



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Valtteri Happonen

# E-lukulaskentaohjelman kehittäminen taulukkolaskentaohjelmalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

1.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Valtteri Happonen E-lukulaskentaohjelman kehittäminen taulukkolaskentaohjelmalla 43 sivua 1.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	insinööri Asko Saarinen yliopettaja Lauri Heikkinen
<p>Tämän insinööriytyön tavoitteena on kehittää Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:n käyttöön uudistuneiden energiatehokkuusasetuksien mukainen E-lukulaskentaohjelma. Insinööriytyön osana tehdään myös käyttöohje laskentaohjelmalle.</p> <p>Tehtävä E-lukulaskentaohjelma tehdään Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:n tilauksesta. Laskentaohjelman on tarkoitus korvata yrityksellä nykyisellään käytössä olevat E-lukulaskentaohjelmat. Laskentaohjelma toteutetaan yrityksen työntekijöiden toiveita noudattaen. Laskentaohjelman toivotuimmat ominaisuudet ovat helppokäyttöisyys, ohjelman tekemien laskelmien tarkistuksen mahdollisuus sekä ohjelman tekemien laskelmien korjaaminen.</p> <p>Laskentaohjelma on kokemattomalle käyttäjälle monimutkainen ja se sisältää useita valintoja ja muuttujia, jotka voivat vaikuttaa E-lukuun suuresti. Insinööriytyö opastaa ohjelman käyttäjää, jotta saadaan aikaan mahdollisimman hyvin kohdetta kuvaava E-luku. Insinööriytyössä käsitellään myös energiatodistusta ja E-lukua koskevia asioita, jotka E-luvun laskijan olisi syytä tiedostaa.</p> <p>Laskentaohjelmalla on suoritettu useita E-lukulaskentoja. Laskentaohjelmalla tehtyjen laskelmien tuloksia on vertailtu Motivan E-lukulaskentaesimerkkeihin. Vertailun perusteella laskentaohjelmasta tuli tavoitteiden mukainen: helppokäyttöinen ja tarkka E-lukulaskentaohjelma.</p>	
Avainsanat	E-luku, energiatodistus, energiatehokkuus

Author Title Number of Pages Date	Valtteri Happonen Programme for E-value Calculation on Spreadsheet 43 pages 1 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Asko Saarinen, Bachelor of Engineering Lauri Heikkinen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to develop a new E-value calculation program and a manual for all future users. The calculation program was to be created using Microsoft Excel, which was chosen as the platform because of its user-friendly environment.</p> <p>Before the calculation program was created, several people were interviewed about what properties they would want the calculation program to include. The calculation program was created with the interviewee's requests in mind. The program was to be easy to use, and the user would need to be able to review all the calculations. In addition, the user would need to be able to make adjustments to the calculations, when needed.</p> <p>To ease the transfer from older E-value calculation programs to the one created, a manual was created as part of this bachelor's thesis. The manual helps the user to get the most out of the calculation program.</p> <p>Several test calculations were done with the program. The results of the test calculations concluded that the final year project resulted in a well-functioning and comprehensive E-value calculation program. The program will see further development in the future.</p>	
Keywords	E-value, energy efficiency, E-value calculation

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Energiatodistus	2
2.1	Käyttötarkoitukseluokat	3
2.2	Energialuokat	6
2.3	Vaatimukset energiatodistuksen laatijalle	7
3	E-luku	8
3.1	E-lukulaskennan lähtötiedot	8
3.2	E-luvun laskenta	8
3.3	Energiamuotojen kertoimet	10
3.4	Ympäristöministeriön asettamat vaatimukset laskentamenetelmälle	11
4	Laskentaohjelma	13
4.1	Laskentaohjelman lähteet	13
4.2	Laskentaohjelman tekeminen	14
4.3	Tulosten lähetys ARA:n palvelimelle -lisäosan ohjelmointi	15
5	Käyttöohje ja case-laskenta	17
5.1	Laskettavan rakennuksen perustiedot	18
5.2	Lämmitys	19
5.3	Ilmanvaihto	21
5.4	Lämmin käyttövesi	24
5.5	Valaistus ja kuluttajalaitteet	27
5.6	Johtumislämpöhäviöt ja kylmäsillat	28
5.7	Lämpökuormat	30
5.8	Ympäristöstä saatava energia	33
5.9	Jäähdytysenergian tarpeen laskenta	35
5.10	Lähtötietojen täydellisyyden tarkistus	36
5.11	Tapauslaskennan tulokset ja tulosten analysointi	37

6	Laskentaohjelmien käytettävyyden vertailu	38
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

## Lyhenteet

ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus
E-luku	Laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
SFP	Specific Fan Power. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m <sup>3</sup> /s)
SPF	Seasonal Performance Factor. Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen.

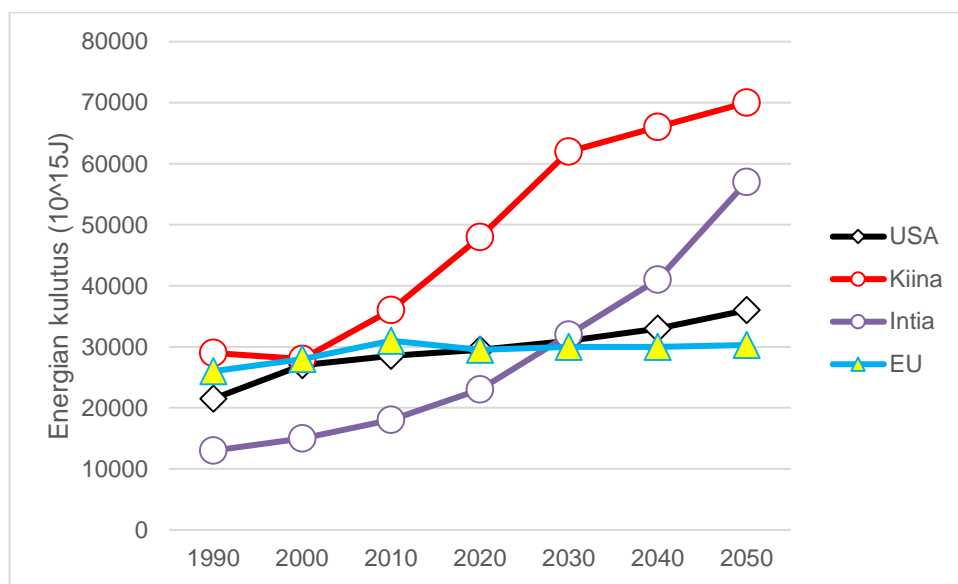
## 1 Johdanto

Euroopan unionin asetusten mukaan EU:n jäsenvaltioiden on hillittävä rakennuskantojensa energian käytöstä johtuvia kasvihuonepäästöjä. Suomessa energiatehokkuuslain säädäntö tuli voimaan vuonna 2008. Viimeisin asetus, ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, on julkaistu vuonna 2017 ja se tuli voimaan 1.1.2018. Eri käyttötarkoituserien rakennuksilla on omat E-lukujen eli laskennallisen energiatehokkuuden vertailulukujen raja-arvonsa. Rakennuksella on oltava energiatodistus eli täten myös E-luku sitä rakennettaessa, myytäessä tai vuokrattaessa. E-luku on käytännöllisintä laskea laskentaohjelmalla, joka on helppokäyttöinen ja sisältää E-lukulaskennan standardiarvot.

Insinöörityön pääasiallisena tavoitteena on tehdä uusi Microsoft Excel -pohjainen E-luvun laskentaohjelma. Työn tilaajana toimii Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy. Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:n käytössä on vuosien aikana ollut useita eri kaupallisia ohjelmia, joilla on laskettu rakennusten E-lukuja. Kaupalliset E-laskentaohjelmat eivät aina laske E-lukuja virheettömästi tai noudata E-luvun laskennan sääntöjä. Kahdella eri ohjelmalla laskettu saman rakennuksen E-luku saattaa vaihdella suurestikin (1, s. 23). Kaupallisten E-luvun laskentaohjelmien laskemia virheellisiä E-lukuja ei ole aina ARA:n, eli Asumisen ja rakentamisen kehittämiskeskuksen, puolesta hyväksytty, vaan laskelmia on palautunut laskijalle tarkistettavaksi ja korjattavaksi. Kaupallisten ohjelmien laskentaa tai koodausta ei voi tarkistaa tai muokata. Tämä on tuottanut ongelmallisen tilanteen E-lukuja laskettaessa, minkä vuoksi Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy on päättänyt toteuttaa uuden oman E-luvun laskentaohjelman Excel-pohjaisena. Ohjelman yksi tärkeimmistä ominaisuuksista tulee olemaan ohjelman tekemien laskelmien ja ohjelman koodauksen tarkistamisen ja muokkaamisen mahdollisuus. Insinöörityön osana tehtävään laskentaohjelmaan viitataan tässä työssä nimellä laskentaohjelma.

## 2 Energiatodistus

Energiatodistus on lähtöisin Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivistä (2002/91/EY) (2). Asuinrakennusten energiankulutuksen kasvu on vuoden 2010 jälkeen Euroopan Unionin alueella kääntynyt laskuun ja sen ennustetaan tasaantuvan ja pysyvän nykyisellä tasollaan, kuten kuvassa 1 esitetään. EU:n energiankulutuksen tasaantumisen syinä pidetään energiatehokkuuspolitiikkaa ja kehittyneempien maiden mahdollisuutta hyödyntää kehittyneempiä ja energiatehokkaampia teknologioita rakentamisessa. Kiinassa ja Intiassa ei tällä hetkellä ole vastaavia energiatehokkuustavoitteita kuin EU:ssa. Tästä johtuen Kiinan ja Intian asuinrakennusten energiankulutuksen odotetaan kasvavan huomattavasti lähitulevaisuudessa. (3, s. 131.)



Kuva 1. EU:n, Kiinan, Intian ja USA:n asuinrakennusten energiankulutus (3, s. 131).

Rakennuksen myynti- tai vuokraustilanteessa sekä rakennuslupaa haettaessa tarvitaan rakennukselle energiatodistus. Rakennuslupaa varten tehty energiatodistus pitää korvata täydennetyllä tai tarkennetulla energiatodistuksella ennen rakennuksen käyttöönottoa, jos energiatodistuksen tiedot ovat puutteellisia, rakennuksen ominaisuudet tai sen teknisten järjestelmien tiedot tarkentuvat rakentamisen edetessä (4). Energiatodistus perustuu E-lukuun, jonka yksikkö on kWh/(m<sup>2</sup>a). E-luku ja energiatodistus ovat voimassa 10 vuotta todistuksen antopäivästä. E-luvun tarkoituksena ei ole esittää todellista arviota rakennuksen energian käytöstä tai ostoenergian määrästä, vaan olla työkalu, jonka avulla rakennusten laskennallista ostoenergiaa ja teknisiä järjestelmiä voidaan

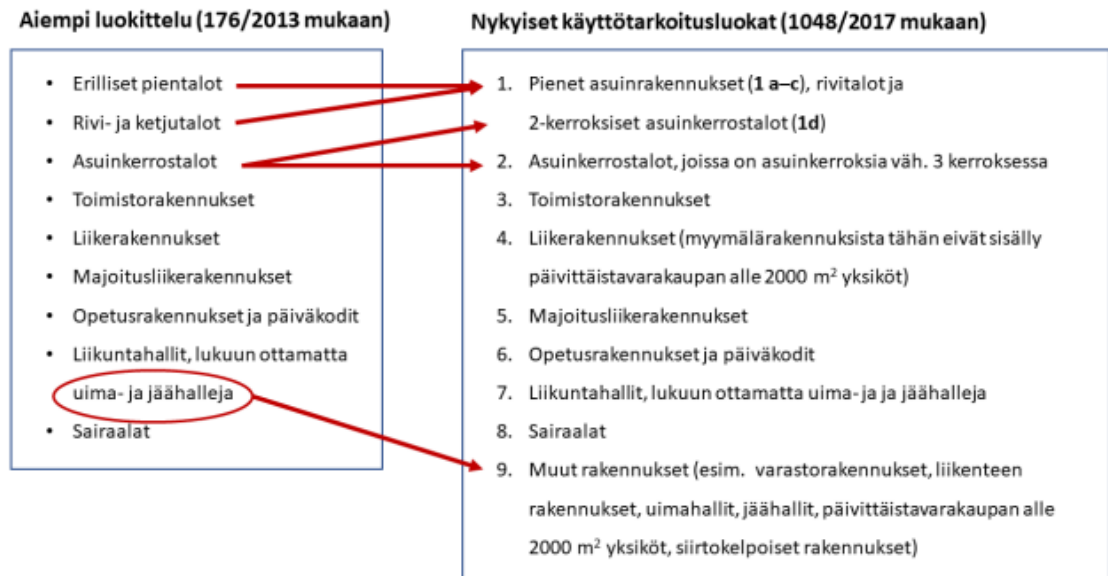


vertailla keskenään. E-luvun avulla voidaan vertailla eri paikkakunnilla sijaitsevia rakennuksia keskenään, koska laskennassa otetaan huomioon vain rakennus ja sen järjestelmät eikä rakennuksen asukkaita ja heidän kulutustottumuksiaan. E-luvulla voidaan myös verrata rakennuksen energian kulutuksen muutosta saneerauksen yhteydessä. (5.)

