



Janne Vuoti

Energiatehokkuusluokan parantaminen vanhassa omakotitalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

4.10.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Janne Vuoti
Otsikko:	Energiatehokkuusluokan parantaminen vanhassa omakotitalossa
Sivumäärä:	62 sivua + 6 liitettä
Aika:	4.10.2023
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	LVI-suunnittelu
Ohjaaja:	lehtori Seppo Innanen

EU on suunnittelemassa uutta energiatehokkuusdirektiiviä, jonka mukaan kaikkien asuinrakennusten pitäisi kuulua vuoteen 2030 mennessä vähintään energialuokkaan E ja vuoteen 2033 mennessä energialuokkaan D. Uusi energiatehokkuusdirektiivi tarkoittaisi toteutuessaan suurimmalle osalle vanhoista omakotitaloista laajoja ja mahdollisesti kalliita toimenpiteitä energiatehokkuusluokan nostamiseksi riittävälle tasolle.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laskea kolme eri vaihtoehtoa, millä toimenpiteillä saadaan Oulun seudulla sijaitseva vanha omakotitalo energiatehokkuusluokkaan D. Opinnäytetyössä käytiin myös läpi korjausrakentamiseen liittyvää teoriaa lainsäädäntöineen sekä tutustuttiin energiamääräyksiin. Työssä käsiteltiin myös erilaisia vaihtoehtoja, joilla energiatehokkuutta voitaisiin lähteä parantamaan.

Opinnäytetyön perusteella saatiin selville, että E-luku paranee selvästi eniten vaihtamalla lämmitysmuoto joko maalämpöön tai ilma-vesilämpöpumppuun. Näillä vaihtoehdoilla päästiin suoraan energialuokkaan D ilman muita energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Laskennan perusteella huomattiin myös, että mikäli lämmitysmuotoa ei vaihdeta, vaatii D-luokkaan pääsy huomattavia rakennusteknisiä muutoksia.

Avainsanat: energiatehokkuusluokka, vanha omakotitalo, E-luku

Abstract

Author: Janne Vuoti
Title: Improving EPC Rating in Old Detached House
Number of Pages: 62 pages + 6 appendices
Date: 4 October 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Specialisation option: HVAC Design
Instructor: Seppo Innanen, Senior Lecturer

The purpose of this thesis was to calculate three options to improve the energy efficiency class of an old detached house to class D. Furthermore, the basics of renovation and the legislation, as well as the new energy directives planned by the EU for the years 2030 and 2033, which would force many of the existing single-family houses to undergo costly renovations governing it were discussed. The thesis also introduced various options on how to improve the energy efficiency of buildings and discussed the methods.

The final year project showed that the most effective way to improve the E-value is to change the heating system of the building to either geothermal heating or to an air-to-water heat pump. If the heating system was not replaced, the achievement of energy class D required significant structural changes, whereas the replacing the heating system, the energy class D was achieved without any other energy efficiency improvements.

Keywords: energy efficiency class, old detached house, E-value

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Korjausrakentamisen lainsäädäntö, energiatehokkuus ja avustukset	2
2.1	Energiatehokkuusdirektiivin muutos	2
2.2	Lainsäädäntö muutos- ja korjausrakentamisessa	2
2.3	Energiatehokkuuslaskenta	4
2.4	Energiatodistus (energiaselvitys), E-luku	4
2.5	Energia-avustukset	5
3	Vaihtoehtoja E-luvun parantamiseen	6
3.1	Maalämpö	6
3.1.1	Lämpökaivo	8
3.1.2	Maapiiri	8
3.1.3	Vesistöpiiri	8
3.2	Ilmalämpöpumppu	9
3.3	Ilma-vesilämpöpumppu	10
3.4	Varaavat tulisijat	11
3.4.1	Varaava takka	12
3.4.2	Varaava kiertoilmatakka	12
3.4.3	Varaava puuhella ja varaava takkaleivinuuni	13
3.5	Ikkunoiden ja ovien uusiminen	13
3.6	Seinien ja yläpohjan eristys	14
3.7	Aurinkoenergia	15
3.7.1	Aurinkokeräimet	17
3.7.2	Aurinkopaneelit	17
3.7.3	Hybridipaneelit	18
3.8	Ilmanvaihto	18
3.8.1	Painovoimainen ilmanvaihto	18
3.8.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	18
3.8.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	19
4	Kohteen tiedot	20
4.1	Kohteen tiedot	20
4.2	Ilmanvaihto ja lämmitys	23
4.3	Rakennusosat	23

5	Alkuperäisen E-luvun laskenta	23
5.1	Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus	24
5.1.1	Kuluttajalaitteet ja valaistus	24
5.2	Lämmitysenergian tarve	25
5.2.1	Lämmin käyttövesi	25
5.2.2	Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve	26
5.2.3	Tilojen lämmitysenergian nettotarve	31
5.3	Lämmitysjärjestelmien energiankulutus	37
5.3.1	Tulisija	37
5.3.2	Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmä	37
5.4	E-luku	40
6	Vaihtoehtoja energiatehokkuusluokan parantamiseen	42
6.1	Vaihtoehto 1	42
6.1.1	Maalämpö	42
6.2	Vaihtoehto 2	46
6.2.1	Ilmalämpöpumppu	46
6.2.2	Yläpohjan eristys	47
6.2.3	Ikkunoiden uusiminen	48
6.2.4	Varaava takka	49
6.2.5	Aurinkosähköpaneelit	50
6.3	Vaihtoehto 3	51
6.3.1	Ilma-vesilämpöpumppu	51
7	Yhteenveto	55
	Lähteet	57
	Liitteet	
	Liite 1. Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus	
	Liite 2. Rakennuksen johtumislämpöhäviöt vuodessa	
	Liite 3. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve	
	Liite 4. Ominaislämpöhäviö ja lämpökuormat	
	Liite 5. Tilojen lämmitysenergian nettotarve	
	Liite 6. Yläpohjan ja ikkunoiden johtumislämpöhäviöt uusimisen jälkeen	

1 Johdanto

Maailmanlaajuinen huoli ilmaston liiallisesta lämpenemisestä on puhututtanut ihmisiä runsaasti viime aikoina. Yli 1,5 asteen nousu maapallon keskilämpötilassa tarkoittaisi luonnolle huomattavia, jopa kohtalokkaita vaikutuksia. Tällä hetkellä maapallon keskilämpötilan nousu on 1,1 asteessa, ja sen hidastaminen on koko ajan haastavampaa maapallon väkiluvun ja teollisuuden kasvaessa [1]. Yksi iso kasvihuonepäästöjen aiheuttaja on rakennukset ja rakennuksissa erityisesti asuinrakennusten lämmittäminen. Suomen energiankäytöstä rakennusten lämmittämiseen kuluu kokonaisenergiankulutuksesta 32 %. [2.]

EU on suunnittelemassa uutta energiatehokkuusdirektiiviä, jonka mukaan kaikkien pientalojen pitäisi kuulua vuoteen 2030 mennessä vähintään energialuokkaan E ja vuoteen 2033 mennessä energialuokkaan D. Vanhemmat asuinrakennukset, joihin ei ole tehty energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä, eivät ole nykymittapuulla erityisen energiatehokkaita, ja ne kuuluvatkin Suomessa yleensä energialuokkaan F tai G. Uusi energiatehokkuusdirektiivi tarkoittaisi toteutuessaan suurimmalle osalle vanhoista omakotitaloista laajoja ja kalliita toimenpiteitä energiatehokkuusluokan nostamiseksi riittävälle tasolle. [3.]

Tämän opinnäytetyön kohteena on 1960-luvulla rakennettu omakotitalo Pohjois-Pohjanmaalla. Taloa on laajennettu 1980-luvulla, ja siihen on tehty myös joitain perusparannuksia aikojen saatossa. Työn tavoitteena on laskea kohteen energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) ja tutkia, mitä eri vaihtoehtoja on, jotta talon energiatehokkuusluokka saataisiin nostettua D-tasolle.

Sen lisäksi, että energiatehokas talo vähentää hiilidioksidipäästöjä ja hidastaa ilmaston lämpenemistä, voi esimerkiksi lämmitysmuodon vaihtaminen energiatehokkaampaan olla myös hyvä sijoitus asumiskustannusten kannalta tulevaisuutta ajatellen, koska Suomen kylmä ilmasto ja viime vuosina kasvussa ollut energian hinta nostavat huomattavasti lämmityskustannuksia.

2 Korjausrakentamisen lainsäädäntö, energiatehokkuus ja avustukset

Suomi kuuluu Pariisin ilmastopöytäkirjaan, jossa pyritään pitämään maapallon keskilämpötilan nousu alle 1,5 asteessa esiteollistuneeseen aikaan verrattuna. Jotta tässä pysytään, joudutaan koko ajan kehittämään uusia keinoja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Tämä tarkoittaa kasvihuonekaasujen muodostumisen vähentämistä erilaisilla toimenpiteillä. [1.]

2.1 Energiatehokkuusdirektiivin muutos

EU:n parlamentti hyväksyi 14.3.2023 kantansa lakiehdotukseen, jolla muutettaisiin rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä. Energiatehokkuusdirektiivin muutoksen tarkoituksena on parantaa uusien ja vanhojen rakennusten energiatehokkuutta, jotta pysyttäisiin suunnitelluissa ilmastotavoitteissa. Hyväksytyyn kannan mukaan kaikki uudet rakennukset haluttaisiin päästöttömiksi vuodesta 2028 alkaen ja vanhat rakennukset asteittain vähintään energiatehokkuusluokkaan D vuoteen 2033 mennessä. Kaikissa uusissa rakennuksissa pitäisi myös hyödyntää aurinkoenergiaa, mikäli se on mahdollista ja kannattavaa. [4.]

Lakiehdotus myös velvoittaisi jäsenmaita kehittämään tukijärjestelmiä, joilla paljastaisiin energiatehokkuudeltaan heikoimpia talouksia merkittävistä energiansäästöön kohdistuvista perusparannuksista. Lisäksi kohdennettuja tukia pitäisi ottaa käyttöön vähävaraisille talouksille. [4.]

2.2 Lainsäädäntö muutos- ja korjausrakentamisessa

Rakentamista Suomessa ohjaa ja määrää maankäyttö- ja rakennuslaki sekä tarkempia määräyksiä ja ohjeita sisältävä Suomen rakentamismääräyskokoelma, jota ylläpitää ympäristöministeriö. Rakentamismääräyskokoelman asetukset ovat koskeneet pääsääntöisesti uudisrakentamista, vanhojen rakennusten korjaus- ja muutostöissä aiempaa rakentamismääräyskokoelmaa sovellettiin tilanteen mukaan [5]. Vuonna 2018 uudistuneessa rakennusmääräyskokoelmassa on lisäksi myös korjausrakentamista koskeva sääntely, jossa kerrotaan,

koskeeko määräys uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamista ja muutostöitä, vai onko niille mahdollisesti omat määräykset tai ohjeet. [6.]

Ympäristöministeriön ylläpitämän Suomen rakentamismääräyskokoelman osiot:

- Suunnittelu ja valvonta
- Rakenteiden lujuus ja vakaus
- Paloturvallisuus
- Terveellisuus
- Käyttöturvallisuus
- Esteettömyys
- Meluntorjunta ja ääniolosuhteet
- Energiatehokkuus
- Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje
- Asuntosuunnittelu [5].

Energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö on nykyään merkittävässä roolissa rakentamisessa ja korjausrakentamisessakin energiatehokkuutta on alettu huomioida enemmän viime vuosina. Vuonna 2013 tuli voimaan asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä, se löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuus-osiosta. Vuonna 2017 asetukseen tuli muutos, jolloin siihen lisättiin pykälä 1a, jossa määritellään korjaus- tai muutostyön energiatehokkuutta parantava ratkaisu, ja samalla pykälään 2 lisättiin laajamittaisen korjauksen määritelmä. Pykälässä 5 tarkennettiin koneellisen poistoilmanvaihdon ja lämmönjakojärjestelmän energiatehokkuusvaatimuksia. [5.]

Ryhdyttäessä energiatehokkuutta parantavaan korjaus- tai muutostyöhankkeeseen siihen on tarvittaessa hankittava määräysten mukainen lupa kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta. Kaikki energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet eivät vaadi rakennuslupaa, mutta mikäli vanhaa rakennusta esimerkiksi laajennetaan, siihen on oltava rakennuslupa [7]. Energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet esitetään suunnittelun yhteydessä. [8, s. 1.]

2.3 Energiatohokkuuslaskenta

Aiemmin energiaterokkuuslaskennassa käytetty kumottu rakentamismääräyskokoelma D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet vuodelta 2012 uudistui ja uudet ohjeet tulivat voimaan 1.1.2018 [9, s. 2]. Energiaterokkuuslaskentaan merkittävin ero uudessa ohjeessa on vanhaan ohjeeseen verrattuna lämmitystavan energiamuodon kertoimet, ja varsinkin sähkön energiamuodon kerroin on muuttunut selvästi paremmaksi, kun taas fossiilisten polttoaineiden kerroin on pysynyt muuttumattomana [10]. Sähkön ja kaukolämmön tuottamisen tullessa ympäristöystävällisemmäksi Suomessa uusiutuvan energian lisääntymisen myötä, on vaikuttanut energiamuodon kertoimien pienentymiseen taulukon 1 mukaisesti. [11, s. 3–7.]

Taulukko 1. Energiamuodon kertoimet ennen ja jälkeen [10].

Energiamuoto	2012	2018
SÄHKÖ	1,70	1,20
KAUKOLÄMPÖ	0,70	0,50
KAUKOJÄÄHDYTYS	0,40	0,28
FOSSIILISET POLTTOAINEET	1,00	1,00
UUSIUTUVAT POLTTOAINEET	0,50	0,50

2.4 Energiatodistus (energiaselvitys), E-luku

Energiatodistuksessa on ilmoitettu mm. rakennuksen vertailuluku eli E-luku, vakioitulla käytöllä laskettu ostoenergiankulutus, toteutunut sähkönkulutus sekä toimenpide-ehdotuksia energiaterokkuuden parantamiseen. Energiankulutuslaskelmassa on huomioitu esimerkiksi rakennuksen ominaisuudet ja pinta-alaan perustuva sähkölaitteiden kulutus. [12.]

Energiatodistus on pakollinen uudisrakennuksille ja muille olemassa oleville rakennuksille myynti- tai vuokraustilanteissa. Energiatodistuksesta voidaan tehdä

myös kevennetty menetelmä esimerkiksi silloin, jos rakennus myydään tai vuokrataan lähisukulaiselle, kohde ei ole julkisessa myynnissä tai jos talon arvo on alle 50 000 euroa. Alle 50 m²:n kokoiset rakennukset ja loma-asunnot eivät tarvitse energiatodistusta. Energiatodistus on voimassa 10 vuotta. [13.]

E-luku on Helsingin säätietoihin perustuva energiatehokkuuden vertailuluku [14, s. 6], joka ei perustu rakennuksen todelliseen sijaintiin ja eikä se näin ollen myöskään kerro kohteen todellista energiankulutusta. Näin se antaa vertailukelpoisen ja yhtenäisen tuloksen eri puolella Suomea sijaitseviin rakennuksiin. E-luku on jaettu kirjaimilla merkittyihin energiatehokkuusluokkiin, jossa luokka A tarkoittaa energiatehokkuudeltaan parasta luokkaa ja luokka G huonointa. E-luku tarkoittaa energiamuodon kertoimella kerrottua ostoenergiankulutusta lämmitettyä neliöpinta-alaa kohti vuodessa vakioidulla käytöllä ja sen yksikkö on kWh_E/(m²a) [12]. Kuvassa 1 on 113m²:n pientalon energiatehokkuusluokat.

Pienet asuinrakennukset (50m ² – 150m ²)			
Energiatehokkuusluokka (113m ²)	Energiatehokkuusluokan laskentakaava		
A – 87		E-luku	≤ 110 – 0,2 × A _{netto}
B 88 – 147	110 – 0,2 × A _{netto} <	E-luku	≤ 215 – 0,6 × A _{netto}
C 148 – 184	215 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 252 – 0,6 × A _{netto}
D 185 – 264	252 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 332 – 0,6 × A _{netto}
E 265 – 394	332 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 462 – 0,6 × A _{netto}
F 395 – 464	462 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 532 – 0,6 × A _{netto}
G 465 –	532 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	

Kuva 1. Lasketut energiatehokkuusluokat 113 m² rakennukselle [14].

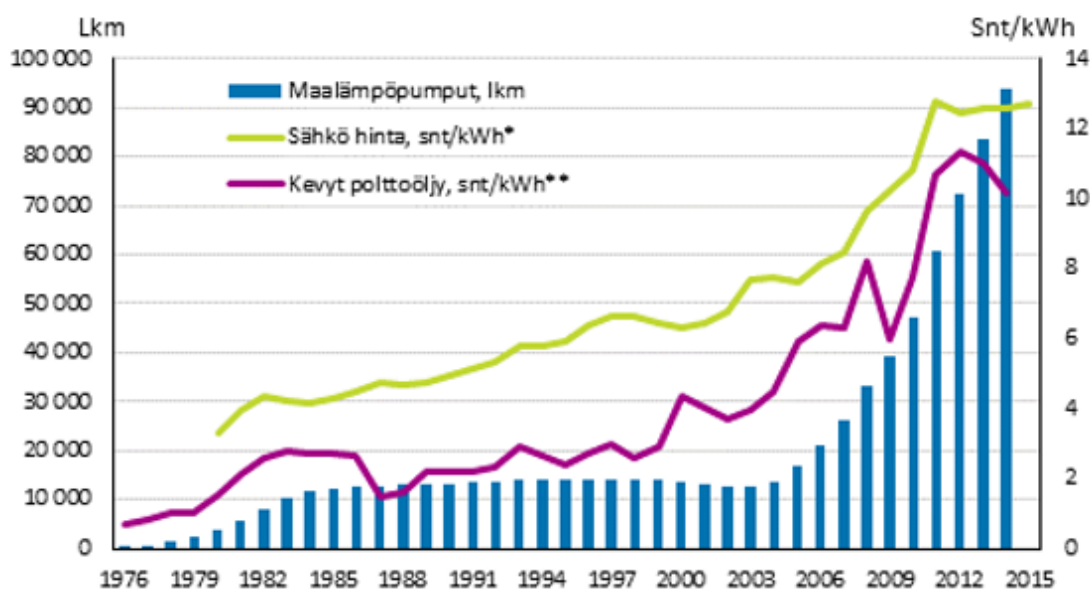
2.5 Energia-avustukset

Kun asuinrakennuksen energiatehokkuutta aiotaan parantaa korjaus- tai muutostöiden yhteydessä, on siihen mahdollista hakea joko ARA:n tai ELY-keskuksen myöntämää avustusta. ELY-keskus myöntää tukea, mikäli asuinrakennuksen öljy- tai maakaasulämmitys vaihdetaan toiseen fossiilittomaan energiamuotoon, kun taas ARA:n energia-avustusta voi saada myös muihinkin energiatehokkuutta parantaviin toimenpiteisiin. [15.]

