



Markus Pitkäniemi

Omakotitalon lämpöhäviöt ja energiantarpeen arviointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

14.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Markus Pitkäniemi
Otsikko: Omakotitalon lämpöhäviöt ja energiantarpeen arviointi
Sivumäärä: 49 sivua + 4 liitettä
Aika: 14.5.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine: Rakennetekniikka
Ohjaaja: Lehtori Anssi Knuutila

Omakotitalon lämpöhäviöt liittyvät olennaisesti rakennuksen energiatehokkuuteen. Lämpöhäviöillä on merkittävä vaikutus rakennuksen lämmitystarpeessa ja sähkönkulutuksessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli käsitellä omakotitalon lämpöhäviöitä ja energiatehokkuutta sekä teoreettisesti että mittaamalla. Lisäksi kohderakennuksen vuotuista sähkönkulutusta arvioitiin eri tavoin.

Aluksi aihetta käsiteltiin teoreettisella tasolla, jonka jälkeen mitattiin kohteen tiiveys ja poistoilmamäärä sekä tehtiin lämpökuvaus ja energiatodistus. Lisäksi kohteeseen suoritettiin kaksi sähkönkulutuksen testijaksoa. Mittaustulosten, energiatodistuksen ja lämpötaloudellisten selvitysten avulla arvioitiin kohteen vuotuista sähkönkulutusta eri tavoin. Saatuja arvioita verrattiin sähköyhtiön verkkosivuilta saatuun kohderakennuksen toteutuneeseen sähkönkulutukseen. Lopuksi vertailtiin tulosten todenmukaisuutta sekä pohdittiin, missä kontekstissa sähkönkulutuksen eri laskutapoja voidaan hyödyntää. Lisäksi pohdittiin työn mahdollisia jatkotutkimustapoja.

Tästä työstä on hyötyä muun muassa talon omistajalle energiatodistuksen lisäksi rakennuksen tiiveysluvun sekä poistoilmamäärän selvittämisestä. Työssä esitetyt sähkönkulutuksen mittaustapoja voivat hyödyntää kuntoarvion energiatalouden selvityksen lisäksi myös muut pientaloasujat arvioidakseen toteutuvaa sähkönkulutusta.

Tutkimustulosten perusteella lähimmäksi omakotitalon toteutunutta vuotuista sähkönkulutusta päästään lyhyen mittausjakson perusteella lasketulla tuloksella. Kokeellisesti saatu tulos ei kuitenkaan vastaa ympäristöministeriön asettamia ehtoja vuotuisen sähkönkulutuksen laskemiseen, joten esimerkiksi rakennusta myytäessä on käytettävä ympäristöministeriön hyväksymää energiatodistusta.

Avainsanat: omakotitalo, lämpöhäviö, tiiveysmittaus, lämpökuvaus, sähkönkulutus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Markus Pitkäniemi
Title: Heat Losses and Energy Demand Estimation of Detached House
Number of Pages: 49 pages + 4 appendices
Date: 14 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisor: Anssi Knuutila, Senior lecturer

The heat losses of a detached house are significantly related to the building's energy efficiency. Heat losses have a significant impact on the building's heating demand and electricity consumption.

The aim of this engineering thesis was to address the heat losses and energy efficiency of a detached house both theoretically and by measurements. Additionally, the annual electricity consumption of the building was assessed in various ways.

First the topic will be addressed theoretically and thereafter, the airtightness and the exhaust air amount are measured. Thermal imaging and energy certificate will also be conducted. In addition, two electricity consumption test periods are performed in the building. By the measurement results, the energy certificate and the thermal economic reports, the building's annual electricity consumption will be evaluated in different ways. The calculated and estimates values will be compared to the actual electricity consumption of the building obtained from the electricity company's website. At the end the veracity of results will be compared and in which context different methods of calculating electricity consumption can be used. In addition, possible further study methods of the thesis will be considered.

This study is useful for the owner of the house for the energy certificate, for finding out the building's airtightness value and the amount of exhaust air. The methods of measuring electricity consumption presented in the study can be used in the energy economy analysis of the condition assessment, but also other detached house owners can use it to estimate the actual electricity consumption.

Based on the research results, the result calculated based on a short measurement period is the closest to the realized annual electricity consumption of the detached house. The result obtained experimentally does not correspond to the conditions set by the Ministry of the Environment for calculating the building's annual electricity consumption. For example, when the building will be sold, an energy certificate approved by the Ministry of the Environment must be used.

Keywords: detached house, heat loss, airtightness measurement, thermal imaging, electricity consumption

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennuksen energiatehokkuus	2
3	Rakennuksen energiatehokkuuden arviointi ja lämpöhäviöt	4
3.1	Rakenteiden lämmönläpäisy	6
3.2	Rakennuksen tiiveysmittaus ja ilmavuodot	9
3.3	Rakennuksen lämpökuvaus	14
3.4	Rakennuksen sähkönkulutus	15
4	Tutkimuksen lähtökohta	17
4.1	Tutkimuksen tavoite	17
4.2	Tutkittava kohde	18
4.3	Mittauslaitteisto	22
4.3.1	Ovipuhallin	23
4.3.2	Lämpökamera	23
4.3.3	Siipipyöranemometri	24
5	Tutkimuksen toteutus ja tulokset	25
5.1	Tiiveysmittaus	26
5.2	Lämpökuvaus	30
5.3	Poistoilmamäärämittaus	32
5.4	Sähkönkulutuksen testijaksot	33
5.5	Energiatodistuksen laadinta	38
6	Mittaustulosten tarkastelu ja vuotuisen energiantarpeen arviointi	39
7	Pohdintaa energiantarpeen arvioinnista	43
8	Yhteenveto	46
	Lähteet	48
	Liitteet	
	Liite 1: Kohteen energiatodistus	

Liite 2: Kohteen alkuperäinen lämpötaloudellinen selvitys

Liite 3: Kohteen päivitetty lämpötaloudellinen selvitys

Liite 4: Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

Lyhenteet

q_{50} : Ilmanvuotoluku, joka kuvaa rakennuksen vaipan läpäisemää ilmamäärää tunnissa 50 Pa paine-erolla suhteessa rakennusvaipan pinta-alaan.

n_{50} : Ilmanvuotoluku, joka kuvaa rakennuksen vaipan läpäisemää ilmamäärää tunnissa 50 Pa paine-erolla suhteessa rakennuksen lämpimään ilmatilavuuteen.

PILP: Poistoilmalämpöpumppu

1 Johdanto

Rakennuksen lämpöhäviöt ovat yksi merkittävimmistä tekijöistä omakotitalon energiatehokkuudessa. Hyvällä energiatehokkuudella minimoidaan rakennuksen energiankulutus ja lämmityskustannukset sekä ylläpidetään asumisen mukavuutta. Rakennusten energiatehokkuutta säädellään laeilla ja asetuksilla sekä uusille rakennuksille on asetettu tietyt energiatehokkuusvaatimukset (Ympäristöministeriö 2024b).

Tämän työn tarkoituksena on tutkia, millä tavoin omakotitalon toteutuvaa sähkönkulutusta voidaan parhaiten arvioida.

Tämän työn tavoitteena on tutustua omakotitalon energiatehokkuuteen ja tyypillisimpiin lämpöhäviöihin teoreettisesti ja mittaamalla, joiden avulla arvioidaan tutkittavan kohteen vuotuista sähkönkulutusta eri tavoin.

Aluksi käsitellään rakennuksen energiatehokkuutta yleisesti. Seuraavaksi käsitellään rakennuksen energiatehokkuuden arviointia ja omakotitalon lämpöhäviöitä sekä rakenteiden lämmönläpäisyä. Tämän jälkeen perehdytään lämpöhäviöiden mittaamiseen kuten tiiveysmittaukseen ja ilmapuotoihin sekä lämpökuvaukseen. Lisäksi käsitellään rakennuksen sähkönkulutuksen arviointia.

Seuraavaksi kuvataan tarkemmin tutkimuksen tavoitetta, esitellään tutkittava kohde sekä käytettävä mittalaitteisto.

Tämän jälkeen perehdytään tutkimuksen toteutukseen ja tuloksiin. Kohteeseen suoritetaan tiiveysmittaus, lämpökuvaukset ja poistoilmamäärämittaus. Lisäksi selvitetään toteutunut sähkönkulutus ja laaditaan energiatodistus, jonka jälkeen tarkastellaan mittauksista saatuja tuloksia mittauskohtaisesti sekä arvioidaan tutkimuskohteen vuotuista sähkönkulutusta eri tavoin.

Lopuksi pohditaan, millä tavoin arvioituja ja laskennallisia vuotuisia sähkönkulutuksia voidaan hyödyntää parhaiten eri konteksteissa sekä kootaan yhteenveto.

Tutkimuksesta on hyötyä rakennuksen omistajalle muun muassa tutkimuksessa laadittavasta energiatodistuksesta, lämpökuvauksesta sekä tiiveysluvun ja pois-toilmamäärän selvittämisestä. Lisäksi tutkimus tuottaa tietoa siitä, miten vuo-tuista energiakulutusta voidaan parhaiten arvioida sekä virallisessa kontekstissa kuten energiatodistuksessa että epävirallisessa kontekstissa kuten rakennuksen kuntoarviossa tai omaksi tiedoksi.

Tämä opinnäytetyö tehdään itselle omasta mielenkiinnosta rakennusten ener-giatehokkuutta kohtaan, eikä sillä ole erillistä tilaajaa.

2 Rakennuksen energiatehokkuus

Rakennuksen energiatehokkuus kuvaa rakennuksen kykyä hyödyntää energiaa minimoiden samalla energiankulutuksen ja -hävikin. Käyttökustannusten pie-nentäminen ja asumismukavuus ovat esimerkkejä energiatehokkaan rakennuk-sen hyödyistä (Ympäristöministeriö 2024b).

Suomessa maankäyttö ja rakennuslailla sekä valtioneuvoston ja ympäristömi-nisteriön maankäyttö ja rakennuslain nojalla antamilla asetuksilla toimeenpan-naan EU:n rakennusten energiatehokkuuden säädöksiä. Nämä kootaan raken-tamismääräyskokoelmaan, jossa on määräyksiä esimerkiksi rakennuksen suun-nittelusta ja valvonnasta, rakenteiden lujuudesta ja vakaudesta, paloturvallisuudesta sekä energiatehokkuudesta. (Ympäristöministeriö 2024b.)

Suomessa käytetystä energiasta noin 40 % kuluu rakennuksiin, minkä vuoksi rakennusten energiatehokkuus on yhteydessä esimerkiksi hiilidioksidipäästöihin. Näin ollen rakennusten energiatehokkuutta, uusiutuvan energiakäytön li-säämistä ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistä pyritään parantamaan lainsää-dännön avulla. Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö perus-tuu Euroopan unionin vuonna 2010 laatimaan rakennusten energiatehokkuusdi-rektiiviin (2010/31/EU) sekä 2018 voimaan tulleeseen rakennusten

energiatehokkuusdirektiivin muutokseen (2018/44/EU). Energiatehokkuusdirektiivi on taas uudistumassa EU-parlamentin keväällä 2024 hyväksymän uuden direktiivin johdosta. (Ympäristöministeriö 2024b.)

Energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi lämpöhäviöt, rakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmä sekä käyttäjätottumukset, jotka muodostavat rakennuksen kokonaisenergiantarpeen. Käsitellään seuraavaksi erilaisia rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä tarkemmin.

Rakenteiden läpi johtuva energia aiheuttaa lämpöhäviöitä. Rakennuksen eri osat, kuten seinät, lattia, katto, ikkunat sekä ovet johtavat lämpöä rakenneseinien läpi lämpimämmästä sisäilmasta tyypillisesti viileämpään ulkoilmaan. (Motiva 2024.)

