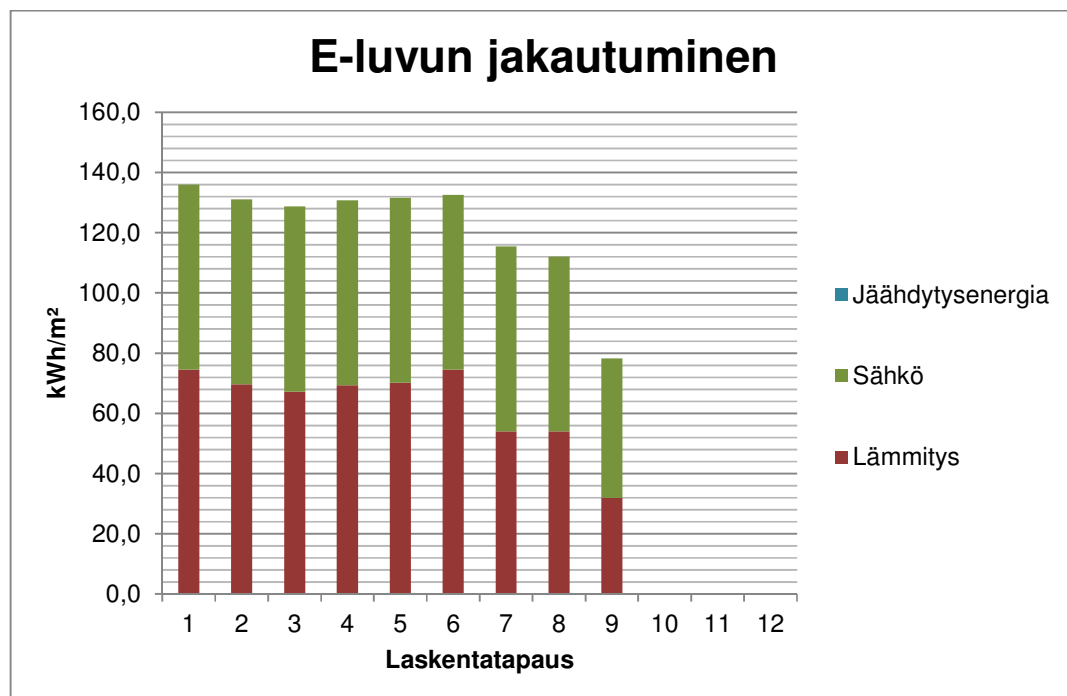
Tuloksia vertaillaan samalla tavalla kuin aikaisemmin. Mahdollisuuksien mukaan kohteita voi vertailla keskenään vielä, miten rakennuksen koko vaikuttaa E-lukuun.



Kuva 31. Laskentatapauksien tulokset energiatehokkuusluokkien raja-arvoineen Martintornissa.

Suurimmat suhteelliset säästöt tulevat tässä kohteessa kiertovesijohtojen laitteistojen poistamisesta (kuva 31). Kiertovesijohtoon kytketyt kuivauspatterit kuluttavat erittäin paljon energiaa, ja kuivatus asuinkerrostaloissa olisi suositeltava järjestää jollain

toisella tavalla. Martintornissa on jo ikkunoissa ja ovissa hyvät U-arvot, joten säästöä ei synny kovinkaan paljon nykymääräyksiin päivittämällä. Huomattavat lämpötilan suurimmat säästöt tulevat vasta kun rakennuksen U-arvot ovat passiivitalon luokkaa. Tässä kohteessa ei A-luokkaan päästy, vaikka kerrostalon katolle on laitettu 200 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita. A-luokkaan päästäisiin nyt suunnittelemalla käyttöveden lämmitys kokonaan omavaraistuotannolla ja parantamalla rakennusten U-arvoja lähemmäksi passiivitaloja.



Kuva 32. E-luvun jakautuminen eri laskentatapauksissa Martintornissa.

Martintornissa todellisuudessa suurimmat pylväät syntyvät talojen lämmitysenergiasta (kuva 32). Sähkön kulutuksen E-luvun pienentäminen on hankalaa, ja sitä voidaan tehdä päivittämällä laitteita uusiin energiatehokkaampiin tai tuottamalla suuret määrät sähköä aurinkopaneeleilla.