3 Vaihtoehtoja E-luvun parantamiseen

3.1 Maalämpö

Maalämpöpumput (MLP) ovat nykyään suosittuja vaihtoehtoja uudisrakennuksissa, koska muiden lämmitysmuotojen kustannukset ovat nousseet merkittävästi viime vuosien aikana (kuva 2). Kertasijoituksena maalämpöpumpun hinta on suuri, mutta takaisinmaksuaika maalämpöpumpulla on silti yleensä lyhyt [16]. Lämmityskustannusten säästö voi olla 50–75 prosenttia verrattuna öljy- tai sähkölämmitykseen. [17.]

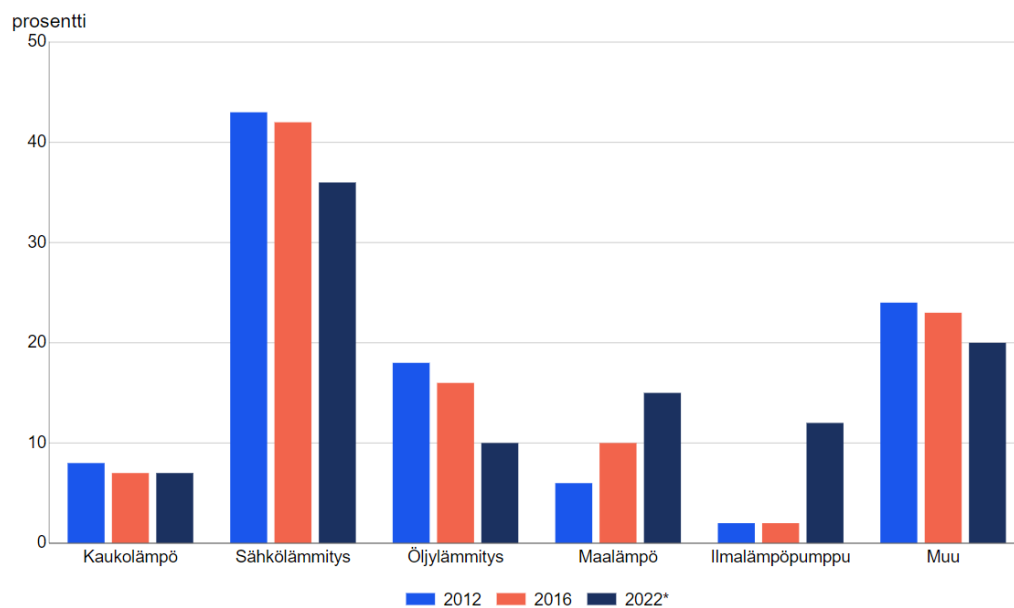


Kuva 2. Maalämpöpumppujen lukumäärän sekä sähkön ja kevyen polttoöljyn hinnan kehitys 1976–2015 [18].

Optimaalinen lähtökohta maalämpöpumpun toimintatehokkuudelle on se, että kohteesta löytyy ennestään vesikiertoinen lattialämmitys. Maalämpöpumppu toimii energiatehokkaasti, jos lämmityksen menoveden lämpötila on alhainen, kuten lattialämmitteisissä taloissa yleensä on. Mikäli talossa on vesikiertoinen patterilämmitys ja menoveden lämpötila on korkea, voidaan menoveden lämpötilaa tarvittaessa laskea suurentamalla tai lisäämällä pattereita [19]. Nykyisillä maalämpöpumpuilla voidaan tuottaa jopa 65 asteista menovettä. [20.]

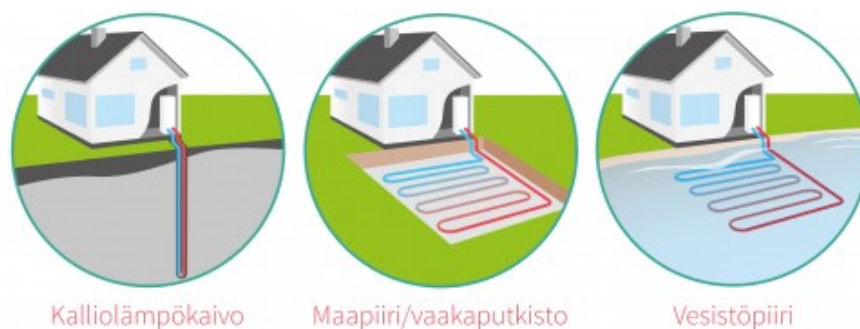
Maalämpöpumpun asentaminen vaatii aina toimenpideluvan, joka on määritelty maankäyttö- ja rakennuslaissa. Pohjavesialueella saatetaan vaatia myös erikseen aluehallintovirastolta (AVI) saatava vesilain mukainen lupa, jonka saaminen merkittävän pohjavesialueen läheisyydessä on erittäin hankalaa. [21; 22.]

Kuvassa 3 on esitetty eri lämmitysmuotojen suhteellisten osuuksien kehitys erilisissä pientaloissa viimeisen 10 vuoden aikana.



Kuva 3. Lämmönlähteiden osuudet pientaloissa vuosina 2012, 2016 ja 2022 [18].

Maalämpöpumppu ottaa nimensä mukaisesti talon ja käyttöveden lämmittämiseen käytettävän lämmitysenergian maasta, eli tässä tapauksessa maaperästä, peruskalliosta tai vesistöstä (kuva 4). [17.]



Kuva 4. Maalämpöputkiston sijoittamistavat [26].

3.1.1 Lämpökaivo

Kallioperään porattava lämpökaivo on yleisin maalämpövaihtoehtoista. Peruskallion syvyys vaihtelee alueittain ja tyypillisessä maalämpökohteessa peruskallio on noin 3–15 metrin syvyydessä. Tässä tapauksessa porakaivon asennus on yleensä vielä kannattavaa. Mitä enemmän peruskallion päällä on pehmeää maata, sitä kalliimmaksi lämpökaivon asentaminen tulee, koska pehmeän maan osuus on putkitettava toisiinsa hitsattavilla teräsputkilla [20]. Porakaivo soveltuu hyvin saneerauskohteisiin, koska tällöin ei tarvitse kaivaa pihaa auki laajalta alueelta.

Maalämpökaivo viilenee ensimmäisten käyttövuosien aikana hieman nopeammin, mutta lämpötilan lasku tasaantuu pidemmällä aikavälillä, kun lämmön keraaminen ja johtuminen lähestyvät toisiaan [23, s. 24–25]. Viilenemistä voi hidastaa kesäaikaan esimerkiksi varastoimalla aurinkokeräimillä saatavaa aurinkoenergiaa lämpökaivoon lämmönsiirtimen avulla. [23, s. 20.]

3.1.2 Maapiiri

Maaperään on mahdollista asentaa myös vaakaputkisto maalämmölle, mikäli tontin pinta-ala on riittävä ja maaperä ei ole kovin kivinen. Kivisessä maassa routa saattaa rikkoa putkiston kivien liikkuessa. Vaakaputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen ja putkien etäisyys toisistaan on hyvä olla vähintään 1,5 metriä. Vaakaputkisto on todennäköisesti porakaivoa edullisempi vaihtoehto, varsinkin jos sen tekee rakennuksen perustamisvaiheessa, kun tontin pihamaan kaivuutyöt ovat vielä kesken. [24, s. 4–5.]

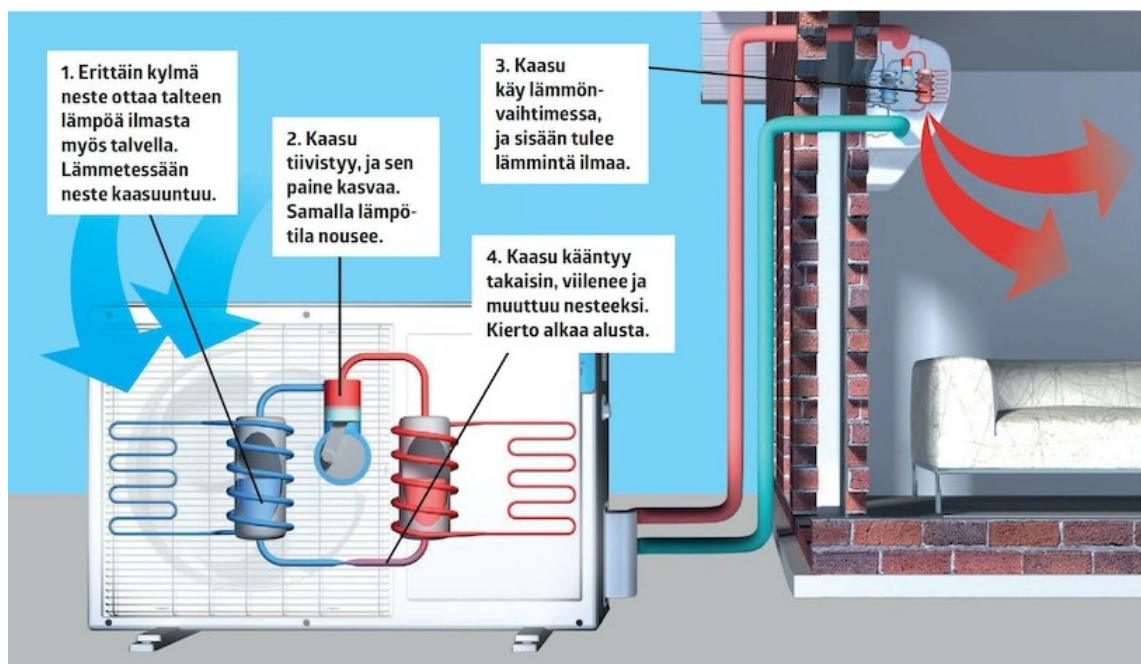
3.1.3 Vesistöpiiri

Vesistöön asennettava maalämpö on harvinaisin näistä kolmesta vaihtoehdosta, koska se vaatii vesistön lähelleen. Siinä putket tuodaan avoveteen pohjan lähelle routarajan alapuolelle, jotta vältetään putkien jäätymiseltä. Putket kiinnitetään 1–2 metrin välein ankkuroimalla ne vesistön pohjaan. Luvan

saaminen asennukselle voi olla hankalaa, ja se täytyy hakea vesialueen omistajalta tai aluehallintovirastolta. [25, s. 30.]

3.2 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppuun (ILP) kuuluu sisä- ja ulkoyksikkö. Lämmityskaudella ulkoyksikkö ottaa ulkoilmasta lämpöenergiaa talteen ja siirtää sen pitkälle kehittyneen kylmäprosessin avulla sisäyksikölle, joka puhaltaa saadun lämmitysenergian lämpönä sisälle (kuva 5). [27.]



Kuva 5. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate [28].

Ilmalämpöpumppuja asennetaan Suomessa paljon lisälämmönlähteeksi mm. sen edullisen hinnan vuoksi. Ilmalämpöpumpun voi asentaa kaikenlaisiin taloihin, paitsi parvekkeettomiin kerrostaloasuntoihin, mutta parhaimmillaan se on avarassa talossa, jossa ilma pääsee vapaasti kulkemaan huoneiden läpi. Jos talo on suuri tai malliltaan vaikea ilmalämpöpumpulle, voidaan sisäyksiköitä asentaa useampi. Kodin ainoaksi lämmitysmuodoksi se ei sovellu, koska kovilla pakkasilla sen hyötysuhde laskee suoran sähkölämmityksen tasolle, eikä sitä voida myöskään käyttää käyttö- ja lämmitysveden lämmittämiseen. [29; 30.]

3.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpun (VILP) toiminta on periaatteessa hyvin samanlainen kuin ilmalämpöpumpulla, eli se ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta ja hyödyntää sitä sisätilojen lämmityksessä. Isoin ero toimintaperiaatteessa ilmalämpöpumppuun verrattuna on se, että ilma-vesilämpöpumppua käytetään kodin käyttö- ja lämmitysveden lämmittämiseen. Ilma-vesilämpöpumppu ei siis tarvitse sisäpuhallinyksikköä lämmitysveden lämmittämisoimaisuutensa vuoksi [31]. Ilma-vesilämpöpumppuihin on kuitenkin olemassa puhallinkonvektoreita eli puhallinpattereita, joilla sisätiloja voidaan viilentää tai lämmittää tarpeen vaatiessa. [32.]

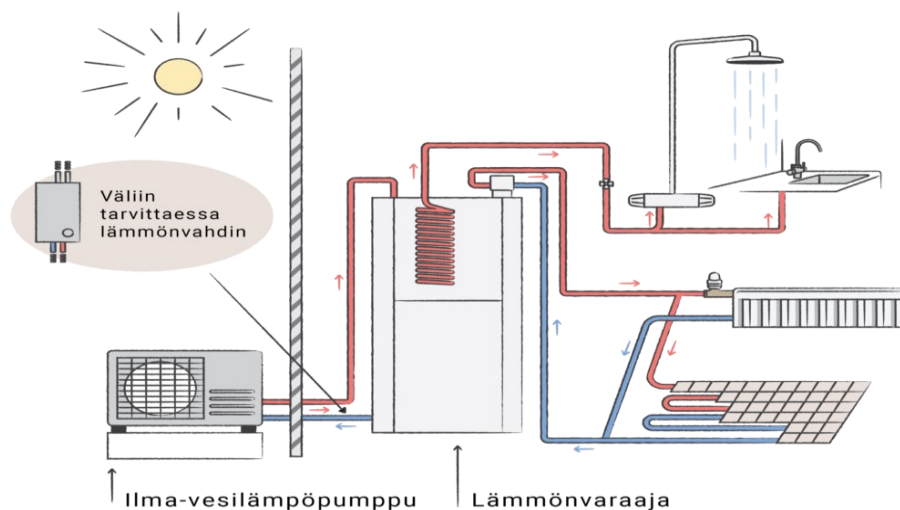
Ilma-vesilämpöpumppu soveltuu lähes joka kotiin asennettavuutensa ansiosta. Se ei vaadi maalämmön tavoin porakaivoa tai vaakakeruuputkistoa pihamaalle. Rakennuksen ulkopuolelle tulee ainoastaan talon ulkoseinän viereen asennettava ulkoyksikkö. Ilma-vesilämpöpumppu toimii tehokkaimmin eteläisessä Suomessa, jossa talvet ovat leudompia. Järjestelmän hyötysuhde laskee selvästi, jos ulkoilman lämpötila laskee -15 asteen alapuolelle. Myös lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila vaikuttaa ilma-vesilämpöpumpun antotehoon, koska useimmat ilma-vesilämpöpumput eivät pysty tuottamaan yli 55 asteista menovettä. [31.]

Talon ainoaksi lämmönlähteeksi ilma-vesilämpöpumppu ei siis välttämättä sovellu, mikäli lämmönlähtöjärjestelmä vaatii korkean menoveden lämpötilan tai jos kohde sijaitsee kylmemmällä vyöhykkeellä, missä talvet ovat kylmempiä. Ilma-vesilämpöpumppua voidaan kuitenkin käyttää vanhan sähkö- tai öljylämmitysjärjestelmän rinnalla niin sanottuna hybridijärjestelmänä. Jos muuta lämmitysjärjestelmää ei ole rinnalla, lämmitetään menovesi laitteen omilla sähkövastuksilla. [31.]

Parhaiten järjestelmä toimii lattialämmitteisissä kohteissa, joissa menoveden lämpötila on matala. Kohteissa, joissa menoveden lämpötila on korkea, voidaan sen lämpötilaa kuitenkin laskea esimerkiksi tehokkaammilla pattereilla.

Pattereita uusiessa voidaan menoveden tavoitelämpötilaksi valita 45 astetta, jolloin ilma-vesilämpöpumppu toimii jo hyvällä hyötysuhteella. [33.]

Kuvassa 6 on havainnollistettu ilma-vesilämpöpumpun toimintaa osineen.



Kuva 6. Ilma-vesilämpöpumpun osat ja sen toiminta [34].

3.4 Varaavat tulisijat

Varaavat tulisijat soveltuvat hyvin lisälämmönlähteeksi esimerkiksi talouksiin, joihin on mahdollista hankkia polttopuuta edullisesti tai varalämmönlähteeksi sähkölämmitteisiin taloihin, koska ne pienentävät sisälämpötilan putoamisen riskiä sähkökatkosten aikana. Ne toimivat myös kustannustehokkaana lisänä erityisesti sähkölämmitteisissä taloissa kovilla pakkasilla, jolloin ostettavan lämmitysenergian osuus olisi suuri. [35.]

Varaava tulisija on mahdollista asentaa myös taloon, jossa ei ole vielä takkavarasta tai paikkaa tulisijalle. Asennuksessa täytyy muistaa, että tulisijan alle tulee palamaton, vahvistettu pohja ja mikäli kohteessa ei ole hormia, täytyy sen tekoon kysyä rakennuslupa. Takan sijainnilla rakennuksessa on suuri merkitys, mikäli sen lämmitysominaisuutta halutaan hyödyntää tehokkaasti. Tulisijan tulisijaita keskeisellä paikalla avarassa tilassa, jossa lämmön leviämiseksi ei ole esteitä. [36.]

3.4.1 Varaava takka

Varaavassa takassa lämpö varastoituu tulisijan massaan, ja mitä isompi tulisija on, sitä enemmän ja kauemmin se pystyy varastoimaan ja luovuttamaan lämpöä ympärilleen. Varaava takka ei ole välttämättä kovin nopea lämpenemään, joten lämmittämisen ajoittaminen ja lämmityskertojen tiheys ovat energiatehokkuuden kannalta merkittävässä roolissa. [37.]

3.4.2 Varaava kiertoilmatakka

Varaava kiertoilmatakka yhdistää varaavan takan ja kiertoilmatakan kaksi hyvää ominaisuutta, eli varaavan takan lämmönvarauskyvyn ja kiertoilmatakan nopean lämmönluovutuksen (kuva 7). [37.]



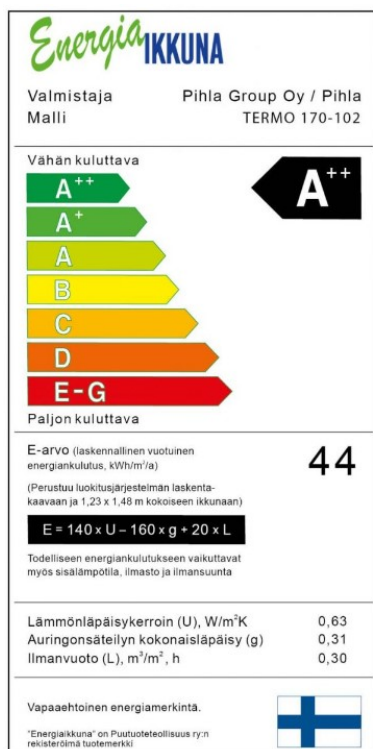
Kuva 7. Varaavan kiertoilmatakan toimintaperiaate [37].