Ilmavuotojen mukana rakennuksesta kulkeutuu lämpöä ulos lämpimän ilmavirran mukana. Esimerkiksi ikkunoiden ja ovien huonot tiivisteet voivat aiheuttaa rakennuksessa merkittäviä ilmavuotoja. (Motiva 2024.)

Rakennuksen ilmanvaihdolla on merkitystä rakennuksen energiatehokkuuteen. Omakotitalon ilmanvaihtojärjestelmä voi olla esimerkiksi painovoimainen tai koneellinen. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakennuksen ilmanvaihto tapahtuu savupiippuilmiön aiheuttaman paine-eron avulla. Koneellisella ilmanvaihdolla voidaan hoitaa joko rakennuksen poistoilmanvaihto tai poisto- ja tuloilmanvaihto. Rakennuksen poistoilma voidaan johtaa suoraan ulos tai siitä voidaan ottaa lämpöenergiaa talteen erilaisilla lämmöntalteenottolaitteistoilla, kuten poistoilmalämpöpumpulla tai rakennuksen tuloilmaa lämmittävällä ilmanvaihtokoneella. (Rakennukset 2023.)

Myös lämmönlähde sekä lämmönjakomuoto vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakennuksen erilaisia lämmitysmuotoja ovat esimerkiksi kaukolämpö, öljy- ja puulämmitys, suora sähkölämmitys, maalämpö sekä poistoilmalämpöpumppu. (Energiatehokas koti 2024.)

Lisäksi rakennuksen käyttäjätottumuksilla on vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen (Rakentaja.fi 2010). Rakennuksen käyttäjätottumuksia ovat esimerkiksi sisälämpötila, sähkölaitteiden käyttö, ikkunoiden ja ovien availun määrä sekä lämpimän käyttöveden kulutus.

Kaikki edellä mainitut lämpöhäviöt muodostavat yhdessä rakennuksen tarvitseman ostoenergian määrän.

3 Rakennuksen energiatehokkuuden arviointi ja lämpöhäviöt

Rakennusten energiatehokkuutta voidaan vertailla energiatodistuksella (Kuva 1). Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa tai kun rakennus myydään tai vuokrataan, on omistajan hankittava rakennukselle energiatodistus. Energiatodistus sisältää muun muassa rakennuksen lämpöhäviöitä, sisäisiä lämpökuormia sekä lämmitysenergianmuodon kertoimella painotetun energiankulutuksen, joiden perusteella lasketaan rakennuksen E-luku. Rakennuksen laskennallista energiatehokkuuden vertailulukua kutsutaan E-luvuksi, joka yksikkö on $kWh_E/(m^2\text{vuosi})$. (Finlex 2017.)

ENERGIATODISTUS 2018

Rakennuksen nimi ja osoite:

Pysyvä rakennustunnus:
 Rakennuksen valmistusvuosi:
 Rakennuksen käyttötarkoituusluokka:

Todistustunnus:

Energiatodistus on laadittu

Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa
 Uudelle rakennukselle käyttöönottovaiheessa
 Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä:

	Energiehokkuusluokka
A	
B	
C	C ₂₀₁₈
D	
E	
F	
G	

Rakennuksen laskennallinen
 energiatehokkuuden vertailuku eli E-luku
 Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus

kWh_e/(m²·vuosi)

s

Todistuksen laatija:

Sähköinen allekirjoitus:

Yritys:

Viimeinen voimassaolopäivä:

Kuva 1. Energiatodistuksen kansilehti. (Finlex 2017)

Energiatodistusta laadittaessa ja siten E-lukua laskettaessa, rakennuksesta huomioidaan monia tekijöitä. E-lukuun vaikuttavat muun muassa rakennuksen koko, rakentamisessa käytetyt materiaalit, rakennuksen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä sekä tiiveys (Laskentapalvelut.fi 2024).

Energiatodistuksen kansilehdessä (Kuva 1) esitetään E-lukua vastaava luokka-asteikko A-G (Taulukko 1). Energiehokkuusluokka esimerkiksi $150 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$ kokoiselle asuinrakennukselle saadaan taulukon 1 mukaan. Kullekin energiatehokkuusluokalle on määritetty E-luvun ylä- ja alarajat rakennuksen lämmitetyn nettoalan perusteella. (Finlex 2017.)

Taulukko 1. Energiatehokkuusluokat $150\text{m}^2 < A_{\text{netto}} \leq 600\text{m}^2$ asuinrakennuksille. (Finlex 2017)

A_{netto} on rakennuksen lämmitetty nettoala.

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh€/m ² vuosi)
A	E-luku $83 - 0,02 \times A_{\text{netto}}$
B	$83 - 0,02 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} < 131 - 0,04 \times A_{\text{netto}}$
C	$131 - 0,04 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} < 173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
D	$173 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} < 253 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
E	$253 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} < 383 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
F	$383 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} < 453 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
G	$453 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

Rakennuksen energiatehokkuutta voidaan arvioida myös kuntoarvion energiatalouden selvityksessä. Siinä arvioidaan esimerkiksi kohteen sähkönkulutusta vertailemalla vastaavien rakennusten kulutuksia, tutkimalla aiempien vuosien toteutuneita kulutuksia tai laskemalla. (Rakennustieto 2019.)

Omakotitalon lämpöhäviöt vaikuttavat olennaisesti rakennuksen energiatehokkuuteen. Keskeisimpiä lämpöhäviöitä ovat esimerkiksi ulkoseinien ja muiden rakenteiden läpi johtuva energia, rakenteiden ilmavuodot sekä ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden mukana ulos kulkeutuva energia. (Motiva 2024.)

3.1 Rakenteiden lämmönläpäisy

Ulkoseinien läpi energiaa kulkeutuu ulos johtumalla. Ulos johtuvan energian määrään vaikuttavat esimerkiksi eristeiden paksuus sekä materiaali. Lämmöneristyskyvyn teoria pohjautuu lähteeseen (Siikanen 2014).

Rakenteen lämmöneristyskykyä kuvaa lämmönläpäisykerroin eli U-arvo, joka voidaan laskea kaavalla

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (1)$$

jossa

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, $[W/(m^2K)]$

R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus, $[m^2K/W]$

Tyypillisesti rakennusten ulkoseinät koostuvat useammista eri ainekerroksista, kuten kipsilevystä, eristevillasta sekä ulkoverhouksesta. Lämmönvastus yksittäiselle rakennusosan ainekerrokselle voidaan laskea kaavalla

$$R = \frac{d}{\lambda_U}, \quad (2)$$

jossa

R on ainekerroksen lämmönvastus, $[m^2K/W]$

d on ainekerroksen paksuus, $[m]$

λ_U on ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo, $[W/(mK)]$

Kun lasketaan U -arvoa rakenteelle, jossa on useampi ainekerros, voidaan kokonaislämmönvastus R_T laskea summaamalla yksittäisten ainekerroksien lämmönvastukset yhteen kaavalla

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \quad (3)$$

jossa

R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus, $[m^2K/W]$

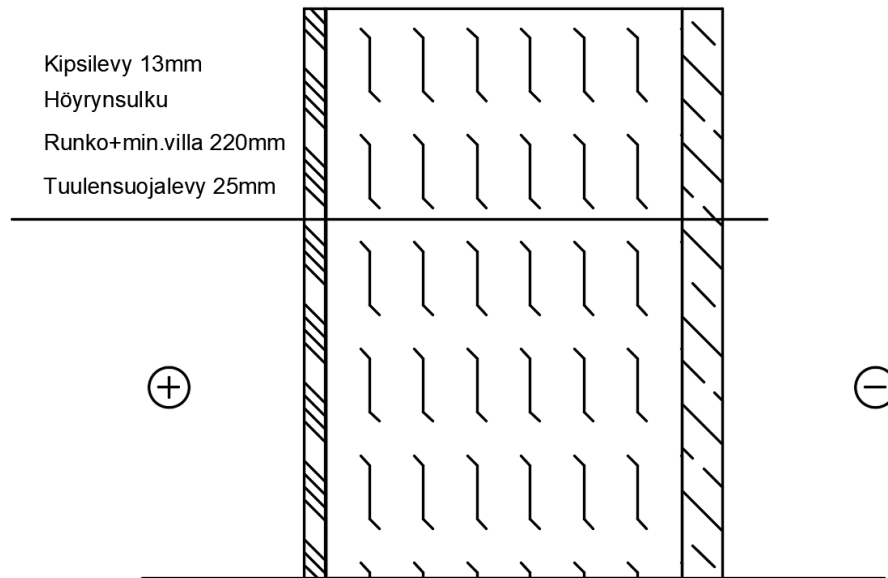
R_{si} on sisäpuolen pintavastus, $[m^2K/W]$

R_1, R_2, \dots, R_n on rakennusosien ainekerrosten 1, 2, ..., n lämmönvastukset, $[m^2K/W]$

R_{se} on ulkopuolen pintavastus, $[m^2K/W]$

Mitä pienempi on rakenteen U-arvo lukema, sen parempi eristyskyky sillä on. Toisin sanoen se johtaa vähemmän lämpöä rakenteen läpi.

Esimerkki 1. Lasketaan kuvan 2 mukaisen kuvitteellisen seinärakenteen lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo. Esimerkin seinärakenne on rajattu sisäpuolen kipsilevystä tuuletusrakoon asti, jolloin uloin rakenneosa on tuulensuojalevy.



Kuva 2. Esimerkkiseinärakenne.

Laskuesimerkissä käytetyn seinärakenteen materiaalit, paksuudet sekä lämmönjohtavuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Esimerkkiseinärakenteen materiaalit.

Materiaali	d [m]	λ [W/(mK)]
Kipsilevy	0,013	0,2
Mineraalivilla	0,22	0,058
Tuulensuojalevy	0,025	0,05

Lasketaan ensin seinärakenteelle kokonaislämmönvastus R_T kaavan 3 mukaan.

$$R_T = 0,13 \frac{m^2 K}{W} + \frac{0,013m}{0,2 \frac{W}{mK}} + \frac{0,22m}{0,058 \frac{W}{mK}} + \frac{0,025m}{0,05 \frac{W}{mK}} + 0,04 \frac{m^2 K}{W} = 4,528 \frac{m^2 K}{W}$$

Kun tiedetään seinärakenteen kokonaislämmönvastus, voidaan laskea sen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kaavalla 1.

$$U = \frac{1}{4,528 \frac{m^2 K}{W}} = 0,2208 \frac{W}{m^2 K}$$

Täten esimerkkiseinärakenteen U-arvoksi saadaan noin $0,22 \frac{W}{m^2 K}$, eli yhdeltä ulkoseinän neliömetriltä lämpöä johtuu ulos 0,22 wattia yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden.

3.2 Rakennuksen tiiveysmittaus ja ilmavuodot

Rakennuksen tiiveyttä mitataan tyypillisesti niin sanotulla tiiveysmittauksella. Tiiveysmittauksessa rakennukseen luodaan paine-ero ulko- ja sisätilan välille. Mittauksissa käytetään yleensä siihen tarkoitettua ovipuhallinlaitteistoa, mutta se on mahdollista tehdä myös talon omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. (Paloniitty 2012.)