### 4.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Suurimmat pudotukset E-lukuun pienimmillä kustannuksilla saadaan parantamalla rakenteita. Rakenteista johtuvat energiamäärät ovat suuret, ja sitä määrää pienentämällä saadaan suuret säästöt riippumatta siitä, millä tavalla rakennuksen lämmitys on hoidettu.

Uusiutuvan omavaraistuotannon hyödyntäminen on vielä asuinkerroistoissa vaikeaa ja kallista. Aurinkosähköpaneelien asentaminen katolle on kallista ja vaikuttaa E-lukuun huomattavan vähän. Tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä voidaan aurinkosähköpaneelilla varmasti hyödyntää auringonsäteilyä enemmän, mutta nykyisillä menetelmillä se on kallista. A-luokkaan pääseminen on mahdollista asuinkerrostoissa jo nyt, jos asuinkerrostalon käyttöveden lämmitysenergia toteutetaan omavaraistuotannolla. Siitä miten isot investoinnit se vaatisi, täytyisi ratkaisut selvittää uusien tutkielmien- ja kannattavuus laskelmien avulla. Parhaat hyödyt sähkönkulutuksessa saadaan toteuttamalla kaikki kiinteistön sähköä kuluttavat laitteet erittäin energiatehokkaina ja investoimalla uusiin ratkaisuihin, joiden avulla saadaan vähennettyä rakennuksen vaikutusta ympäristöön.

Ratkaisuja ja menetelmiä kannattaa miettiä jo nyt tulevaisuuden korjauksia varten. Kuvassa 26 on esitetty ratkaisuja, jotka parantavat energiatehokkuutta parhaimmalla hyödyllä ja mahdollisimman pienillä investoinneilla. Nämä ratkaisut kannattaa ottaa huomioon korjausrakentamisessa tai uudisrakentamisen suunnittelussa. Uusia ratkaisuja täytyy koko aika päivittää laskentaohjelmiin, jotta niistä saatava hyötyä voidaan tarkastella ja tehdä raportteja, mikä saa päättäjät liikkeelle ja kiinnostuneeksi energiatehokkaasta rakentamisesta.

## Lähteet

- 1 Martinkauppi, K. (toim.). 2010. ERA17 Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Helsinki. Ympäristöministeriö. Sitra ja Tekes.
- 2 Asumisen energiankulutus. 2013. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <http://www.tilastokeskus.fi/til/asen/index.html>. Luettu 22.7.2013.
- 3 Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 4 Rakennetun omaisuuden tila 18.4. 2013. Raportti. Verkkodokumentti. ROTI 2013 <http://roti.fi/fin/roti/materiaalipankki/>. Luettu 24.7.2013.
- 5 Rakennukset 2013. Raportti. Verkkodokumentti. ROTI 2013. <http://roti.fi/fin/rakennukset>. Luettu 24.7.2013.
- 6 Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuus luvun määrittäminen. Verkkodokumentti. Ympäristöhallinto. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Rakennuksen\\_energiatodistus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus). Luettu 24.7.2013.
- 7 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelmat Osa D5. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 8 Eu:n energiayhteistyö 19.4.2013. Verkkodokumentti. Työ ja elinkerino ministeriö. <https://www.tem.fi/energia>. Luettu 24.7.2013.
- 9 Tilastokeskuksen raportit 2013. Raportti. Verkkodokumentti. Tilastokeskus <http://tilastokeskus.fi>. Luettu 24.7.2013.
- 10 Laki rakennuksen energiatodistuksesta 2013. Verkkodokumentti. Finlex. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>. Luettu 24.7.2013.
- 11 Rakennuskanta 2013. Raportti. Verkkodokumentti. Ympäristöhallinto. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=26760&lan=fi>. Luettu 24.7.2013.
- 12 RIL 259-2012 Matalaenergiarakentaminen toimitilat. Helsinki 2011. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 179 s.
- 13 Rakennusten energiatehokkuus 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki. Ympäristöministeriö.