Ympäristöministeriön asettamat E-luku- ja energiatehokkuusvaatimukset ohjaavat suunnittelua ja rakentamista energiatehokkaampaan suuntaan. Energiatodistuksen tultua pakolliseksi on sillä ollut positiivisia vaikutuksia rakennusten energiankulutukseen. Myös kunnat ja tilaajat voivat asettaa omia vaatimuksiaan E-luvulle. Kunnat saattavat esimerkiksi asettaa tontin luovutuksen ehdoksi, että rakennus on suunniteltava täyttämään jokin tietty energialuokka tai alittamaan jokin E-luku, joka voi olla huomattavasti kansallisia asetuksia tiukempi. Myös suurilla asuntotuottajilla saattaa usein olla omat E-luvun raja-arvot, jotka on saavutettava uusia rakennuksia rakennettaessa. Huolellinen, energiatehokkuuteen tähtäävä rakenne- ja talotekninen suunnittelu ovat merkittävässä roolissa tavoiteltaessa alhaisempia E-lukuja.

## 2.1 Käyttötarkoitukseluokat

Rakennukset on jaettu eri käyttötarkoitukseluokkiin niiden toimintojen perusteella. Entiseen luokitteluun verrattuna käyttötarkoitukseluokkien 1 ja 2 määritelmät ovat muuttuneet. Rakennusten käyttötarkoitukseluokituksen muutos on esitetty kuvassa 2. Muutokset koskevat asuinrakennuksia sekä uima- ja jäähalleja. Erilliset pientalot, rivi- ja ketjutalot sekä kaksikerroksiset kerrostalot on sijoitettu pääluokkaan 1 ja vähintään kolmikerroksiset kerrostalot pääluokkaan 2. Uima- ja jäähallit on sijoitettu pääluokkaan 9. (6, s. 11.)



Kuva 2. Vuonna 2018 voimaan tulleen energiatehokkuusasetuksen (1048/2017) mukaiset käyttötarkoituserluokat (6, s. 11).

Pääluokka 1, pienet asuinrakennukset, rivitalot ja 2-kerroksiset asuinkerrostalot, on jaettu vielä neljään alaluokkaan: a:sta d:hen. Ympäristöministeriö on asettanut jokaiselle käyttötarkoituserluokalle omat E-luvun vähimmäisvaatimukset. Luokkien 1a ja 1b E-luvun raja-arvot ovat riippuvaisia rakennuksen lämmitetystä nettopinta-alasta. Muilla luokilla E-luvun raja-arvo on määrätty, kiinteä arvo. Poikkeuksena on luokka 9, muut rakennukset, jolla ei ole raja-arvoa. Luokalle 9 on kuitenkin tehtävä energiatodistus, huolimatta siitä, että sillä ei ole E-luvun raja-arvoa. Nykyiset käyttötarkoituserluokat ja niiden E-luvun raja-arvot on esitetty taulukossa 1.

Rakennuksessa, jossa on useaan käyttötarkoituserluokkaan kuuluvia osia, on sovellettava kaikkien rakennuksessa olevien käyttötarkoituserluokkien mukaisia raja-arvoja. Rakennuksen osan, joka kuuluu toiseen käyttötarkoituserluokkaan kuin muu osa rakennusta, voidaan laskea osaksi pinta-alaltaan suurinta käyttötarkoituserluokkaa. Rakennuksen osa voidaan laskea osaksi toista, jos rakennusosan lämmitetty nettopinta-ala on alle 10 prosenttia koko rakennuksen lämmitetystä nettopinta-alasta tai rakennusosan pinta-ala on enintään 50 m<sup>2</sup>. (7, s. 4.)

Taulukko 1. Rakennusten käyttötarkoitukseluokat ja E-luvun raja-arvot (8, s. 3).

Käyttötarkoitukseluokka	E-luvun raja-arvo kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset:	
a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A <sub>netto</sub> ) on 50-150 m <sup>2</sup>	200-0,6 A <sub>netto</sub>
b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A <sub>netto</sub> ) on enemmän, kuin 150 m <sup>2</sup> kuitenkin enintään 600 m <sup>2</sup>	116-0,04 A <sub>netto</sub>
c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A <sub>netto</sub> ) on enemmän, kuin 600 m <sup>2</sup>	92
d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa	105
Luokka 2) Asuinkerrotalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000 m <sup>2</sup> yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000 m <sup>2</sup> yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	ei raja-arvoa

## 2.2 Energialuokat

Energiatodistuksessa on esitettävä energialuokka, joka perustuu rakennuksen laskennalliseen E-lukuun. Energialuokkien tarkoitus on yksinkertaistaa rakennusten vertailua. Energialuokat on jaettu A:sta G:hen, joista A on energiatehokkain ja G taas on paljon energiaa kuluttava. Uudehkon olemassa olevan pientalon energialuokka on tavanomaisesti C tai D, kun vanhemman talon energialuokka voi olla jopa E tai G. Uusi lähes nol-laenergiarakentamisen asetukset täyttävä rakennus sijoittuu tavallisesti B-luokkaan. Uusien rakennusten, joiden rakennuslupa on saatu 1.1.2018 jälkeen, energialuokan on oltava vähintään luokkaa B. Energiatodistuksessa ilmoitettavan energialuokkamerkinnän alaindeksistä selviää, onko E-luku laskettu vuoden 2013 vai 2018 E-lukulaskennan mukaan, esimerkiksi  $C_{2018}$ . Luokittelu on käyttötarkoitukseluokkakohtainen. (5.) Rakennusten käyttötarkoitusten luokittelu muuttui vuonna 2018 tulleen ympäristöministeriön asetuksen myötä kuvan 2 mukaisesti.

Pienten, alle 600 m<sup>2</sup>, asuinrakennusten energialuokkien raja-arvot ovat rakennuksen pinta-alasta riippuvaisia. Taulukossa 2 on esitetty pinta-alaltaan 50–150 m<sup>2</sup> olevan asuinrakennuksen energiatehokkuusluokkien raja-arvot. Taulukossa 2 esitetty  $A_{\text{netto}}$  on rakennuksen lämmitetty nettopinta-ala.

Taulukko 2. Pinta-alaltaan 50–150 m<sup>2</sup>:n pientalon energiatehokkuusluokat (7, s. 22).

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a))
A	E-luku < 110 - 0,2 x $A_{\text{netto}}$
B	110 - 0,2 x $A_{\text{netto}}$ < E-luku < 215 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$
C	215 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$ < E-luku < 252 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$
D	252 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$ < E-luku < 332 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$
E	332 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$ < E-luku < 462 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$
F	462 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$ < E-luku < 532 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$
G	532 - 0,6 x $A_{\text{netto}}$ < E-luku

Muiden kuin pinta-alaltaan alle 600 m<sup>2</sup>:n asuinrakennusten käyttötarkoitukseluokkien energialuokkien raja-arvot ovat pinta-alasta riippumattomia raja-arvoja. Taulukossa 3 on esitetty toimistorakennuksen energiatehokkuusluokkien raja-arvot.

Taulukko 3. Toimistorakennusten energiatehokkuusluokat (7, s. 23).

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a))
A	E-luku ≤ 80
B	81 ≤ E-luku ≤ 120
C	121 ≤ E-luku ≤ 170
D	171 ≤ E-luku ≤ 200
E	201 ≤ E-luku ≤ 240
F	241 ≤ E-luku ≤ 300
G	E-luku ≥ 301

Kuten taulukosta 1 näkyy, on toimistorakennuksen E-luvun raja-arvo 100 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Raja-arvo vastaa taulukon 3 mukaan siis energialuokkaa B. Vuoden 2018 laskentasaännöillä ja E-luvun raja-arvoilla ei siis voi rakentaa esimerkiksi luokkaan C tai D kuuluvia toimistorakennuksia. Rakennuksen E<sub>2018</sub>-luku on tavallisesti yhtä luokkaa parempi kuin aikaisempi E<sub>2013</sub>-luku, johtuen muuttuneista energiamuotokertoimista (9).

### 2.3 Vaatimukset energiatodistuksen laatijalle

Energiatodistuksen laatijalle on asetettu Suomen laissa vaatimukset. Energiatodistuksen laatijalla tulee olla energiatodistuksen laatimisen vaativuuden mukainen soveltuva tekniikan alan tutkinto tai vastaava työkokemus. Energiatodistuksen laatijan tulee olla osoittanut pätevyytensä energiatodistuksen laatijakokeen hyväksytyllä suorituksella. (4.)

Energiatodistuksen laatijoilla on kaksi pätevyysluokkaa: ylempi taso ja perustaso. Mikäli energiatodistus laaditaan jäähdytetyille rakennukselle tai rakennuksen energiatodistusta laadittaessa joudutaan hyödyntämään dynaamista laskentamenetelmää, on laatijalla oltava ylempi pätevyystaso.

### 3 E-luku

#### 3.1 E-lukulaskennan lähtötiedot

Energiatodistuksen laatijan tulee selvittää E-luvun laskentaan tarvittavat lähtötiedot. Mitä tarkemmin laatija selvittää rakenteiden ja järjestelmien tiedot, sitä tarkempi E-luku saadaan laskettua. E-luvun laskennan lähtötietoina voidaan käyttää rakennuksen suunnitelluarvoja, rakennuksen suunnitelmista saatuja tietoja, laitetiedoista saatuja arvoja tai tarkastuksen yhteydessä selvitettyjä tietoja, mikäli näiden järjestelmien laskennasta ei ole muuta säädetty. Mikäli joitain tietoja ei ole saatavilla, voi E-luvun laskija käyttää laskennassa rakennusvuoden mukaisia rakentamismääräyksiä tai ohjeita. Energiatodistuksen laatija voi tarkastuksensa perusteella käyttää laskennassa niitä arvoja, jotka hänen mielestään kuvaavat rakennusta ja sen järjestelmiä parhaiten. (6, s. 27.)

Jos järjestelmän tarkat lähtötiedot eivät ole tiedossa, on joissain tapauksissa käytettävä laskennan kannalta huonompia vaihtoehtoja. Esimerkiksi mikäli lämpimän käyttöveden kiertojohdon eristyspaksuus ei ole tiedossa, on käytettävä eristämättömän johdon arvoja lämpöhäviöiden määrittämisessä (7, s. 12).

Energiatodistuksen laatijan tulee tietää ennen kaikkea rakennuksen käyttötarkoitukseluokka, kerroslukumäärä sekä lämmitetty nettopinta-ala. Laatijan tulee perehtyä myös rakennuksen rakenteiden, kuten seinien ja ikkunoiden ominaisuuksiin. Laatijan tulee myös selvittää rakennuksen lämmitys-, käyttövesi- sekä ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuudet. Energiatodistusta varten on määritettävä lämmöntuotantomuoto sekä lämmönjakotapa. Energiatodistuksen laatijan tulee huomioida rakennuksessa olevat ympäristöstä energiaa ottavat järjestelmät, kuten lämpöpumput ja aurinkopaneelit. E-luku on rakennusten ominaisuuksien ja järjestelmien summa, ja jos jokin järjestelmä jätetään huomioimatta, voidaan tuottaa energiatodistus, joka ei vastaa todellisuutta.

#### 3.2 E-luvun laskenta

Laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku lasketaan ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatodistuksesta liitteen 1 mukaan. E-luku lasketaan yhtälöllä 1.