Rakennuksen ilmatiiveyttä voidaan kuvata q_{50} - tai n_{50} -luvulla (Kaava (4) ja Kaava (5)) (Paloniitty 2012).

q_{50} -luvulla kuvataan rakennuksen vuotoilmamäärää suhteessa vaipan pinta-alaan 50 Pa paine-erolla, joka voidaan laskea kaavalla

$$q_{50} = \frac{Q_{50}}{A}, \quad (4)$$

jossa

q_{50} on rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla, [$m^3/(hm^2)$]

Q_{50} on painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla, [m^3/h]

A on rakennuksen / mitattavan osan ulkovaipan pinta-ala, [m^2]

n_{50} -luvulla kuvataan rakennuksen vuotoilmamäärää suhteessa rakennuksen sisäilmatilavuuteen 50 Pa paine-erolla, joka voidaan laskea kaavalla

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V}, \quad (5)$$

jossa

n_{50} on rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla, [$1/h$]

Q_{50} on painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla, [m^3/h]

V on rakennuksen / mitattavan osan sisäilman tilavuus, [m^3]

Vuoden 2012 jälkeen rakennusten tiiveysmittauksissa on käytetty q_{50} -lukua. n_{50} -lukua voidaan kuitenkin käyttää vielä tiiveyden vertailuun q_{50} -luvun rinnalla (Paloniitty 2012).

Rakennuksen q_{50} - ja n_{50} -luvut saadaan myös laskettua, kun tiedetään niistä toinen sekä rakennuksen ilmatilavuus ja vaipan pinta-ala.

Rakennuksen q_{50} -luku saadaan laskettua n_{50} -luvusta kaavalla

$$q_{50} = n_{50} \cdot \frac{V}{A}, \quad (6)$$

jossa

q_{50} on rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla, [$m^3/(hm^2)$]

n_{50} on rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla, [$1/h$]

V on n_{50} -luvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus, [m^3]

A on rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan pinta-ala, [m^2]

Sekä rakennuksen n_{50} -luku saadaan laskettua q_{50} -luvusta kaavalla

$$n_{50} = q_{50} \cdot \frac{A}{V}, \quad (7)$$

jossa

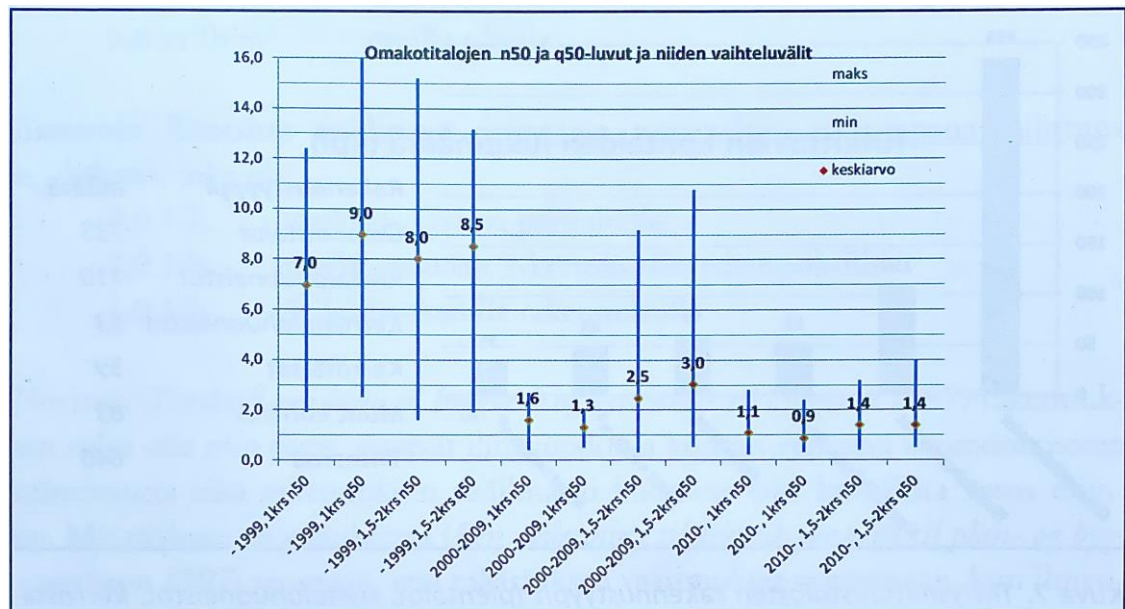
n_{50} on rakennuksen ilmapuotoluku 50 Pa paine-erolla, [1/h]

q_{50} on rakennuksen ilmapuotoluku 50 Pa paine-erolla, [$m^3/(hm^2)$]

A on rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan pinta-ala, [m^2]

V on n_{50} -luvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus, [m^3]

Vuonna 2000–2009 valmistuneiden 1,5–2-kerroksisten omakotitalojen q_{50} -luvun keskiarvo on $3,0 \frac{m^3}{hm^2}$, sekä n_{50} -luvun keskiarvo on $2,5 \frac{1}{h}$ (Kuva 3).



Kuva 3. Tiiveyslukujen keskiarvot ja vaihteluvälit. (Paloniitty 2012)

Koska rakennuksen vaipan pinta-ala ei yleensä kasva sen tilavuuden suhteessa, rakennuksen ilmatilavuuteen suhteutettu tiiveysluku n_{50} suosii suuria rakennuksia. Siksi esimerkiksi n_{50} - ja q_{50} -lukujen suhdetta olisi hyvä tarkastella erityyppisillä rakennuksilla. (Paloniitty 2012.)

Tyypillisimpään tiiveysmittauslaitteistoon kuuluu ovikehikko, lakana, puhallin, paine-eromittausyksikkö, virtajohdot sekä paine-eroletkut (Paloniitty 2012).

Tiiveysmittauslaitteiston valinnassa yksi merkittävimmistä tekijöistä on ovipuhaltimen käyttöalue, johon vaikuttavat puhaltimen teho sekä puhallinaukon koko. Tarvittavan ovipuhaltimen kapasiteetin kokoa voidaan arvioida, kun tunnetaan kohteen sisäilmatilavuus tai vaipan pinta-ala. Lisäksi on osattava arvioida kohteen ilmavuotoluku q_{50} tai n_{50} , jos aiempaa tiiveysmittauksen tulosta ei ole tiedossa tai kohteeseen ei ole aiemmin tehty tiiveysmittausta. Kohteen ilmanvuotoluvusta voi saada suuntaa antavan arvion vertailemalla vastaavien kohteiden tiiveysmittausten tuloksia. Puhaltimen minimikapasiteetti saadaan laskettua kaavalla 8 tai 9. (Paloniitty 2012.)

$$Q = q_{50,arvioitu} \cdot A, \quad (8)$$

jossa

Q on tarvittava ilmamäärä, [m^3]
 $q_{50,arvioitu}$ on arvioitu ilmavuotoluku, [$m^3/(hm^2)$]
 A on vaipan pinta-ala, [m^2]

$$Q = n_{50,arvioitu} \cdot V, \quad (9)$$

jossa

Q on tarvittava ilmamäärä, [m^3]
 $n_{50,arvioitu}$ on arvioitu ilmavuotoluku, [$1/h$]
 V on kohteen ilmatilavuus, [m^3]

Yleisimpiä ovipuhallinlaitteistojen valmistajia ovat Retrotecin mallit 1000 ja Q4E, Minneapolis, Wohler sekä Swema, joiden valmistusmaan ja käyttöalueet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Mittalaitteet, niiden valmistusmaa sekä puhaltimien käyttöalue. (Paloniitty 2012)

MERKKI	VALMISTUSMAA	KÄYTTÖALUE [m ³ /h] (50 Pa) MIN/MAX	
Retrotec malli 1000	USA / KANADA	8	9514
Retrotec malli Q4E	USA / KANADA	65	13592
Minneapolis	USA	19	7200
Wöhler	SAKSA	?	3000
Swema	RUOTSI	?	1120

Koska rakennuksen tiiveys liittyy olennaisesti rakennuksen energiatehokkuuteen, niin sen vaipassa olevat ilmavuodot heikentävät sen tiiveyttä ja sitä kautta myös energiatehokkuutta sekä voivat aiheuttaa jopa terveysriskejä. Ilmavuodot voidaan havaita esimerkiksi vedon tunteena tai lämpökuvauksella. (Paloniitty 2012; Paloniitty ym. 2016.)

Rakennuksen vuotoilmavirta sekä ilmavuotojen aiheuttamat lämpöhäviöt voidaan laskea (Kaava 10 ja Kaava 11), kun tiedetään rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} sekä rakennuksen vaipan pinta-ala (Ympäristöministeriö 2017b). Rakennuksen vuotoilmavirta lasketaan kaavalla

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

jossa

$q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta, [m³/s]

q_{50} on rakennusvaipan ilmavuotoluku, [m³/(hm²)]

$A_{vaiippa}$ on rakennusvaipan pinta-ala, [m²]

x on kerroin, joka on 24 kaksikerroksisille rakennuksille

3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä [m³/h], yksikköön [m³/s]

Esimerkki 2. Lasketaan vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ kohteelle, jonka ilmanvuoto-luku q_{50} on $1,98 \frac{m^3}{hm^2}$ ja rakennusvaipan pinta-ala A_{vaippa} on $372m^2$.

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{1,98 \frac{m^3}{hm^2}}{3600 \cdot 24} \cdot 372m^2 = 0,0085 \frac{m^3}{s}$$

Täten vuotoilmavirraksi saadaan $0,0085 \frac{m^3}{s} \approx 8,5 \frac{l}{s}$.

Vuotoilmavirran aiheuttama ominaislämpöhäviö voidaan laskea kaavalla

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} , \quad (11)$$

jossa

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

ρ_i on ilman tiheys, $1,2 [kg/m^3]$

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, $1000 [Ws/(kgK)]$

$q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta, $[m^3/s]$

Esimerkki 3. Lasketaan vuotoilman ominaislämpöhäviö $H_{vuotoilma}$ kohteelle, jonka vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ on $0,0085 \frac{m^3}{s}$.

$$H_{vuotoilma} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1000 \frac{Ws}{kgK} \cdot 0,0085 \frac{m^3}{s} = 10,2 \frac{W}{K}$$

Täten vuotoilman ominaislämpöhäviöksi saadaan $10,2 \frac{W}{K}$.

3.3 Rakennuksen lämpökuvaus

Lämpökuvauksessa mitataan kuvattavan alueen lämpötiloja infrapunasäteilyn avulla. Lämpökamera havaitsee pinnan emittoiman kokonaissäteilyn, joka koostuu sekä pinnan heijastamasta että sen läpi tulleesta säteilystä. Kamera

muuttaa heijastuman väriasteikossa lämpötilaa vastaavaksi väriksi. (Paloniitty ym. 2016.)

Rakennuksen lämpökuvauksia voidaan suorittaa sekä ulko- että sisäpuolelle. Tyypillisesti kuvaus suoritetaan kuitenkin rakennuksen sisäpuolelle. Rakennuksen ilmavuotomittauksessa kuvaus suoritetaan alipaineiselle sisäpuolelle, jolloin vuotokohdat on helpompi havaita vuotoilman aiheuttaman viileämmän kohdan takia. Lämpökuvauksen ilmaisemat rakennuksen kylmät kohdat eivät aina tarkoita ilmavuotoa, vaan ne voivat olla myös kylmäsiltoja. Ilmavuotojen tapaan kylmäsiltojen ovat myös lämpövuotoja, mutta niissä lämpö ei häviä ilmavirran takia, vaan johtamalla rakenteita pitkin. (Paloniitty ym. 2016.)

Ilmavuotomittauksen lämpökuvauksia on tehtävä kylmänä vuodenaikana, jolloin sisä- ja ulkoilman lämpötilaerot korostavat ilmanvuotokohtia. Toinen tärkeä huomioitava asia on sääolosuhteet. Lämpökuvaukseen hyvät olosuhteet ovat pilvinen sekä tyyni keli, jolloin suora auringon säteily tai tuulen aiheuttama paineen vaihtelu eivät vääristä tuloksia. (Paloniitty ym. 2016.)

Lämpökuvauksessa halutusta kohteesta otetaan lämpökameralla kuva, jolloin lämpökameraan tallentuu kaksi kuvaa. Kamera tallentaa sekä normaalin kuvan että lämpökuvan kuten kuvassa 14.