- 14 Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 15 Taloyhtiön energiakirja – sähköinen versio. 2011. Verkkodokumentti, <http://www.taloyhtio.net/ajassa/energiakirja/>. Luettu 11.11.2013.
- 16 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 28.3.2011. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. [http://www.motiva.fi/files/4147/Muistio\\_rakentamismaaraysten\\_osasta\\_D3.pdf](http://www.motiva.fi/files/4147/Muistio_rakentamismaaraysten_osasta_D3.pdf). Luettu 12.12.2013.
- 17 Energiateollisuuden raportti. 2012. Verkkodokumentti. Energiateollisuus <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2012-kaukolampo>. Luettu 23.12.2013.
- 18 Kempainen Henri & Laine Emil. 2013. Energiatehokkuusasetuksen (176/2013) mukaisten energiatehokkuusluokkien edellytykset suunnitteluratkaisuille uusissa toimistorakennuksissa. Insinööriyö. Espoo. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 19 VTT:n seminaarit – mikä on passiivitalo?. 2012. Verkkodokumentti. VTT. <http://passiivitalo.vtt.fi/files/mika%20on%20passiivitalo.pdf>. Luettu 29.12.2013.
- 20 Ilmatieteenlaitoksen lämmitystarveluvut. 2013. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Luettu 12.12.2013.

### **Laskennan lähtötiedot laskentatapaus 1, Leppävaaran torni**

Leppävaaran tornin laskennassa käytetyt lähtötiedot eli niin sanottu referenssitapaus.

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Pää tiedot				
Rakennuskohde:	Leppävaaran tomi Todellinen			
Osoite 1:				
Osoite 2:				
Todistustunnus:				
Rakennustunnus:				
Rakennusluvan hakemisvuosi:				
Valmistumisvuosi:				
Rakennuksen käyttötarkoitus:				
Pääsuunnittelija:				
Laskelman tekijä:				
Yritys:				
Tilaaaja:				
Päiväys:				
Sijainti/paikkakunta:	Vyöhyke I=1			
Rakennusluokka:	2 Asuinkerrostalot			
Kerroslukumäärä:	15			
Rakennustilavuus (m <sup>3</sup> ):	35730			
Rakennuksen ilmatilavuus (m <sup>3</sup> ):	28086			
Maanpäällinen kerrostasoala (m <sup>2</sup> ):	972			
Lämmitetty nettoala Anetto (m <sup>2</sup> ):	11038			
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m <sup>2</sup> K):	220			
Tarpeenmukainen ilmanvaihto:	4260+0 L/s (esim. hiidioksidiohjaus erillisen laskelman mukaan)			
Laskentamallin tila:	Ei tiedossa			
Rakennuslupa hyväksytty (pvm):	-			
Käyttöönottotarkastus suoritettu (pvm):	-			
Rakennneosat				
rakenneseosa:	Pinta-ala: m <sup>2</sup>	U-arvo: W/m <sup>2</sup> K	g-arvo:	Fverho * Fkehä:
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	4042	0.24		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	339	0.28		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	311	0.25		
Yläpohja ulkoilmaa vasten	980	0.16		
Alapohja (maanvastainen)	972	0.16		
Ikkunat pohjoiseen	232	1.49	0.540	0.75
Ikkunat itään	586	1.43	0.540	0.75
Ikkunat etelään	257	1.41	0.540	0.75
Ikkunat länteen	502	1.40	0.540	0.75
Ulko-ovet	437	1.57		
Alapohjan alapuolinen maa	Savi, salaojitettu hiekka tai sora			
Kylmäsiilat				
Kylmäsiilat:	Pituus: m	Lisäkonduktanssi: W/mK		
US-US (ulkonurkka)	172	0.04		
US-US (sisänurkka)	160	-0.04		
US-YP	125	0.05		
US-VP	2625	0.05		
US-AP	125	0.1		
US-ikkunat	162	0.04		
US-ovet	83	0.04		
Ilmanvaihto				
Vaiipan ilmanvuodot:				