3.4.3 Varaava puuhella ja varaava takkaleivinuuni

Varaava puuhella ja varaava takkaleivinuuni nimensä mukaisesti varastoi lämpöä ja mahdollistaa myös ruuanlaiton takan lämmittämisen ohessa sähkökatkojen aikana. [37.]

3.5 Ikkunoiden ja ovien uusiminen

Ikkunat ovat merkittävässä roolissa talon energiatehokkuuden parantamisessa, koska ne voivat olla monta kertaa vanhaa ikkunaa energiatehokkaampia ja niiden lämmönläpäisykerroin eli U-arvo voi olla jopa vanhaa seinärakennettakin parempi [38]. Vuonna 2006 kehitettiin vapaaehtoinen ikkunoille tarkoitettu energialuokitus (kuva 8), jotta kuluttajien olisi helpompi vertailla eri ikkunoiden ominaisuuksia keskenään [39]. Ikkunoiden energialuokitus lähtee luokasta A++ ja päättyy luokkaan G, jossa luokka A++ tarkoittaa parasta energialuokkaa ja luokka G vastaavasti huonointa. G-luokan ikkunat ovat yleensä vanhoissa taloissa käytettyjä 2-lasisia ikkunoita. [40.]



Kuva 8. Esimerkkikuva ikkunan energiatodistuksesta [41].

Ikkunoita uusittaessa on hyvä tarkistaa korvausilman riittävä tulo, mikäli rakenne on varustettu painovoimaisella ilmanvaihdolla tai koneellisella poistoilmanvaihdolla ja korvausilma on tullut aiemmin ikkunakehysten kautta [42]. Motivan sivuilta on myös mahdollista ladata Excel-pohjainen energialaskuri ikkunoille, jolla voi arvioida energiansäästöä ikkunoita uusittaessa [38]. Ikkunoita uusittaessa on hyvä myös tarkistaa purun vajoaminen ikkunakarmien alapuolelta, mikäli talon seinäeristeenä on käytetty aikoinaan purua.

3.6 Seinien ja yläpohjan eristys

Eristysmateriaalit ovat kehittyneet vuosien saatossa, ja käyttämällä nykyaikaisia eristeitä seinien ja yläpohjan lisäeristämisessä saadaan rakennuksen lämmityskuluja pienennettyä sekä parannettua samalla energiatehokkuutta lämmöneristävyyden parantuessa [43]. Seinien eristämällä on mahdollista saada säästöä lämmityskuluihin noin 5–10 % ja yläpohjan eristämällä 2–6 % [44].

Seinien lisäeristäminen täytyy tehdä oikealla tavalla, jotta vältetään mahdollisilta kosteusongelmilta. Eristämistä suositellaan tehtäväksi ulkopuolelta, jolloin vanha rakenne pysyy lämpimänä ja pääsee kuivumaan. Eristäminen on mahdollista myös sisäpuolelta, mutta se vaatii hyvää rakenteiden tuntemista, koska siinä rakenteet saattavat jäädä liian tiiviiksi, jolloin kosteusongelmien riski kasvaa. Lisäeristäminen ulkopuolelta on yleensä järkevää esimerkiksi julkisivuremontin yhteydessä. [43; 45.]

Vanhoilla yläpohjan eristeillä on taipumusta painua aikojen saatossa. Eristeen lisääminen yläpohjaan voi olla kannattavaa milloin tahansa, jos rakennuksessa on vielä alkuperäiset, ohuet villa- tai sahanpurueristeet. Yläpohjan eristeenä käytetään yleensä puhallusvillaa. [45.]

Kuvassa 9 on esimerkki vanhan villaeristetyn puurunkoisen seinän lisäeristämisestä ulkopuolelta.



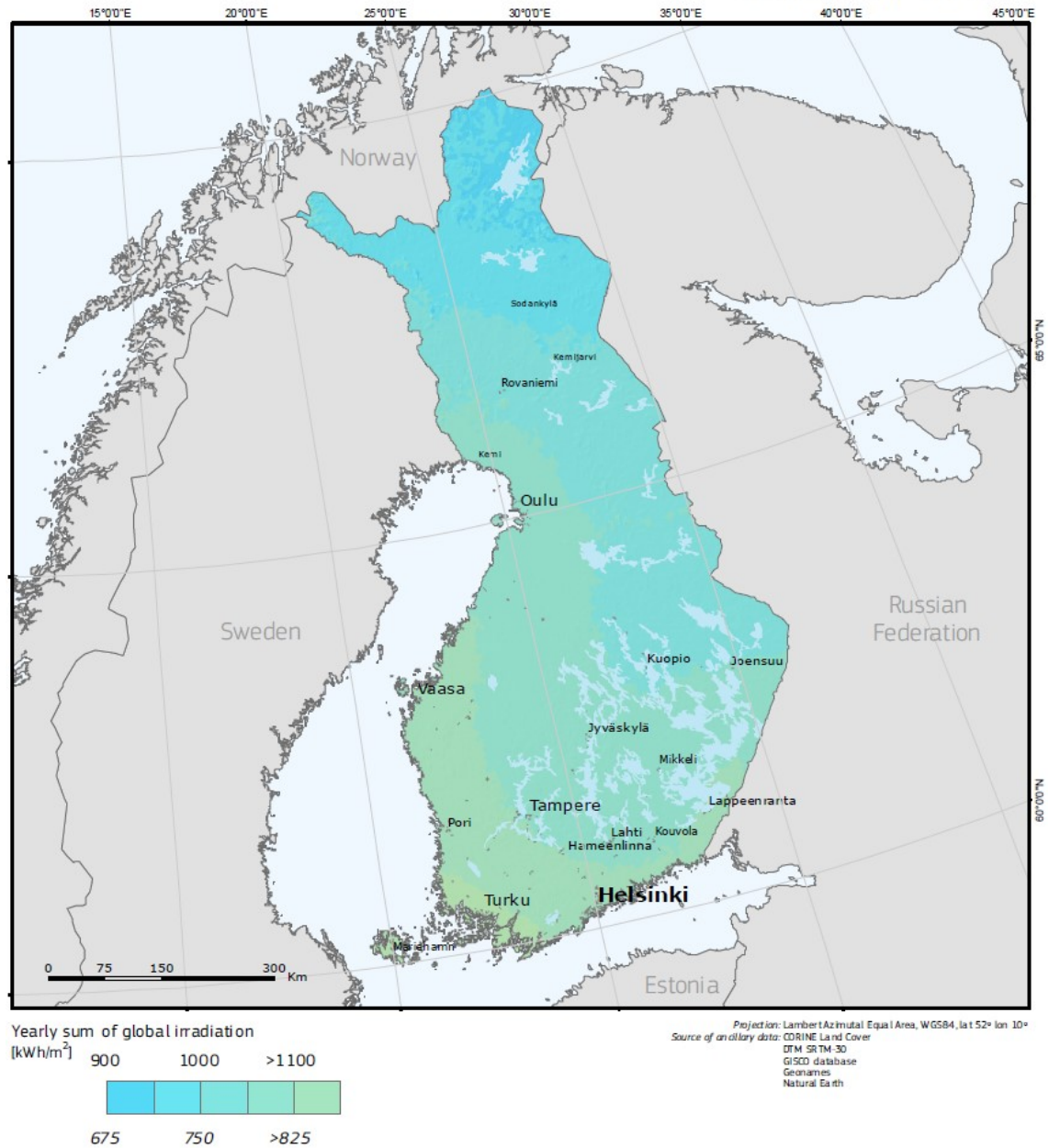
Kuva 9. Vanhan villaeristetyn ulkoseinän lisäeristäminen ulkopuolelta [46, s. 2].

3.7 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on uusiutuva energialähde, ja auringosta on periaatteessa mahdollista saada loputtomasti energiaa koko maapallon tarpeisiin ilman pelkoa sen ehtymisestä. Rajoittavana tekijänä tällä hetkellä on se, että ei ole käytössä tekniikkaa, jolla sitä saataisiin kerättyä talteen riittävän tehokkaasti ja edullisesti [47]. Eteläisemmässä Suomessa vuotuinen aurinkosäteilyn määrä on samaa luokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Säteily voi olla joko suoraa säteilyä tai hajasäteilyä. Suomessa hajasäteilyä on iso osa kokonaissäteilystä ja säteily painottuu enemmän kesäkuukausille. Etelä-Suomessa vaakasäteilyn määrä on noin 1000 kWh/m^2 ja Keski-Suomessa 900 kWh/m^2 (kuva 10). [48.]

Global irradiation and solar electricity potential Optimally-inclined photovoltaic modules

FINLAND / SUOMI



Kuva 10. Optimaalisesti suunnatulle pinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergian määrä [49].

Kuvassa 11 on ilmoitettu auringon kokonaissäteilyenergian määrät 45 astetta kallistetulla pinnalla vyöhykkeellä III.

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä III (Jyväskylä), kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	5,0	5,0	5,4	8,0	9,7	8,3	5,7	5,0
Helmikuu	13,6	13,7	22,6	37,9	45,7	37,4	20,9	13,7
Maaliskuu	36,2	40,0	52,3	72,5	84,5	76,2	58,4	41,0
Huhtikuu	51,1	69,1	99,8	129,0	137,2	123,8	97,9	66,0
Toukokuu	84,0	117,7	161,1	190,0	189,7	179,0	156,5	110,2
Kesäkuu	94,3	116,0	146,3	164,8	163,7	161,8	147,6	111,7
Heinäkuu	79,8	107,1	143,3	169,2	172,5	164,5	146,2	105,3
Elokuu	56,9	74,5	104,3	132,8	143,2	134,9	110,7	75,4
Syyskuu	31,7	41,8	68,8	100,3	113,5	98,6	69,5	40,7
Lokakuu	14,4	15,6	25,4	40,2	47,6	39,6	24,8	15,4
Marraskuu	5,8	5,8	7,5	12,2	14,9	12,2	7,4	5,8
Joulukuu	3,0	3,0	3,2	4,5	5,3	4,4	3,2	3,0
Koko vuosi	475,8	609,3	839,9	1061,4	1127,3	1040,7	848,8	593,3

Kuva 11. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulla pinnalla [50].

3.7.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimillä auringosta saatava säteilyenergia muutetaan lämmöksi ja lämpö johdetaan keräimien sisällä olevaan jäätymättömään lämmönsiirtonesteeseen, jota pumppu kierrättää. Lämpöenergia siirretään lopulta putkistoa pitkin lämmönvaihtimelle ja sitä kautta lämmönvaraajaan. Aurinkokeräimillä saatavaa energiaa voidaan käyttää esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen. [51.]

3.7.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelien tarkoitus on tuottaa sähköä niiden sisällä olevien aurinkokennojen avulla hyödyntämällä auringosta saatavaa säteilyenergiaa. Koska järjestelmä tuottaa ainoastaan tasasähköä, järjestelmään on liitettävä lisäksi tasasähkön vaihtosähköksi muuttava invertteri, mikäli järjestelmä aiotaan liittää valtakunnalliseen sähköverkkoon. Tällöin itse tuotettua sähköä voidaan myös myydä sähköverkkoon, mutta paneelien tuottama sähkö kannattaa ensisijaisesti hyödyntää omassa käytössä. [52.]

3.7.3 Hybridipaneelit

Hieman harvinaisemmissa hybridipaneeleissa eli PVT-paneeleissa on yhdistettynä lämpöä tuottava aurinkokeräin sekä sähköä tuottava aurinkopaneeli. PVT-paneelien lämmöntuotto saattaa olla aurinkokeräimien hyötysuhdetta hieman huonompi ja sähköntuotto taas vastaavasti aurinkopaneelia parempi, jolloin samalta pinta-alalta saatava kokonaishyötysuhde on PVT-paneeleilla aurinkokeräimiä ja -paneeleita parempi. [53, s. 10–12.]

3.8 Ilmanvaihto

Toimiva ilmanvaihto on tärkeä osa talotekniikkaa. Sen tarkoitus on taata asukkaalle terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa [54, s. 4]. Ilmanvaihtotekniikat ovat kehittyneet vuosien saatossa kaikilta näiltä osilta, ja ne ovat myös tulleet energiatehokkaammiksi. Ilmanvaihdon uusimisella on mahdollista saavuttaa jopa 30 prosentin säästö lämmityskuluissa. [44.]

3.8.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Vanhoissa taloissa on usein käytössä painovoimainen ilmanvaihto, mikäli sitä ei ole uusittu myöhemmin. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tuloilma tulee korvausilmaventtiilien tai ikkunoiden korvausilma-aukkojen kautta huonetilaan ja poistuu liesituulettimen tai poistoilmaventtiilien kautta ulos. Painovoimainen ilmanvaihto toimii parhaiten, kun sisä- ja ulkolämpötilojen ero on suuri tai painenvaihtelu on merkittävä. Toiminta on siis tehokkainta kylminä talvikuukausina tai tuulisella säällä. [56.]

3.8.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

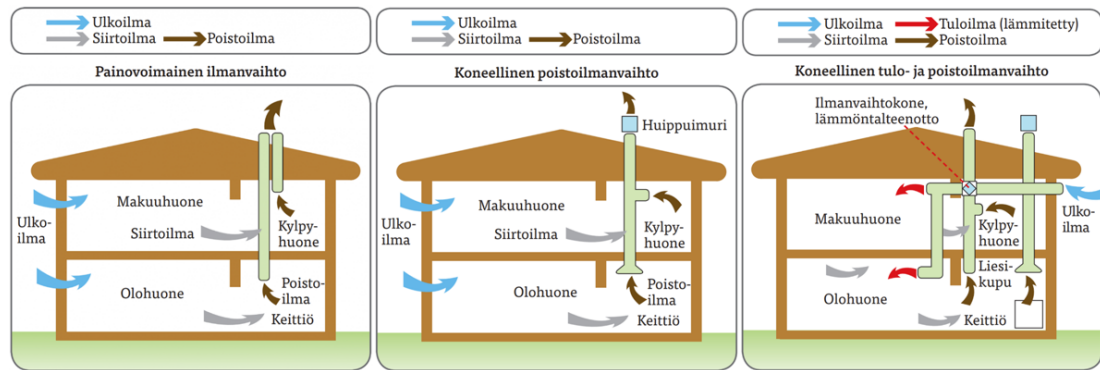
Koneellinen poistoilmanvaihto on myös yleinen ilmanvaihtojärjestelmä hieman vanhemmissa vuosina 1970–2000 rakennetuissa taloissa. Siinä tuloilma tulee painovoimaisen ilmanvaihdon tavoin ikkunoiden korvausilma-aukkojen kautta tai korvausilmaventtiileistä, mutta poistoilma on toteutettu koneellisesti esimerkiksi poistoilmakanavaan sijoitetulla kanavapuhaltimella tai katolla olevalla

huippuimurilla. Energiatehokkuudeltaan tämäkään järjestelmä ei ole nykyaikaisella tasolla, koska järjestelmä ei sisällä minkäänlaista lämmöntalteenottoa, vaan lämpöä poistuu poistoilman mukana ulos. Mikäli saneerauksen yhteydessä päädytään tähän ratkaisuun, on hyvä muistaa huolehtia riittävästä korvausilman saannista, koska poistoilmanvaihto imee ilmaa sieltä, mistä se parhaiten tulee. Jos korvausilman saannista ei ole huolehdittu, voi tehokas järjestelmä imeä korvausilmaa rakenteiden läpi tuoden epäpuhtauksia mukanaan. [55.]

3.8.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Uusin ja energiatehokkain ratkaisu ilmanvaihtoon on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Tämä ratkaisu onkin yleisesti käytössä uusissa rakennuksissa sen energiatehokkuuden ja hallitun ilmanvaihtotavan vuoksi [55]. Uusissa ilmastointikoneissa poistoilmasta lämmön talteen keräävä lämmöntalteenotto (LTO) on yleensä vakiona, ja sen avulla voidaan lisälämmittää sisälle puhallettavaa tuloilmaa viileämmillä ilmoilla. Jos lämmöntalteenotto ei riitä lämmittämään tuloilmaa tarpeeksi, hoitaa koneen sähkövastus lopun lämmittämisen [56; 57]. Mikäli vanhasta rakennuksesta on tarkoitus tehdä tiivis saneerauksen yhteydessä, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voi olla hyvä ratkaisu sen hallitun ilmanvaihtotapansa vuoksi. Järjestelmän haittapuolena varsinkin korjausrakentamisessa on se, että siihen kuuluu yleensä paljon kanavistoa ja sen mahduttaminen voi olla tietyissä tilanteissa haastavaa. [58.]

Kuvaan 12 on havainnollistettu painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen ilmanvaihto ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.



Kuva 12. Ilmanvaihtojärjestelmät [59].

4 Kohteen tiedot

4.1 Kohteen tiedot

Insinööriyön kohteena on Oulun korkeudella sijaitseva yksikerroksinen puurunkoinen omakotitalo. Alkuperäinen osa talosta on rakennettu vuonna 1968, mutta sitä on laajennettu vuosina 1988 ja 1997. Alkuperäisen osan huoneiston lämmitetty nettopinta-ala on 73 m², ja laajennusosan huoneiston lämmitetty nettopinta-ala on 40 m². Taulukossa 2 on kohteen perustiedot E-luvun laskentaan.

Taulukko 2. Energiamuodon kertoimet ennen ja jälkeen [10].