Tyypillisimpiä lämpökuvauksessa havaittavia kylmiä kohtia voivat olla esimerkiksi seinissä olevat ohuemmat eristekohdat, reiät höyrynsulun läpivienneissä tai ovien ja ikkunoiden tiivisteiden vuotokohdat (Paloniitty ym. 2016) .

3.4 Rakennuksen sähkönkulutus

Rakennuksen sähkönkulutus koostuu pääosin sen lämmön ylläpitämisestä. Siihen vaikuttavat muun muassa lämpöhäviöt, ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmä sekä käyttäjätottumukset. (Rakentaja.fi 2010.)

Rakennuksen toteutuvaa sähkönkulutusta voidaan arvioida pidemmältä ajanjaksolta, esimerkiksi koko vuodelta lyhyen testijakson sähkönkulutuksen sekä

astepäiväluvun perusteella. Arvioitaessa toteutuvaa sähkönkulutusta pidemmälle ajanjaksolle on huomioitava, että rakennuksen käyttäjätottumukset pysyvät samana koko sen ajan, jolle toteutuvaa kulutusta ollaan arvioimassa.

Astepäiväkulu eli lämmitystarveluku kuvaa energiantarvetta rakennuksen lämmittämisessä (Ilmatieteenlaitos 2024). Astepäiväluku saadaan laskemalla yhteen sisä- ja ulkolämpötilojen erotus tietyltä ajanjaksolta.

Lämmityksen ylläpitämiseen tarvittava teho yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden voidaan laskea testijakson sähkönkulutuksen perusteella kaavalla

$$P_{Lämmitys} = \frac{E}{t \cdot \Delta T}, \quad (12)$$

jossa

$P_{Lämmitys}$ on lämmityksen ylläpitämiseen tarvittu teho yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden, [W/K]

E on lämmitykseen kulunut energia, [kWh]

t on vertailujakson aika, [h]

ΔT on sisä- ja ulkoilman lämpötilaero, [K]

Tällä tiedolla voidaan laskea kohteen tarvitsema lämmitysteho mille tahansa sisä- ja ulkolämpötilaerolle.

Rakennuksen vuotuista sähkönkulutusta voidaan arvioida, kun tiedetään lämmityksen ylläpitämiseen tarvittava teho yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden ($P_{Lämmitys}$) sekä astepäiväluku (S_{21}) kaavalla

$$E_{Vuosi} = \frac{P_{Lämmitys} \cdot t \cdot S_{21}}{1000}, \quad (13)$$

jossa

E_{Vuosi} on laskennallinen arvio kohteen vuotuisesta sähkönkulutuksesta, [kWh]

$P_{Lämmitys}$	on lämmityksen ylläpitämiseen tarvittu teho yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden, $[W/K]$
t	on vuorokauden pituus tunteina, $[h]$
S_{21}	on astepäiväluku 21 °C sisälämpötilalla, $[^{\circ}Cvrk]$

4 Tutkimuksen lähtökohta

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen tavoite, mittauksissa käytettävä mittalaitteisto sekä tutkittava kohde ja tutustutaan siinä käytössä olevan poistoilmalämpöpumpun toimintaan.

4.1 Tutkimuksen tavoite

Tämän tutkimukset tavoitteena on käsitellä omakotitalon lämpöhäviöitä ja energiatehokkuutta sekä arvioida vuotuista energiantarvetta eri tavoin.

Omakotitalon lämpöhäviöitä ja energiatehokkuutta käsitellään sekä teoreettisesta näkökulmasta että kokeellisesti. Kohteeseen suoritetaan tiiveysmittaus, jolla selvitetään rakennuksen q_{50} -arvo. Tiiveysmittauksen yhteydessä kohteeseen suoritetaan lämpökuvauus mahdollisten ilmavuotojen paikantamiseksi. Lisäksi mitataan rakennuksen poistoilmamäärä ja selvitetään kohteen poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhde ympäristöministeriön laskurilla (Ympäristöministeriö 2018). Rakennuksen toteutunutta sähkönkulutusta verrataan muun muassa kohteeseen tehdyn energiatodistuksen ilmoittamaan vuotuisen sähkönkulutukseen.

Lopuksi tavoitteena on vertailla eri tavoin saatuja vuotuisia sähkönkulutuksia toteutuneeseen sähkönkulutukseen sekä pohtia eri tavoin saatujen tulosten mahdollisia käyttökohteita.

4.2 Tutkittava kohde

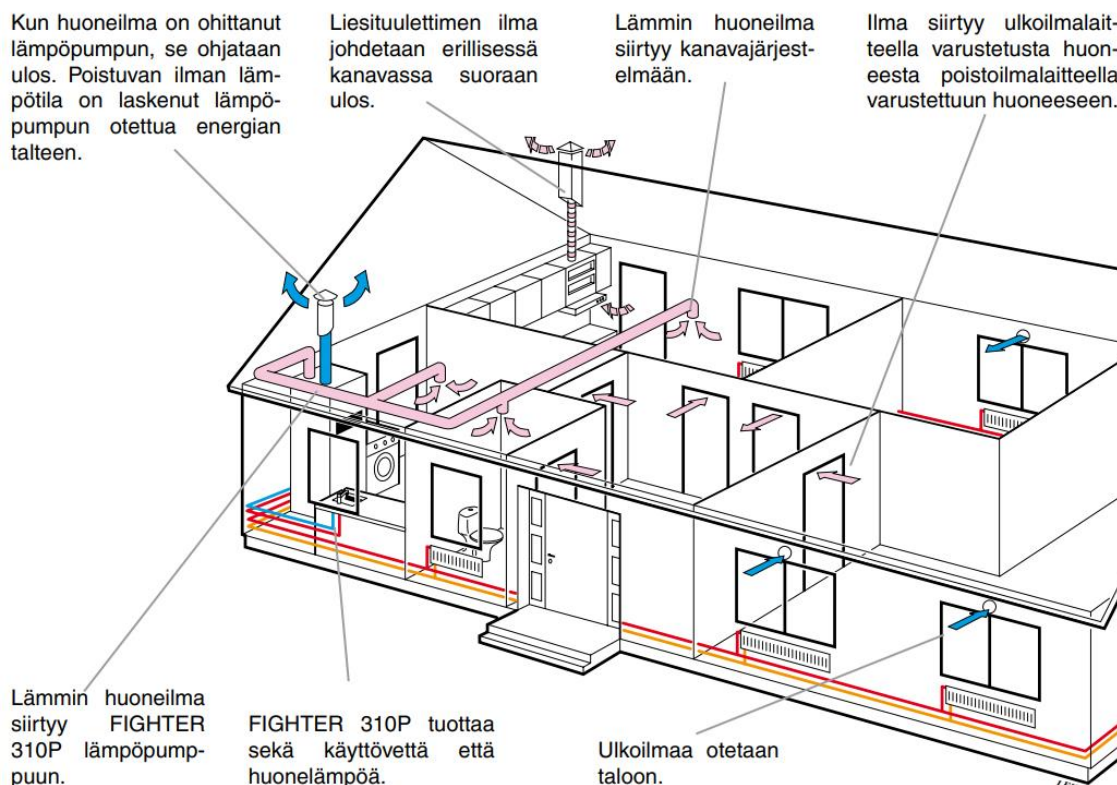
Tutkimuskohteena on vuonna 2006 valmistunut 1,5-kerroksinen omakotitalo. Kyseessä on puurunkoinen pakettitalo tuulettuvalla alapohjalla. Kohde sijaitsee Etelä-Suomen rannikkokaupungissa pientaloalueella. Kiinteistöön kuuluu myös erillinen puolilämmin autotalli, ja sen vaikutus talon energiankulutukseen on huomioitu tutkimuksen laskuissa.

Rakennuksessa on koneellinen (NIBE FIGHTER 310P) poistoilmalämpöpumppu lämmöntalteenotolla. Rakennuksen tuloilma tulee seinässä olevista korvausilmaventtiileistä (Kuva 4).

Poistoilmalämpöpumppu lämmittelee rakennuksen patteri- ja käyttöveden poistoilman jäädyttämisestä saamallaan energialla. Patteriveden lämmityskattilassa on sähkövastus, mikäli poistoilmasta saatava energia ei riitä patteri- ja käyttöveden lämmitykseen. Lisäksi muun muassa kylpyhuoneessa ja WC-tiloissa on sähköinen lattialämmitys sekä yläkerran makuuhuoneissa on sähköpatterit. Yläkerran sähköpattereiden käyttö on lähes olematonta, sillä alakerran lämmitys riittää pitämään myös yläkerran lämpimänä.

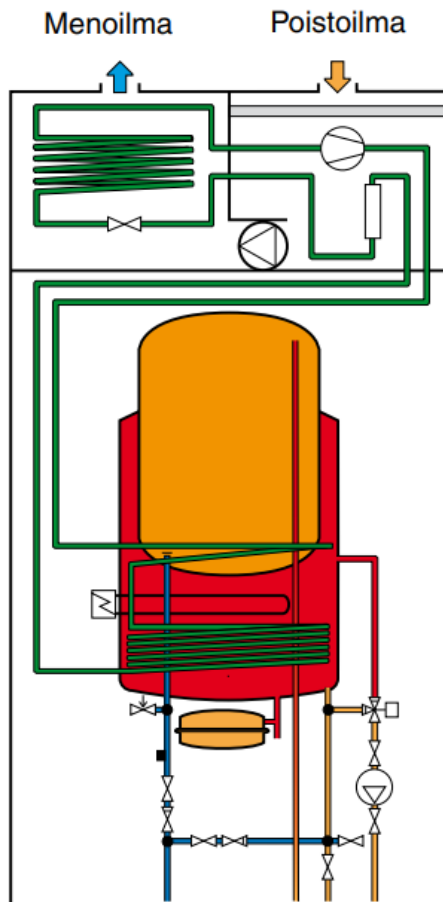
Tutustutaan seuraavaksi tarkemmin poistoilmalämpöpumpun toimintaan.

Poistoilmalämpöpumppu ottaa energiaa talteen rakennuksen poistoilmasta. Poistoilmalämpöpumpun talteen ottamaa energiaa voidaan siirtää rakennuksen lämmitysveden, käyttöveden tai tuloilman lämmittämiseen. Poistoilma imee rakennuksen poistoilmaventtiileistä, jotka sijaitsevat huoneiston katossa tyypillisesti kosteissa tiloissa (Perälä 2009). Poistoilma siirtyy poistoilmakanavia pitkin poistoilmalämpöpumpulle (Kuva 4).



Kuva 4. Poistoilmalämpöpumpun järjestelmäperiaate. (NIBE)

Huoneistosta kerätty poistoilma kulkee poistoilmalämpöpumpun kautta ulos, jolloin se jäähtyy ja siitä saadaan lämpöenergiaa talteen. Kun poistoilma kulkee höyrystimen läpi huoneilma luovuttaa lämmön kylmäaineeseen, joka höyrystyy, jolloin poistoilma viilenee. Höyrystynyt kylmäaine puristetaan kompressorissa, jonka seurauksena sen lämpötila nousee. Lämmin kylmäaine johdetaan kattilassa sijaitsevaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämmön veteen. Kun kylmäaine luovuttaa lämpönsä kattilassa olevaan veteen, sen lämpötila laskee ja se tiivistyy takaisin nesteeksi. Kylmäaineen paine ja lämpötila laskee vielä lisää, kun se johdetaan suodattimen läpi paisuntaventtiiliin, jonka jälkeen se palaa höyrystimeen ja kierros alkaa alusta (Kuva 5) (NIBE).