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum_i f_{\text{polttoaine},i} Q_{\text{polttoaine},i} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (1)$$

$E$  on energiatehokkuuden vertailulukku, kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)

$Q_{\text{kaukolämpö}}$  on kaukolämmön kulutus vuodessa, kWh/a

$Q_{\text{kaukojäähdytys}}$  on kaukojäähdytyksen kulutus vuodessa, kWh/a

$Q_{\text{polttoaine},i}$  on polttoaineen  $i$  sisältämän energian kulutus vuodessa, kWh/a

$W_{\text{sähkö}}$  on sähkönkulutus vuodessa, josta on vähennetty ympäristöstä otettu enenergia

$f_{\text{kaukolämpö}}$  on kaukolämmön energiamuodon kerroin

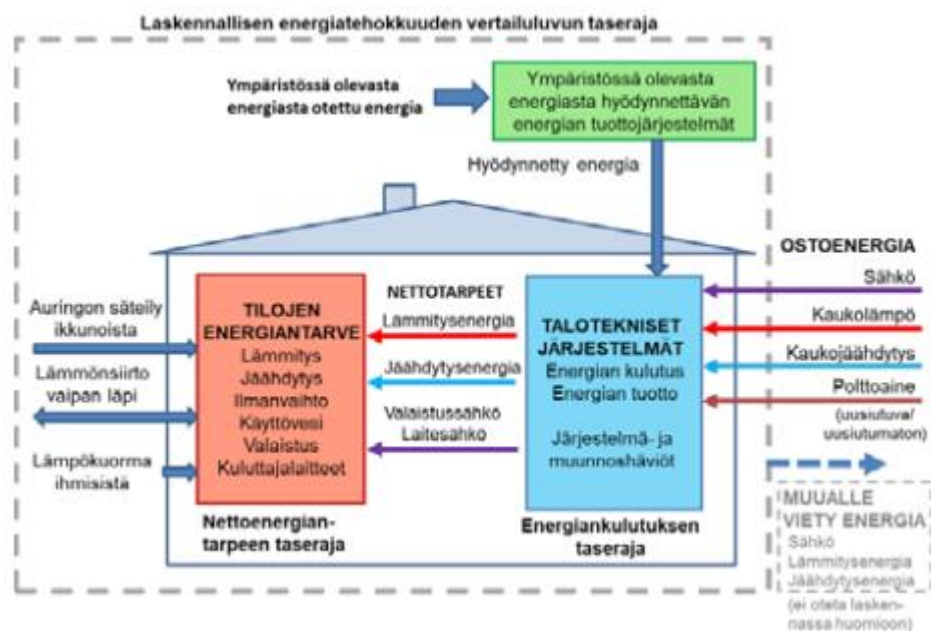
$f_{\text{kaukojäähdytys}}$  on kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin

$f_{\text{polttoaine},i}$  on polttoaineen  $i$  energiamuodon kerroin

$f_{\text{sähkö}}$  on sähkön energiamuodon kerroin

$A_{\text{netto}}$  on rakennuksen lämmitettävä nettopinta-ala, m<sup>2</sup>

$E$ -lukua laskettaessa on ymmärrettävä, mitä  $E$ -luvun laskenta sisältää ja mitä ei. Kuvassa 3 on esitetty  $E$ -luvun laskennan taseraja, joka sisältää koko  $E$ -luvun laskennan keskeiset asiat.



Kuva 3.  $E$ -luvun laskennan taseraja (7, s. 6).

Lyhyesti kuvailtuna  $E$ -luvun laskennassa lasketaan rakennuksen standardikäytössä kuluttama sähkö-, lämmitys- ja jäähdytysenergia sekä polttoaineet. Näistä energiamääristä vähennetään rakennuksen ympäristöstä otettu energia, esimerkiksi maalämpöpumpun

maaperästä ottama lämmitysenergia. Jäljelle jäävä energiamäärä jaetaan lämmöntuotantojärjestelmän hyötysuhteella. Näin on laskettu rakennukseen tuotava ostoenergian määrä. Ostoenergiamäärät kerrotaan vielä taulukossa 4 esitetyillä energiamuotokertoimilla ja saadut tulot summataan keskenään. Jotta saataisiin laskettua E-luku, on energiamäärien summa vielä jaettava rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla. Tulokseksi saatu E-luku on pyöristettävä seuraavaan kokonaislukuun lopullisen tuloksen saamiseksi.

### 3.3 Energiamuotojen kertoimet

Rakennuksen energiatehokkuuden laskennallinen vertailuluku eli E-luku on taulukossa 4 esitetyillä rakennuksen energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vakioidun käytön laskennallinen ostoenergiankulutus rakennuksen lämmitettyä nettopinta-alaa kohden vuodessa (8, s. 3). E-luvun laskennassa käytettävät energiakertoimet muuttuivat vuonna 2018 taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. E-luvun laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet ennen ja jälkeen 2018.

E-luvun laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet, $f_n$		
Energiamuoto	2013	2018
Sähkö	1,7	1,2
Kaukolämpö	0,7	0,5
Kaukojäähdytys	0,4	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1,0	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5	0,5

Energiamuotojen kertoimien pieneneminen on osittain seurausta Suomen sähkön ja kaukolämmön tuotannon kehitymisestä. Energiamuotojen kertoimiin vaikuttavat uusiutuvien energiamuotojen hyödyntäminen, tuotettavan energiamuodon tuotannon, jakelun ja käytön hyötysuhteet sekä sen tuotannossa vapautuvien kasvihuonepäästöjen määrä. (10.) Suomessa käytettävät energiamuotojen kertoimet ovat selvästi Euroopan keskiarvoa pienemmät. Kuvassa 4 esitetään eräiden Euroopan maiden energiamuotojen kertoimia.



	AT	BE	CY	CZ	DE	DK	ES	FR	GR	HU	IE	IT	NL	NO	SI	UK
Kaasu (verkko)	1,17	1	1,1	1,1	1,1	1	1,011	1	1,05	1	1,1	1	1		1,1	1,22
Nestekaasu							1,081			1						1,09
Öljy	1,23	1	1,1	1,2	1,1	1	1,081	1	1,1	1	1,1	1	1	1,35	1,1	1,1
Hiili											1,1	1				1
Polttopuu/ Biomassa	1,08		1,1	1,1	1,2	1	1	1						1,09	0,1	
Pelletit			2,7	1,2	1,2	1	1				1,1				0,1	
<b>Sähkö</b>	<b>2,62</b>	<b>2,5</b>	<b>2,7</b>	<b>3,2</b>	<b>2,8</b>	<b>2,5</b>	<b>2,603</b>	<b>2,58</b>	<b>2,9</b>	<b>2,5</b>	<b>2,45</b>	<b>2,17</b>	<b>2,56</b>	<b>1,28</b>	<b>2,5</b>	<b>3,07</b>
<b>Sähkö CHP</b>				<b>1,7</b>											<b>0</b>	
PV			1	1	1										0	
<b>Kaukolämpö</b>	<b>1,52</b>	<b>1,79</b>	<b>1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1,12</b>	<b>1,28</b>	*		<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	
<b>KL CHP</b>	<b>0,92</b>	<b>1,79</b>		<b>1,1</b>	<b>0,7</b>				<b>0,7</b>	<b>0,83</b>					<b>1</b>	
<b>KL Biomassa</b>										<b>0,76</b>						
<b>KL CHP biomassa</b>										<b>0,5</b>						

\* Käytetään kaukolämmön toimittajan antamaa arvoa

Kuva 4. Eräiden Euroopan maiden eri energiamuotojen kertoimet (10, s. 5).

### 3.4 Ympäristöministeriön asettamat vaatimukset laskentamenetelmälle

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatehokkuudesta asetetaan pykälässä 8 vaatimukset laskentamenetelmälle. Laskentamenetelmän ja täten myös työn osana tehdyn laskentaohjelman on otettava huomioon vähintään seuraavat tekijät:

- rakennusosien lämmönläpäisevyys, eli U-arvo
- rakenteiden liitosten eli kylmäsiltojen lisäkonduktanssiarvot
- rakennuksen ilmanpitävyys
- ilmanvaihdon ilmavirta
- sisäilman lämpötila
- lämpimän käyttöveden tarve
- ilmanvaihdon lämmöntalteenotto
- lämpökuormat henkilöistä, valaistuksesta, sähkölaitteista, lämpimästä käyttövedestä ja auringosta
- tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve
- käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve
- ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiatarve
- kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergiatarve. Ja silloin, kun rakennukseen suunnitellaan aurinkokeräin, aurinkopaneeli tai jätevedenlämmöntalteenotto, niiden sähköenergian tarve

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

Rakennuksen E-luku voidaan laskea kuukausitason laskennalla ja jättää jäähdytyksen energiankulutus huomioimatta, jos rakennuksen lämpöolosuhteet eivät edellytä jäähdytystä tai jäähdytetyt tilat ovat pinta-alaltaan enintään 50 m<sup>2</sup> tai 10 % lämmitetystä nettopinta-alasta. Näiden ehtojen jäädessä täyttymättä tulee jäähdytys huomioida laskennassa ja on käytettävä dynaamista laskentamenetelmää. (7.)

## 4 Laskentaohjelma

Insinööriyössä tehtävä laskentaohjelma on nimetty työnimeltään Maas-E:ksi. Excel-pohjainen laskentaohjelma valikoitui parhaimmaksi vaihtoehdoksi E-luvun laskentaan. Painavimpina syinä toteuttaa laskentaohjelma Excel-tiedostona nähtiin olevan ohjelman helppo muokattavuus tulevaisuudessa sekä ohjelman teon helppous. Laskentaohjelma korvaa Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:ssä aikaisemmin käytössä olevat E-lukulaskentaohjelmat. Dynaamisia laskentoja varten E-luvun laskentaan käytetään edelleen siihen soveltuvaa ohjelmaa.

Laskentaohjelmalle on suunniteltu jo jatkokehityskohteita. Laskentaohjelma on rakennettu siten, että E-lukua laskiessa ohjelma antaa neljä eri tulosta. Ensimmäinen tulos on käyttäjän syöttämien lähtötietojen mukaisesti laskettu E-luku. Toinen tulos on nykyisten asetusten vähimmäisvaatimusten mukaisesti laskettu E-luku. Kolmas tulos on rakennusvuoden mukaisin vaatimusten mukaisesti laskettu E-luku. Neljäs laskentatulostulos ei ole E-luku. Neljäs laskentatapaus ei noudata standardoidun E-lukulaskennan sääntöjä täsmällisesti, vaan sen tarkoituksena on antaa tarkempi, rakennuksen todellista energiankulutusta kuvaava tulos.

### 4.1 Laskentaohjelman lähteet

E-luvun laskenta perustuu vuonna 2017 julkaistuun ja vuonna 2018 voimaan tulleeseen ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen energiatodistuksesta. Asetukset ja asiakirjat kokonaisuudessaan, joihin laskentaohjelma perustuu ovat

- Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta, 1048/2017, voimaan 1.1.2018
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 1010/2017, voimaan 1.1.2018
- Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, julkaistu 20.12.2017
- Energiatodistusopas 2018, Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen, julkaistu 1.11.2018

Laskentaohjelman tekemisessä hyödynnettiin myös ympäristöministeriön E-luvun esimerkkilaskelmia. Laskentaohjelmaa tehtäessä esimerkkilaskelmia hyödynnettiin kattavasti ohjelman tekemien laskelmien ja Excel-ohjelmaan tehtyjen funktioiden ja logiikoiden testaukseen. Esimerkkilaskelmatapaukset kattavat erilaisia rakennuksia erilaisilla rakenteellisilla ja taloteknisillä järjestelmillä, minkä vuoksi ne soveltuivat erinomaisesti ohjelman testaukseen. Esimerkkilaskelmien avulla löydettiin ohjelman sisältämiä lasku- ja funktiovirheitä.

#### 4.2 Laskentaohjelman tekeminen

Laskentaohjelman tekeminen aloitettiin perehtymällä tarkemmin E-luvun laskentaan ja uudistuneisiin asetuksiin. Laskentaohjelman tekoa aloitettaessa haastateltiin Insinööri-toimisto Leo Maaskola Oy:n työntekijöitä. Haastattelujen perusteella luotiin pohjakuvaa sille, millaisen ohjelman työntekijän haluaisivat saada käyttöönsä.

E-luvun laskentaan liittyvät taulukot kopioitiin mahdollisimman kattavasti asetuksista ja ohjeista Excel-tiedostoon taulukkomuotoon ennen laskentaohjelman rakentamisen aloittamista. Laskentaohjelmaa alettiin rakentamaan listaamalla yhdelle Excel-välilehdelle E-luvun laskennassa tarvittavat peruslähtötiedot. Näiden peruslähtötietojen perusteella Exceliin kopioidut taulukot muokattiin ilmoittamaan laskennassa käytettävät arvot erillisiin soluihin. Kun taulukot toimivat moitteettomasti lähtötietojen perusteella, laskettiin E-luku erilliselle välilehdelle. E-luvun laskennan jokaisessa välivaiheessa laskennassa käytettäviin kaavoihin haettiin niissä tarvittavat arvot lähtötiedoista ja taulukoista. Laskentaohjelman laskenta tehtiin laskemaan kaikki E-luvun laskennassa tarvittavat laskelmat soluviittauksin, ei suoraan lukuarvoin. Näin varmistuttiin siitä, että laskennassa olevat tiedot muuttuvat aina laskentatapauksen muuttuessa.

Laskentaan lisättiin kaikki E-lukulaskennan ehdot. E-lukulaskennassa on tapauksia, joissa jokin laskennassa käytettävä taulukosta saatava arvo on riippuvainen aiemmin tehdyistä valinnoista. Nämä tapaukset ohjelmoitiin Excel-funktioilla toimimaan oikein kussakin mahdollisessa tapauksessa. Näitä ehdollisia tapauksia varten tehtiin useita aputaulukoita. Aputaulukoiden tarkoituksena oli yksinkertaistaa laskentakaavoja ja Excel-funktioita. Tavoitteena oli tehdä mahdollisimman yksinkertaisia komentoja

laskentaan, jotta laskentaohjelman muokattavuus ja korjattavuus pysyisivät vaivattomina myös muillekin käyttäjille, kuin ohjelman alkuperäiselle kehittäjälle.

Laskentaohjelman tekemän E-lukulaskennan välivaiheiden laskemat tulokset sijoitettiin erilliseen taulukkoon. Tästä taulukosta laskentaohjelma ohjelmoitiin Excel-funktion siirtämään esimerkiksi lämmityksen ostoenergia valitun lämmitysmuodon, kaukolämmön, kohdalle toiseen taulukkoon. Näin saatiin kaikki energiankulutukset laskettua oikean energiantuotantomuodon energiamuotokertoimella.