1.YLEISTIEDOT	
Sijainti	Lumijoki
Laskennassa käytetty säävyöhyke	Vyöhyke 1
Käyttötarkoitukseluokka	1) Pienet asuinrakennukset
Huoneistoala	113 m ²
2.ALKUPERÄISEN OSA	
Rakennusluvan vireilletulovuosi	1968
Kerrosten lukumäärä	1
Lämmitetty nettoala	73 m ²
Runkorakenne	Puurunkoinen, kevyet rankarakenteet
Alapohja	Maanvarainen alapohja

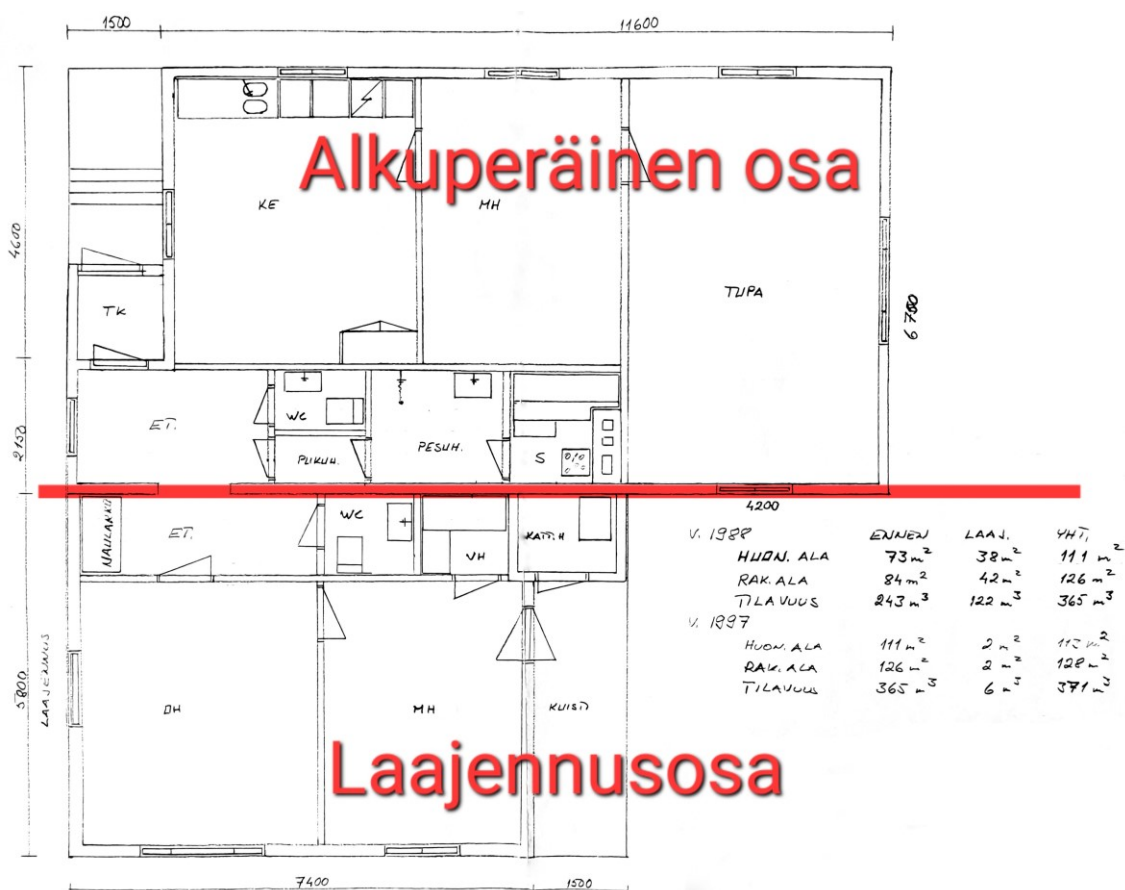
3.LAAJENNUSOSA	
Valmistumisvuosi	1988/1997
Kerrosten lukumäärä	1
Lämmitetty nettoala	40 m ²
Runkorakenne	Puurunkoinen, kevyet rankarakenteet
Alapohja	Maanvarainen alapohja
4.LÄMMITYS- JA KÄYTTÖVESIJÄRJESTELMÄ	
Lämmöntuotto	Sähkökattila
Lämmitysratkaisu	Vesikiertoinen patterilämmitys
Patterilämmityksen meno- ja paluuveden lämpötila	70/40°C
Lämpimän käyttöveden lämmöntuotto	Varaaja sähkökattilassa
Käyttöveden lämmityslämpötila	60°C

Talon merkittävimmät peruskorjaukset vuosien saatossa ovat olleet laajennusosan rakentamisen lisäksi lämmitysjärjestelmän muuttaminen öljylämmityksestä sähkölämmitykseen vuonna 2016 sekä vesikatteen uusiminen vanhalle osalle vuonna 2019. Talon vanhalle osalle on myös rakennettu uudet pesutilat ja sauna laajennuksen yhteydessä.

Kuvassa 13 on talon julkisivua sisäpihan puolelta kuvattuna ja kuvassa 14 on talon pohjapiirustus, johon on erotettu punaisella viivalla alkuperäinen osa ja laajennusosa.



Kuva 13. Kohteena olevan talon julkisivu.



Kuva 14. Kohteena olevan talon pohjapiirustus vuodelta 1997. Alkuperäisen ja laajennusosan raja merkitty kuvaan punaisella viivalla.

4.2 Ilmanvaihto ja lämmitys

Talossa on aikakauteensa nähden tyypillinen painovoimainen ilmanvaihto. Korvausilma tulee sisälle olo- ja makuuhuoneen ikkunoissa olevista korvausilmaukoista ja poistuu keittiön liesituulettimen kautta sekä WC- ja kylpyhuoneetiloissa olevista korvausilmaventtiileistä.

Lämmöntuottolaitteena toimii sähkökattila, joka siirtää lämmön vesikiertoiselle patterilämmitykselle. Patterit ja lämpölinjat ovat talossa vielä alkuperäiset, mutta niiden vaihto tulee lähitulevaisuudessa ajankohtaiseksi. Käyttövesi lämpenee sähkökattilassa olevassa varaajassa sähkövastuksen avulla.

4.3 Rakennusosat

Seinärakenne on perinteinen puurunkoinen, joka sisältää ulkolaudoituksen, ilmaraot, tuulensuojalevyn, koolauksen, eristyksen, muovitiivisteiden sekä sisäpinntamateriaalin. Kosteiden tilojen sisäpinta on paneeliverhoiltu. Ikkunat ovat rakennuksen alkuperäisellä osalla ja laajennusosalla puukarmilla olevia kolmilasisia ikkunoita.

Alapohja on maanvarainen, ja se koostuu noin 50 mm paksuisesta betonilaatasta, kosteuseristyksestä, lämmöneristyksestä sekä puisesta lattialaudoituksesta. Kosteissa tiloissa on betonivalulattia, jonka päällä on kosteuseristys sekä laatoitus. Yläpohja on tuulettuva, jonka alkuperäisellä osalla eristeenä on noin 200–300 mm villalevyä ja laajennusosalla noin 500–600 mm puhallusvillaa.

5 Alkuperäisen E-luvun laskenta

E-luvun laskentaan käytetään Ympäristöministeriön energiatehokkuuslaskentaohjetta Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta [9], sekä ympäristöministeriön asetuksia rakennuksen energiatodistuksesta [14] ja uuden rakennuksen energiatehokkuudesta [60]. Laskennan apuna käytetään

pääsääntöisesti rakennustyyppikohtaisia vakioituja lähtöarvoja ja laskenta suoritetaan osittain Motivan laskentaesimerkkien mukaisesti. [61.]

5.1 Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

5.1.1 Kuluttajalaitteet ja valaistus

Kuluttajalaitteiden teho on energiatehokkuusasetuksen 11.§:n mukaan 3 W/m² ja valaistuksen teho 6 W/m². Käyttötuntien osuus on 1, koska rakennus on käytössä kuukauden jokaisena tuntina. Kuluttajalaitteiden käyttöaste on 0,6 ja valaistuksen käyttöaste on 0,1, eli laitteet ovat käytössä 60 % ajasta ja valaistus 10 % ajasta.

Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus lasketaan kaavan 1 mukaisesti

$$W_{laitteet} = \frac{P_{laitteet} A_{netto} x k_{laitteet} \Delta t}{1000} \quad (1)$$

ja valaistuksen sähkönkulutus saadaan kaavalla 2

$$W_{valaistus} = \frac{P_{valaistus} A_{netto} x k_{valaistus} \Delta t}{1000} \quad (2)$$

missä

$P_{laitteet}$	on kuluttajalaitteiden teho (W/m ²)
$P_{valaistus}$	on valaistuksen teho (W/m ²)
A_{netto}	on rakennuksen nettopinta-ala (m ²)
x	on käyttötuntien osuus $\frac{24h}{24h} \cdot \frac{7vrk}{7vrk} = 1$
$k_{laitteet}$	on kuluttajalaitteiden käyttöaste
$k_{valaistus}$	on valaistuksen käyttöaste
Δt	on kuukauden tunnit (h).

Esimerkkinä tammikuun kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus:

$$W_{laitteet,tammik} = \frac{3 \frac{W}{m^2} \cdot 113 m^2 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 744 h}{1000} = 151,3 kWh$$

$$W_{valaistus,tammik} = \frac{6 \frac{W}{m^2} \cdot 113 m^2 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 744 h}{1000} = 50,4 kWh$$

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus koko vuoden ajalta (liite 1):

$$W_{kuluttajalaitteet} + W_{valaistus} = 1781,8 kWh + 593,9 kWh = 2375,7 kWh/a$$

5.2 Lämmitysenergian tarve

5.2.1 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeelle käytetään arvoa 35 kWh/(m²a), joka löytyy energiatehokkuusasetuksen 12.§:n kohdasta luokka 1. Lämpimän käyttöveden nettoenergiantarve lasketaan kaavalla 3

$$Q_{lkv,netto} = Q_{lkv,netto,m^2} \cdot A_{netto} \quad (3)$$

missä

$Q_{lkv,netto,m^2}$ on lämpimän käyttöveden nettoenergiantarve (kWh/(m²a))

A_{netto} on rakennuksen nettopinta-ala (m²).

Rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve vuodessa:

$$Q_{lkv,netto} = 35 \frac{kWh}{m^2 a} \cdot 113 m^2 = 3955 kWh$$

Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpöhäviöt

Kohteessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa, joten merkitään kaavaan 4 kierron lämpöhäviöksi suoraan 0 kWh.

$$Q_{lkv,kierto} = 0 \frac{kWh}{a} \quad (4)$$

Kaavaan 5 on merkitty lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöksi suoraan 0 kWh, koska energiatodistusasetuksen liitteen 1 taulukon 10 mukainen sähkökattilan oletushyötysuhde sisältää jo lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöt.

$$Q_{lkv,varastointi} = 0 \frac{kWh}{a} \quad (5)$$

5.2.2 Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Johtumislämpöhäviöiden laskennassa käytetään vakioituja lämmönläpäisykerroimia rakennusosille energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaan, koska niiden tarkkaa rakennetta ei ole tiedossa. Johtumislämpöhäviöt tietyn rakennusosan läpi saadaan sijoittamalla sen lämmönläpäisykerroin kaavaan 6

$$Q_{rakennusosa} = \Sigma \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000} \quad (6)$$

missä

U	on rakennusosan lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2\text{°C})$)
A	on rakennusosan pinta-ala (m^2)
T_s	on rakennuksen sisälämpötila (°C)
T_u	on ulkoilman lämpötila (°C)
Δt	on kuukauden tuntimäärä (h).

Esimerkissä alkuperäisen osan johtumislämpöhäviöt ulkoseinän läpi tammikuussa:

$$Q_{ulkos,tammik} = \frac{0,81 \frac{W}{m^2\text{°C}} \cdot 57,3 m^2 \cdot (21 \text{°C} - (-3,97 \text{°C})) \cdot 744h}{1000} = 862,1 kWh$$

Johtumislämpöhäviöt alkuperäisen osan ja laajennusosan ulkoseinän läpi koko vuoden ajalta ovat:

$$Q_{ulkoseinä} = Q_{ulkos,alkup.osa} + Q_{ulkos,laaj.osa} = (6247 + 1497) \text{ kWh} = 7745 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen aiheuttama lämpöhäviö

Laskennassa käytetään kylmäsiltoille yksinkertaistettua laskentatapaa energia-todistusasetuksen liitteen 1 mukaan, eli kylmäsiltojen johtumislämpöhäviöiden suuruudeksi oletetaan 10 % ulkovaipan johtumislämpöhäviöistä. Tällöin kylmäsiltojen aiheuttamat johtumislämpöhäviöt voidaan laskea kaavalla 7

$$Q_{kylmäsilto} = 0,1 \cdot Q_{ulkovaippa} \quad (7)$$

ja ulkovaipan johtumislämpöhäviöt saadaan kaavalla 8

$$Q_{ulkovaippa} = Q_{ulkoseinät} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkunat} + Q_{ovet} \quad (8)$$

missä

$Q_{ulkoseinät}$ on johtumislämpöhäviöt ulkoseinien läpi vuodessa (kWh)

$Q_{yläpohja}$ on johtumislämpöhäviöt yläpohjan läpi vuodessa (kWh)

$Q_{alapohja}$ on johtumislämpöhäviöt alapohjan läpi vuodessa (kWh)

$Q_{ikkunat}$ on johtumislämpöhäviöt ikkunoiden läpi vuodessa (kWh)

Q_{ovet} on johtumislämpöhäviöt ovien läpi vuodessa (kWh)

Koko rakennuksen kylmäsiltojen johtumislämpöhäviöt vuodessa (liite 2):

$$Q_{kylmäsilto} = 0,1 \cdot (8826 + 6546 + 7363 + 5124 + 1413) \text{ kWh} = 2927 \text{ kWh}$$

Koko rakennuksen johtumislämpöhäviöt vuodessa (liite 2):

$$Q_{johtuminen} = Q_{ulkoseinät} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkunat} + Q_{ovet} + Q_{kylmäsilto}$$

$$= (7745 + 5745 + 6461 + 4496 + 1240 + 2569) \text{ kWh} = 28255 \text{ kWh}$$

Tulo- ja vuotoilman lämpeneminen tilassa

Tuloilmaa ei tarvitse lämmittää, koska rakennuksessa ei ole koneellista tuloilmaa, vaan tuloilma tulee korvausilmana. Merkitään kaavaan 9 tuloilman lämpöenergiakulutukseksi 0 kWh.

$$Q_{iv,tuloilma} = 0 \text{ kWh} \quad (9)$$

Vuotoilman lämpöenergiankulutus lasketaan rakennusvaihan ilmanvuotoluvun avulla kaavan 10 mukaisesti, mikäli se on tiedossa.

$$q_{v,vuotoilma} = q_{50} \cdot \frac{A_{vaippa}}{3600x} \quad (10)$$

Rakennuksen rakennusvaihan ilmanvuotoluku q_{50} ei ole tiedossa, koska talon rakennusajankohdan mukaan sitä ei ollut vielä käytössä, joten vuotoilmavirta lasketaan rakennuksen ilmanvuotoluvun n_{50} avulla energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaan kaavalla 11. Rakennuksen ilmanvuotoluku on ollut aiemmin käytössä kuvaamassa rakennuksen ilmanpitävyyttä.

$$q_{50} = n_{50} \cdot \frac{V}{A_{vaippa}} \quad (11)$$

Sijoittamalla yhtälö vuotoilman kaavaan, se saadaan supistettua kaavan 12 muotoon

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{n_{50} V}{A_{vaippa}} \cdot \frac{A_{vaippa}}{3600x} \Rightarrow \frac{n_{50} V}{3600x} \quad (12)$$

missä

n_{50} on rakennuksen ilmanvuotoluku ($\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$)

V on rakennuksen tilavuus (m^3)

A_{vaippa} on rakennusvaihan pinta-ala (m^2)

q_{50} on rakennusvaihan ilmanvuotoluku ($\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$)

x on kerroin eri kerroslukumäärille.

Rakennuksen ilmanvuotoluku saadaan energiatodistusasetuksen liitteestä 1 ja energiatehokkuusasetuksen 17.§ antaa kerroslukumäärän x kertoimeksi 35.

Rakennuksen alkuperäisen osan vuotoilmavirta:

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{6,0 \cdot 175,2 \text{ m}^3}{3600 \text{ s} \cdot 35} = 0,00834 \text{ m}^3/\text{s}$$

Rakennuksen uuden osan vuotoilmavirta:

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{6,0 \cdot 98,0 \text{ m}^3}{3600 \text{ s} \cdot 35} = 0,00467 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vuotoilmavirta yhteensä:

$$q_{v,vuotoilma} = 0,00834 \text{ m}^3/\text{s} + 0,00467 \text{ m}^3/\text{s} = 0,01301 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vuotoilman lämpöenergia saadaan laskettua kaavalla 13

$$Q_{vuotoilma} = \frac{\rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (t_s - t_u) \Delta t}{1000} \quad (13)$$

missä

ρ_i	on ilman tiheys (1,2 kg/m ³)
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/(kg°C))
$q_{v,vuotoilma}$	on vuotoilmavirta (m ³ /s)
t_s	on rakennuksen sisälämpötila (°C)
t_u	on ulkoilman lämpötila (°C)
Δt	on kuukauden tuntimäärä (h).

Esimerkkinä vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve tammikuussa:

$$Q_{vuotoilma,tammik} = \frac{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1000 \text{ J/(kg°C)} \cdot 0,013 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (21 - (-3,97)) \text{ °C} \cdot 744 \text{ h}}{1000} = 290,0 \text{ kWh}$$

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve koko vuoden ajalta (liite 3):

$$Q_{vuotoilma} = 2102 \text{ kWh}$$

Korvausilman lämpeneminen tilassa

Korvausilman lämpenemiseen tarvittava energia saadaan kaavalla 14

$$Q_{iv,korvausilma} = \frac{\rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (t_s - t_u) \Delta t}{1000} \quad (14)$$

missä

ρ_i	on ilman tiheys (1,2 kg/m ³)
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/(kg°C))
$q_{v,korvausi.}$	on korvausilmavirta (m ³ /s)
t_s	on rakennuksen sisälämpötila (°C)
t_u	on ulkoilman lämpötila (°C)
Δt	on kuukauden tuntimäärä, (h).

Laskennassa käytetty talo on varustettu painovoimaisella ilmanvaihdolla, joten korvausilmavirta on sama kuin poistoilmavirta. Ulkoilmavirta saadaan energiatehokkuusasetuksen 10.§:n luokka 1 kohdasta ja se on neliometriä kohden 0,4 l/s.

$$q_{v,korvausilma} = q_{ulkoilma} A_{netto} \quad (15)$$

missä

$q_{ulkoilma}$	ulkoilmavirta (l/s)
A_{netto}	rakennuksen nettopinta-ala (m ²)

jolloin korvausilmavirta on:

$$q_{v,korvausilma} = 0,4 \text{ l/s} \cdot 113 \text{ m}^2 = 45,20 \text{ l/s} = 0,0452 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esimerkissä korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve tammikuussa:

$$Q_{iv,korvausilma,tammik} =$$

$$\frac{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1000 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)} \cdot 0,0452 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (21 - (-3,97))^\circ\text{C} \cdot 744 \text{ h}}{1000} = 1008 \text{ kWh}$$

Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve koko vuoden ajalta (liite 3):

$$Q_{iv,korvausilma} = 7302 \text{ kWh}$$

Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve

Tämän jälkeen voidaan laskea kaavalla 16 tilojen lämmitysenergian kokonaistarve, joka on koko vuoden ajalta yhteensä (liite 3):

$$\begin{aligned} Q_{tila} &= Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma} & (16) \\ &= 28255 \text{ kWh} + 2102 \text{ kWh} + 0 \text{ kWh} + 7302 \text{ kWh} = 37659 \text{ kWh} \end{aligned}$$

5.2.3 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Ihmisten aiheuttama lämpökuorma

Ihmisten ominaislämpöteho on energiatehokkuusasetuksen 11.§:n mukaan 2 W/m². Käyttötuntien osuus on 1, koska rakennus on käytössä kuukauden jokaisena tuntina. Ihmisten läsnäolon käyttöaste on energiatehokkuusasetuksen 11.§:n mukaan 0,6 eli ihminen on rakennuksessa keskimäärin 60 % ajasta. Ihmisten aiheuttama lämpökuorma lasketaan kaavalla 17

$$Q_{henk} = \frac{\phi_{henk} A_{netto} x k_{henk} \Delta t}{1000} \quad (17)$$

missä

ϕ_{henk} on ihmisten ominaislämpöteho (W/m²)

A_{netto} on rakennuksen nettopinta-ala (m²)

x on käyttötuntien osuus, $\frac{24h}{24h} \cdot \frac{7vrk}{7vrk} = 1$

k_{henk} on ihmisten läsnäolon käyttöaste

Δt on kuukauden tunnit (h).