Kuva 5. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate. (NIBE)

Tutkittavan kohteen poistoilmalämpöpumppu NIBE FIGHTER 310P koostuu kaksiosaisesta vaippavesivaraajasta ja poistoilman energian talteen ottavasta ilmalämpöpumpusta. Ulomman kattilan (Kuva 5, punainen kattila) lämmintä vettä käytetään rakennuksen lämmittämiseen vesikiertoisilla pattereilla. Ulompi kattila lämpiää pääosin sen sisällä kiertävän kylmäaineputken vapauttamalla lämpöenergialla. Lisäksi ulommassa kattilassa on sähkövastus, joka lämmittää vettä, kun poistoilmasta saatava energia ei riitä veden lämmittämiseen. Sisempi kattila (Kuva 5, oranssi kattila) on käyttövesikattila, joka lämpiää ulommasta kattilasta johtuvasta lämmöstä. (NIBE, Perälä 2009.)

Kun poistoilma kulkee poistoilmalämpöpumpun läpin ja mikäli sen lämpötila laskee alle kastepisteen, siinä oleva vesihöyry kondensoituu höyrystimen pintaan. Tyypillisesti poistoilmassa olevan vesihöyryn kondensoituminen on melko

vähäistä huoneilman ollessa kuivaa. Toisaalta huoneilman ollessa hetkellisesti normaalia kosteampaa, esimerkiksi saunomisen jälkeen, voi poistoilmasta kondensoitua tavallista enemmän vettä. Kohteen poistoilmalämpöpumpun jäteilma on ollut lämmityskaudella keskimäärin noin 2–3 °C välillä, jolloin höyrystimen kennoon mahdollisesti tiivistyvä ilmankosteus ei pääse jäätymään.

Poistoilmalämpöpumpun etuna on se, että sillä saadaan yhdistettyä rakennuksen ilmanvaihto sekä lämmitys, tällöin se ei päästä kaikkea poistoilmassa olevaa lämpöenergiaa suoraan ulos, jolloin se olisi merkittävä lämpöhäviö.

Toinen merkittävä PILP:n etu korostuu kesällä, jolloin myös lämmityskauden ulkopuolella käyttövesi saadaan lämmitettyä poistoilmalla, eikä siihen tarvitse käyttää suorasähkövastusta. Mikäli poistoilmalla lämmitettäisiin esimerkiksi pelkästään rakennuksen tuloilmaa, niin lämmityskaudella että sen ulkopuolella käyttövesi olisi lämmitettävä sähkövastuksella tai jollain muulla lämmön lähteellä.

Kohteessa poistoilmalämpöpumppu huolehtii rakennuksen ilmanvaihdosta, jonka on oltava riittävä. Ympäristöministeriön (2019) mukaan rakennuksen poistoilmavirran on oltava $0,35 \frac{dm^3}{s} m^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5 \frac{1}{h}$ eli sisäilman on vaihdettava kerran kahdessa tunnissa.

Rakennuksen lämmöntalteenottolaitteistolla talteen otettavan ja hyödynnettävän lämpöenergian suhdetta rakennuksen ilmanvaihdon tarvitsemaan lämpöenergiaan suhteessa ilman lämmöntalteenoton käyttöä kutsutaan poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi (Ympäristöministeriö 2024a). Vuosihyötysuhde voidaan laskea ympäristöministeriön sivuilta löytyvällä Excel-laskurilla (Ympäristöministeriö 2024c) tai kaavalla

$$\eta_a = \frac{\sum Q_{LTO} + \sum Q_{PILP}}{\sum Q_{iv}}, \quad (14)$$

jossa

- η_a on rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, [%]
- Q_{LTO} on poistoilmasta LTO-lämmönsiirtimelle (LTO) talteen otettu ja suoraan tuloilman lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, [kWh]
- Q_{PILP} on poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteen otettu ja tuloilman tai tilojen lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, [kWh]
- Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella, jos ei ole lämmöntalteenottoa tai poistoilmalämpöpumpua, [kWh]

Mikäli poistoilmalämpöpumpun todellista vuosihyötysuhdetta ei tiedetä tai saada laskettua, on muun muassa lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytettävä taulukon 4 mukaisia arvoja. (Finlex 2017)

Taulukko 4. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteita. (Finlex 2017)

Rakennusluvan vireilletulo vuosi	1985–	10/2003–	2008–	2010–	2012–	2018–
Vuosihyötysuhde	0 %	30 %	30 %	45 %	45 %	55 %

4.3 Mittauslaitteisto

Tutkimuksessa käytettyjä mittalaitteita olivat tiiveysmittauksessa käytetty ovipuhallin, lämpökuvauksessa käytetty lämpökamera sekä poistoilmamäärämittauksessa käytetty siipipyöräänometri. Ovipuhallin sekä lämpökamera saatiin lainaksi Metropolia ammattikorkeakoululta ja siipipyöräänometri löytyi valmiiksi itseltä. Seuraavissa luvuissa käsitellään työssä käytettyjä mittalaitteistoja tarkemmin.

4.3.1 Ovipuhallin

Tämän opinnäytetyön tiiveysmittauksessa käytettiin yhdysvaltalaisista Minneapolisin valmistamaa tiiveysmittauslaitteistoa (Kuva 6). Laitteiston käyttöalue 50 Pa paine erolla on $19\text{--}7200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ (Taulukko 3).

Puhallinlaitteistoon kuuluu ovipuhallin, ovikehikko, lakana, paine-eroa ja ilmamäärää mittaava yksikkö, virtajohtoja sekä ilmaletkuja.



Kuva 6. Minneapolis tiiveysmittauslaitteisto.

4.3.2 Lämpökamera

Tutkimuksen lämpökuvauksissa käytettiin FLIR E8 lämpökameraa. Kameran lämpötilan erottelukyvyn tarkkuus on $\leq 0,06 \text{ }^\circ\text{C}$ ja se soveltuu hyvin muun muassa ilmapuotojen ja eristevirheidien paikannukseen sekä huoneen pintojen lämpötilan mittaukseen (Paloniitty ym. 2016).

Lämpökameralaukun sisältöön kuuluu virtajohto, USB-kaapeli tiedonsiirtoon, lataustelakka, kaksi akkua, ohjekirja sekä itse lämpökamera. Lämpökameralaukku sisältöineen näkyy kuvassa 7.



Kuva 7. Tutkimuksessa käytetty lämpökamerakalusto.

4.3.3 Siipipyöranemometri

Tutkittavan kohteen poistoilmamäärämittauksessa käytettiin KIMO LV110 siipipyöranemometriä (Kuva 8). Mittalaitteistoon kuuluu siipipyöranemometri sekä siihen kiinnitettävä K25 kartio. Laitteella näkee ilman virtausnopeuden esimerkiksi metreinä sekunnissa ($\frac{m}{s}$) tai litroina sekunnissa ($\frac{l}{s}$). Yksinkertaisuudessaan mitä nopeammin anemometrin siipi pyörii, sitä suurempi ilmamäärä sen läpi virtaa.



Kuva 8. Tutkimuksessa käytetty ilmvirtausmittari.

5 Tutkimuksen toteutus ja tulokset

Kohteeseen suoritettiin tiiveysmittaus, jolla saadaan selvitettyä rakennuksen q_{50} - ja n_{50} -luvut. Ennen tiiveysmittausta sekä sen aikana kohteeseen tehtiin lämpökuvaus mahdollisten ilmavuotojen ja kylmäsiltojen paikannusta varten. Kohteesta mitattiin myös ilmanvaihdon poistoilmamäärä siipipyöranemometrillä. Lisäksi kohteeseen suoritettiin kaksi sähkönkulutuksen seurantajaksoa sekä tehtiin energiatodistus.

Rakennuksen pinta-ala- ja tilavuustiedot selvitettiin mittaamalla rakennuksen vaipan pinta-ala sekä rakennuksen lämmin ilmatilavuus (Taulukko 5). Huoneistoala sekä lämmin ilmatilavuus tarkistettiin myös kohteen rakennusluvan teknisistä tiedoista.

Taulukko 5. Kohteen pinta-ala ja tilavuus tiedot.

Huoneistoala	165 m ²
Vaipan pinta-ala	372 m ²
Lämmin ilmatilavuus	393 m ³

5.1 Tiiveysmittaus

Ennen mittausten aloittamista rakennuksessa on suoritettava esivalmisteluja onnistuneita mittauksia varten. Tiiveysmittauksen osalta vuotoilman kulku on estettävä mittauksen aikana kulkemasta ilmanvaihtokanavien, liesituulettimen, tulisijan sekä viemäreiden kautta. Ilmanvaihtokanavat voidaan tukkia niihin tarkoitetuilla kumipalloilla tai esimerkiksi ilmastointiteipillä. Viemäreiden vesilukoista on tarkistettava, että niissä on tarpeeksi vettä. Tiiveysmittauksen aikana rakennuksen väliovet on pidettävä auki.

Tässä tiiveysmittauksessa ilmanvaihtokanavat, liesituuletin, poistoilmalämpöpumppu, tulisija sekä korvausilmaventtiilit tukittiin pääosin ilmastointiteipillä.

Ilmavuodot tukittiin rakennuksen korvausilmaventtiileistä tiiveysmittauksen ajaksi irrottamalla korvausilmaventtiilin kansi ja teippaamalla korvausilmakanava umpeen ilmastointiteipillä (Kuva 9).



Kuva 9. Korvausilmaventtiili teipattu umpeen ilmastointiteipillä.

Liesituuletin sekä poistoilmalämpöpumppu tukittiin myös rakennuksen sisäpuolelta teippaamalla ulosjohtavat ilmakanavat umpeen. Tulisijan ilmavuodot

tukittiin rakennuksen katolla sijaitsevasta savupiipun päästä. Savupiipusta irrotettiin hattu ja savuhormi teipattiin umpeen (Kuva 10).



Kuva 10. Savupiippu teipattu umpeen ilmastointiteipillä.

Kohteen tiiveysmittaus suoritettiin lähes optimaalisissa olosuhteissa. Mittausta suorittaessa oli tyyni sekä pilvinen keli. Ulkolämpötila oli 0–2 °C välillä, ulkoilman suhteellinen kosteus oli 63 % ja tuulen nopeus oli 1 m/s. Rakennuksen sisälämpötila oli 22 °C ja suhteellinen kosteus 34 %.

Rakennuksen tiiveysmittaus aloitettiin ovipuhaltimen kehikon karkealla säädöllä sovittaen se talon ulko-ovenkarmiin. Sitten kehikko irrotettiin ovesta ja siihen pingotettiin mittauslaitteistoon kuuluva punainen lakana. Lakana huolellisen asettelun jälkeen kehikko sekä lakana kiinnitettiin tiiviisti rakennuksen ulko-ovi-
aukkoon. Tämän jälkeen itse puhallin asennettiin lakanassa sille tarkoitettuun reikään. (Kuva 11)



Kuva 11. Ovipuhallin asennettuna kohteeseen.

Tämän jälkeen paine-eroa mittaavat letkut kytkettiin paikoilleen mittausyksikön sekä puhaltimen välille. Ulkoilman painetta mittaavan letkun pään on oltava samalla korkeudella sisäilman painetta mittaavan anturin kanssa. Lisäksi ulkona oleva letkun pää ei saa altistua ovipuhaltimen aiheuttamalle ilmavirrälle. Ulkoilman painetta mittaavan letkun päähän liitettiin t-haara vähentämään tuulen aiheuttamaa paineen vaihtelua (Kuva 12).



Kuva 12. Ulkoilman painetta mittaava letkun pää.

Kun rakennukseen on saatu muodostettua 50 Pa alipaine ulko- ja sisätilan välille, paine-eroa mittaava yksikkö näyttää rakennuksen vuotoilmamäärän kyseisellä paine-erolla. Kuvasta 13 nähdään, että kyseisen rakennuksen vuotoilmamäärä -50 Pa paineessa on $736 \frac{m^3}{h}$.