Laskentaohjelmaan luotiin luonnosteksteillä varustettu kopio virallisesta energiatodistuksesta. Tähän kopioon siirrettiin kaikki energiatodistuksessa ilmoitettavat arvot. Virallisen energiatodistuksen kopion tarkoituksena oli helpottaa ympäristöministeriön esimerkkilaskelmien mukaan laskentaohjelmalla ja muilla kaupallisilla E-lukulaskentaohjelmilla laskettujen koeajojen vertailua esimerkkilaskelmiin ja jo laskettujen kohteiden energiatodistuksiin. Virallisen energiatodistuksen kopion luonnostulostetta voi tulevaisuudessa käyttää myös suunnittelun aputyökaluna. Luonnostulosteen voi esimerkiksi lähettää uudiskohteen erikoissuunnittelijalle. Näin voidaan esittää erikoissuunnittelijalle tämän tekemien suunnitelmien tai valintojen vaikutusta E-lukuun ja edelleen vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuden toteutumiseen suunnittelutyön ollessa vielä kesken.

#### 4.3 Tulosten lähetys ARA:n palvelimelle -lisäosan ohjelmointi

Insinööriyön osana tehty laskentaohjelma helpottaa ja nopeuttaa E-lukujen laskentaa verrattuna Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:ssä aikaisemmin käytettyihin laskentaohjelmiin. Energiatodistus on virallinen asiakirja, joka on arkistoitu ARA:n palvelimille. Energiatodistusta ei voi itse tulostaa. Tästä johtuen E-lukulaskennan tulokset on siirrettävä ARA:n palvelimille ja energiatodistuksen laatijan on allekirjoitettava se sähköisesti, minkä jälkeen energiatodistus on lainvoimainen. Laskennan tulokset on mahdollista syöttää ARA:n verkkopalveluun manuaalisesti, mutta se on työlästä.

Tietojen syöttämisen helpottamiseksi laskentaohjelmaan ohjelmoidaan lisäosa, joka siirtää automaattisesti laskennan tulokset ARA:n palvelimelle. Lisäosa, joka siirtää laskennan tulokset ARA:n verkkopalvelimille, rakennetaan hyödyntämään WebService-rajapintaa. Lisäosa ohjelmoidaan käyttäen VBA-ohjelmointikieltä. Lisäosa ohjelmoidaan

hakemaan esiasetetuista soluista tietyt arvot, jotka lähetetään rajapinnan kautta verkkopalveluun. Lähetettäville arvoille annetaan tietyt raja-arvot, jotka niiden on täytettävä ennen kuin lisäosa lähettää tiedot eteenpäin. Ennen kuin ohjelmalla voidaan lähettää energiatodistuksia virallisille palvelimille, on ohjelmalla ja sen lisäosalla suoritettava koeajoja verkkopalvelun testijärjestelmällä. Testijärjestelmällä on tarkoitus varmistua siitä, että lähetettävä tieto on vaadittavassa muodossa. Testijärjestelmällä kokeillaan jatkossa myös laskentaohjelmaan lisättävien ominaisuuksien oikeellinen toiminta.

## 5 Käyttöohje ja case-laskenta

Tämä luku sisältää laskentaesimerkin. Luvun tarkoituksena on esitellä laskentaohjelmaa ja opastaa ohjelman tulevia käyttäjiä ohjelman lähtötietojen syöttämisessä. Insinööriyötä varten laskentaohjelmalla laskettiin ympäristöministeriön julkaiseman laskentaesimerkin mukainen laskenta, jota verrattiin esimerkkilaskelman tuloksiin. Esimerkkinä käytettiin Energiatodistuksen laadintaesimerkki: uusi pientalo -laskentatapausta (11). Tässä luvussa esitettävät kuvakaappaukset on otettu laskentaohjelmasta, johon on syötetty kyseisen rakennuksen tiedot.

Laskentatapauksen tiedot syötetään laskentaohjelmaan vihreällä pohjalla ja mustalla tekstillä oleviin soluihin. Vihreällä pohjalla ja tekstillä olevat solut ovat vapaaehtoisia valintoja. Näihin soluihin ohjelma laskee joissain tapauksissa itse arvot. Jos laskija tietää tarkemman arvon, on hänen kuitenkin syytä syöttää se näihin soluihin tarkemman tuloksen saamiseksi. Täytettäviä soluja on kahdenlaisia. Toisiin soluihin syötetään lukuja, ja toisissa soluissa valitaan oikeat arvot alaslaskettavasta valikosta, kuten kuvassa 5 on esitetty. Kuvassa 5 esitetään tilanne, jossa valitaan tilojen lämmityksen lämmöntuotantomuoto.

Lämmitys	
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30, maata vasten rajoittuvassa rak.
Lämmöntuotantomuoto	Sähkökattila tai lämpöpumppu
Lämmitysratkaisu	Kaasu, standardikattila
Käsiikäyttöiset patteriventtiilit (ei termostaattia)	Öljy, kondenssikattila
	Kaasu, kondenssikattila
	Pellettikattila
	Puukattila energiavaraajalla
	Sähkökattila tai lämpöpumppu
	Kaukolämpö
Sähköisen lattialämmityksen palvelevien märkätilojen p. ala	Huonekohtainen sähkölämmitys
Osuus lämpöenergiasta	0 %
Märkätilojen lattialämmityksen energian tarve	

Kuva 5. Esimerkki alaslasketusta valikosta.

Laskentaohjelman Lähtötiedot-välilehden ylimmillä riveillä näytetään rakennuksen E-luku ja energiatehokkuusluokka. Nämä rivit pysyvät näkyvissä jatkuvasti, kun ohjelman käyttäjä täyttää laskennan lähtötietoja. E-luku päivittyy jatkuvasti uusia lähtötietoja ja valintoja tehdessä. Näin käyttäjän on helppo verrata, millä toimenpiteillä ja valinnoilla saadaan minkäkinlaisia vaikutuksia E-lukuun.

## 5.1 Laskettavan rakennuksen perustiedot

Laskentatapauksena on vuonna 2018 Tampereelle valmistunut yksikerroksinen lämmitetyltä nettopinta-alaltaan 147 m<sup>2</sup>:n pientalo. Rakennus on rakenneluokaltaan energiatehokkuuden laskentaohjeen taulukon 5.6 mukainen keskiraskas 1. Rakennuksen päälämmötuotantojärjestelmä on maalämpöpumppu, jolla lämmitetään vesikiertoista lattialämmityspiiriä sekä valmistetaan lämmintä käyttövettä. Ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri on sähkökäyttöinen.

Laskettaessa E-lukua on tunnettava rakennuksen rakennus- ja rakennetyypit. Rakennusluokka on esimerkkitapauksessa luokka 1 Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo, ja rakennetyyppi on keskiraskas 1. Rakennetyyppi vaikuttaa rakennuksen sisäpuoliseen teholliseen lämpökapasiteettiin. Rakennetyypit ja niiden mukaiset sisäpuolisen tehollisen kapasiteetin ohjearvot on esitetty kuvassa 6.

Rakennetyyppi	Esimerkkirakenteita (US on ulkoseinä, VS väliseinä, VP välipohja, YP yläpohja ja AP on alapohja)	$C_{rak, omin}$ , Wh/(m <sup>2</sup> K)
<b>Pientalot</b>		
Kevytrakenteinen	US, VS, YP, AP kevyitä rankarakenteita	40
Keskiraskas I	US, VS, YP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	70
Keskiraskas II	US harkko tai massiivihirsi, VS, YP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	110
Raskasrakenteinen	US betoni tai tiili, VS harkko tai tiili, YP, AP betoni	200
<b>Asuinkerrostalot</b>		
Kevytrakenteinen	US, VS, VP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	40
Keskiraskas	US kevyitä rankarakenteita, VS kevyitä rankarakenteita tai betoni, VP betoni, AP betoni	160
Raskasrakenteinen	US betoni, VS harkko tai betoni, VP betoni, AP betoni	220
<b>Toimistorakennukset</b>		
Kevytrakenteinen	US, VS, VP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	70
Keskiraskas	US kevyitä rankarakenteita, VS kevyitä rankarakenteita tai betoni, VP betoni, AP betoni	110
Raskasrakenteinen	US betoni, VS harkko tai betoni, VP betoni, AP betoni	160
<b>Muut rakennukset</b>		
Sovelletaan taulukon arvoja tai tehollinen lämpökapasiteetti lasketaan esimerkiksi standardien SFS-EN ISO 13786 tai SFS-EN ISO 13790 mukaan.		

Kuva 6. Rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin ohjearvoja (12, s. 38).



Sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti tarvitaan lämpökuormista hyödyksi saatavan osuuden määrittämiseen. Kyseiset valinnat tehdään laskentaohjelmassa alaslaskettavasta valikosta. Kuvassa 7 esitetään laskentaohjelman Lähtötiedot-välilehdellä tehtäviä valintoja.

Rakennuksen paikkakunta	Tampere
Osoite	YM:n energiatodistusoppaan 2018 esimerkki
Postinumero	02230
Rakennuksen valmistumisvuosi	2018
Rakennuksen nimi	Uusi pientalo 2018
Rakennustyyppi	Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo
Rakennetyyppi	Keskiraskas I
Manuaalinen syöttö	

Kuva 7. Laskentaohjelman Lähtötiedot-välilehdellä täytettävä rakennuksen perustiedot taulukko.

Oleellisia tietoja laskennan kannalta ovat myös rakennuksen lämmitettävä nettopinta-ala, kerrosten lukumäärä sekä rakennuksen ilmanvuotoluku,  $q_{50}$ . Rakennuksen ilmanvuotoluku,  $q_{50}$ , on keskimääräinen vuotoilmamäärä kuutiometreinä, joka vuotaa rakennuksen vaipan läpi vaipan neliometriä kohden tunnissa 50 Pa:n paine-erolla. Nämä tiedot vaikuttavat laskentaan ja sen lopputuloksiin suuresti, minkä vuoksi on varmistuttava siitä, että tiedot on syötetty ohjelmaan oikein. Ilmanvuotoluvusta on huomioitava, että sen ollessa alle  $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ , on ilmanvuotoluvusta teetettävä erillisselvitys (8, s. 9).

## 5.2 Lämmitys

Esimerkkitapauksen rakennuksen lämmitysratkaisu on vesikiertoinen lattialämmitys, jonka meno- ja paluuviesien lämpötilat ovat 40 ja 30 °C. Kuvassa 8 on esitetty laskentaohjelman solut, jotka on täytettävä lämmitysjärjestelmän osalta.

Lämmitys	
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30, maata vasten rajoittuvassa rak.
Lämmöntuotantomuoto	Sähkökattila tai lämpöpumppu
Lämmitysratkaisu	Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30, maata vasten rajoittuvassa rak.
Käsitönteiset patteriventtiilit (ei termostaattia)	Ei
	Ei
Sähköisen lattialämmityksen palvelevien märkätilojen p. ala	0 m <sup>2</sup>
Osuus lämpöenergiasta	0 %
Märkätilojen lattialämmityksen energian tarve	

Kuva 8. Laskentaohjelman Lähtötiedot-välilehdellä oleva lämmityksen lähtötietojen taulukko.

Laskentaohjelmaa käytettäessä on valittava rakennuksen tilojen lämmitysratkaisu alaslaskettavasta valikosta. Esimerkkitapauksessa on lämmöntuotantomuodoksi valittu sähkökattila tai lämpöpumppu, koska kohteen lämmitysenergia tuotetaan maalämpöpumpulla. Lämmitysratkaisu vaikuttaa rakennuksen lämmityksen laskennassa käytettävään tilojen lämmityksen vuosihyötysuhteeseen sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden energiankulutukseen, joka osaltaan vaikuttaa ostoenergian määrään. Esimerkkitapauksessa tilojen lämmityksen vuosihyötysuhde  $\eta_{\text{tilat}}$  on 0,8 ja apulaitteiden sähköenergian kulutus  $e_{\text{tilat}}$  on 2,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Muiden lämmitysratkaisujen vuosihyötysuhteet ja apulaitteiden sähköenergian kulutukset on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2018, taulukossa 9. (7, s. 15.)

Laskentaohjelmalla E-lukua laskiessa on tunnettava vesikiertoisten lämmityspattereiden venttiilit. Patteriventtiilien ollessa pääasiassa käsikäyttöisiä, kerrotaan lämmitysratkaisun hyötysuhde 0,9:llä, eli hyötysuhde laskee. Laskentatapauksessa, jossa lasketaan vähintään kolmikerroksista asuinkerrostaloa, jonka tilojen lämmitys suoritetaan vesikiertoisilla pattereilla ja märkätilojen lämmitys sähköisellä lattialämmityksellä, pitää kuvan 8 taulukossa valita lämmitysratkaisuksi kyseisen kohteen mukainen vesikiertoinen patterilämmitys. Tämän jälkeen kuvassa 8 esitettyyn taulukkoon ilmestyy mahdollisuus valita märkätilojen lämmitysjärjestelmäksi sähköinen lattialämmitys. Sähköisen lattialämmityksen tarkempien tietojen puuttuessa ohjelma laskee asuintilojen lämmitysenergiasta kohdistuvan 35 % sähköiselle lattialämmitykselle ja 65 % vesikiertoiselle patterilämmitykselle (7, s. 20). Tässä tapauksessa on tunnettava rakennuksen lämmitetty nettopinta-ala sekä asuntojen yhteenlaskettu pinta-ala, jotta lämmitysenergioiden osuudet lasketaan oikein.