Esimerkkinä laskennallinen tammikuun ihmisten aiheuttama lämpökuorma:

$$Q_{henk,tammi} = \frac{2 \text{ W/m}^2 \cdot 113 \text{ m}^2 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 744 \text{ h}}{1000} = 101 \text{ kWh}$$

Ihmisten aiheuttama lämpökuorma koko vuoden ajalta (liite 4):

$$Q_{henk} = 1188 \text{ kWh}$$

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen aiheuttama lämpökuorma

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen lämpökuorman laskennassa käytetään suoraan niiden aiemmin laskettua sähkönkulutusta (kohta 5.1), jolloin kaavalla 18 koko vuoden kuluttajalaitteiden ja valaistuksen lämpökuormaksi saadaan:

$$Q_{säh} = W_{kuluttajalaitteet} + W_{valaistus} = 1782 \text{ kWh} + 594 \text{ kWh} = 2376 \text{ kWh} \quad (18)$$

Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuorma

Lämpimän käyttöveden kierron lämpökuorma on 0 kWh kaavan 19 mukaisesti, koska energiatodistusasetuksen liitteen 1 taulukon 10 mukaan sähkökattilan oletushyötysuhde sisältää jo lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöt ja häviöiden lämpökuorman.

$$Q_{lkv,kierto,kuorma} = 0,5 \cdot Q_{lkv,kierto} = 0,5 \cdot 0 \text{ kWh} = 0 \text{ kWh} \quad (19)$$

Kaavalla 20 varastoinnin lämpökuormaksi saadaan 0 kWh, koska rakennuksessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa, eikä näin ollen varastoinnin lämpökuormaakaan.

$$Q_{lkv,varastointi,kuorma} = 0,5 \cdot Q_{lkv,varastointi} = 0,5 \cdot 0 \text{ kWh} = 0 \text{ kWh} \quad (20)$$

Auringon säteilyn aiheuttama lämpökuorma

E-luvun laskentaa varten tarvittavat auringon kokonaissäteilyenergian määrät eri ilmansuuntiin kuukausittain saadaan selville energiatehokkuusasetuksen

liitteen 1 taulukosta L1.2. Ikkunoiden valmistajakohtaisia korjaus- tai läpäisykerroimia ei ole tiedossa, joten käytetään ikkunoille energiatodistusasetuksen liitteen 1 oletuskertoimia $F_{\text{läpäisy}} = 0,5$ ja $g_{\text{kohtisuora}} = 0,6$. Auringon säteilyn aiheuttama lämpökuorma lasketaan kaavalla 21

$$Q_{\text{aur}} = G_{\text{säteily,pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g \quad (21)$$

jossa auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin saadaan laskettua kaavalla 22

$$g = 0,9 \cdot g_{\text{kohtisuora}} \quad (22)$$

missä

$G_{\text{sät,pystyp}}$ on auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnalle (kWh/m²)

$F_{\text{läpäisy}}$ on säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

A_{ikk} on ikkunoiden pinta-ala (m²)

g on ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

$g_{\text{kohtisuora}}$ on ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaissäteilykerroin.

Esimerkissä tammikuun laskelma koilliseen päin suuntautuvien ikkunoiden lämpökuormasta:

$$Q_{\text{aur,koillinen,tammik}} = 4,7 \text{ kWh/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 2,7 \text{ m}^2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 = 3,5 \text{ kWh}$$

Koko vuoden auringonsäteilyn lämpökuorma kaikista ikkunoista (liite 4):

$$Q_{\text{aur}} = Q_{\text{aur,koillinen}} + Q_{\text{aur,kaakko}} + Q_{\text{aur,lounas}} + Q_{\text{aur,luode}} \quad (23)$$

$$Q_{\text{aur}} = (371,9 + 721,4 + 676,7 + 505,6) \text{ kWh} = 2276 \text{ kWh}$$

Rakennuksen hyödynnettävät lämpökuormat yhteensä koko vuodelta lasketaan kaavan 24 avulla (liite 4):

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}} + Q_{\text{lkv,varast,kuorma}} + Q_{\text{aur}} \quad (24)$$

$$= (1188 + 2376 + 0 + 0 + 2276) \text{ kWh} = 5839 \text{ kWh}$$

Lämpökuormien hyödyntämisaste ja hyötyenergia lämpökuormista

Ensimmäiseksi lasketaan rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö aiempien arvojen perusteella kaavalla 25.

$$H_{tila} = \frac{1000 \cdot Q_{tila}}{(T_s - T_u)\Delta t} \quad (25)$$

Ominaislämpöhäviön esimerkkilaskelma tammikuulta:

$$H_{tila} = \frac{1000 \cdot 5196,7 \text{ kWh}}{(21 - (-3,97)) \text{ }^\circ\text{C} \cdot 744 \text{ h}} = 279,7 \text{ W/K}$$

Koska rakennuksessa ei ole lämmöntalteenoton kautta saatavaa tuloilmaa, on ominaislämpöhäviö sama joka kuukausi (liite 4).

Seuraavaksi lasketaan energiatehokkuuden laskentaohjeen mukaan lämmitetyllä nettoalalla painotettu lämpökapasiteetin keskiarvo kaavalla 26, koska rakennuksen alkuperäisellä osalla ja laajennusosalla on eri lämpökapasiteetti

$$C_{rak,omin,painotettu} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2}{A_1 + A_2} \quad (26)$$

missä

C_1 on alkuperäisen osan lämpökapasiteetti (Wh/(m²K))

C_2 on laajennusosan lämpökapasiteetti (Wh/(m²K))

A_1 on alkuperäisen osan lämmitetty nettopinta-ala (m²)

A_2 on laajennusosan lämmitetty nettopinta-ala (m²).

Lämpökapasiteetin keskiarvo:

$$C_{rak,omin,painotettu} = \frac{40 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 73 \text{ m}^2 + 70 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 40 \text{ m}^2}{73 \text{ m}^2 + 40 \text{ m}^2} = 50,6 \text{ Wh/m}^2\text{K}$$

jolloin koko rakennuksen lämpökapasiteetti on kaavan 27 mukaan:

$$C_{rak} = A_{netto} C_{rak,omin} = 113 \text{ m}^2 \cdot 50,6 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2\text{K}} = 5720,0 \text{ Wh/K} \quad (27)$$

Lasketaan rakennuksen aikavakio kaavalla 28 kuukausittaista hyödyntämistä varten.

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}} = \frac{5720,0 \text{ Wh/K}}{279,7 \text{ W/K}} = 20,45 \text{ h} \quad (28)$$

Koska aiemmin laskettu rakennuksen ominaislämpöhäviö on sama joka kuukausi, on aikavakiokin sama joka kuukausi.

Lämpökuormien suhde lämpöhäviöihin tammikuussa kaavan 29 mukaan:

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}} = \frac{327,4 \text{ kWh}}{5196,7 \text{ kWh}} = 0,063 \quad (29)$$

Lopuksi saadaan laskettua lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämistäaste kaavalla 30

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{(a+1)}} \quad (30)$$

missä apusuure a lasketaan kaavalla 31

$$a = 1 + \frac{\tau}{15 \text{ h}} \quad (31)$$

Apusuure a on sama joka kuukausi, koska aikavakio ja rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö ovat myös samat joka kuukausi:

$$a = 1 + \frac{20,45 \text{ h}}{15 \text{ h}} = 2,36$$

jolloin lämpökuormien hyödyntämisaste tammikuussa on:

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - 0,063^{2,36}}{1 - 0,063^{(2,36+1)}} = 0,999$$

Lämpökuormien hyötyenergia saadaan nyt kertomalla lämpökuormien kokonaismäärä lämpökuormien hyödyntämisasteen kertoimella kaavan 32 mukaisesti.

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (32)$$

Lämpökuormien hyötyenergia tammikuussa:

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 0,999 \cdot 327,4 \text{ kWh} = 327,0 \text{ kWh}$$

Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitysenergian nettotarve saadaan vähentämällä tilojen lämpökuormista hyödyksi saatu energia tilojen lämmitysenergian kokonaistarpeesta kaavan 33 mukaisesti.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (33)$$

Lämmitysenergian nettotarve tammikuussa:

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,tammik}} = 5196,7 \text{ kWh} - 327,0 \text{ kWh} = 4869,7 \text{ kWh}$$

Lopuksi voidaan laskea lämmitysenergian nettotarve, joka on koko vuoden ajalta yhteensä (liite 5):

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = 37659,3 \text{ kWh} - 5468,5 \text{ kWh} = 32190,7 \text{ kWh}$$

5.3 Lämmitysjärjestelmien energiankulutus

5.3.1 Tulisija

Kohteessa ei ole tulisijaa, joten tulisijojen luovuttamaa lämmitysenergiaa ei myöskään ole.

5.3.2 Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmä

Tilojen lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergiantarve

Lämmönjakelujärjestelmän hyötysuhde on 0,9 vesikiertoisella patterilämmityksellä energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaisesti, kun verkoston lämpötila on 70/40 astetta ja putket ovat suojaputken sisällä. Kohteessa ei ole jakelun ja varastoinnin häviöitä lämmittämättömiin tiloihin. Lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergiantarve saadaan laskettua kaavan 34 mukaisesti

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} + Q_{\text{varastointi,ulos}} \quad (34)$$

jolloin koko vuoden lämpöenergiantarpeeksi saadaan:

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{32190,7 \text{ kWh/a}}{0,9} + 0 + 0 = 35767 \text{ kWh/a}$$

Sähkönkulutus, lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet

Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan energiatodistusasetuksen liitteen 1 taulukko 9:ssä määritellyn apulaitteiden sähkön ominaiskulutuksen mukaan kaavalla 35. Apulaitteiden ominaiskulutukseksi vuodessa on määritetty 2 kWh/(m²a)

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A_{\text{netto}} \quad (35)$$

missä

e_{tilat} on apulaitteiden sähkön ominaiskulutus vuodessa (kWh/(m²a))
 A_{netto} on rakennuksen nettopinta-ala (m²).

Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus vuoden aikana:

$$W_{tilat} = 2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 113 \text{ m}^2 = 226 \text{ kWh/a}$$

Käyttöveden lämmityksen lämpöenergian kokonaistarve

Käyttöveden siirron hyötysuhde on energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaan tälle rakennukselle 0,85, kun lämpimän käyttöveden putket ovat suojaputkessa ja lämminvesikiertoa ei ole. Käyttöveden lämmityksen lämpöenergian kokonaistarve saadaan laskettua kaavalla 36

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv, netto}}}{\eta_{\text{lkv, siirto}}} + Q_{\text{lkv, varastointi}} + Q_{\text{lkv, kierto}} \quad (36)$$

missä

$Q_{\text{lkv, netto}}$ on lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve (kWh/a)

$\eta_{\text{lkv, siirto}}$ on käyttöveden siirron hyötysuhde

$Q_{\text{lkv, varast.}}$ on lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö (kWh/a)

$Q_{\text{lkv, kierto}}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö (kWh/a).

Lämpöenergian kokonaistarve käyttövedelle vuoden aikana:

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{3955 \text{ kWh/a}}{0,85} + 0 \text{ kWh} + 0 \text{ kWh} = 4652,9 \text{ kWh/a}$$

Tilojen ja käyttöveden lämmöntuottojärjestelmän ostoenergiankulutus

Tilojen ja käyttöveden lämmöntuottojärjestelmän ostoenergiankulutus saadaan laskettua kaavan 37 mukaisesti. Talossa olevan sähkökattilan vuosihyötysuhde on energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaan 0,88, kun valmistajan laitekohtainen vuosihyötysuhde ei ole selvillä.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,kulutus}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad (37)$$

missä

$Q_{\text{lämm.tilat}}$ on tilojen lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergiantarve (kWh/a)

$Q_{\text{lämm.lkv}}$ on käyttöveden lämmityksen lämpöenergian kokonaistarve (kWh/a)

η_{tuotto} on lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde.

Tilojen ja käyttöveden lämmöntuottojärjestelmän ostoenergiankulutus vuodessa:

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,kulutus}} = \frac{37767,5 \text{ kWh/a} + 4652,9 \text{ kWh/a}}{0,88} = 45932,3 \text{ kWh/a}$$

Tilojen ja käyttöveden lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus

Rakennuksen sähkökattilan apulaitteiston sähkönkulutus ei ole tiedossa, joten käytetään laskennan apuna energiatodistusasetuksen liitteen 1 taulukon 10 ohjearvoa, joka on sähkökattilalle 0,02 kWh/(m²a). Tilojen ja käyttöveden lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan tällöin kaavan 38 mukaisesti

$$W_{\text{tuotto,apu}} = e_{\text{tuotto}} A_{\text{netto}} \quad (38)$$

missä

e_{tuotto} on apulaitteiden sähkön ominaiskulutus (kWh/(m²a))

A_{netto} on rakennuksen nettopinta-ala (m²).

Lämmöntuottolaitteiston apulaitteiden sähkönkulutus vuoden aikana:

$$W_{\text{tuotto,apu}} = 0,02 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 113 \text{ m}^2 = 2,3 \text{ kWh/a}$$

5.4 E-luku

Seuraavaksi lasketaan rakennuksen alkuperäinen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku, koska kaikki tarvittavat energiankulutukset ovat nyt selvillä. E-luku saadaan, kun ostoenergian kokonaiskulutukset kerrotaan energiamuodon kertoimella ja jaetaan lopuksi rakennuksen nettopinta-alalla kaavan 39 mukaisesti. Saatu E-lukema pyöristetään aina ylöspäin.

$$E = \frac{f_{kaukol.} Q_{kaukol.} + f_{kaukojäähd.} Q_{kaukoj.} + \Sigma f_{polttoa.} Q_{polttoa.} + f_{sähkö} W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (39)$$

$f_{kaukol.}$	on kaukolämmön energiamuodon kerroin
$Q_{kaukol.}$	on kaukolämmön energiakulutus (kWh/a)
$f_{kaukojäähd.}$	on kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin
$Q_{kaukoj.}$	on kaukojäähdytyksen energiakulutus (kWh/a)
$f_{polttoa.}$	on polttoaineen energiamuodon kerroin
$Q_{polttoa.}$	on polttoaineen energiakulutus (kWh/a)
$f_{sähkö}$	on sähkön energiamuodon kerroin
$W_{sähkö}$	on sähkön energiakulutus, jossa huomioitu hyötyenergia (kWh/a)
A_{netto}	on rakennuksen nettopinta-ala (m ²).

Esimerkkikohteessa ei ole kaukolämpöä eikä kaukojäähdytystä, joten niiden arvo on 0 kWh/a. Sähkön energiankulutus $W_{sähkö}$ koostuu tässä tapauksessa kaavan 40 mukaisesti kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutuksesta, lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutuksesta sekä tilojen ja käytöveden lämmöntuottojärjestelmän ja sen apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Sähkön energiamuodon kerroin $f_{sähkö}$ on 1,2 ja se on esitetty aiemmin kappalessa 2.3.

$$\begin{aligned} W_{sähkö} &= W_{kuluttajal. \text{ ja valaistus}} + W_{tilat} + W_{tuotto,apu} + Q_{lämmitys,tilat,kulutus} \quad (40) \\ &= (2375,7 + 226,0 + 2,3 + 45932,3) \text{ kWh/a} = 48536,3 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Tämän jälkeen voidaan saadut arvot sijoittaa E-luvun laskentakaavaan:

$$E = \frac{0 + 0 + 0 + 1,2 \cdot 48536,3 \text{ kWh/a}}{113 \text{ m}^2} = 515,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

E-luku pyöristetään ylöspäin, jolloin E-luvuksi saadaan 516 kWh_E/(m²a). Energiatohokkuusluokan kirjaintunnukset esimerkkirakennukselle saadaan selville laskemalla ne ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta liitteen 2 mukaisesti (kuva 15).

Pienet asuinrakennukset (50m ² – 150m ²)			
Energiatohokkuusluokka (113m ²)	Energiatohokkuusluokan laskentakaava		
A – 87		E-luku	≤ 110 – 0,2 × A _{netto}
B 88 – 147	110 – 0,2 × A _{netto} <	E-luku	≤ 215 – 0,6 × A _{netto}
C 148 – 184	215 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 252 – 0,6 × A _{netto}
D 185 – 264	252 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 332 – 0,6 × A _{netto}
E 265 – 394	332 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 462 – 0,6 × A _{netto}
F 395 – 464	462 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	≤ 532 – 0,6 × A _{netto}
G 465 –	532 – 0,6 × A _{netto} <	E-luku	

Kuva 15. Lasketut energiatohokkuusluokan kirjaintunnukset käyttötarkoitusluokan 1 rakennukselle, kun lämmitetty nettopinta-ala on 113 m².

Rakennus kuuluu laskennan perusteella energiatohokkuusluokaltaan huonoimpaan G-luokkaan (kuva 16). Seuraavassa kappaleessa lasketaan vaihtoehtoisia tapoja, millä saavutettaisiin parempi tehokkuusluokka.

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Sähkö	48536,3	429,5	1,2	58243,5	515,4
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottajärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	45932,3	406,5	1,2	55118,8	487,8
Lämmöntuottajärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
YHTEENSÄ				58243,5	515,4
				G	516

Kuva 16. Alkuperäisen E-luvun laskenta taulukkomuodossa esitettynä.