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT												
Ilmanvuotoluku q50:	10.2											
<b>Ilmanvaihto:</b>												
Kuvaus	Koneellinen keskitetty ilmanvaihto LTO laitteistolla											
LTO %:	63											
Ominais sähköteho/SFP-luku (kW/m <sup>2</sup> /s):	2.16											
Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho (W):	1240											
Tuloilman lämpötilan asetusarvo:	17 astetta											
Jäteilman lämpötila mitoitusilanteessa:	5 astetta											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo (L/s):	4260											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo ilman LTO-vaatimusta (L/s):	0											
Tuloilman suhde poistoilmavirtaan:	0.9											
Lämpötilan nousu puhaltimessa:	1 astetta											
IV-laitteessa automaattinen LTO:n poiskytkentä asetuslämpötilan ylityessä:	Kyllä											
LTO:n ja jälkilämmityspatterin kuukausipäälläolo:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	x	x	x	x	x				x	x	x	x
Lämmitysjärjestelmä												
<b>Käyttöveden lämmitys:</b>												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Käyttöveden kiertojohdon häviöt (kWh/vuosi):	165570											
Käyttöveden siirron hyötysuhde:	0.9											
Käyttöveden mitoitusvirtaama (litra/s):	5											
Käyttöveden kiertojohdon ominaisteho (W/m <sup>2</sup> ):	2											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (käyttövesi):	1.0											
<b>Tilojen lämmitys:</b>												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Lämmityksen varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Häviöt lämmittämättömään tilaan (kWh/vuosi):	0											
Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde:	0.97											
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteet (kWh/m <sup>2</sup> ):	5											
Varaavien tulisijojen lukumäärä:	0											
Ilmalämpöpumpujen lukumäärä:	0											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (tilojen lämmitys):	0.85											
Märkätilojen sähköisen lattialämmityksen osuus tilojen lämmityksestä:	0.5											
Laskenta ja tulokset												
Lämmitystapa:	Kaukolämpö											
Jälkilämmityspatteri:	Lämmitysjärjestelmä											
Oma sähköntuotanto (kWh/a):	0											



## Sallitut raja-arvot E-luvun laskennassa

E-lukujen määräystenmukaisuus täytyy osoittaa laskelmin. Liitteessä on esitetty suurimmat sallitut arvot laskelmissa.

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, $A_{\text{netto}}$	kWh/m <sup>2</sup> vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150
Luokka 2	Asuinkerrostalo		130
Luokka 3	Toimistorakennus		170
Luokka 4	Liikerakennus		240
Luokka 5	Majoitusliikerakennus		240
Luokka 6	Opetusrakennus ja päiväkot		170
Luokka 7	Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli		170
Luokka 8	Sairaala		450
Luokka 9	Muut rakennukset ja määräaika-		E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta

## **Laskennan lähtötiedot Laskentatapaus 9, Leppävaaran torni**

Leppävaaran tornin laskentatapauksen 9 tarvittavat lähtötiedot.

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
<b>Päätiedot</b>				
Rakennuskohde:	Leppävaaran torni Todellinen			
Osoite 1:				
Osoite 2:				
Todistustunnus:				
Rakennustunnus:				
Rakennusluvan hakemisvuosi:				
Valmistumisvuosi:				
Rakennuksen käyttötarkoitus:				
Pääsuunnittelija:				
Laskelman tekijä:				
Yritys:				
Tilaaaja:				
Päiväys:				
Sijainti/paikkakunta:	Vyöhyke I=1			
Rakennusluokka:	2 Asuinkerrostalot			
Kerroslukumäärä:	15			
Rakennustilavuus (m <sup>3</sup> ):	35730			
Rakennuksen ilmatilavuus (m <sup>3</sup> ):	28086			
Maanpäällinen kerrostasoala (m <sup>2</sup> ):	972			
Lämmitetty nettoala Anetto (m <sup>2</sup> ):	11038			
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m <sup>2</sup> K):	220			
Tarpeenmukainen ilmanvaihto:	3900+0 L/s (esim. hiidioksidiohjaus erillisen laskelman mukaan)			
Erillinen valaistustehon laskenta:	7 W/m <sup>2</sup> , käyttöaste = 0.1 (Erillisen laskelman mukaan)			
Laskentamallin tila:	Ei tiedossa			
Rakennuslupa hyväksytty (pvm):	-			
Käyttöönottotarkastus suoritettu (pvm):	-			
<b>Rakenneosat</b>				
<b>rakenneosa:</b>	<b>Pinta-ala:</b>	<b>U-arvo:</b>	<b>g-arvo:</b>	<b>Fverho * Fkehä:</b>
	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	4042	0.11		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	339	0.11		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	311	0.11		
Yläpohja ulkoilmaa vasten	980	0.08		
Alapohja (maanvastainen)	972	0.14		
Ikkunat pohjoiseen	185.6	0.66	0.55	0.75
Ikkunat itään	468.8	0.66	0.55	0.75
Ikkunat etelään	224	0.66	0.55	0.75
Ikkunat länteen	437.6	0.66	0.55	0.75
Ulko-ovet	437	0.40		
Alapohjan alapuolinen maa	Savi, salaojitettu hiekka tai sora			
<b>Kylmäsiilat</b>				
<b>Kylmäsiilat:</b>	<b>Pituus:</b>	<b>Lisäkonduktanssi:</b>		
	m	W/mK		
US-US (ulkonurkka)	172	0.01		
US-US (sisänurkka)	160	-0.01		
US-YP	125	0.01		
US-VP	2625	0.01		
US-AP	125	0.01		
US-ikkunat	162	0.01		
US-ovet	83	0.01		
<b>Ilmanvaihto</b>				
<b>Vaipan ilmanvuodot:</b>				