Rakennuksen tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmänä toimii maalämpöpumppu. Lämpöpumppuun on kytketty 500 dm<sup>3</sup>:n varaaja 100 mm:n eristyspaksuudella. Lämpöpumpun tiedot täytetään Lähtötiedot-välilehdellä kuvassa 9 esitettyyn taulukkoon.

Maalämpöpumppu	<input checked="" type="checkbox"/> Maalämpöpumppu käytössä
Lämpöpumpun teho	4,00
$\phi_{p,n}/\phi_{t,i}$	0,70
Maalämpöpumpun toiminta	Tilojen ja LKV lämmitys, 60 °C
Vuotuinen keruupiirin keskilämpötila	+3 °C
SPF lämmitys (taulukko)	3,1
SPF LKV (taulukko)	2,3
SPF lämmitys (tunnettu)	3,1
SPF LKV (tunnettu)	2,3
Varaajan tilavuus	500
Varaajan eristystaso	100 mm eriste

Kuva 9. Maalämpöpumppua varten täytettävä taulukko.

Laskentaohjelmassa käytettävien lämpöpumppujen ja aurinkoenergiajärjestelmien täytettävien taulukoiden yhteyteen on lisätty painikkeet, joista ne valitaan otettavaksi huomioon laskennassa tai jätettäväksi pois laskennasta. Ominaisuus on lisätty laskentaohjelmaan, jotta ohjelmaan voidaan syöttää monia eri lämpöpumppu- ja aurinkoenergiajärjestelmiä ja vertailla niiden vaikutuksia kohteen E-lukuun laittamalla järjestelmät vuorolaan päälle laskentaan.

### 5.3 Ilmanvaihto

Esimerkkilaskentatapauksen ilmanvaihto toteutetaan koneellisella tulo-poistoilmanvaihtokoneella. Ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmamäärät ovat 58 dm<sup>3</sup>/s. Ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenotto ja sähköinen jälkilämmityspatteri. Lämmöntalteenoton hyötysuhde on saman suuruisilla ilmamäärillä 80 %. Valmistaja on ilmoittanut ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 71 %. Ilmanvaihtokoneen SFP-luku, eli ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, on 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s). Jäteilman alin sallittu lämpötila on + 3 °C. Ilmanvaihtokone on rakennusluokasta johtuen jatkuvasti päällä. Ilmanvaihtokoneen tiedot on syötetty laskentaohjelmaan kuvassa 10 esitettyyn taulukkoon.

Ilmanvaihtokoneet											Laskennassa käytettävät ajat	
Tunnus	Lämmitysmuoto	Tuloilma m <sup>3</sup> /s	Poistoilma m <sup>3</sup> /s	Poissaoloajan ilmavirta, dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> s)	LTO %	Vuosihyötysuhde	SFP kW/m <sup>2</sup> /s	T <sub>j,raja</sub>	h/vrk T <sub>d</sub>	vrk/vk T <sub>w</sub>	h/vrk T <sub>d</sub>	vrk/vk T <sub>w</sub>
1	Sähköpatteri	0,0588	0,0588		80 %	71 %	1,8	3,0			24	7
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
Yhteensä		0,0588	0,0588		80 %	71,00 %	1,80				24	7

Kuva 10. Ilmanvaihtokoneiden täyttötaulukko.

Laskentaohjelmassa ilmanvaihtokoneiden tiedot täytetään kuvassa 10 olevan taulukon vihreisiin soluihin. Taulukkoon voi syöttää yhteensä 12 erilaista ilmanvaihtokonetta. Ilmanvaihtokoneen tietoja täytettäessä valitaan jokaisen ilmanvaihtokoneen yhteydessä, onko sen jälkilämmityspatteri sähkö- vai vesipatteri. Taulukkoon syötetään ilmanvaihtokoneen käyttöajan ilmamäärät, käyttöajan ulkopuoliset ilmamäärät, lämmöntalteenoton hyötysuhde, SFP-luku ja jäteilman alin mahdollinen lämpötila. Taulukkoon syötettävien ilmamäärien tulee olla rakennuksen todelliset ilmamäärät. Rakennuksen todellisia ilmamääriä ei käytetä laskennassa, vaan niiden avulla lasketaan ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteet. E-lukulaskennassa ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeen laskennassa käytetään kuvan 11 mukaisia ilmamääriä, jotka ovat rakennusluokkakohtaisia.

Käyttötarkoitusluokka	Ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /(s m <sup>2</sup> )	Lämmitysraja °C	Jäähdytysraja °C
Luokka 1)	0,4	21	27
Luokka 2)	0,5	21	27
Luokka 3)	2	21	25
Luokka 4)	2	18	25
Luokka 5)	2	21	25
Luokka 6)	3	21	25
Luokka 7)	2	18	25
Luokka 8)	4	22	25

Kuva 11. E-luvun laskennassa käytettävät ilmamäärät sekä lämmitys- ja jäähdytysrajat (8, s. 6).

Ilmanvaihtokoneen käyntiajat on syötetty ohjelmaan valmiiksi. Käyntiajat riippuvat rakennusluokasta. Ilmanvaihtokoneiden käyntiajat perustuvat rakennuksen vakioituun käyttöön, joka on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta pykälän 11 taulukossa. Rakennuksen vakioitun käytön ollessa jotain muuta kuin 24 tuntia vuorokaudessa ja 7 päivää viikossa, lisätään ilmanvaihtokoneen päivittäisiin käyntiaikoihin 2 tuntia. (8, s. 7.)

Laskettaessa E-lukua kohteelle, jossa on vain koneellinen poisto- tai painovoimainen ilmanvaihto, tulee tuloilma- ja LTO-sarakkeet jättää tyhjiksi. Tällöin ohjelma tietää millainen ilmanvaihto on kyseessä ja laskee lämmitysenergiat kohdistumaan tilojen lämmitysjärjestelmälle, eikä ilmanvaihtokoneelle. Tämä on laskennan tarkkuuden kannalta tärkeää, sillä eri lämmitysjärjestelmillä on eri hyötysuhteet. Kuvassa 10 vuosihyötysuhdesarakkeeseen on syötetty luku, ja se on vihreällä tekstillä. Vuosihyötysuhdetta ei tarvitse syöttää, sillä ohjelma laskee itse vuosihyötysuhteen käyttäjän syöttämien tietojen perusteella. Vuosihyötysuhteen ollessa tiedossa kannattaa se kuitenkin syöttää laskentaan.

Kuvassa 10 olevan taulukon alaosassa on keltaisella pohjalla olevia soluja. Ohjelma yhdistää käyttäjän syöttämät ilmanvaihtokoneet yhdeksi koneeksi, jonka arvot se näihin soluihin täyttää.

Ilmanvaihtokoneiden tietoja syötetään toiseenkin taulukkoon laskentaohjelmassa. Kuvassa 12 on esitetty kyseinen taulukko. Laskennan kannalta oleellisia tietoja ovat tuloilman sisäänpuhalluslämpötila,  $T_{sp}$ , puhaltimessa tapahtuva tuloilman lämpeneminen,  $\Delta T_{PUHALLIN}$ , ja se onko kohteessa tarpeenmukainen ilmanvaihto. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötila ja puhaltimessa tapahtuva tuloilman lämpeneminen vaikuttavat siihen, kuinka paljon tuloilmaa tulee lämmittää lämmöntalteenoton jälkeen. Rakennuksen tiloissa, joissa on tarpeenmukainen ilmanvaihto, voidaan ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 pykälän 10 mukaan käyttää 20 % pienempiä ilmamääriä (8).

Ilmanvaihto		
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Koneellinen poistoilmanvaihto	
IV-LTO-malli	Regeneratiivinen lämmönsiirrin	
Tuloilman sisäänpuhallus lämpötila	17 °C	
$\Delta T_{PUHALLIN}$	0,5 °C	
Tarpeenmukainen ilmanvaihto	Ei	
		0 m <sup>2</sup>

Kuva 12. Ilmanvaihtokoneen tietojen täyttämiseen käytettävä toinen taulukko.

Tuloilman sisäänpuhalluslämpötila ja puhaltimessa tapahtuva tuloilman lämpeneminen ovat arvoja, jotka ovat yleensä vakiot: + 18 °C ja + 0,5 °C. Tämän vuoksi ne on laskentaohjelmaan merkitty vihreällä tekstillä. Tässä laskentatapauksessa tuloilman lämpötila on poikkeuksellisesti + 17 °C. Tarpeenmukainen ilmanvaihto otetaan käyttöön laskentaohjelmassa valitsemalla kuvassa 12 esitetystä taulukosta Tarpeenmukainen ilmanvaihto -solun viereisestä alaslasketusta valikosta: Kyllä. Lisäksi taulukkoon täytetään tarpeenmukaisen ilmanvaihdon palveleman alueen pinta-ala. Ohjelma vähentää oikean osuuden rakennuksen ilmamääristä. Tässä laskentatapauksessa ei ole käytössä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

#### 5.4 Lämmin käyttövesi

Esimerkkitapauksen lämmin käyttövesi tuotetaan maalämpöpumpulla. Rakennuksessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertojohtoa. Lämpimän käyttöveden jakojohdo on eristetty lämpimän veden putken halkaisijaan verrattuna halkaisijaltaan 1,5-kertaisella eristyspakkuudella. Lämpimän käyttöveden järjestelmään on liitetty rakennuksen vaipan sisäpuolella oleva 500 dm<sup>3</sup>:n suuruinen lämpimän veden varaaja, joka on eristetty 100 mm paksuudella eristeellä.

Laskentaohjelmassa nämä tiedot syötetään kuvassa 13 esitettyyn lämpimän käyttöveden lähtötietotaulukkoon. Lämpimän käyttöveden lämmitysmuoto valitaan alaslasketusta valikosta. Tässä laskentatapauksessa on lämmitysmuodoksi valittu lämpöpumppu. Lämpimän käyttöveden jakelutavaksi on valittu valikosta, että kohteessa ei ole lämpimän veden kiertoa ja lämpimän veden johto on eristetty 1,5-kertaisella eristepaksuudella. Taulukosta on valittu myös tilavuudeltaan 500 dm<sup>3</sup>:n ja eristykseltään 100 mm:n varaaja rakennuksen vaipan sisäpuolelle alaslaskettavista valikoista.

Lämminkäyttövesi	
Lämmitysmuoto	Sähkökattila tai lämpöpumppu
Laskutukseen käytettävä huoneistokohtainen vesimittari	Ei
Vakiopaineventtiili tai vastaava tekniikka	Ei
Lämpimän käyttöveden jakelu	Ei kiertoa, eristetty parempi (1,5 D)
LVK-johdon pituus	
Kiertojohdon eristystaso	
Kiertojohdon sijainti	Vaipan sisäpuolella
Vaipan ulkopuolella	0 %
Vaipan eristeessä	0 %
Vaipan eristeen sisäpuolella	100 %
LVK-pumpun teho	0 W
LVK-pumpun käyntiaika	24 h/vrk
Lämminvesivaraajan tilavuus	500 dm <sup>3</sup>
Lämminvesivaraajan eristys	100 mm eriste
Lämminvesivaraajan sijainti	Vaipan sisäpuolella
	Ei laitteita
Lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl	
Lämmityslaitteiden teho kappaletta kohden, W	
Jäteveden lämmöntalteenotto, kWh/a	

Kuva 13. Lämpimän käyttöveden tietojen täyttämiseen käytettävä taulukko.

Lämpimän käyttöveden valintataulukossa on monia valintoja, jotka vaikuttavat lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeeseen. Taulukossa oleva alaslaskettava valintataulukko, jossa valitaan, onko kiinteistössä laskutukseen käytettävät huoneistokohtaiset vesimittarit, ei vaikuta E-luvun laskentaan. Se vaikuttaa neljänteen laskentatapaukseen, jossa lasketaan tarkempaa arvioitua energian tarvetta, vähentämällä henkilöperusteisen vuorokautisen lämpimän käyttövedenkulutuksen kuudestakymmenestä litrasta viiteenkymmeneen litraan. Mikäli rakennuksessa on käyttöveden painetasoa säätävää tekniikkaa, kuten vakiopaineventtiili, vähenee lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettoarve 15 % (8, s. 8). Lämpimän käyttöveden vakioidun käytön mukaiset vuotuiset lämmitysenergiat nettopinta-alaa kohti on esitetty kuvassa 14.