Kuva 13. Kohteen vuotoilmamäärä 50 Pa alipaineessa.

Kun tiedetään rakennuksen vaipan ala sekä ilmatilavuus, voidaan näiden avulla laskea rakennuksen q_{50} - ja n_{50} -luvut.

Kohteen q_{50} -luku saadaan kaavalla 4, jolloin

$$q_{50} = \frac{736 \frac{m^3}{h}}{372 m^2} = 1,978 \frac{m^3}{hm^2}$$

Tällöin kohteen $q_{50} \approx 1,98 \frac{m^3}{hm^2}$.

Kohteen n_{50} -luku saadaan kaavalla 5, jolloin

$$n_{50} = \frac{736 \frac{m^3}{h}}{393 m^3} = 1,873 \frac{1}{h}$$

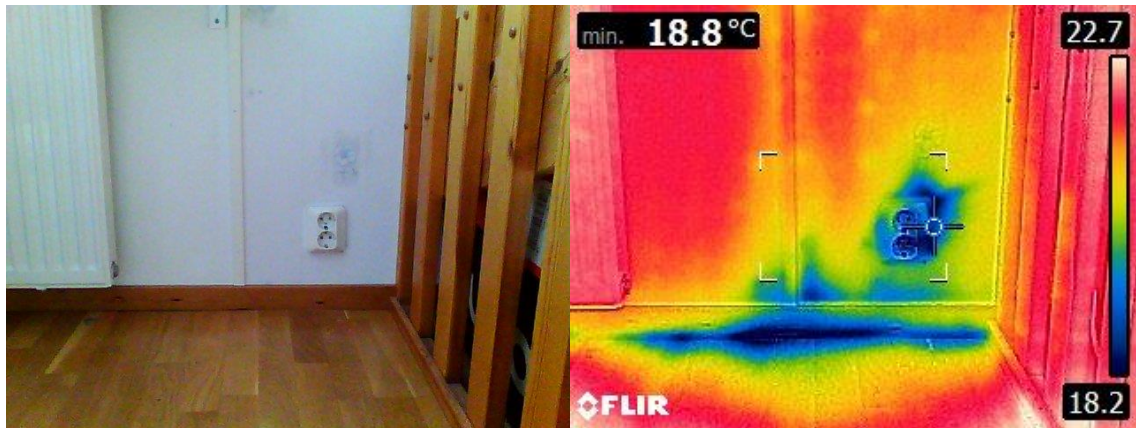
Tällöin kohteen $n_{50} \approx 1,87 \frac{1}{h}$.

5.2 Lämpökuvaus

Kohteeseen suoritettiin tiiveysmittauksen yhteydessä kaksivaiheinen lämpökuvaus. Ensimmäinen kuvaus suoritettiin rakennuksen normaaleissa käyttöolosuhteissa, eli tilanteessa jolloin muun muassa lämmitys sekä ilmanvaihto on käynnissä ja rakennuksessa vallitsi normaali ilmanvaihdon sekä savupiippuilmion aiheuttama paine. Ensimmäisessä lämpökuvauksessa rakenteissa ei havaittu mitään epätavallista kuten merkittäviä ilmavuotoja tai kylmäsiltoja.

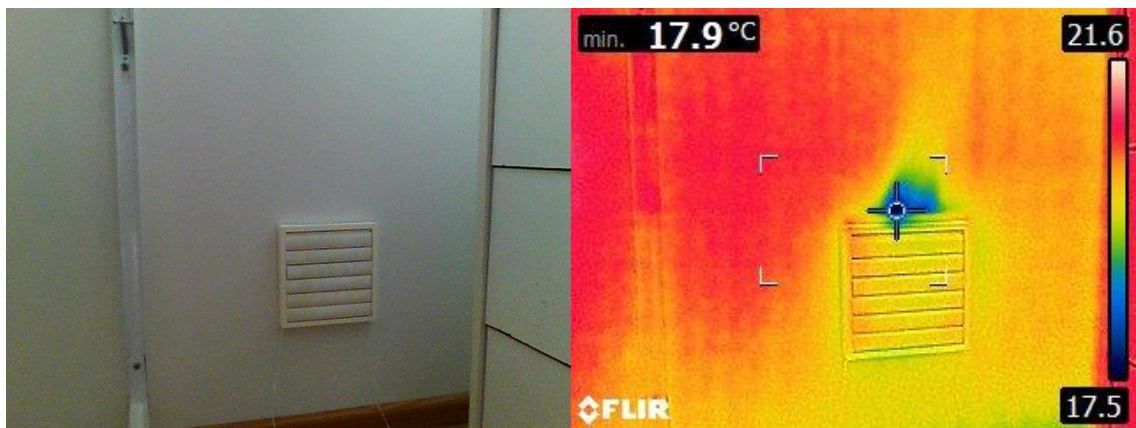
Toinen lämpökuvaus suoritettiin tiiveysmittauksen yhteydessä rakennuksen ollessa 50 Pa alipaineessa, jolloin mahdolliset ilman vuotokohtat korostuvat. Toisen kuvauksen yhteydessä huomattiin, että höyrynsulun läpivientien kuten pistorasoiden (Kuva 14) ja korvausilmakanavien (Kuva 15) juuresta sekä talon elementtisaumasta (Kuva 14) ja portaikon ulkonurkasta (Kuva 16) löytyi muutamia ilman vuotokohtia.

Kuvassa 14 näkyy kaksi ilmapuotokohtaa, joista ensimmäinen näkyy pistorasian ympärillä. Vastaavia puotokohtia löytyi myös muista ulkoseinää vasten olevista pistorasioista. Toinen kuvassa näkyvä puotokohta on lattian ja seinän nukkakohdassa näkyvä viileä alue.



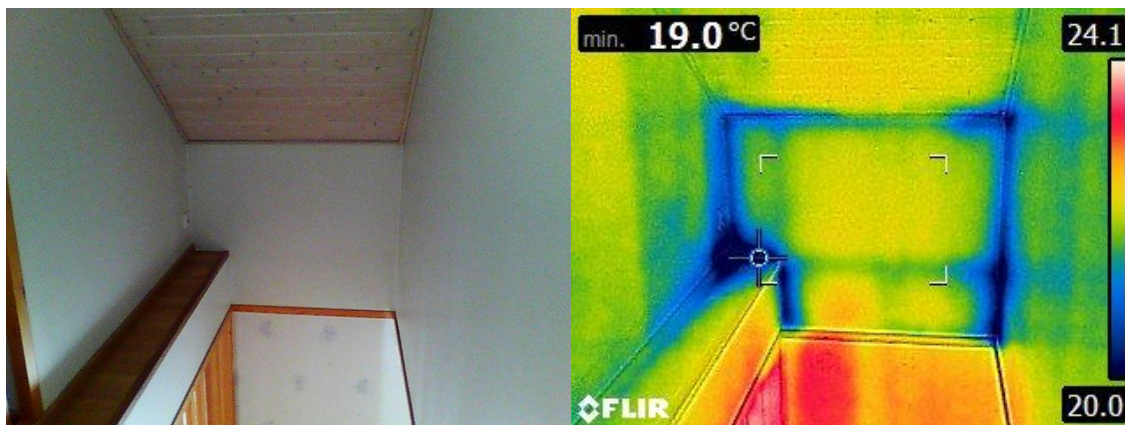
Kuva 14. Alakerran pistorasian juuresta löydyntynyt ilmapuoto.

Kuvassa 15 näkyvä ilman puotokohta on yläkerran korvausilmaventtiilin ja seinän välisen liitoksen puotokohta. Vastaavia korvausilmaventtiilien juuressa olevia ilmapuotoja löytyi vain yläkerran kahden korvausilmaventtiilin juuresta.



Kuva 15. Yläkerran korvausilmaventtiilin juuresta löydyntynyt puotokohta.

Kuvassa 16 näkyy portaikon ulkoseinän nurkkien viileät kohdat.



Kuva 16. Portaikon ulkonurkan kylmä kohta.

5.3 Poistoilmamäärämittaus

Kohteesta mitattiin poistoilmamäärä siipipyöranemometrin avulla. Rakennuksen poistoilmamäärä mitattiin kunkin poistoilmakanavan kohdalta erikseen. Kartio asetettiin poistoilmakanavan päälle, annettiin mittarin lukeman tasaantua, jonka jälkeen lukema kirjattiin muistiin (Kuva 17).



Kuva 17. Poistoilmamäärän mittaus kodinhoituhuoneen katosta.

Summaamalla yhteen kustakin kanavasta poistuva ilmamäärää, saatiin rakennuksen kokonaispoistoilmamäärä (Taulukko 6).

Taulukko 6. Kohteen poistoilmamäärät huoneittain.

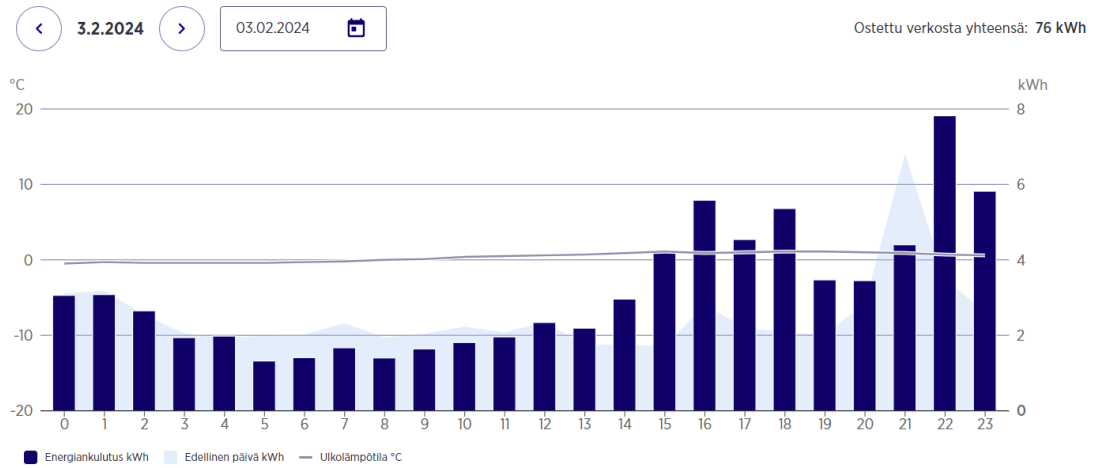
Poistoilmaventtiilin sijainti	Poistoilmamäärä $\left[\frac{l}{s}\right]$
Kodinhuoltohuone	7,1
Kylpyhuone	9,3
Alakerran WC	8,8
Yläkerran WC	8,9
Alakerran vaatehuone	5,0
Yläkerran vaatehuone	5,2
Sauna	10,7
<i>Yhteensä</i>	<i>55</i>

Rakennuksen kokonaispoistoilmamääräksi saatiin mitattua $55 \frac{l}{s}$.