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT												
Ilmanvuotoluku q50:	1											
<b>Ilmanvaihto:</b>												
Kuvaus	Koneellinen keskitetty ilmanvaihto LTO laitteistolla											
LTO %:	80											
Ominais sähköteho/SFP-luku (kW/m <sup>3</sup> /s):	1.5]											
Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho (W):	600											
Tuloilman lämpötilan asetusarvo:	18 astetta											
Jäteilman lämpötila mitoitustilanteessa:	5 astetta											
Poistoilmamäärän suunniteluarvo (L/s):	3900											
Poistoilmamäärän suunniteluarvo ilman LTO-vaatimusta (L/s):	0											
Tuloilman suhde poistoilmavirtaan:	0.9											
Lämpötilan nousu puhaltimessa:	1 astetta											
IV-laitteessa automaattinen LTO:n poiskytkentä asetuslämpötilan ylityessä:	Kyllä											
LTO:n ja jälkilämmityspatterin kuukausipäälläolo:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	x	x	x	x	x				x	x	x	x
Lämmitysjärjestelmä												
<b>Käyttöveden lämmitys:</b>												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Käyttöveden kiertojohdon häviöt (kWh/vuosi):	20789											
Käyttöveden siirron hyötysuhde:	0.97											
Käyttöveden mitoitusvirtaama (litra/s):	5											
Käyttöveden kiertojohdon ominaisteho (W/m <sup>2</sup> ):	2											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (käyttövesi):	1.0											
<b>Tilojen lämmitys:</b>												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Lämmityksen varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Häviöt lämmittämättömään tilaan (kWh/vuosi):	0											
Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde:	0.97											
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteet (kWh/m <sup>2</sup> ):	0											
Varaavien tulisijojen lukumäärä:	0											
Ilmalämpöpumpujen lukumäärä:	0											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (tilojen lämmitys):	0.85											
Märkätilojen sähköisen lattialämmityksen osuus tilojen lämmityksestä:	0.5											
Laskenta ja tulokset												
Lämmitystapa:	Kaukolämpö											
Jälkilämmityspatteri:	Lämmitysjärjestelmä											
Oma sähköntuotanto (kWh/a):	28000											

**Laskennan lähtötiedot. Laskentatapaus 1, Martintorni**

Laskentaan tarvittavat lähtötiedot Martintornin E-luvun laskentaan.