Käyttötarkoitukseluokka	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve vuodessa kWh/(m <sup>2</sup> a)
Luokka 1)	35
Luokka 2)	35
Luokka 3)	6
Luokka 4)	4
Luokka 5)	40
Luokka 6)	11
Luokka 7)	20
Luokka 8)	30

Kuva 14. Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergian nettotarve (8, s. 8).

Mikäli kohteessa on lämpimän käyttöveden kiertojohto, ohjelma laskee kiertojohdolle ominaispituuden. Ohjelma laskee kiertojohdon pituuden ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017 taulukon 7 mukaan. Käyttäjä voi syöttää soluun itse kiertojohdon pituuden, jos se on tiedossa. Painamalla solun vieressä olevaa Palauta-painiketta ohjelma palauttaa ohjelman laskeman kiertojohdon pituuden laskentaan. Tässä laskentatapauksessa ei ole kiertojohtoa. Käyttäjän on syytä selvittää ja valita todellinen kiertojohdon eristystaso, sillä muuten ohjelma laskee kiertojohdon lämpöhäviöt ilman kiertojohdon eristettä, joka vastaa häviöiltään 40 W:a jokaista kiertojohdon metriä kohti. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017 taulukossa 6. Käyttäjä voi myös valita, missä kiertojohto sijaitsee. Kiertojohdon sijainti vaikuttaa kiertojohdosta syntyvän lämpökuorman hyödyntämiseen. Jos kiertojohto sijaitsee vaipan sisäpuolella, saadaan sen lämpöhäviöistä hyödynnettyä 50 % ja eristeen sisäpuolella olevan kiertojohdon lämpöhäviöistä saadaan 25 % hyödynnettyä rakennuksen lämmitykseen. Vaipan ulkopuolella olevasta kiertojohdosta aiheutuvat lämpökuormat jäävät hyödyntämättä. (8, s. 10.)

Ohjelma laskee lämpimän käyttöveden kierron pumpulle tehon kiertojohdon lämpöhäviöiden perusteella. Käyttäjä voi myös itse syöttää pumpun tehon, jos se on tiedossa. Painamalla Palauta-painiketta ohjelma palauttaa ohjelman laskeman pumpun tehon laskentaan. Tässä esimerkitapauksessa ei ole kiertojohtoa, joten ei ole myöskään sen pumpua. Laskentaohjelmassa voi myös valita lämpimälle käyttövedelle varaajan ja sen eristyspaksuuden. Myös varaajan sijainti on mahdollista määrittää. Varaajan sijainti rakennuksessa vaikuttaa hyödynnettäviin lämpökuormiin, kuten lämpimän käyttöveden



kiertojohtokin (8, s. 10). Lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöt eri varaajatila-  
vuuksilla ja eristyspaksuuksilla on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa rakennuk-  
sen energiatodistuksesta 1048/2017 taulukossa 8.

Mikäli laskettavana kohteena on olemassa oleva kohde, jossa on lämpimän käyttöveden  
kiertojohto, ohjelma mahdollistaa kuvassa 13 esitetyssä taulukossa valitsemaan lämpi-  
män kiertojohdon lämmityslaitteet mukaan laskentaan. Lämpimän käyttöveden lämmi-  
tyslaitteiden energiankulutus vaikuttaa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpee-  
seen. Mikäli laitteiden lukumäärä ja teho on tiedossa, ne kuuluu syöttää taulukkoon. Jos  
lämmityslaitteiden teho ei ole tiedossa, ohjelma käyttää jokaisen laitteen tehona  
200 W:a. Mikäli laitteiden lukumäärä ei ole tiedossa, ohjelma lisää kiertojohdon ominais-  
lämpöhäviöön 40 W/m. Ohjelmaan on mahdollista syöttää myös jäteveden lämmöntal-  
teenottojärjestelmällä talteen otetun lämpöenergian määrä.

## 5.5 Valaistus ja kuluttajalaitteet

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiankulutus perustuu ympäristöministeriön  
asetuksen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta pykälän 11 taulukkoon. Taulu-  
kossa on esitetty käyttötarkoituksittain lämpökuorma-arvot, W/m<sup>2</sup>, valaistukselle, ih-  
misille ja kuluttajalaitteille. Taulukossa on esitetty myös käyttöajat ja käyttöasteet raken-  
nusluokittain valaistukselle, ihmisille ja kuluttajalaitteille. Valaistuksen ja kuluttajalaittei-  
den sähköenergian tarve on yhtä suuri kuin niistä aiheutuva lämpökuorma. Valaistuksen,  
kuluttajalaitteiden ja ihmisten aiheuttama lämpökuorma lasketaan yhtälöllä 2.

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7 \cdot 1000} \frac{8760}{1000} \quad (2)$$

Q on valaistuksesta, kuluttajalaitteista tai ihmisistä syntyvä lämpökuorma, kWh/m<sup>2</sup>

k on käyttöaste, -

P on lämpökuorma, W/m<sup>2</sup>

$\tau_d$  on rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa, h

$\tau_w$  on rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa, d

Kuluttajalaitteista ja ihmisistä aiheutuva lämpökuorma on riippuvainen vain rakennuksen käyttötarkoituksluokasta ja lämmitetystä nettopinta-alasta. Valaistuksesta aiheutuvaan lämpökuormaan ja täten myös sen sähköenergiankulutukseen voi kuitenkin vaikuttaa laskennassa. Jos rakennuksen valaistusta ohjataan automaattisesti, esimerkiksi läsnäolo- tai liiketunnistin, voidaan laskennassa käyttää ohjaustavan mukaista f-kerrointa. Valaistuksen lämpökuorma Q kerrotaan ohjaustavan mukaisella f-kertoimella, jolloin valaistuksen sähköenergian tarve pienenee. Ohjaustapojen mukaiset f-kertoimet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Valaistuksen ohjaustapojen mukaiset f-kertoimet (12, s. 29).

Valaistuksen ohjaustapa	f-kerroin
Läsnäolotunnistin ja päivänvalosäädin	0,70
Päivänvalosäädin	0,80
Läsnäolotunnistin	0,75
Huonekohtainen kytkin	0,90
Huonekohtainen kytkin, erillinen ikkunaseinälle	0,90
Keskitetty päälle / pois	1,00

Valaistuksen ohjaustapaa valittaessa E-luvun laskentaan on kuitenkin huomioitava, että valaistuksen ohjauksesta on oltava tehtynä erillisselvitys. Kuvassa 15 on esitetty valaistuksen ohjaustavan valinta laskentaohjelmassa.

Valaistus		f-kerroin
Valaistuksen ohjaustapa ja f-kerroin	-	1

Kuva 15. Valaistuksen ohjaustavan valinta laskentaohjelmassa.

Ohjelmassa rakennuksen valaistuksen ohjaustapa valitaan alaslaskettavasta valikosta. Ohjaustavan valintaa tehtäessä ohjelma ilmoittaa käyttäjälle, että ohjaustavasta on oltava tehtynä erillisselvitys.

## 5.6 Johtumislämpöhäviöt ja kylmäsillat

Rakennuksen rakenteiden U-arvoilla, eli rakenteiden lämmönläpäisykertoimella, on suuri vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Energiatehokasta rakennusta rakentaessa

tulee pyrkiä käyttämään rakennusmateriaaleja, joilla on alhainen lämmönjohtavuus. Esimerkkitapauksen rakenteiden pinta-alat ja U-arvot on esitetty taulukossa 6. Johtumislämpöhäviöihin rakenteiden yli vaikuttaa rakenteen U-arvo, pinta-ala sekä lämpötilaero.

Taulukko 6. Esimerkkitapauksen ulkorakenteet.

Rakennusosat	U W/(m <sup>2</sup> °C)	A m <sup>2</sup>
Ulkoseinä	0,17	113
Yläpohja	0,09	147
Alapohja	0,17	147
Ikkunat	1	24,4
Ovet	1	8,2

Rakenteiden lisäksi johtumislämpöhäviöitä esiintyy rakenteiden liitoskohdissa. Näitä liitoskohtia kutsutaan kylmäsilloiksi. Taulukossa 7 on esitetty esimerkkitapauksen kylmäsiltojen tiedot. Kylmäsiltojen kautta johtuvaan lämpöhäviöön vaikuttaa kylmäsiltojen pituus, L (m), ja kylmäsiltojen lisäkonduktanssiarvo,  $\psi$  (W/mK), ja kylmäsiltojen yli vaikuttava lämpötilaero.

Taulukko 7. Esimerkkitapauksen kylmäsiltojen tiedot.

Kylmäsilto	L m	$\psi$ W/(m °C)
Ulkoseinän ja yläpohjan liitos	56,5	0,05
Ulkoseinän ja alapohjan liitos	56,5	0,17
Ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	17,5	0,04
Ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	7,5	-0,04
Ikkunaliitos	63,4	0,04
Oviliitos	24	0,04

Laskentaohjelmassa rakenteiden tiedot syötetään johtumislämpöhäviötaulukkoon. Taulukkoon syötetään kyseisen rakenteen pinta-ala sekä U-arvo kuvan 16 mukaisesti. Kuvassa 16 on esitetty ulkoseinärakenteiden täyttämiseen tarkoitettu johtumislämpöhäviötaulukon osa. Taulukkoon syötetään kaikkien muidenkin ulkoilmaan kosketuksissa olevien rakenteiden pinta-alat ja U-arvot. Erilaisia rakenteita voi ohjelmaan syöttää viisi erilaista jokaista rakennetyyppiä kohden, esimerkiksi ohjelmaan voi syöttää viisi eri ulkoseinärakennetta eri U-arvoilla. Käyttäjä syöttää ohjelmaan pinta-alan sekä U-arvon vihreällä merkittyihin soluihin. Oletus- ja 2018-sarakkeisiin ei täytetä mitään.

Oletussarakkeeseen ohjelma tuo rakennusvuoden mukaiset U-arvot rakenteille ja 2018-sarakkeeseen viimeisimpien asetusten vähimmäisvaatimusten mukaiset U-arvot.

Johtumislämpöhäviöt					
Rakennusosat		Pinta-ala, m <sup>2</sup>	Tunnettu U-arvo, W/m <sup>2</sup> K	Oletus U-arvo, W/m <sup>2</sup> K	2018 U-arvo, W/m <sup>2</sup> K
Ulkoseinät	Seinäraakenteen selite				
US1	US1	113,0	0,17	0,17	0,17
US2	-	0,0	1,00	0,17	0,17
US3	-	0,0	0,24	0,17	0,17
US4	-	0,0	0,24	0,17	0,17
USPL	-	0,0	0,24	0,17	0,17
<b>Yhteensä</b>		<b>113,0</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>

Kuva 16. Seinäraakenteiden lähtötietojen täyttötaulukko, osa johtumislämpöhäviötäulukkoa.

Ikkunoiden pinta-alat ja U-arvot tulee täyttää ilmansuunnittain. Näin ikkunoiden tiedot siirtyvät oikein auringosta tulevan lämpökuorman laskentaan.

Olemassa olevalle rakennukselle E-lukua laskettaessa voidaan kylmäsiltojen lämpöhäviöinä käyttää 10 %:a rakennuksen johtumislämpöhäviöistä (7, s. 9). Uusille rakennuksille kylmäsiltoja on aina laskettava. Kylmäsiltojen tiedot täytetään laskentaohjelman kylmäsiltojen taulukkoon vastaavalla tavalla kuin rakenteiden tiedot johtumislämpöhäviötäulukon. Käyttäjä valitsee kylmäsiltoja laskiessaan, kumpaa laskentatapaa käytetään laskentaohjelmalla. Ohjelma varoittaa, jos käyttäjä yrittää laskea E-lukua uudelle rakennukselle ja käyttää vanhoille rakennuksille tarkoitettua kylmäsiltojen laskentatapaa.

## 5.7 Lämpökuormat

E-luvun laskennassa rakennuksen sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat vaikuttavat siihen, kuinka paljon tilojen lämmittämiseen käytetään energiaa. Osa lämpökuormista katsotaan saatavan hyödyksi. Ihmiset, sähkölaitteet, lämpimän käyttöveden kierto ja varastointi sekä aurinko aiheuttavat lämpökuormaa rakennukseen. Valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja ihmisten aiheuttamat lämpökuormat on esitelty luvussa 5.5. Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuormat on esitelty luvussa 5.4.

Ikkunoiden kautta rakennuksen sisälle paistava aurinko aiheuttaa rakennukseen lämpökuorman. Auringosta aiheutuvaan lämpökuorman suuruuteen vaikuttavat seuraavat ikkunoiden ominaisuudet: ikkunoiden ilmansuunta, ikkunoiden lasiaukon osuus, pinta-ala, auringonsuojarakaisu, auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin eli g-arvo sekä

ikkunoiden ympäristöstä aiheutuvat varjostukset. Ikkunoiden ilmansuunnalla on suuri vaikutus auringosta aiheutuvaan lämpökuormaan. Suuret ikkunat etelään tuovat runsaasti päivänvaloa sisälle, mutta päivänvalon osuessa sisätilojen pinnoille aiheutuu myös lämpökuormaa. Tehokas tapa vaikuttaa auringosta aiheutuvaan lämpökuormaan, on käyttää erilaisia auringonsuojaratkaisuja, kuten verhoja tai markiiseja. Ikkunan g-arvo kertoo, kuinka suuri osa ikkunaan kohdistuvasta auringonsäteilystä läpäisee ikkunan. Tavallisesti g-arvo on välillä 0,5 ... 0,85. Ikkuna, jolla on matala g-arvo, päästää vähemmän lämpösäteilyä sisään kuin korkeamman g-arvon omaava ikkuna. Ympäristön varjostukset, kuten puut, räystäät ja toiset talot, vaikuttavat myös auringosta aiheutuvaan lämpökuormaan.