6 Vaihtoehtoja energiatehokkuusluokan parantamiseen

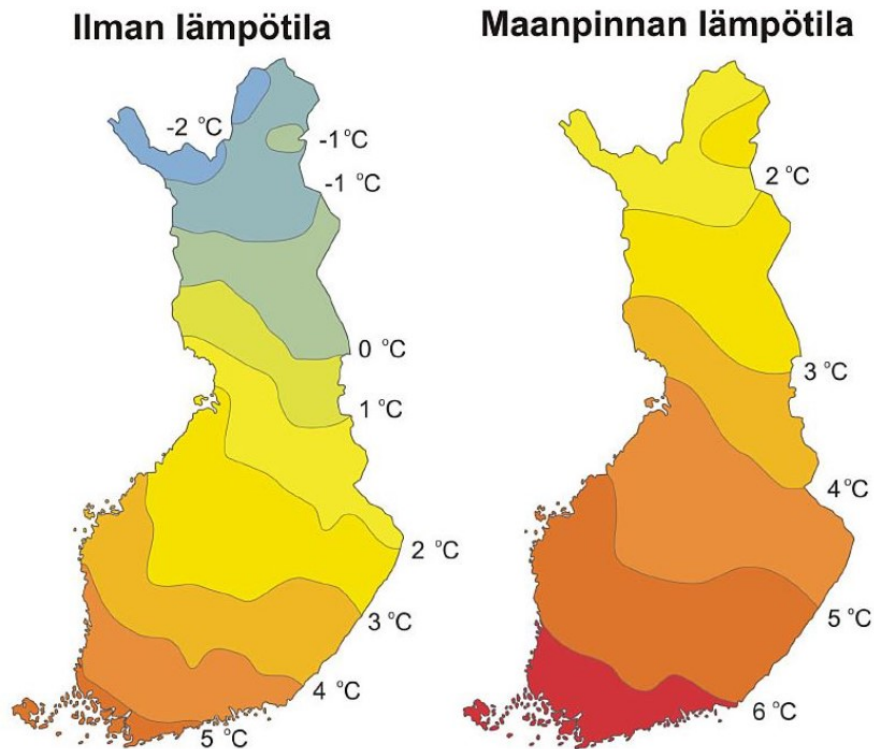
Seuraavaksi lasketaan vaihtoehtoisia tapoja energiatehokkuusluokka D:n saavuttamiseksi, eli E-luvuksi täytyisi saada $264 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ tai sitä pienempi.

6.1 Vaihtoehto 1

6.1.1 Maalämpö

Ensimmäiseen vaihtoehtoon lasketaan maalämmön tuottama parannus energiatehokkuusluokkaan, ja mikäli sen avulla haluttua luokkaa ei vielä saavuteta, lasketaan mukaan seuraavakin vaihtoehto.

Tilojen lämmityksen menoveden lämpötilaksi valitaan 60 astetta, joka on lähimpänä nykyistä tilannetta. Nykyiset maalämpöpumput pystyvät tuottamaan jopa 65–asteista menovettä, ja mikäli lämpö ei jostain syystä riittäisi, saataisiin lämpö todennäköisimmin riittämään pelkällä patteriverkoston termostaattien uudelleen säätämällä [20]. Käyttöveden lämmityksen menoveden lämpötilaksi valitaan myös 60 astetta. Vuotuisen keruupiirin paluunesteen lämpötilana käytetään kolmea astetta, koska se on lähellä maaperän 4,4–5,1 asteen vuotuista keskilämpötilaa (kuva 17).



Kuva 17. Ilman ja maanpinnan vuotuiset keskilämpötilat [62].

Seuraavaksi katsotaan laskentaa varten maalämpöpumpulle oikea SPF-luku energiatodistusasetuksen liitteestä 1 ja näillä arvoilla tilojen lämmityksen SPF-luvuksi saadaan 2,5 ja käyttöveden lämmityksen SPF-luvuksi 2,3.

Maalämpöpumpun mitoitustehoksi valitaan 70 %, koska maalämpöpumppu yleensä mitoitetaan 60–80 prosentin välille. Näin sillä saadaan tuotettua 80–95 % vuotuisesta energiatarpeesta ja loput tuotetaan laitteen omilla lämmitysvasuksilla. [63, s. 25]. Lopullisen mitoituksen tekee kuitenkin laitetoimittaja. Maalämpöpumpun ostoenergian selvittämiseen tarvitaan vielä rakennuksen tilojen sekä käyttöveden lämmitysenergian kulutustiedot ja nämä saatiin selville alkuperäisen E-luvun laskentaosiossa (ks. luku 5). Laskenta suoritetaan energiatehokkuuden laskentaohjeen mukaan.

Ennen varsinaista laskentaa määritetään tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian suhde, jolla saadaan selville maalämpöpumpun ja sähkövastustusten osuus tuotetusta lämmitysenergiasta käyttäen apuna kaavaa 41 ja energiatehokkuuden laskentaohjeen taulukkoa L2.1.

$$\frac{Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat}}}{Q_{\text{l\u00e4mmitys,lkv}}} = \frac{35767,5 \text{ kWh/a}}{4652,9 \text{ kWh/a}} = 7,69 \quad (41)$$

L\u00e4himp\u00e4n\u00e4 arvoa 7,69 on taulukon lukema 4. T\u00e4ll\u00f6in saadaan maal\u00e4mp\u00f6pumpun ja s\u00e4hk\u00f6vastusten suhteeksi $Q_{lp}/Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat,LKV}} = 0,94$. L\u00e4mp\u00f6pumppu tuottaa 94 % l\u00e4mmitysenergiasta ja s\u00e4hk\u00f6vastukset 6 %. Seuraavaksi voidaan laskea vastusten tai lis\u00e4l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n kuluttama s\u00e4hk\u00f6energia tilojen ja k\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mmityksess\u00e4.

Tilojen lis\u00e4l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n kuluttama s\u00e4hk\u00f6energia saadaan kaavalla 42.

$$\begin{aligned} Q_{\text{lis\u00e4l\u00e4mmitys,tilat}} &= (1 - Q_{lp}/Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat,LKV}})Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat}} \quad (42) \\ &= (1 - 0,94) \cdot 35767,5 \text{ kWh/a} = 2146,0 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Kaavalla 43 saadaan k\u00e4ytt\u00f6veden lis\u00e4l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n kuluttama s\u00e4hk\u00f6energia.

$$\begin{aligned} Q_{\text{lis\u00e4l\u00e4mmitys,lkv}} &= (1 - Q_{lp}/Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat,LKV}})Q_{\text{l\u00e4mmitys,LKV}} \quad (43) \\ &= (1 - 0,94) \cdot 4652,9 \text{ kWh/a} = 279,2 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Lis\u00e4l\u00e4mmitys yhteens\u00e4 kaavan 44 mukaisesti:

$$\begin{aligned} W_{\text{lis\u00e4l\u00e4mmitys}} &= Q_{\text{lis\u00e4l\u00e4mmitys,tilat}} + Q_{\text{lis\u00e4l\u00e4mmitys,lkv}} \quad (44) \\ &= 2146,0 \text{ kWh/a} + 279,2 \text{ kWh/a} = 2425,2 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Nyt kun tiedet\u00e4\u00e4n s\u00e4hk\u00f6vastusten osuudet l\u00e4mmitysenergiasta, voidaan laskea pumpun osuus tilojen ja k\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mmityksest\u00e4.

Pumpun osuus tilojen l\u00e4mmityksest\u00e4 lasketaan kaavalla 45:

$$Q_{LP,\text{l\u00e4mmitys,tilat}} = Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat}} - Q_{\text{lis\u00e4l\u00e4mmitys,tilat}} \quad (45)$$

$$= 35767,5 \text{ kWh/a} - 2146,0 \text{ kWh/a} = 33621,4 \text{ kWh/a}$$

ja pumpun osuus käyttöveden lämmityksestä lasketaan kaavalla 46.

$$Q_{LP,lämmitys,lkv} = Q_{lämmitys,lkv} - Q_{lisälämmitys,lkv} \quad (46)$$

$$= 4652,9 \text{ kWh/a} - 279,2 \text{ kWh/a} = 4373,8 \text{ kWh/a}$$

Seuraavaksi lasketaan maalämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus. Tilojen lämmityksessä käytettävä SPF-luku on rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeen mukaan kyseisessä kohteessa 2,5 ja käyttöveden lämmityksessä 2,3.

Maalämpöpumpun sähköenergiankulutus kokonaisuudessaan saadaan kaavalla 47:

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,lämmitys,lkv}}{SPF_{lkv}} + W_{lisälämmitys} \quad (47)$$

$$= \frac{33621,4 \text{ kWh/a}}{2,5} + \frac{4373,8 \text{ kWh/a}}{2,3} + 2425,2 \text{ kWh/a} = 17775,4 \text{ kWh/a}$$

Lopuksi lasketaan uusi E-luku kaavalla 48:

$$E = \frac{f_{kaukol.} Q_{kaukol.} + f_{kaukoj.} Q_{kaukoj.} + \Sigma f_{polttoa.} Q_{polttoa.} + f_{sähkö} W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (48)$$

$$= \frac{0 + 0 + 0 + 1,2 \cdot 20377,2 \text{ kWh/a}}{113 \text{ m}^2} = 216,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Laskennan perusteella sähkölämmityksen korvaaminen maalämpöpumpulla riittäisi nostamaan rakennuksen tavoiteltuun D-luokkaan, koska E-luku parani peräti arvoon 217 kWh_E/(m²a) (kuva 18). Tässä vaihtoehdossa ei lasketa enää muita parannustoimenpiteitä.

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	20377,2	180,3	1,2	24452,6	216,4
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,02	1,2	2850,9	25,23
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,00	1,2	271,2	2,40
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	17775,4	157,30	1,2	21330,5	188,77
Lämmöntuottojärjestelmien apulaitteet	0	0,00	1,2	0	0
YHTEENSÄ				24452,6	216,4
				D	217

Kuva 18. E-luku maalämpöpumpun asennuksen jälkeen.

6.2 Vaihtoehto 2

6.2.1 Ilmalämpöpumppu

Ensimmäinen toimenpide E-luvun parantamiselle on ilmalämpöpumpun asennus. Ilmalämpöpumpun tuottama kokonaisenergiamäärä lasketaan energiatoistosasetuksen liitteen 1 taulukon 15 määrittelemillä arvoilla. Alkuperäisen osan enimmäisenergiamäärä lasketaan kertomalla sen pinta-ala arvolla 40 kWh/m², ja laajennusosan pinta-ala kerrotaan arvolla 35 kWh/m² kaavan 49 mukaisesti. Ilmalämpöpumpulle on määritelty SPF-luvuksi 2,8 energiatoistosasetuksen taulukon 12 mukaan. Näillä arvoilla saadaan selville myös ilmalämpöpumpun ostoenergiakulutus.

Ilmalämpöpumpun tuottama enimmäisenergiamäärä vuodessa:

$$Q_{ILP,lämmitys,max} = A_1 Q_{ILP,tuotto1} + A_2 Q_{ILP,tuotto2} \quad (49)$$

$$= 73 \text{ m}^2 \cdot 40 \text{ kWh/m}^2 + 40 \text{ m}^2 \cdot 35 \text{ kWh/m}^2 = 4320,0 \text{ kWh/a}$$

missä

A_1 on alkuperäisen osan lämmitetty nettopinta-ala (m²)

A_2 on laajennusosan lämmitetty nettopinta-ala (m²)

$Q_{ILP,tuotto1}$ on alkuperäisen osan ilmalämpöpumpun tuotto vuodessa (kWh/m²)

$Q_{ILP,tuotto2}$ on laajennusosan ilmalämpöpumpun tuotto vuodessa (kWh/m²).

Ilmalämpöpumpun ostoenergiankulutus vuodessa saadaan laskettua kaavalla 50:

$$W_{LP,lämmitys,max} = \frac{Q_{ILP,lämmitys,max}}{SPF_{ILP}} = \frac{4320,0 \text{ kWh/a}}{2,8} = 1542,9 \text{ kWh/a} \quad (50)$$

Ilmalämpöpumpun lisäämisellä rakennuksen vuosittainen ostoenergiankulutus putoaa ilmalämpöpumpun tuoton ja kulutuksen erotuksen verran, eli 2777,1 kWh/a. Rakennuksen E-luku pienenee lukemasta 516 kWh_E/(m²a) lukemaan 486 kWh_E/(m²a), mutta energialuokka pysyy edelleen G-luokassa (kuva 19).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	45759,1	404,9	1,2	54911,0	485,9
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	41612,3	368,3	1,2	49934,8	441,9
-ilmalämpöpumppu	1542,9	13,7	1,2	1851,4	16,4
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
YHTEENSÄ				54911,0	485,9
				G	486

Kuva 19. E-luku ilmalämpöpumpun asennuksen jälkeen.

6.2.2 Yläpohjan eristys

Seuraavaksi tarkastellaan yläpohjan eristämällä saatavaa hyötyä energiatehokkuuden parantamisessa. Talon laajennusosassa on tarkastelun perusteella jo ennestään paksu 500–600 mm:n kerros puhallusvillaa, mutta alkuperäisen osan yläpohjassa eristettä on huomattavasti vähemmän. Valitaan yläpohjan uudeksi lämmönläpäisykertoimeksi 0,1 W/(m²K). Talossa on harjakatto ja korkea ullakkotila, joten sinne saadaan mahdutettua riittävän paksusti puhallusvillaa.

Tällä muutoksella yläpohjan kautta tapahtuvat johtumislämpöhäviöt pienenevät 3636,3 kWh vuodessa (liite 6) ja uudeksi E-luvuksi saadaan 433 kWh_E/(m²a), jolloin energialuokka nousee F-luokkaan (kuva 20).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	40745,7	360,6	1,2	48894,8	432,7
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	36598,8	323,9	1,2	43918,6	388,7
-ilmalämpöpumppu	1542,9	13,7	1,2	1851,4	16,4
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
YHTEENSÄ				48894,8	432,7
				F	433

Kuva 20. E-luku ilmalämpöpumpun ja yläpohjan eristyksen jälkeen.

6.2.3 Ikkunoiden uusiminen

Kolmas toimenpide on uusia alkuperäisen osan ikkunat. Laajennusosan ikkunat ovat hyväkuntoiset ja niiden johtumislämpöhäviöt ovat pienet verrattuna alkupe-
räisen osan ikkunoihin. Ikkunoiden uusiminen parantaa ikkunoiden lämmönlä-
päisykerrointa, jolloin johtumislämpöhäviötkin pienenevät. Uudeksi lämmönlä-
päisykertoimeksi valitaan 0,7 W/(m²K), mikä on tyypillinen arvo nelilasiselle
energiansäästöikkunalle. Näin lämpöhäviöt pienenevät 2489 kWh/a (liite 6).

Ikkunoiden uusimisella E-luku muuttui arvoon 397 kWh_E/(m²a), mutta
energiatohokkuusluokka pysyi F-luokassa (kuva 21).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	37321,4	330,3	1,2	44785,6	396,3
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	33174,5	293,6	1,2	39809,4	352,3
-ilmalämpöpumppu	1542,9	13,7	1,2	1851,4	16,4
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
YHTEENSÄ				44785,6	396,3
				F	397

Kuva 21. E-luku ilmalämpöpumpun, yläpohjan eristyksen ja ikkunoiden uusimi-
sen jälkeen.

6.2.4 Varaava takka

Rakennuksen E-lukuun lasketaan seuraavaksi varaava takka. Talossa on aiemmin ollut puuhella, mutta se on purettu pois, joten varaava takka asennettaisiin olemassa olevaan hormiin. Varaavan takan lisäksi olisi myös mahdollista asentaa toinenkin tulisija, esimerkiksi leivinuuni. Tällöin lämpöenergian kokonaismääräksi tulisi 6000 kWh/a, mutta tässä laskennassa käytetään ainoastaan yhtä tulisijaa.

Varaavan takan laskennassa käytetään sen tuottamaa lämpöenergian enimmäismäärää 3000 kWh/a tulisijaa kohden ja kokonaisvuosihyötysuhdetta 0,60, jotka on määritelty energiatodistusasetuksen liitteessä 1. Tulisijojen ostoenergiankulutus saadaan laskettua kaavalla 51.

$$Tulisijan\ ostoenergiankulutus = \frac{Q_{tuotto,tulisija}}{\eta_{tulisija}} \quad (51)$$

$$= \frac{3000\ kWh/a}{0,60} = 5000\ kWh/a$$

Varaavan takan lisäämisellä E-luku parantui 18 kWh_E/(m²a) ja uudeksi E-luvuksi saatiin 379 kWh_E/(m²a), jolloin rakennuksen energialuokaksi tulee E (kuva 22).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Sähkö	33533,5	296,8	1,2	40240,2	356,1
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	29386,6	260,1	1,2	35264,0	312,1
-ilmalämpöpumppu	1542,9	13,7	1,2	1851,4	16,4
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
Uusiutuva polttoaine	5000,0	44,25	0,5	2500,0	22,12
Varaava tulisija	5000,0	44,25	0,5	2500,0	22,12
YHTEENSÄ				42740,2	378,2
				E	379

Kuva 22. ILP, YP eristys, ikkunat ja takka (E-luku).

6.2.5 Aurinkosähköpaneelit

Rakennus lämpenee sähköllä, joten seuraavaksi on laskentavuorossa aurinkosähköpaneelien hyöty. Sähkön kulutuksen ollessa suurinta iltapäivällä ja illalla, asennetaan talon lounaan puoleiselle katto-osalle 2600 kWh/a tuottava aurinkopaneelijärjestelmä eli noin 8 kpl (~15 m²) aurinkosähköpaneeleita. Tämä määrä vähennetään suoraan loppulaskennan ostoenergiankulutuksesta, koska se voidaan hyödyntää kokonaan rakennuksen sähkönkulutuksessa. Aurinkosähköpaneeleilla saatiin pienennettyä E-luku arvoon 356 kWh_E/(m²a) (kuva 23).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Sähkö	30933,5	273,7	1,2	37640,2	333,1
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	29386,6	260,1	1,2	35264,0	312,1
-ilmalämpöpumppu	1542,9	13,7	1,2	1851,4	16,4
-aurinkosähköpaneelit	-2600,0	-23,0	1,0	-2600,0	-23,0
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
Uusiutuva polttoaine	5000,0	44,25	0,5	2500,0	22,12
Varaava tulisija	5000,0	44,25	0,5	2500,0	22,12
YHTEENSÄ				40140,2	355,2
				E	356

Kuva 23. ILP, YP eristys, ikkunat, takka ja aurinkopaneelit (E-luku).

Tässä vaiheessa voi viimeistään havaita, ettei energiatehokkuusluokkaa saada helposti laskemaan D-tasolle, ja edellä laskettujen toimenpiteiden tekeminenkin tulisi jo huomattavan kalliiksi saavutettuun hyötyyn nähden. Seuraava toimenpide D-luokan saavuttamiseksi on kuitenkin laittaa suoraan alkuperäisen ja laajennusosan seiniin vuosien 2012–2018 lämmönläpäisykerroin 0,17 W/m²K energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaisesti ja laajennusosan ikkunoihin kerroin 0,7 W/m²K, jota käytettiin laskennassa aiemmin alkuperäisen osan ikkunoiden uutena kertoimena.

Näillä toimenpiteillä ostoenergiankulutus laski 8634,8 kWh/a ja E-lukema putosi lukemaan 264 kWh_E/(m²a), mikä oli täsmälleen D-luokan minimivaatimus (kuva 24).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	22298,7	197,3	1,2	27278,4	241,4
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	20751,8	183,6	1,2	24902,2	220,4
-ilmalämpöpumppu	1542,9	13,7	1,2	1851,4	16,4
-aurinkosähköpaneelit	-2600,0	-23,0	1,0	-2600,0	-23,0
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
Uusiutuva polttoaine	5000,0	44,25	0,5	2500,0	22,12
Varaava tulisija	5000,0	44,25	0,5	2500,0	22,12
YHTEENSÄ				29778,4	263,5
				D	264

Kuva 24. ILP, YP eristys, kaikki ikkunat, takka, aurinkopaneelit ja seinät (E-luku).