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
<b>Pää tiedot</b>				
Rakennuskohde:	Martintorni todellinen			
Osoite 1:				
Osoite 2:				
Todistustunnus:				
Rakennustunnus:				
Rakennusluvan hakemisvuosi:				
Valmistumisvuosi:				
Rakennuksen käyttötarkoitus:				
Pääsuunnittelija:				
Laskelman tekijä:				
Yritys:				
Tilaaaja:				
Päiväys:				
Sijainti/paikkakunta:	Vyöhyke I=1			
Rakennusluokka:	2 Asuinkerrostalot, huoneistokohtainen ilmanvaihdon ohjaus			
Kerroslukumäärä:	15			
Rakennustilavuus (m <sup>3</sup> ):	21541			
Rakennuksen ilmatilavuus (m <sup>3</sup> ):	15888			
Maanpäällinen kerrostasoala (m <sup>2</sup> ):	754			
Lämmitetty nettoala Anetto (m <sup>2</sup> ):	6835			
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m <sup>2</sup> K):	220			
Tarpeenmukainen ilmanvaihto:	2040+0 L/s (esim. hiidioksidiohjaus erillisen laskelman mukaan)			
Laskentamallin tila:	Ei tiedossa			
Rakennuslupa hyväksytty (pvm):	-			
Käyttöönottotarkastus suoritettu (pvm):	-			
<b>Rakenneosat</b>				
<b>rakenneosa:</b>	<b>Pinta-ala:</b>	<b>U-arvo:</b>	<b>g-arvo:</b>	<b>Fverho * Fkehä:</b>
	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	2780	0.23		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	380	0.24		
Yläpohja ulkoilmaa vasten	985	0.15		
Alapohja (maanvastainen)	307	0.27		
Alapohja (ulkoilmaa rajoittuva)	199	0.17		
Alapohja (maanvastainen)	248	0.24		
Ikkunat pohjoiseen	273	1	0.46	0.75
Ikkunat itään	60	1	0.46	0.75
Ikkunat etelään	340	1	0.46	0.75
Ikkunat länteen	67	1	0.46	0.75
Ulko-ovet	206	1		
Alapohjan alapuolinen maa	Savi, salaojitettu hiekka tai sora			
<b>Kylmäsiilat</b>				
<b>Kylmäsiilat:</b>	<b>Pituus:</b>	<b>Lisäkonduktanssi:</b>		
	m	W/mK		
US-US (ulkonurkka)	188	0.04		
US-US (sisänurkka)	168	-0.04		
US-YP	126	0.05		
US-VP	1764	0.05		
US-AP	126	0.08		
US-ikkunat	113	0.04		
US-ovet	63	0.04		
<b>Ilmanvaihto</b>				
Vaipan ilmanvuodot:				

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT												
Ilmanvuotoluku q50:	4											
<b>Ilmanvaihto:</b>												
Kuvaus	huoneistokohtainen Ilmanvaihto											
LTO %:	47											
Ominais sähköteho/SFP-luku (kW/m <sup>3</sup> /s):	2.0											
Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho (W):	220											
Tuloilman lämpötilan asetusarvo:	18 astetta											
Jäteilman lämpötila mitoitustilanteessa:	5 astetta											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo (L/s):	2040											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo ilman LTO-vaatimusta (L/s):	0											
Tuloilman suhde poistoilmavirtaan:	0.91											
Lämpötilan nousu puhaltimessa:	1 astetta											
IV-laitteessa automaattinen LTO:n poiskytkentä asetuslämpötilan ylityessä:	Kyllä											
LTO:n ja jälkilämmityspatterin kuukausipäälläolo:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	x	x	x	x	x				x	x	x	x
Lämmitysjärjestelmä												
<b>Käyttöveden lämmitys:</b>												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Käyttöveden kiertojohdon häviöt (kWh/vuosi):	102525											
Käyttöveden siirron hyötysuhde:	0.90											
Käyttöveden mitoitusvirtaama (litra/s):	3.5											
Käyttöveden kiertojohdon ominaisteho (W/m <sup>2</sup> ):	2											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (käyttövesi):	1.0											
<b>Tilojen lämmitys:</b>												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Lämmityksen varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Häviöt lämmittämättömään tilaan (kWh/vuosi):	0											
Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde:	0.97											
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteet (kWh/m <sup>2</sup> ):	5											
Varaavien tulisijojen lukumäärä:	0											
Ilmalämpöpumppujen lukumäärä:	0											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (tilojen lämmitys):	0.85											
Märkätilojen sähköisen lattialämmityksen osuus tilojen lämmityksestä:	0.5											
Laskenta ja tulokset												
Lämmitystapa:	Kaukolämpö											
Jälkilämmityspatteri:	Lämmitysjärjestelmä											
Oma sähköntuotanto (kWh/a):	0											

## **Laskennan lähtötiedot Laskentatapaus 9, Martintorni**

Laskentaan tarvittavat lähtötiedot Martintornin E-luvun laskentaan.



LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Pää tiedot				
Rakennuskohde:	Martintorni todellinen			
Osoite 1:				
Osoite 2:				
Todistustunnus:				
Rakennustunnus:				
Rakennusluvan hakemisvuosi:				
Valmistumisvuosi:				
Rakennuksen käyttötarkoitus:				
Pääsuunnittelija:				
Laskelman tekijä:				
Yritys:				
Tilaaaja:				
Päiväys:				
Sijainti/paikkakunta:	Vyöhyke I=1			
Rakennusluokka:	2 Asuinkerrostalot, huoneistokohtainen ilmanvaihdon ohjaus			
Kerroslukumäärä:	15			
Rakennustilavuus (m <sup>3</sup> ):	21541			
Rakennuksen ilmatilavuus (m <sup>3</sup> ):	15868			
Maanpäällinen kerrostasoala (m <sup>2</sup> ):	754			
Lämmitetty nettoala Anetto (m <sup>2</sup> ):	6835			
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m <sup>2</sup> K):	220			
Tarpeenmukainen ilmanvaihto:	2040+0 L/s (esim. hiidioksidiohjaus erillisen laskelman mukaan)			
Erillinen valaistustehon laskenta:	7 W/m <sup>2</sup> , käyttöaste = 0.1 (Erillisen laskelman mukaan)			
Laskentamallin tila:	Ei tiedossa			
Rakennuslupa hyväksytty (pvm):	-			
Käyttöönottotarkastus suoritettu (pvm):	-			
Rakenneosat				
rakenneosa:	Pinta-ala: m <sup>2</sup>	U-arvo: W/m <sup>2</sup> K	g-arvo:	Fverho * Fkehä:
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	2780	0.11		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	380	0.11		
Yläpohja ulkoilmaa vasten	985	0.08		
Alapohja (maanvastainen)	307	0.14		
Alapohja (ulkoilmaa rajoittuva)	199	0.10		
Alapohja (maanvastainen)	248	0.14		
Ikkunat pohjoiseen	273	0.66	0.46	0.75
Ikkunat itään	60	0.66	0.46	0.75
Ikkunat etelään	340	0.66	0.46	0.75
Ikkunat länteen	67	0.66	0.46	0.75
Ulko-ovet	206	0.40		
Alapohjan alapuolinen maa	Savi, salaojitettu hiekka tai sora			
Kylmäsiilat				
Kylmäsiilat:	Pituus: m	Lisäkonduktanssi: W/mK		
US-US (ulkonurkka)	188	0.01		
US-US (sisänurkka)	188	-0.01		
US-YP	126	0.01		
US-VP	1764	0.01		
US-AP	126	0.01		
US-ikkunat	113	0.01		
US-ovet	63	0.01		

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT												
<b>Ilmanvaihto</b>												
Vaipan ilmanvuodot:												
Ilmanvuotoluku q50:	1											
Ilmanvaihto:												
Kuvaus	huoneistokohtainen Ilmanvaihto											
LTO %:	80											
Ominais sähköteho/SFP-luku (kW/m <sup>3</sup> /s):	1.5											
Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho (W):	220											
Tuloilman lämpötilan asetusarvo:	18 astetta											
Jäteilman lämpötila mitoitusilanteessa:	5 astetta											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo (L/s):	2040											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo ilman LTO-vaatimusta (L/s):	0											
Tuloilman suhde poistoilmavirtaan:	0.91											
Lämpötilan nousu puhaltimessa:	1 astetta											
IV-laitteessa automaattinen LTO:n poiskytkentä asetuslämpötilan ylityessä:	Kyllä											
LTO:n ja jälkilämmityspatterin kuukausipäälläolo:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	x	x	x	x	x				x	x	x	x
<b>Lämmitysjärjestelmä</b>												
Käyttöveden lämmitys:												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Käyttöveden kiertojohdon häviöt (kWh/vuosi):	15448											
Käyttöveden siirron hyötysuhde:	0.97											
Käyttöveden mitoitusvirtaama (litra/s):	3.5											
Käyttöveden kiertojohdon ominaisteho (W/m <sup>2</sup> ):	2											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (käyttövesi):	1.0											
Tilojen lämmitys:												
Kuvaus	Kaukolämpö											
Lämmityksen varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Häviöt lämmittämättömään tilaan (kWh/vuosi):	0											
Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde:	0.97											
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteet (kWh/m <sup>2</sup> ):	0											
Varaavien tulisijojen lukumäärä:	0											
Ilmalämpöpumppujen lukumäärä:	0											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (tilojen lämmitys):	0.85											
Märkätilojen sähköisen lattialämmityksen osuus tilojen lämmityksestä:	0.5											
<b>Laskenta ja tulokset</b>												
Lämmitystapa:	Kaukolämpö											
Jälkilämmityspatteri:	Lämmitysjärjestelmä											
Oma sähköntuotanto (kWh/a):	28000											