On syytä huomata, että vaikka lämpökuormat laskevat E-luvun laskennassa lämmitysenergian tarvetta, on lämpökuormilla myös negatiivisia vaikutuksia. Suuret lämpökuormat voivat kasvattaa sisälämpötilaa huomattavasti erityisesti lämpiminä kuukausina. Kohonnut sisälämpötila vaikuttaa rakennuksen käyttäjien viihtyvyyteen. Kohonnut sisälämpötila lisää myös jäähdytetyn rakennuksen jäähdytysenergiantarvetta. Lämpökuormat ovat oleellisia myös rakennuksen jäähdytysenergiantarpeen laskennassa. Laskentaohjelmaan tehtiin yksinkertainen jäähdytysenergiantarpeen laskenta, jota voi käyttää olemassa olevien rakennusten E-luvun laskentaan. Uusien jäähdytettyjen rakennusten E-luvun laskennassa on käytettävä dynaamista laskentaohjelmaa.

Laskentaohjelmaa käytettäessä ikkunoiden pinta-alat tulee syöttää kuvassa 16 esitettyyn johtumislämpöhäviötaulukkaan. Johtumislämpöhäviötaulukkaan syötetyt arvot siirtyvät automaattisesti kuvassa 17 esitettyyn taulukkaan, jonka tiedoilla lasketaan ikkunoiden kautta aiheutuva auringon lämpökuorma.

Ikkunat							
Ilmansuunta	Valitse ikkunatyyppi	g-arvo	Pinta-ala, A <sub>ikk</sub> , m <sup>2</sup>	Valitse auringonsuojaratkaisu	Verhokertoimen	Oma g-arvo	Oma g-kuormitus
Pohjoinen	Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + eristyslasi, gkohtisuora: 0,55	0,50	8,8	Valkoiset sälekalhtimet sisäpuolella	0,6		
Koillinen			0,0				
Itä	Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + eristyslasi, gkohtisuora: 0,55	0,50	1,3	Valkoiset sälekalhtimet sisäpuolella	0,6		
Kaakko			0,0				
Etelä	Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + eristyslasi, gkohtisuora: 0,55	0,50	11,1	Valkoiset sälekalhtimet sisäpuolella	0,6		
Lounas			0,0				
Länsi	Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + eristyslasi, gkohtisuora: 0,55	0,50	3,2	Valkoiset sälekalhtimet sisäpuolella	0,6		
Luode			0,0				
Lasiainkko-osuus, kehäkerroin	75 %		<b>Yhteensä 24 m<sup>2</sup></b>				

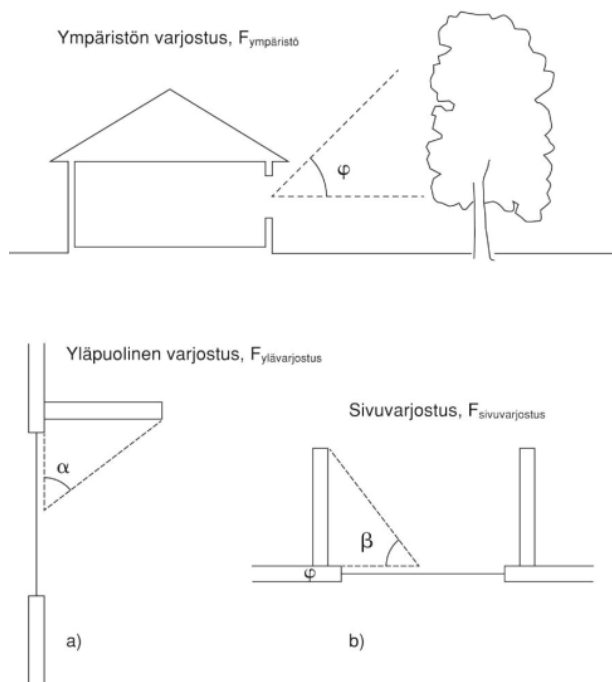
Kuva 17. Laskentaohjelman taulukko, johon syötetään ikkunoiden tarkemmat tiedot.

Taulukkoa täytettäessä voi käyttää valmiiksi ohjelmaan asetettuja arvoja g-arvoja ja auringonsuojaratkaisuja. Taulukosta voi valita alaslaskettavasta luettelosta minkälaiset ikkunat kohteessa on. Esimerkkitapauksessa ikkunoiden g-arvo on 0,5, joten luettelosta on valittu ikkunatyypiksi erillislasillinen eristyslasi, jossa on matalaemissiviteettipinnoite. Ikkunan  $g_{\text{kohtisuora}}$ -arvo on 0,55. Kertomalla tämä arvo kertoimella 0,9 saadaan ikkunan g-arvoksi 0,5, jota voidaan käyttää laskennassa (12, s. 33). Joissain kaupallisissa E-lukulaskentaohjelmissa tämä  $g_{\text{kohtisuora}}$ -arvon muuttaminen g-arvoksi on jätetty pois laskennasta, minkä vuoksi nämä ohjelmat antavat virheellisiä tuloksia. Laskentaohjelmaan voi myös syöttää itse  $g_{\text{kohtisuora}}$ - tai g-arvon, jos luettelosta ei löydy oikean arvon omaavaa ikkunaa. Taulukosta valitaan myös ikkunoiden auringonsuojaratkaisut. Taulukossa 8 on esitetty auringonsuojaratkaisut sekä niiden verhokertoimet. Ikkunoiden g-arvot näkyvät taulukossa punaisella tekstillä, jotta laskentaohjelman käyttäjä kiinnittää niihin huomiota ja havaitsee mahdollisen virheen. Ikkunan lasiaukon osuus eli kehäkerroin on tavallisesti 75 % ikkuna-aukon pinta-alasta. Kehäkertoimen ollessa jotain muuta, voi käyttäjä muuttaa sen taulukosta.

Taulukko 8. Auringonsuojaratkaisut ja niiden verhokertoimet.

Auringonsuojaratkaisu	Verhokerroin
Ei verhoa	1,00
Verhot	0,75
Valkoiset sälekaihtimet lasien välissä	0,3
Valkoiset sälekaihtimet sisäpuolella	0,6
Ikkunaluukut (säleikkö) ulkopuolella	0,3

Laskentaohjelmassa valitaan myös ikkunoihin kohdistuvat ympäristön varjostukset, yläpuoliset varjostukset sekä sivuvarjostukset. Varjostukset valitaan alaslaskettavista luetteloista. Varjostukset ilmoitetaan astekulmina. Kuvassa 18 on esitetty varjostukset ja tapa, miten ne määritetään.



Kuva 18. Ikkunoihin vaikuttavat varjostukset (12, s. 35).

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan ottamalla huomioon lämpökuormista hyödyksi saatava energiamäärä. Lämpökuormista hyödyksi saatava energia lasketaan ympäristöministeriön julkaisun Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon laskenta mukaan. Lämmityksen nettoenergiatarpeen selvittämiseksi tulee tilojen lämpöhäviöistä vähentää lämpökuormista hyödyksi saatu energia.

## 5.8 Ympäristöstä saatava energia

Ympäristöstä saatava energia tarkoittaa energiaa, joka tuodaan rakennuksen ulkopuolelta ja käytetään hyödyksi rakennuksessa. Energiaa voidaan ottaa auringosta, tuulesta, maaperästä, vedestä ja ilmasta. Esimerkiksi lämpöpumput ja aurinkopaneelit hyödyntävät ympäristöstä saatua energiaa. Ympäristöstä otettu energia ilmoitetaan energiatodistuksessa. Poistoilmalämpöpumppu ei hyödynnä ympäristön energiaa, joten sen talteenottamaa energiaa ei tarvitse ilmoittaa erikseen. Ympäristöstä saatua energiaa, joka myydään eteenpäin esimerkiksi sähköverkkoon, ei oteta huomioon E-luvun laskennassa (8, s. 4).

Laskentaesimerkin tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergia tuotetaan maalämpöpumpulla. Maalämpöpumppu on mitoitettu kattamaan 70 % rakennuksen tilojen lämmityksen mitoitustehosta,  $\varphi_{lpn}/\varphi_{tila}$ . Maalämpöpumpulla lämmitetään käyttövettä, joten sen lauhduttimelta lähtevän veden lämpötila on korkeintaan + 60 °C. Lämmönkeruupiirin vuotuinen keskilämpötila on + 3 °C.

Laskentaohjelmaan maalämpöpumpun tiedot on syötetty Lämpöpumput-osion maalämpöpumpun täyttötaulukkoon. Laskentaohjelmaan on valittu lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tuottamismuodoksi lämpöpumppu. Kuvassa 19 on esitetty laskentaohjelman taulukko, johon maalämpöpumpun tiedot syötetään.

Maalämpöpumppu		<input checked="" type="checkbox"/> Maalämpöpumppu käytössä	
Lämpöpumpun teho	4,00		kW
$\varphi_{lpn}/\varphi_{tila}$	0,70		
Maalämpöpumpun toiminta	Tilojen ja LKV lämmitys, 60 °C		
Vuotuinen keruupiirin keskilämpötila	+3 °C		
SPF lämmitys (taulukko)	3,1		
SPF LKV (taulukko)	2,3		
SPF lämmitys (tunnettu)			
SPF LKV (tunnettu)			
Varaajan tilavuus	500		
Varaajan eristystaso	100 mm eriste		

Kuva 19. Laskentaohjelman taulukko, johon syötetään maalämpöpumpun tiedot.

Laskentaohjelmaan syötetään lämpöpumpun teho, josta ohjelma laskee aikaisemmin syötettyjen rakennuksen tietojen perusteella lämpöpumpun tehon suhteen rakennuksen lämmitystehoon ja näyttää sen taulukossa. Näin pyritään minimoimaan käyttäjän tekemiä virheitä. Muissa E-lukulaskentaohjelmissa syötetään lämpöpumpun tehon suhde tilojen lämmityksen tehoon, jolloin käyttäjä joutuu tekemään ylimääräistä laskentaa käsin. Laskentaohjelmassa valitaan myös, lämmitetäänkö vain tiloja vai myös lämmintä käyttövettä. Tiloja lämmitettäessä valitaan myös lämmityksen menoveden lämpötila. Taulukosta on myös valittava, onko keruupiirin vuotuinen keskilämpötila +3 °C vai –3 °C.

Laskentaohjelma käyttää lähtökohtaisesti lämpöpumpuille SPF-lukujen, eli lämpöpumpun vuotuisen lämpökertoimen, taulukkoarvoja, jotka on esitetty ympäristöministeriön julkaisussa Energiatohokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon laskenta. SPF-luku on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla vuodessa tuotetun energian suhde lämpöpumpun sekä sen apulaitteiden käyttämään sähkönkulutukseen (13, s. 4). Mikäli kohteen lämpöpumppujen SPF-luvut



ovat tiedossa, syötetään ne taulukoihin. Myös lämpimän veden varaajan tiedot tulee täyttää. Muiden laskentaohjelmassa olevien lämpöpumppujen tietojen täyttö noudattaa samoja peruseriaatteita kuin maalämpöpumpun.

Laskentaohjelmalla voidaan laskea myös laskentatapauksia, joissa on aurinkosähköpaneeleita tai käyttöveden lämmitystä aurinkoenergialla. Aurinkoenergiaa käyttävien järjestelmien tiedot syötetään omiin taulukoihinsa. Taulukot vastaavat pitkälti toisiaan. Taulukoihin syötetään paneelien ja keräimien pinta-alat ja hyötysuhteet. Aurinkopaneelien noston esiasetetuksi hyötysuhteeksi on asetettu 16 %. Paneelien suuntaukset asetetaan pinta-alan prosentiosuutena ilmansuunnittain, esimerkiksi 60 % etelään ja 40 % länteen. Paneelien kallistus säädetään ilmansuunnittain. Mikäli aurinkoenergiajärjestelmistä on tehty erillisselvitykset, voi järjestelmien tunnetun vuotuisen energiamäärä-tuoton syöttää taulukoihin laskennassa käytettäväksi. Auringosta hyödynnettävän energian laskenta noudattaa ympäristöministeriön Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta -julkaisun ohjeita.

Mikäli rakennuksessa on oma tuulivoimala, voidaan senkin tiedot syöttää laskentaohjelmaan. Tuulivoiman tapauksessa laskentaohjelmaan syötetään pelkästään tunnettu tuulivoimalla tuotettu sähköenergian määrä vuodessa.