6.3 Vaihtoehto 3

6.3.1 Ilma-vesilämpöpumppu

Kolmanteen vaihtoehtoon otetaan mukaan ilma-vesilämpöpumppu, koska ensimmäisessä vaihtoehdossa havaittiin lämmitystavan muutoksella olevan suuri merkitys E-luvun parantamisessa. Ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde laskee jyrkästi –20 asteessa, jolloin sen käyttö ei enää kannata [31] ja näitä tilanteita varten rinnalle jätetään rakennuksen vanha sähkölämmitys varalämmitysjärjestelmäksi.

Ensimmäiseksi lasketaan ilma-vesilämpöpumpun vaikutus E-lukuun, ja laskenta suoritetaan säävyöhyke 1 mitoituslämpötilan mukaan. Monet ilma-vesilämpöpumput eivät pysty tuottamaan luotettavasti yli 55–asteista vettä lämmitysjärjestelmään [31], mutta valitaan silti lämmityksen menoveden lämpötilaksi 60 astetta, koska 55–asteiselle menoveden lämpötilalle ei ole energiatodistusasetuksessa omaa SFP-lukua ja 60 astetta on lähimpänä nykyistä tilannetta. Mikäli

ilma-vesilämpöpumppu ei pysty tuottamaan riittävän lämmintä vettä, hoitavat varaajan sähkövastukset tai varalämmitysjärjestelmä lopun lämmittämisen. Käyttöveden lämmityksen menoveden lämpötilaksi tulee myös 60 astetta.

Seuraavaksi katsotaan laskentaa varten ilma-vesilämpöpumpulle oikea SPF-luku energiatodistusasetuksen liitteestä 1. Näillä arvoilla tilojen lämmityksen SPF-luvuksi saadaan 2,2 ja käyttöveden lämmityksen SPF-luvuksi 1,8. Vesi-ilmalämpöpumpun mitoitustehoksi valitaan laskentaa varten 100 %, jotta se tuottaisi riittävästi lämpöä pumpun alimmassa toimintalämpötilassa [64, s. 11]. Laitetoimittaja tekee kuitenkin tarvittaessa muutoksia lopulliseen mitoitukseen.

Laskenta suoritetaan muuten samalla tavalla kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa laskettu maalämpöpumpun vaikutus energiatehokkuuteen, mutta käytetään edellä mainittuja ilma-vesilämpöpumpun kertoimia ja vähennetään tilojen lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergiantarpeesta ilmalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia.

Tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian suhde saadaan selville käyttämällä apuna kaavaa 52 ja energiatehokkuuden laskentaohjeen taulukkoa L2.1

$$\frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}}}{Q_{\text{lämmitys,lkv}}} = \frac{35767,5 \text{ kWh/a}}{4652,9 \text{ kWh/a}} = 7,69 \quad (52)$$

Lähimpänä arvoa 7,69 on taulukon L2.1 lukema 4, jolla ilma-vesilämpöpumpun ja sähkövastusten suhteeksi tulee 0,90. Näin saatiin selville, että ilma-vesilämpöpumppu tuottaa 90 % lämmitysenergiasta ja 10 % lämmitysenergiasta tulee sähkövastusten tai muun varalämmitysjärjestelmän avulla.

Tilojen lisälämmitysjärjestelmän kuluttama sähköenergia saadaan kaavan 53 mukaisesti:

$$\begin{aligned} Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} &= (1 - Q_{lp}/Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}})Q_{\text{lämmitys,tilat}} \quad (53) \\ &= (1 - 0,90) \cdot 35767,5 \text{ kWh/a} = 3576,7 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Kaavalla 54 saadaan laskettua käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän kuluttama sähköenergia:

$$Q_{\text{lisälämmitys, lkv}} = (1 - Q_{lp}/Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}})Q_{\text{lämmitys, LKV}} \quad (54)$$

$$= (1 - 0,90) \cdot 4652,9 \text{ kWh/a} = 465,3 \text{ kWh/a}$$

Lisälämmitys yhteensä:

$$W_{\text{lisälämmitys}} = Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} + Q_{\text{lisälämmitys, lkv}} \quad (55)$$

$$= 3576,7 \text{ kWh/a} + 465,3 \text{ kWh/a} = 4042,0 \text{ kWh/a}$$

Pumpun osuus tilojen ja käyttöveden lämmityksestä lasketaan käyttäen apuna kaavoja 56 ja 57:

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = Q_{\text{lämmitys, tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} \quad (56)$$

$$= 35767,5 \text{ kWh/a} - 3576,7 \text{ kWh/a} = 32190,7 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}} = Q_{\text{lämmitys, lkv}} - Q_{\text{lisälämmitys, lkv}} \quad (57)$$

$$= 4652,9 \text{ kWh/a} - 465,3 \text{ kWh/a} = 4187,6 \text{ kWh/a}$$

Lämpöpumpun kokonaissähköenergiankulutus saadaan kaavalla 58:

$$W_{LP, \text{lämmitys}} = \frac{Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}}{SPF_{\text{tilat}}} + \frac{Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}}}{SPF_{\text{lkv}}} + W_{\text{lisälämmitys}} \quad (58)$$

$$= \frac{32190,7 \text{ kWh/a}}{2,5} + \frac{4187,6 \text{ kWh/a}}{2,3} + 4042,0 \text{ kWh/a} = 21000,7 \text{ kWh/a}$$

Lopuksi lasketaan uusi E-luku kaavaa 59 apuna käyttäen:

$$E = \frac{f_{kaukol.} Q_{kaukol.} + f_{kaukoj.} Q_{kaukoj.} + \Sigma f_{poltto.} Q_{poltto.} + f_{sähkö} W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (59)$$

$$= \frac{0 + 0 + 0 + 1,2 \cdot 23604,6 \text{ kWh/a}}{113 \text{ m}^2} = 250,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Ilma-vesilämpöpumpun ostosähkönkulutukseksi saadaan 21000,7 kWh/a ja energialuokka nousee suoraan haluttuun D-luokkaan uuden E-luvun ollessa 251 kWh_E/(m²a) (kuva 25).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	23604,6	208,9	1,2	28325,6	250,7
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	21000,7	185,8	1,2	25200,8	223,0
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
YHTEENSÄ				28325,6	250,7
				D	251

Kuva 25. E-luku ilma-vesilämpöpumpun asennuksen jälkeen.

Koska laskenta ei ota huomioon pohjoisemman säävyöhykkeen kylmempiä talvikuukausia, jolloin vesi-ilmalämpöpumpun hyötysuhde putoaa huomattavasti, niin jatketaan energiatehokkuuden parantamista, jotta päästäisiin vähintään maalämpöpumpun tasolle E-lukemassa. Lisätään laskentaan yläpohjan lisäeristäminen ja ilmalämpöpumppu, koska nämä ovat hyviä ja edullisia toimenpiteitä energiatehokkuuden kannalta. Nämä hyödyttävät ilma-vesilämpöpumpun toimintaa, koska lämmitysveden lämpötila saadaan pidettyä alhaisempana.

Ensimmäiseksi lasketaan alkuperäisen osan yläpohjan lisäeristämisen vaikutus E-lukemaan. Käytetään samaa vaihtoehto kahden lämmönläpäisykerrointa 0,1 W/(m²K), jolla johtumislämpöhäviöitä saatiin pienennettyä 3636,3 kWh vuodessa (liite 6). E-luvuksi saadaan 227 kWh_E/(m²a), joka on jo melko lähellä maalämpöpumpun lukemaa (kuva 26).

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	21358,6	189,0	1,2	25630,3	226,8
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	18754,6	166,0	1,2	22505,6	199,2
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
YHTEENSÄ				25630,3	226,8
				D	227

Kuva 26. E-luku ilma-vesilämpöpumpun ja yläpohjan eristyksen jälkeen.

Ilmalämpöpumpun laskenta suoritetaan vastaavalla tavalla kuin vaihtoehto kahdessa, jolloin E-lukema putoaa arvoon 198 kWh_E/(m²a) energialuokan pysyessä D-luokassa (kuva 27). Näillä toimenpiteillä päästiin maalämpöpumpun E-lukeman alle, joten laskentaa ei jatketa enää eteenpäin.

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		Kerroin	E-luku	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		-	kWh _E /a
Sähkö	18581,5	164,4	1,2	22297,8	197,3
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2375,7	21,0	1,2	2850,9	25,2
Käyttöveden kiertopumppu	0	0	1,2	0	0
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	226,0	2,0	1,2	271,2	2,4
Lämmöntuottojärjestelmä (tilat ja käyttövesi)	14434,6	127,7	1,2	17321,6	153,3
-ilmalämpöpumppu	1542,9	13,7	1,2	1851,4	16,4
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	2,3	0,02	1,2	2,7	0,02
YHTEENSÄ				22297,8	197,3
				D	198

Kuva 27. E-luku ilma-vesilämpöpumpun, ILP:n sekä yläpohjan eristyksen jälkeen.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä käytiin läpi erilaisia energiatehokkuutta parantavia vaihtoehtoja, joiden avulla huonoimpaan energiatehokkuusluokkaan kuuluva vanha pientalo saataisiin EU:n kaavailemaan D-luokkaan. Energiatehokkuuslukuja laskettaessa huomattiin, että vaihtamalla lämmitysmuoto energiatehokkaampaan ratkaisuun saavutetaan selkeästi suurin vaikutus energiatehokkuusluokan parantamiseen. Muilla yksittäisillä toimenpiteillä energiatehokkuus ei parantunut

merkittävästi. Kaukolämpöä ei otettu tarkasteluun mukaan ollenkaan, koska talo ei sijaitse kaukolämpöalueella.

Kohderakennuksen saaminen D-luokkaan onnistuu helpoiten maalämpölaitteiston asennuksella, ja se olisikin todennäköisestiärkevin keino saavuttaa kyseinen energiatehokkuusluokka. Maalämmön alkuiinvestointi on suuri, mutta erittäin hyvän energiatehokkuuden ansiosta se tulee maksamaan itsensä takaisin myöhemmässä vaiheessa. Kohde myös sijaitsee alueella, missä kallioperä ei ole syvällä, joten porakaivon porauskustannuksetkin pysyvät maltillisina. Maalämpö on tulevaisuuteen tähtäävänä sijoituksena varma valinta epävakaiden sähkönhintojen vuoksi, ja se lisää samalla talon arvoa ja elinikää.

Vesi-ilmalämpöpumpun avulla rakennus saataisiin myös suoraan D-luokkaan, mutta laskenta ei huomioi sen todellista sähkönkulutusta Oulun korkeudella, koska energiatehokkuuslaskennat tehdään Helsingissä sijaitsevan säävyöhykkeen 1 keskilämpötilojen mukaan. Vesi-ilmalämpöpumppu ei enää lämmitä tehokkaasti kovilla pakkasilla, vaan lämmitys hoidetaan tällöin kohteen alkuperäisellä sähkökattilalla tai pumpun omilla sähkövastuksilla, kun taas kallioperästä lämmönottava maalämpö lämmittää myös kovilla pakkasilla. Mikäli lämmitykseen käytettävän sähköän todellinen kulutus haluttaisiin maalämpöpumpun tasolle, olisi kohteeseen hyvä tehdä vähintään yläpohjan lisäeristys alkuperäiselle osalle sekä asentaa esimerkiksi ilmalämpöpumppu tukemaan vesi-ilmalämpöpumpun toimintaa. Eristyksen ja ilmalämpöpumpun kanssa hintaero jää vähäiseksi maalämpöpumppuun verrattuna.

Mikäli kohde haluttaisiin D-luokkaan ilman lämmitysmuodon vaihtamista, vaatisi se useita varsin työläitä toimenpiteitä aina ikkunoiden vaihtamisesta ulkoseinien lisäeristykseen asti ja tulisi tällä tapaa huomattavan kalliiksi. Talo on jo lisäksi sen verran vanha, että näiden pienten, mutta työläiden parannusten hyöty on hyvä miettiä tarkoin ennen toteuttamista.

Lähteet

- 1 Ilmastonmuutos. Verkkoaineisto. WWF Suomi. <<https://wwf.fi/uhat/ilmastomuutos/>>. Luettu 24.3.2023.
- 2 Korjausrakentaminen ja energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT. <<https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/Korjausrakentaminen-ja-energiatehokkuus/>>. Luettu 27.3.2023.
- 3 Pantzar, Minna. 2023. Suomalaiskoteja uhkaa mittava pakkoremontointi, kun EU-parlamentti hyväksyi kiistellyn ehdotuksen: taloista halutaan vähäpäästöisiä. Verkkoaineisto. Yleisradio Oy. <<https://yle.fi/a/74-20021401>>. 14.3.2023. Luettu 24.3.2023.
- 4 Rakennusten energiatehokkuus: EU-parlamentti hyväksyi kantansa. 2023. Verkkoaineisto. Euroopan parlamentti. <<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20230310IPR77228/rakennusten-energiatehokkuus-eu-parlamentti-hyvaksyi-kantansa>>. 14.3.2023. Luettu 24.3.2023.
- 5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>>. Luettu 27.3.2023.
- 6 Rakentamismääräykset uudistuvat. 2018. Verkkoaineisto. Isännöintiliitto. <<https://www.isannointiliitto.fi/artikkeli-2/rakentamismaaraykset-uudistuvat/>>. Päivitetty 23.3.2020. Luettu 28.3.2023.
- 7 Rakennusluvan hakeminen. 2022. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.ymparisto.fi/fi/luvut-ja-velvoitteet/rakennusluvan-hakeminen>>. Päivitetty 22.2.2023. Luettu 28.3.2023.
- 8 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 2017. Yma 2/17. 12.5.2017. Luettu 5.4.2023.
- 9 Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf>. Luettu 8.4.2023.
- 10 Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/VNa-energiamuotojen-kertoimet-muistio-21.11.2017-479C6992_873D_4A30_AAF4_75E26BC7DDC4-144149.pdf/a5d4c199-d8e0-d414-c2c3-ae3a4d53c9a8/VNa-energiamuotojen-kertoimet-muistio-21.11.2017-479C6992_873D_4A30_AAF4_75E26BC7DDC4-144149.pdf?t=1603260255386>. 21.11.2017. Luettu 5.4.2023.

- 11 Energiatodistus. 2017. Verkkoaineisto. Suomen Omakotiliitto ry. <https://www.omakotiliitto.fi/vaikuttaminen/valtakunnallinen_vaikuttaminen/teemat/energiatodistus>. Luettu 7.4.2023.
- 12 Näin luet energiato-distusta. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/mika_on_energiatodistus/nain_luet_energiatodistusta>. Päivitetty 21.12.2022. Luettu 4.7.2023
- 13 Milloin energiato-distus tarvitaan ja milloin energiato-distusta ei tarvita? Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/mika_on_energiatodistus/milloin_energiatodistus_tarvitaan_ja_milloin_ei>. Päivitetty 21.12.2022. Luettu 4.7.2023.
- 14 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiato-distuksesta. 2017. 1048/20.12.2017.
- 15 Asuinrakennuksen öljy- tai maakaasulämmityksestä luopumisen tuet. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/oljy_tai_maakaasulammituksen_vaihtajalle/asuinrakennuksen_oljy_tai_maakaasulammituksesta_luopumisen_tuet?_m=14677>. Päivitetty 26.9.2023. Luettu 4.10.2023.
- 16 Maalämmön hinta ja kustannukset. Verkkoaineisto. Tom Allen Senera Oy. <<https://www.tomallensenera.fi/maalampo/maalampo-hinta>>. Luettu 5.5.2023.
- 17 Lammassaari, Jari & Jaakkola, Heikki. Näin paljon maalämpö maksaa ja säästää. 2022. Verkkoaineisto. TM Rakennusmaailma. <<https://rakennusmaailma.fi/nain-paljon-maalampo-maksaa-ja-saastaa-maalampoputket-voi-myos-upottaa-peltoon-tai-vesistoon/>>. 16.5.2022. Luettu 5.5.2023.
- 18 Maalämpö yleistynyt pääasiallisena lämmitystapana. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://www.stat.fi/julkaisu/cktwror9c4ee10b618t3njtsh>>. Päivitetty 6.10.2022. Luettu 19.9.2023.
- 19 Sähkölämmityksestä vesikiertoiseen lämmönjakoon. Verkkoaineisto. Energiatehokas koti. <https://www.energiatehokaskoti.fi/korjaaminen/paalamitysmuodon_vaihtaminen/sahkolammituksesta_vesikiertoiseen_lammonjakoon>. Päivitetty 27.10.2020. Luettu 5.5.2023.
- 20 Maalämpö – 8 myyttiä. 2019. Verkkoaineisto. Bosch Home Comfort. <<https://blog.bosch-homecomfort.fi/maalampo-8-myyttia>>. 11.4.2019. Luettu 5.5.2023.
- 21 Uusiutuvan energian lupaneuvonta. Verkkoaineisto. ELY-keskus. <<https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/maalampo-ja-muu-ympariston-energia>>. Päivitetty 23.5.2023. Luettu 18.8.2023.