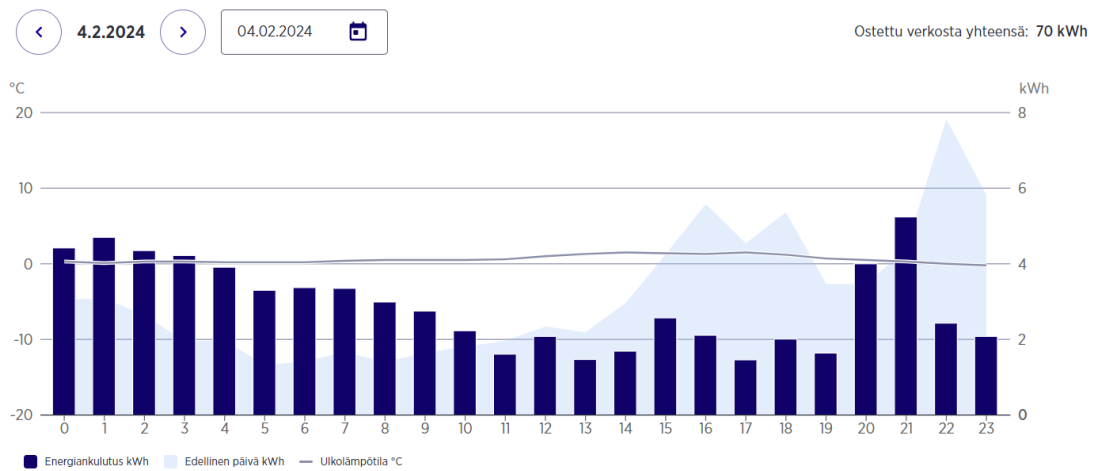
5.4 Sähkönkulutuksen testijaksot

Tutkittavalle kohteelle järjestettiin kaksi kolmen vuorokauden sähkönkulutuksen testijaksoa. Ensimmäisen testijakson aikana rakennus oli normaalissa käytössä (Kuvat 18–20) ja toisen testijakson aikana tyhjillään (Kuvat 21–23).

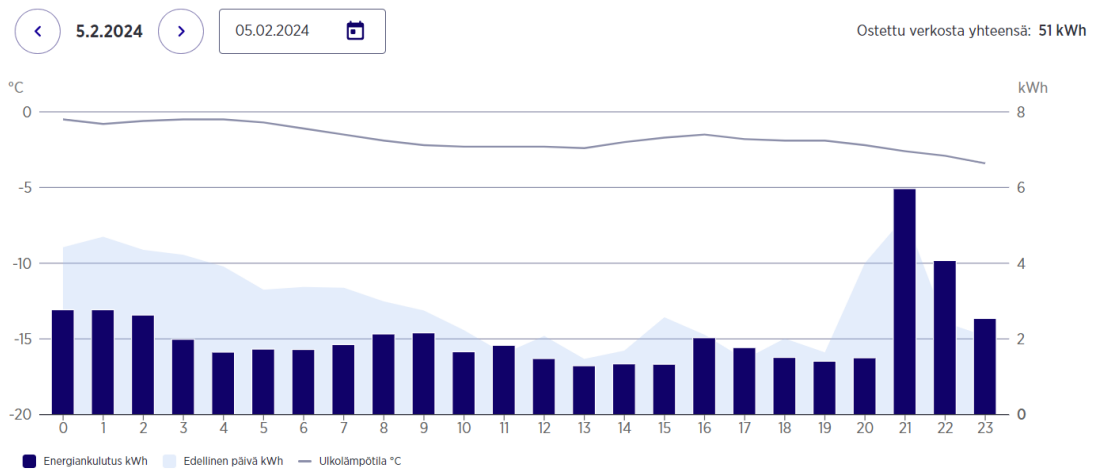
Ensimmäisen testijakson aikana rakennus oli normaalissa käytössä, jolloin sähköä kului rakennuksen sisätilan lämmön ylläpitämiseen ja esimerkiksi kulutetun käyttöveden lämmittämiseen. Sisällä oli tasainen 23 °C lämpötila ja ulkona kolmen vuorokauden keskilämpötila oli noin -0,2 °C, jolloin sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroksi tulee 23,2 °C. Kuvissa 18–20 näkyy päiväkohtaiset sähkönkulutukset sekä ulkolämpötilat, joiden kuvaajat saatiin sähköyhtiön verkkopalvelusta.



Kuva 18. Sähkönkulutus normaalina päivänä 1.



Kuva 19. Sähkönkulutus normaalina päivänä 2.



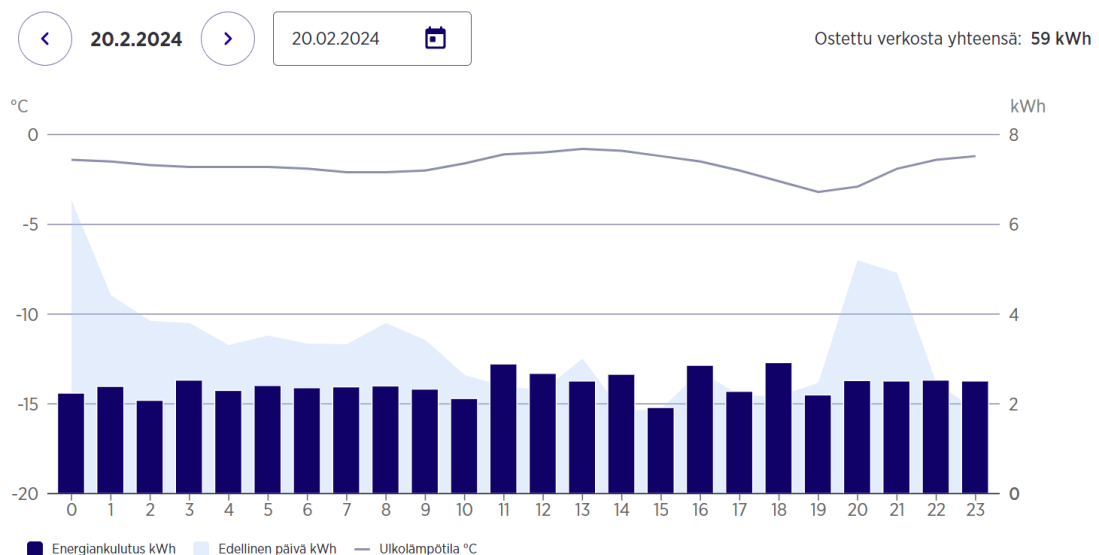
Kuva 20. Sähkönkulutus normaalina päivänä 3.

Kolmen vuorokauden normaalin käytön keskimääräinen sähkönkulutus oli noin $63,7 \text{ kWh/vuorokausi}$, josta on vähennetty autotallin lämmitykseen kulunut noin 5 kWh/vuorokausi . Lasketaan normaalissa käytössä lämmityksen ylläpitämiseen tarvittu teho yhtä sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroastetta kohden kaavalla 12.

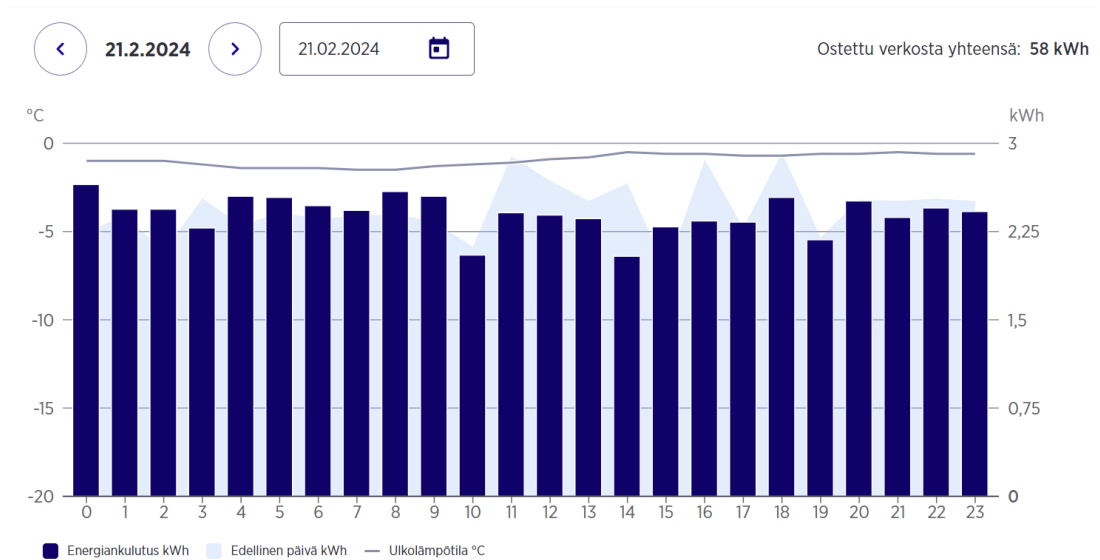
$$P_{\text{Lämmitys, normaali}} = \frac{63,7 \text{ kWh}}{24 \text{ h} \cdot 23,2 \text{ K}} = 114,40 \frac{\text{W}}{\text{K}} \approx 114 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Rakennuksen normaalissa käytössä tarvittiin todellisuudessa siis noin 114 wattia lämmitystehoa kutakin sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroastetta kohden.

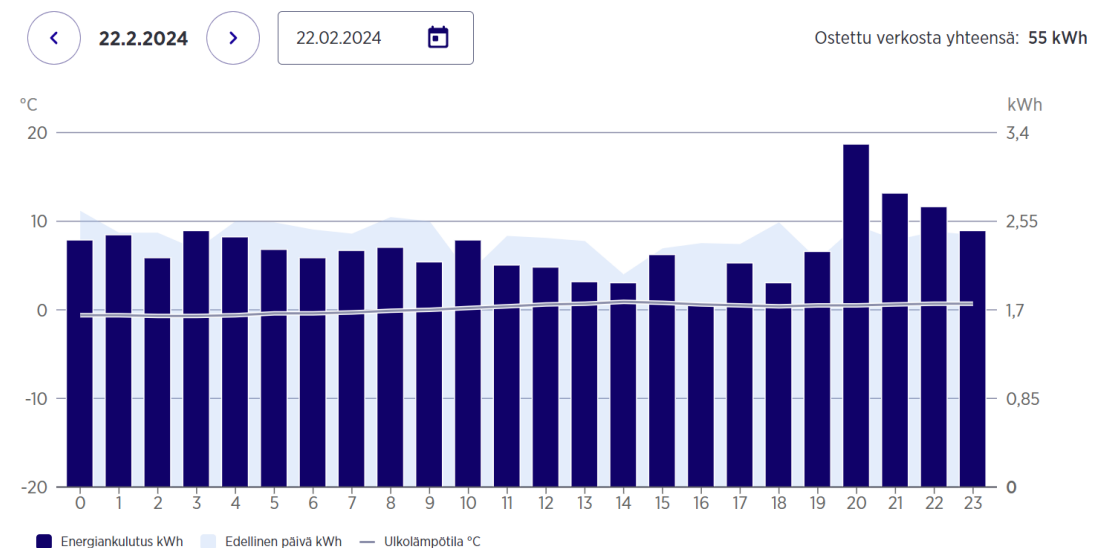
Toisen testijakson aikana rakennus oli tyhjillään, jolloin sähköä kului vain rakennuksen sisätilan lämmön ylläpitämiseen. Sisällä oli tasainen 21 °C lämpötila ja ulkona kolmen vuorokauden keskilämpötila oli noin $-0,3 \text{ °C}$, jolloin sisäilman ja ulkoilman lämpötilaeroksi tulee $21,3 \text{ °C}$. Kuvissa 21–23 näkyy päiväkohtaiset sähkönkulutukset sekä ulkolämpötilat, joiden kuvaajat saatiin sähköyhtiön verkkopalvelusta.



Kuva 21. Sähkönkulutus tyhjänä päivänä 1.



Kuva 22. Sähkönkulutus tyhjänä päivänä 2.



Kuva 23. Sähkönkulutus tyhjänä päivänä 3.

Kolmen vuorokauden tyhjillään oloajan keskimääräinen sähkönkulutus oli noin $52,3 \text{ kWh/vuorokausi}$, josta on vähennetty autotallin lämmitykseen kulunut noin 5 kWh/vuorokausi .