Ympäristöstä energiaa ottavat järjestelmät vähentävät ostoenergian määrää. Monet ympäristöstä energiaa ottavat järjestelmät käyttävät toimintaansa sähköä. Tämä sähköenergiankulutus lisätään sähkön ostoenergian määrään.

## 5.9 Jäähdytysenergian tarpeen laskenta

Laskentaohjelmaan tehtiin yksinkertainen jäähdytysenergian tarpeen laskenta, jolla voidaan laskea olemassa olevien jäähdytettyjen rakennusten jäähdytysenergiankulutusta. Jäähdytysenergiankulutus voidaan laskea kuukausittaisena, jos se lasketaan ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatodistuksesta kohdan 3 mukaan. Uusien jäähdytettyjen rakennusten E-luvun laskennassa on kuitenkin käytettävä dynaamista laskentaohjelmaa. (7, s. 20.)

Laskentaohjelman jäähdytysenergiantarpeen laskenta noudattaa ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatodistuksesta kohdan 3 laskentatapaa. Esimerkkilaskentatapauksen rakennus ei ole jäähdytetty. Laskentaohjelmaan jäähdytysjärjestelmän tietoja syötettäessä on valittava ensin jäähdytysjärjestelmä laskettavaksi painamalla vastaavaa painiketta kuin lämpöpumpuissakin. Jäähdytysenergiankulutuksen laskennan kannalta on myös oleellista, miten jäähdytysenergia tuotetaan. Jäähdytysenergian tuotantomuoto valitaan alaslaskettavasta luettelosta. Jäähdytysenergian eri tuotantomuodoilla on eri kylmäkertoimet. Korkean kylmäkertoimen tuotantomuodolla käytetään vähemmän sähköenergiaa saman jäähdytysenergian aikaansaamiseksi. Kuvassa 20 on esitetty eri jäähdytysenergian tuotantomuotojen vuotuisia kylmäkertoimia

Jäähdytysenergian tuottotapa	$\epsilon_E$	$\epsilon_Q$
Kompressori-kylmälaitos, ilmalauhdutteen	2,5	-
Kompressori-kylmälaitos, vesilauhdutteen	3	-
Vapaajäähdytys, liuosjäähdytin (kuiva)	5	-
Vapaajäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7	-
Vapaajäähdytys, maaputkisto (vaakasuora)	30	-
Split-laitteet	3	-
Kaukojäähdytys (lämmönsiirrin)	-	1
Absorptiojäähdytys	-	0,7

Kuva 20. Eri jäähdytysenergian tuotantomuotojen vuotuisia kylmäkertoimia (12, s. 62).

Laskentaohjelma laskee rakennuksen tietojen ja valitun jäähdytysenergian tuotantomuodon mukaan jäähdytykseen tarvittavan sähköenergian ostoenergian. Rakennuksen jäähdytysmuodon ollessa kaukojäähdytys tulokseksi tulee tarvittava kaukojäähdytyksen ostoenergia.

#### 5.10 Lähtötietojen täydellisyyden tarkistus

Laskentaohjelman lähtötietosivun lopussa on Lähtötietojen tarkistus -taulukko. Taulukosta voi tarkistaa, ovatko laskentaan asetetut lähtötiedot oikein. Taulukko ilmoittaa erikseen jokaista täytettävää taulukkoa kohden, onko kaikki tarvittavat solut täytetty ja onko solut täytetty hyväksyttävillä arvoilla. Mikäli joku tarvittava solu on tyhjä tai solussa on

väärä arvo, taulukko ilmoittaa virheestä. Taulukon vieressä on navigointipainikkeet, joilla voidaan siirtyä haluttuun kohtaan laskentaohjelman lähtötietovälilehdellä.

### 5.11 Tapauslaskennan tulokset ja tulosten analysointi

Esimerkkilaskentatapauksen E-luku on  $100 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Laskentaohjelmalla laskettu E-luku on  $104 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Laskentaohjelman ja esimerkkilaskelman johtumislämpöhäviöt eroavat toisistaan noin 1,5 prosentilla. E-luvun eroamiseen on kaksi syytä. Johtumislämpöhäviöiden ero vaikuttaa osaltaan lämpökuormista hyödyksi saatavan energian määrään. Täten myös tilojen lämmitysenergian nettotarpeet eroavat toisistaan, joten maalämpöpumpun käyttämän sähköenergiamääräkin eroaa.

Tulosten eroamisen suurempi syy on laskentaohjelman tekemä lämpöpumpun laskenta lämpöpumpun kattamasta tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta. Laskentaohjelma interpoloi eri arvon lämpöpumpun kattamaksi lämpöenergiaosuudeksi kuin esimerkkilaskentatapauksessa on laskettu. Laskentojen tulosten ero on kuitenkin vähäinen.

## 6 Laskentaohjelmien käytettävyyden vertailu

Insinööriyönä tehdyn laskentaohjelman käytettävyyttä verrattaessa muihin E-lukulaskentaohjelmiin erottuu laskentaohjelma edukseen. Laskentaohjelman tekemisen alkuvaiheilta lähtien oli tarkoituksena, että ohjelma tekee suurimman osan työstä ja käyttäjä mahdollisimman vähän. Muita kaupallisia E-lukulaskentaohjelmia käytettäessä on huomattu puutteita niiden käytettävyydessä.

Muissa kaupallisissa laskentaohjelmissa on tapauksia, joissa jo aiemmin tehty valinta pitää tehdä saman laskennan lähtötietoja syöttäessä useasti. Näitä laskentaohjelmia käytettäessä on myös tehtävä valintoja ja syötettävä arvoja, jotka ohjelma voisi hyvin valita tai laskea itse. Esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämmitysenergian ominaiskulutus tai kerroslukumäärän vaikutus ilmanvuodon x-kertoimeen ovat arvoja, jotka joissain ohjelmissa ovat vain käyttäjän valittavissa eivätkä ne päivitty automaattisesti rakennusluokan tai kerroslukumäärän vaihtuessa. Aina, kun ohjelman käyttäjän on tehtävä joku valinta tai laskettava jokin arvo käsin, kasvaa laskennan virheen mahdollisuus. Laskelmien virhetarkastelu on työlästä, jos käyttäjä tekee kaikki valinnat. Yhtä arvoa muutettaessa pitäisi muuttaa kahta tai kolmea muutakin arvoa, mutta tämä unohtuu helposti. Erityisesti jos laskentaohjelman käyttäjä ei täysin tiedä, mitä vaikutuksia milläkin valinnalla on, ei käyttäjä välttämättä muuta kaikkia valintoja oikeiksi.

Eräässä kaupallisessa laskentaohjelmassa korostuu erityisen paljon ohjelman keho käytettävyys. Ohjelma itsessään on kokeneelle energiatodistuksen laatijalle selkeä, mutta hyvin työläs käyttää. Tässä ohjelmassa ei ole esimerkiksi johtumislämpöhäviöiden laskentaan käytettäviä valmiita taulukoita, jotka täytettäisiin. Jokainen rakenne ja ikkunat ilmansuunnittain pitää hakea ohjelmaan erillisestä ponnahdusikkunasta. Ohjelman lähtötietojen täyttäminen on työlästä ja hidasta. Toisaalta ohjelmaan voi myös syöttää tietomallin rakennuksesta, jonka tiedot siirretään E-luvun laskentaan. Tämä nopeuttaa johtumislämpöhäviöiden laskentaa.

Kaupalliset laskentaohjelmat eivät useinkaan opasta laskentaohjelman käyttäjää. Ohjelmiin syötetään arvoja ja tehdään valintoja, mutta ohjelma ei informoi käyttäjälle, miten valinta vaikuttaa laskentaan ja missä tapauksessa. Laskentaohjelmissa tehdään valintoja ja syötetään arvoja, mutta missään ei kerrota tarkasti, mitä ohjelmaan pitää syöttää. Ohjelmissa on myös paljon lyhenteitä ja symboleita, joita ei ole selitetty ollenkaan.

Lähtökohta E-luvun laskennassa on, että sen laskija on pätevä ja ymmärtää laskentaohjelmissä käytettävät termit ja lyhenteet. Siitä huolimatta laskentaohjelmien olisi hyvä olla selkeitä ja helppokäyttöisiä. Laskentaohjelman ei kuuluisi mahdollistaa käyttäjää tekemään virheitä E-luvun laskennassa.

## 7 Yhteenveto

Laskentaohjelmalla on suoritettu Motivan laskentaesimerkkien mukaisia koeajoja. Esimerkkilaskelmissa on esitetty askel askeleelta laskennan eteneminen ja laskennan tulokset. Laskentaohjelmalla suoritettujen koeajolaskelmat tarkasteltiin vaihe vaiheelta ja niitä verrattiin Motivan esimerkkilaskelmiin. Suoritettujen koeajojen rakennukset erosivat toisistaan suuresti. Rakennukset erosivat toisistaan käyttötarkoituksiltaan sekä lämmitys-, ilmanvaihto- ja käyttövesijärjestelmiltään. Suoritettuja koeajoja ovat olleet

- Uusi pientalo
- Pientalo vuodelta 2000
- Pientalo vuodelta 1947
- Uusi kerrostalo
- Kerrostalo vuodelta 1970
- Toimistotalo vuodelta 2006.

Koeajojen avulla on pyritty löytämään ja korjaamaan ohjelmassa vielä esiintyviä lasku- ja logiikkavirheitä. Ohjelmaa on koeajojen tulosten perusteella korjattu ja päivitetty. Laskentaohjelma laskee oikein ainakin esimerkkilaskelmien mukaiset laskentatapaukset. Erilaisia laskentatapauksia on lukematon määrä, joita kaikkia ei pysty koeajamaan. Tämän vuoksi laskentaohjelmaa tulee kehittää ja korjata vielä tulevaisuudessakin. Ohjelma on siirtynyt Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:n sisäiseen tarkastelukiertoon, josta odotetaan kommentteja ja parannusehdotuksia käytettävyyteen ja ulkonäköön liittyen.

Laskentaohjelman teko oli odotettua suurempi ja haastavampi työ. Laskentaohjelman tekoa aloittaessa ei osattu odottaa, että laskentatyökalun lopputuloksena olisi useita kymmeniä Excel-välilehtiä ja tuhansia rivejä laskentaa sekä taulukoita.

Työn lopputulokseksi saatiin erinomainen ja toimiva E-lukulaskentaohjelma. Lopputulos täyttää työlle asetetut tavoitteet. Laskentaohjelma laskee tarkasti ja vaivattomasti monitkaistenkin rakennusten E-lukuja. Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:lle ohjelmalla on erityistä arvoa, sillä tämän laskentaohjelman myötä voidaan laskelmia tarkastaa ja muokata tarpeen vaatiessa.

Laskentaohjelmalle on suunniteltu jo jatkokehitystä. Ohjelmaan tehdään tasauslaskentalaskuri. Lisäksi ohjelmasta kopioidaan erillisille Excel-tiedostoille sen sisältämät muualla mahdollisesti hyödynnettävät osat. Tätä insinööriyötä tullaan käyttämään ohjelman käyttäjien kouluttamiseen.

## Lähteet

- 1 Virpi, Mikko. 2015. Energialaskureiden vertailu. Insinööriyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/91/EY. 2002. 16.12.2002.
- 3 Berardi, Umberto. 2015. Building Energy Consumption in US, EU, and BRIC Countries. Procedia Engineering. Vol 118, s. 1–9.
- 4 Laki rakennuksen energiatodistuksesta. 2013. 50/18.1.2013.
- 5 Mikä on energiatodistus? 2018. Verkkoaineisto. Motiva. < <http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/>>. Päivitetty 31.10.2018. Luettu 6.3.2019.
- 6 Energiatodistusopas 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. < [http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e8ea8b7adc2802ea8b11e89b1a77278a7d4c494c49/energiatodistus-opas\\_2018\\_varsinainen\\_opas.pdf](http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e8ea8b7adc2802ea8b11e89b1a77278a7d4c494c49/energiatodistus-opas_2018_varsinainen_opas.pdf)>. Luettu 15.3.2019.
- 7 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2017. Suomen Säädoskokoelma, osa 1048/2017. Ympäristöministeriö.
- 8 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. Suomen Säädoskokoelma, osa 1010/2017. Ympäristöministeriö.
- 9 Keinänen, Mikko. 2019. Energiatekniikan asiantuntija, Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy. Helsinki. Keskustelu 15.3.2019.
- 10 Kalliomäki, Pekka. 2017. Perustelumuistio asetukseen 788/2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. < [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus)>. Luettu 21.11.2017.
- 11 Energiatodistuksen laadintaesimerkki: Pientalo. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. < [http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e8ea8be507b200ea8b11e8983ce717011184028402/energiatodistus-opas\\_2018\\_uusi\\_pientalo.pdf](http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e8ea8be507b200ea8b11e8983ce717011184028402/energiatodistus-opas_2018_uusi_pientalo.pdf)>. Luettu 15.3.2019.
- 12 Energiatehokkuus Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus)>. Luettu 15.3.2019.



- 13 Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus)>. Luettu 15.3.2019.