- 22 Nieminen Silva. Tuhansien talouksien maalämpöhaaveet jäihin – tiukentuneet määräykset estävät monessa kunnassa maalämmön rakentamisen. 2020. Verkkoaineisto. Yleisradio Oy. <<https://yle.fi/a/3-11417682>>. 25.6.2020. Luettu 18.8.2023.
- 23 Lamminpää, Joonas. 2020. Aurinkoenergian varastoiminen lämpökaivoon. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus -tietokanta.
- 24 Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput. 2012. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf>. Luettu 5.5.2023.
- 25 Jäähdytysjärjestelmät ja lämpöpumput. Opintomateriaali. Aki Valkeapää. Luettu 5.5.2023.
- 26 Näin maalämpöpumppu toimii. Verkkoaineisto. Nivos Oy. <<https://www.nivos.fi/kotiin/artikkeli/nain-maalampopumppu-toimii>>. Luettu 5.5.2023.
- 27 Miten ilmalämpöpumppu toimii? Verkkoaineisto. Scanoffice Oy. <<https://scanoffice.fi/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/>>. Luettu 5.5.2023.
- 28 Wilken, Kim. Ilma-ilmalämpöpumppu: Näin se toimii. 2022. Verkkoaineisto. Tee itse. <<https://teeitse.com/saasta-energiaa/lammitys/lampopumppu/lampopumppu-muutakin-kuin-lamminta-ilmaa>>. 30.10.2022. Luettu 7.5.2023.
- 29 Ilmalämpöpumpun hankinta. Verkkoaineisto. Vattenfall Oy. <<https://www.vattenfall.fi/ilmalampopumppu/hankinta/>>. Luettu 7.5.2023.
- 30 Miten ilma-vesilämpöpumppu eroaa ilmalämpöpumpusta? 2022. Verkkoaineisto. OmaWatti Oy. <<https://omawatti.fi/miten-ilma-vesilampopumppu-eroaa-ilmalampopumpusta/>>. 11.2.2022. Luettu 7.5.2023.
- 31 Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP). Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologia/ilma-vesilampopumppu>. Päivitetty 25.8.2023. Luettu 4.10.2023.
- 32 Puhallinkonvektori muuttaa kodin lämmitysjärjestelmän tehokkaaksi viilentäjäksi. 2021. Verkkoaineisto. STT Viestintäpalvelut Oy. <<https://www.sttinfo.fi/tiedote/puhallinkonvektori-muuttaa-kodin-lammitysjarjestelman-tehokkaaksi-viilentajaksi?publisherId=69817192&releaseId=69911551>>. 9.6.2021. Luettu 18.8.2023.
- 33 Ilma-vesilämpöpumppu ja patterilämmitys – huomioi nämä 3 seikkaa. Verkkoaineisto. Lämpöpartio Oy. <<https://lampopartio.fi/blogi/ilma-vesilampopumppu-ja-patterilammitys/>>. Luettu 18.8.2023.
- 34 Vaihda pienessä talossa öljy tai sähkö ilmavesilämpöpumppuun. Verkkoaineisto. Hiilihelppi. <<https://hiilihelppi.fi/uusiutuvat-energiamuodot/ilma-vesilampopumppu/>>. Luettu 8.5.2023.

- 35 Tukulämmitysjärjestelmät. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat>. Päivitetty 28.3.2023. Luettu 11.5.2023.
- 36 Nurmela, Piia. Takan asennus jälkikäteen on mahdollista ja vieläpä helpposti. 2020. Verkkoaineisto. Tulikivi Oyj. <<https://blog.tulikivi.fi/blogit/takka-hormittomaan-taloon>>. 27.8.2020. Luettu 12.5.2023.
- 37 Erilaisia tulisijatyyppejä. 2018. Verkkoaineisto. Warmma-Uunit Oy. <<https://warmmauunit.com/2021/02/04/erilaisia-tulisijatyyppaja/>>. Päivitetty 4.2.2021. Luettu 12.5.2023.
- 38 Ikkunoiden energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_energiatehokkuus>. Päivitetty 14.9.2023. Luettu 4.10.2023.
- 39 Ikkunat avainroolissa rakennusten energiataloudessa. 2009. Verkkoaineisto. Rakentaja / Schibsted Suomi Oy. <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/4709/ikkunat_avainroolissa_rakennusten.htm>. 6.3.2009. Luettu 18.5.2023.
- 40 Ikkunoiden energialuokitus. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/ikkunoiden_energialuokitus>. Päivitetty 14.9.2023. Luettu 4.10.2023.
- 41 Ikkunoiden energiamerkinnät. Verkkoaineisto. Pihla Group Oy. <<https://www.pihla.fi/ikkunat/ikkunoiden-energiamerkinna/>>. Luettu 18.5.2023.
- 42 Ikkunoiden korjaaminen. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/ikkunoiden_korjaaminen>. Päivitetty 17.1.2023. Luettu 18.5.2023.
- 43 Lisäeristysohjeita remontoijalle. 2015. Verkkoaineisto. Rakentaja / Schibsted Suomi Oy. <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/12051/lisaeristysohjeita_remontoijalle.htm>. 6.7.2015. Luettu 20.9.2023.
- 44 Korjaushankkeet ja energiatehokkuuden huomioiminen. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot_-_yhdessä_energiatehokkaasti/korjaushankkeet_ja_energiatehokkuuden_huomioiminen>. Päivitetty 7.9.2023. Luettu 4.10.2023.
- 45 Ilmavuodot ja lisäeristys. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/ilmavuodot_ja_lisaeristys>. Päivitetty 17.1.2023. Luettu 19.5.2023.
- 46 Työohjeet ulkopuoliseen lisäeristämiseen tuulettuvilla julkisivuratkaisuilla. 2018. Verkkoaineisto. Saint-Gobain Finland Oy. <https://www.isover.fi/download-documents/general/facade-tyoohjeetulkopuoliseenlisaeristamiseen_tuulettuvilla_julkisivuratkaisuilla-web.pdf>. Luettu 20.9.2023.

- 47 Aurinkoenergia – ehtymätön energialähde. Verkkoaineisto. Fortum Oyj. <<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/aurinkoenergia-ehtymaton-energianlahde>>. Luettu 22.5.2023.
- 48 Aurinkosäteilyn määrä Suomessa. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa>. Päivitetty 22.8.2022. Luettu 22.5.2023.
- 49 Photovoltaic geographical information system – Country and regional maps. Verkkoaineisto. European Union. <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html#!>. Päivitetty 1.8.2019. Luettu 22.5.2023.
- 50 Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Verkkoaineisto. Ilmatieteen Laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>>. 26.5.2023.
- 51 Aurinkolämpöjärjestelmät. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat>. Päivitetty 5.8.2020. Luettu 29.5.2023.
- 52 Auringosta sähköä. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 30.5.2023.
- 53 Korvenaro, Miro. 2022. Hybridipaneelijärjestelmän mitoitus kerrostalokohteeseen. Insinööriyö. Metropolian ammattikorkeakoulu. Theseus -tietokanta.
- 54 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 1009/20.12.2017.
- 55 Ilmanvaihdon kehitysvaiheet. 2021. Verkkoaineisto. Rakentaja / Schibsted Suomi Oy. <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/19959/ilmanvaihdon_kehitysvaiheet.htm>. 15.11.2021. Luettu 2.6.2023.
- 56 Ilmanvaihto valmiiksi talveen. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/ajankohtaista_nyt_kotona/ilmanvaihto_valmiiksi_talveen>. Päivitetty 23.5.2023. Luettu 2.6.2023.
- 57 Tuloilman lämmitys. Verkkoaineisto. Energiatehokas koti. <https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten_tehdaan_energiatehokas_koti/energiatehokas_ilmanvaihto_ja_jaahdytys/tuloilman_lammitys>. 17.3.2020. Luettu 2.6.2023.
- 58 Miten rakentaa ilmanvaihtokanavisto saneerattuun taloon. 2022. Verkkoaineisto. Rakentaja / Schibsted Suomi Oy. <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/20469/ilmanvaihdon_kunnostus.htm>. 25.4.2022. Luettu 2.6.2023.

- 59 Ilmanvaihtojärjestelmät. Verkkoaineisto. Hengitysliitto. <<https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/>>. Luettu 2.6.2023.
- 60 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.
- 61 Energiatodistuksen laadintaesimerkki: pientalo 1940-luvulta. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/16467/Energiatodistuksen_laadintaesimerkki_-_Pientalo_1940-luvulta.pdf>. 1.11.2018. Luettu 8.4.2023.
- 62 Geoenergia. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Kansallinen Geologian Komitea (SKGK). <<https://www.geologia.fi/2019/12/31/geoenergia/>>. 31.12.2019. Luettu 20.9.2023.
- 63 Pesonen, Joni. 2018. Maalämpöjärjestelmän mitoitus ja kustannusarvio. Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu. Theseus -tietokanta.
- 64 Ilma-vesilämpöpumpun ostajan opas. Verkkoaineisto. Bosch Home Comfort. <https://www.bosch-homecomfort.se/globalassets/fi-dokumentit/ladattavat-dokumentit/21595_bosch_ilma-vesilampo_ostajan_opas_210x297_web-002.pdf>. Luettu 20.8.2023.

Liitteet

Liite 1. Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Kuukausi	Tunnit	$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	$W_{\text{valaistus}}$
	Δt	kWh	kWh
Tammikuu	744	151,3	50,4
Helmikuu	672	136,7	45,6
Maaliskuu	744	151,3	50,4
Huhtikuu	720	146,4	48,8
Toukokuu	744	151,3	50,4
Kesäkuu	720	146,4	48,8
Heinäkuu	744	151,3	50,4
Elokuu	744	151,3	50,4
Syyskuu	720	146,4	48,8
Lokakuu	744	151,3	50,4
Marraskuu	720	146,4	48,8
Joulukuu	744	151,3	50,4
Koko vuosi		1781,8	593,9

Liite 2. Rakennuksen johtumislämpöhäviöt vuodessa

ALKUPERÄINEN OSA	Ulkoseinät	Yläpohja	Alapohja	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat	Yhteensä
	$Q_{\text{ulkoseinät}}$	$Q_{\text{yläpohja}}$	Q_{alapohja}	Q_{ikkunat}	Q_{ovet}	$Q_{\text{kylmäsiilat}}$	Q_{joht}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	862,1	637,4	637,4	457,9	79,6	267,4	2941,9
Helmikuu	795,2	587,9	587,9	422,4	73,4	246,7	2713,6
Maaliskuu	814,1	601,9	601,9	432,5	75,2	252,6	2778,1
Huhtikuu	551,3	407,6	407,6	292,8	50,9	171,0	1881,3
Toukokuu	353,5	261,4	261,4	187,8	32,6	109,7	1206,4
Kesäkuu	226,2	167,2	167,2	120,2	20,9	70,2	771,9
Heinäkuu	127,7	94,4	94,4	67,9	11,8	39,6	435,9
Elokuu	170,9	126,4	126,4	90,8	15,8	53,0	583,2
Syyskuu	349,8	258,6	258,6	185,8	32,3	108,5	1193,7
Lokakuu	511,0	377,8	377,8	271,4	47,2	158,5	1743,7
Marraskuu	684,9	506,4	506,4	363,8	63,2	212,5	2337,3
Joulukuu	800,6	592,0	592,0	425,3	73,9	248,4	2732,1
Koko vuosi	6247,3	4619,1	4619,1	3318,6	576,8	1938,1	21319,1

LAAJENNUSOSA	Ulkoseinät	Yläpohja	Alapohja	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat	Yhteensä
	$Q_{\text{ulkoseinät}}$	$Q_{\text{yläpohja}}$	Q_{alapohja}	Q_{ikkunat}	Q_{ovet}	$Q_{\text{kylmäsiilat}}$	Q_{joht}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	206,6	155,3	254,1	162,5	91,6	87,0	957,1
Helmikuu	190,6	143,3	234,4	149,9	84,4	80,3	882,9
Maaliskuu	195,1	146,7	240,0	153,5	86,5	82,2	903,9
Huhtikuu	132,1	99,3	162,5	103,9	58,5	55,6	612,1
Toukokuu	84,7	63,7	104,2	66,6	37,5	35,7	392,5
Kesäkuu	54,2	40,7	66,7	42,6	24,0	22,8	251,1
Heinäkuu	30,6	23,0	37,7	24,1	13,6	12,9	141,8
Elokuu	41,0	30,8	50,4	32,2	18,1	17,2	189,7
Syyskuu	83,8	63,0	103,1	65,9	37,1	35,3	388,4
Lokakuu	122,5	92,1	150,6	96,3	54,3	51,6	567,3
Marraskuu	164,2	123,4	201,9	129,1	72,7	69,1	760,4
Joulukuu	191,9	144,2	236,0	150,9	85,0	80,8	888,9
Koko vuosi	1497,4	1125,5	1841,7	1177,6	663,5	630,6	6936,2

KOKO RAKENNUS	Ulkoseinät	Yläpohja	Alapohja	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat	Yhteensä
	$Q_{\text{ulkoseinät}}$	$Q_{\text{yläpohja}}$	Q_{alapohja}	Q_{ikkunat}	Q_{ovet}	$Q_{\text{kylmäsiilat}}$	Q_{joht}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	1068,7	792,7	891,5	620,4	171,1	354,5	3899,0
Helmikuu	985,8	731,2	822,4	572,3	157,9	326,9	3596,4
Maaliskuu	1009,2	748,6	841,9	585,9	161,6	334,7	3682,0
Huhtikuu	683,4	506,9	570,1	396,8	109,4	226,7	2493,3
Toukokuu	438,3	325,1	365,6	254,4	70,2	145,4	1598,9
Kesäkuu	280,4	208,0	233,9	162,8	44,9	93,0	1023,0
Heinäkuu	158,4	117,5	132,1	91,9	25,4	52,5	577,7
Elokuu	211,9	157,1	176,7	123,0	33,9	70,3	772,9
Syyskuu	433,7	321,7	361,8	251,8	69,4	143,8	1582,1
Lokakuu	633,4	469,8	528,4	367,7	101,4	210,1	2311,0
Marraskuu	849,1	629,8	708,3	492,9	136,0	281,6	3097,8
Joulukuu	992,5	736,2	828,0	576,2	158,9	329,2	3621,1
Koko vuosi	7744,7	5744,6	6460,8	4496,2	1240,3	2568,7	28255,3

Liite 3. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve

Kuukausi	Johtuminen	Tuloilma	Vuotoilma	Korvausilma	Yhteensä
	Q_{joht}	$Q_{\text{IV,tuloilma}}$	$Q_{\text{vuotoilma}}$	$Q_{\text{IV,korvausilma}}$	Q_{tila}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	3899,0	0	290,0	1007,7	5196,7
Helmikuu	3596,4	0	267,5	929,5	4793,4
Maaliskuu	3682,0	0	273,9	951,6	4907,4
Huhtikuu	2493,3	0	185,5	644,4	3323,2
Toukokuu	1598,9	0	118,9	413,2	2131,1
Kesäkuu	1023,0	0	76,1	264,4	1363,5
Heinäkuu	577,7	0	43,0	149,3	770,0
Elokuu	772,9	0	57,5	199,8	1030,2
Syyskuu	1582,1	0	117,7	408,9	2108,7
Lokakuu	2311,0	0	171,9	597,2	3080,1
Marraskuu	3097,8	0	230,4	800,6	4128,8
Joulukuu	3621,1	0	269,3	935,8	4826,2
Koko vuosi	28255,3	0	2101,7	7302,3	37659,3

Liite 4. Ominaislämpöväiö ja lämpökuormat

Kuukausi	Q_{tila}	T_s	T_u	Δt	H_{tila}
	kWh	°C	°C	h	W/K
Tammikuu	5196,7	21,0	-3,97	744	279,7
Helmikuu	4793,4	21,0	-4,5	672	279,7
Maaliskuu	4907,4	21,0	-2,58	744	279,7
Huhtikuu	3323,2	21,0	4,5	720	279,7
Toukokuu	2131,1	21,0	10,76	744	279,7
Kesäkuu	1363,5	21,0	14,23	720	279,7
Heinäkuu	770,0	21,0	17,3	744	279,7
Elokuu	1030,2	21,0	16,05	744	279,7
Syyskuu	2108,7	21,0	10,53	720	279,7
Lokakuu	3080,1	21,0	6,2	744	279,7
Marraskuu	4128,8	21,0	0,5	720	279,7
Joulukuu	4826,2	21,0	-2,19	744	279,7

Kuukausi	Tunnit	Q_{henk}	Q_{sah}	$Q_{\text{ikv,kierto,kuorma}}$	$Q_{\text{ikv,var,kuorma}}$	Q_{aur}	$Q_{\text{lämpökuorma}}$
	Δt	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	744	100,9	201,8	0	0	24,8	327,4
Helmikuu	672	91,1	182,2	0	0	78,3	351,7
Maaliskuu	744	100,9	201,8	0	0	191,5	494,2
Huhtikuu	720	97,6	195,3	0	0	275,8	568,7
Toukokuu	744	100,9	201,8	0	0	348,1	650,8
Kesäkuu	720	97,6	195,3	0	0	348,0	640,9
Heinäkuu	744	100,9	201,8	0	0	379,3	681,9
Elokuu	744	100,9	201,8	0	0	284,6	587,3
Syyskuu	720	97,6	195,3	0	0	215,3	508,2
Lokakuu	744	100,9	201,8	0	0	78,2	380,9
Marraskuu	720	97,6	195,3	0	0	31,2	324,1
Joulukuu	744	100,9	201,8	0	0	20,6	323,2
Koko vuosi		1187,9	2375,7	0,0	0,0	2275,6	5839,2

Liite 5. Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Kuukausi	Suhde	Hyödyntämisaste	Lämpökuormista	Kokonaistarve	Nettotarve
	Υ	$\eta_{\text{lämpö}}$	$Q_{\text{sis.lämpö}}$	Q_{tila}	$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$
	-	-	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	0,063	0,999	327,0	5196,7	4869,7
Helmikuu	0,073	0,998	351,0	4793,4	4442,4
Maaliskuu	0,101	0,996	492,2	4907,4	4415,1
Huhtikuu	0,171	0,987	561,4	3323,2	2761,8
Toukokuu	0,305	0,957	622,8	2131,1	1508,3
Kesäkuu	0,470	0,903	579,0	1363,5	784,5
Heinäkuu	0,886	0,744	507,4	770,0	262,6
Elokuu	0,570	0,866	508,5	1030,2	521,7
Syyskuu	0,241	0,973	494,7	2108,7	1614,0
Lokakuu	0,124	0,994	378,5	3080,1	2701,7
Marraskuu	0,078	0,998	323,3	4128,8	3805,4
Joulukuu	0,067	0,998	322,7	4826,2	4503,5
Koko vuosi			5468,5	37659,3	32190,7

Liite 6. Yläpohjan ja ikkunoiden johtumislämpöhäviöt uusimisen jälkeen

ALKUPERÄINEN OSA	Yläpohja ennen	Yläpohja jälkeen	Yläpohja erotus	Ikkunat ennen	Ikkunat jälkeen	Ikkunat erotus
	Q _{yläpohja,ennen}	Q _{yläpohja,jälkeen}	Q _{yläpohja,erotus}	Q _{yläpohja,ennen}	Q _{yläpohja,jälkeen}	Q _{yläpohja,erotus}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	637,4	135,6	-501,8	457,9	114,5	-343,5
Helmikuu	587,9	125,1	-462,8	422,4	105,6	-316,8
Maaliskuu	601,9	128,1	-473,9	432,5	108,1	-324,3
Huhtikuu	407,6	86,7	-320,9	292,8	73,2	-219,6
Toukokuu	261,4	55,6	-205,8	187,8	46,9	-140,8
Kesäkuu	167,2	35,6	-131,7	120,2	30,0	-90,1
Heinäkuu	94,4	20,1	-74,4	67,9	17,0	-50,9
Elokuu	126,4	26,9	-99,5	90,8	22,7	-68,1
Syyskuu	258,6	55,0	-203,6	185,8	46,5	-139,4
Lokakuu	377,8	80,4	-297,4	271,4	67,9	-203,6
Marraskuu	506,4	107,7	-398,7	363,8	91,0	-272,9
Joulukuu	592,0	125,9	-466,0	425,3	106,3	-319,0
Koko vuosi	4619,1	982,8	-3636,3	3318,6	829,7	-2489,0