Lasketaan tyhjillään oloaikana lämmityksen ylläpitämiseen tarvittu teho yhtä lämpötilaeroastetta kohden kaavalla 12.

$$P_{\text{Lämmitys,tyhjä}} = \frac{52,3\text{kWh}}{24\text{h} \cdot 21,3\text{K}} = 102,31 \frac{\text{W}}{\text{K}} \approx 102 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Tyhjillään olevan rakennuksen lämmityksen ylläpitämiseen tarvittiin todellisuudessa siis noin 102 wattia lämmitystehoa kutakin sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroastetta kohden.

Kummankin testijakson kuvaajista nähdään, että ulkolämpötila pysyi hyvin tasaisena. Ensimmäisen testijakson aikana sähkönkulutus vaihteli, kun taas toisen testijakson aikana sähkönkulutus pysyi hyvin tasaisena.

Lasketaan astepäiväluku vuoden 2022 kuukausien keskilämpötiloilla (Taulukko 7), koska kyseisenä vuonna kohderakennuksen lämmönlähteenä oli vain PILP, eikä silloin rakennuksessa käytetty muita lämmönlähteitä kuten tulisijaa. Sisälämpötilana käytetään 21 °C ja ulkolämpötiloina ilmatieteenlaitokselta (2024) saatuja Vantaan ulkolämpötiloja, jotka vastaavat parhaiten kohteen sijaintia.

Taulukko 7. Vuoden 2022 astepäiväluku.

Kuukausi	Keskilämpötila [°C]	Päiviä kuukaudessa [vrk]	Kuukauden astepäiväluku [°Cvrk], [(T _{21°C} -T _{keskilämpötila})*vrk]
Tammikuu	-3,3	31	753,3
Helmikuu	-2,2	28	649,6
Maaliskuu	-0,2	31	657,2
Huhtikuu	3,3	30	531
Toukokuu	9,6	31	353,4
Kesäkuu	16,9	30	123
Heinäkuu	18,1	31	89,9
Elokuu	18,9	31	65,1
Syyskuu	9,2	30	354
Lokakuu	7,6	31	415,4
Marraskuu	2,3	30	561
Joulukuu	-3,4	31	756,4
Yhteensä			5309,3

Vuoden 2022 astepäiväluvuksi saatiin 5309,3 °Cvrk.

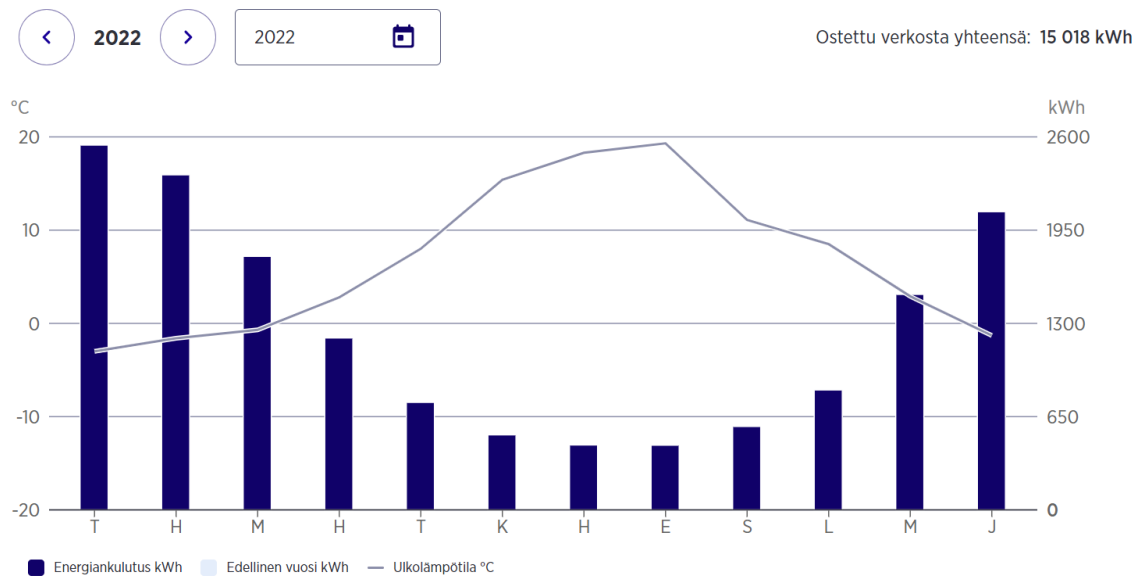
Lasketaan seuraavaksi arviot kohteen vuotuisista sähkönkulutuksista kaavalla 13.

$$E_{Vuosi,normaali} = \frac{114,40 \frac{W}{K} \cdot 24 h \cdot 5309,3 \text{ }^{\circ}\text{Cvrk}}{1000} = 14577,21 \text{ kWh} \approx 14577 \text{ kWh}$$

$$E_{Vuosi,tyhjä} = \frac{102,31 \frac{W}{K} \cdot 24 h \cdot 5309,3 \text{ }^{\circ}\text{Cvrk}}{1000} = 13036,67 \text{ kWh} \approx 13037 \text{ kWh}$$

Vuotuisiksi sähkönkulutusarvioiksi saatiin normaalikäytössä 14577 kWh ja tyhjilään ollessa 13037 kWh.

Vuonna 2022 kohteen todellinen vuotuinen sähkönkulutus oli 15018 kWh (Kuva 24), josta vähennetään autotallin vuotuinen 1000 kWh sähkönkulutus. Täten talon vuotuinen sähkönkulutus on 14018 kWh.



Kuva 24. Kohteen toteutunut vuotuinen sähkönkulutus.

5.5 Energiatodistuksen laadinta

Kohderakennukseen tehdään energiatodistus (Liite 1), jolla saadaan selvitettyä kohteen E-luku sekä ympäristöministeriön vaatimusten mukaan laskettu

vuotuinen sähkönkulutus. Energiatodistuksen laatimiseen käytetään laskenta-palvelut.fi:n (2024) Olemassa olevan rakennuksen energiatodistus-laskuria.

Energiatodistuksella saadaan kohteen E-luvuksi $136 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{vuosi}$, joka vastaa energiatehokkuusluokkaa C_{2018} ja vuotuiseksi sähkönkulutukseksi 18591 kWh .

6 Mittaustulosten tarkastelu ja vuotuisen energiantarpeen arviointi

Tässä luvussa tarkastellaan mittauksista saatuja tuloksia ja pohditaan niiden realistisuutta.

Kohteeseen suoritettun tiiveysmittauksen perusteella saatiin laskettua q_{50} -luvuksi $1,98 \frac{\text{m}^3}{\text{hm}^2}$ ja n_{50} -luvuksi $1,87 \frac{1}{\text{h}}$. Vastaavien 1,5–2-kerroksisten omakotitalojen q_{50} -luvun keskiarvo on $3,0 \frac{\text{m}^3}{\text{hm}^2}$, sekä n_{50} -luvun keskiarvo on $2,5 \frac{1}{\text{h}}$ (Kuva 3). Kohteesta mitatut tiiveysluvut asettuvat keskiarvojen alapuolelle. Täten voidaan todeta, että kohderakennus tiiviimpi kuin vastaavat saman ikäluokan omakotitalot keskiarvoisesti.

Kohteeseen suoritettiin tiiveysmittauksen yhteydessä lämpökuvaus. Lämpökuvaus helpottaa paikantamaan rakennuksessa olevat mahdolliset merkittävät il-mavuodot, esimerkiksi mikäli esimerkiksi kohteen tiiveyttä halutaan parantaa.

Lämpökuvauksessa havaitut viileät kohdat vastaavat tyypillisiä omakotitalon il-manvuotokohtia. Kuvassa 14 näkyy il-mavuotokohta pistorasia juuressa sekä lat-tian rajassa. Pistorasian juuressa näkyvä vuotokohta selittyy todennäköisesti huolimattomasti tiivistetyllä höyrynsulun läpiviennillä, sillä vastaavia vuotokohtia näkyi myös muiden pistorasioiden kohdalla sekä yläkerran kahden korvausilma-venttiilin juuressa (Kuva 15). Seinän ja lattian rajassa näkyvä viileä kohta voi ainakin osittain selittyä siinä sijaitsevasta talon elementtisaumasta. Vastaavia

seinän ja lattian välisiä vuotokohtia löytyi myös muista elementtisaumojen kohdista.

Portaikon ulkonurkan viileät kohdat näkyvät kuvassa 16. Kuvassa näkyvässä viileimmässä kohdassa on pistorasia kuten kuvassa 14. Muut kuvassa 16 näkyvät viileät kohdat selittyvät nurkissa olevina kylmäsiltoina tai mahdollisesti nurkien vähäisemmällä eristyksellä.

Siipipyöranemometrillä mitattuna rakennuksen kokonaispoistoilmamääräksi saatiin $55 \frac{l}{s}$. Saadun mittaustuloksen perusteella voidaan laskea, että rakennuksen sisäilma vaihtuu noin kerran kahdessa tunnissa, mikä on myös ympäristöministeriön (2019) määräysten mukainen.

Kohteeseen järjestettiin kaksi sähkönkulutuksen mittausjaksoa, joiden sähkönkulutuksen perusteella saatiin laskettua kohteen lämmityksen ylläpitämiseen tarvittava teho $P_{Lämmitys}$ yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden. Rakennuksen normaalikäytön testijakson perusteella lämmityksen ylläpitämiseen tarvittiin noin 114 wattia yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden, kun taas tyhjiällä on olon testijakson perusteella vastaava arvo oli noin 102 wattia yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden. Näiden ja astapäiväluvun avulla saatiin arvioitua kohteen vuotuinen sähkönkulutus, joiksi saatiin noin 14577 kWh normaalikäytössä ja 13037 kWh tyhjiällä ollessa.

Kun laskettuja tuloksia verrataan vuoden 2022 toteutuneeseen sähkönkulutukseen, joka oli noin 14018 kWh, voidaan huomata, että normaalikäytön testijakson perusteella laskettu vuotuinen sähkönkulutus osuu melko lähelle toteutunutta vuotuista sähkönkulutusta. Normaalikäytön testijakson perusteella laskettu arvio vuotuisesta sähkönkulutuksesta on noin 559 kWh suurempi kuin toteutunut, kun taas tyhjiällä on olon testijakson perusteella laskettu vuotuinen sähkönkulutus jää noin 981 kWh vajaan toteutuneesta kulutuksesta. Normaalikäytön testijakson tuloksen poikkeama toteutuneeseen sähkönkulutukseen voidaan tulkita mittausvirheeksi. Tyhjiällä on olon testijakson perusteella laskettu vuotuinen sähkönkulutus jää toteutunutta kulutusta reilusti vähäisemmäksi, mikä

selittyy ainakin suurimmaksi osaksi sillä, että testijakson aikana ei kulutettu lämmintä käyttövettä eikä ulko-ovien availusta syntynyt lämpöhäviöitä.

Tutkimuksessa tehdyn kohteen energiatodistuksen (Liite 1, s. 2) perusteella sähköä kuluisi vuodessa 18591 *kWh*, joka eroaa toteutuneesta kulutuksesta 4573 *kWh*.

Seuraavaksi hyödynnetään mitattuja arvoja, joiden avulla tehdään päivitetty lämpötaloudellinen selvitys (Liite 3). Koska talonvalmistajan lämpötaloudellisessa selvityksessä (Liite 2), esimerkiksi poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuuteena on käytetty silloista ympäristöministeriön ohjearvoa 30 % (Taulukko 4), lasketaan kohteen poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhteelle todennäköisempi arvo ympäristöministeriön poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhteen PILP-laskurilla (Ympäristöministeriö 2018). Päivitetään lämpötaloudelliseen selvitykseen myös mitattu poistoilmamäärä sekä laskettu vuotoilmamäärä.

Tutkimuksessa mitattiin rakennuksen tiiveyttä kuvaavaksi q_{50} -luvuksi $1,98 \frac{m^3}{hm^2}$. Luvussa 3.2 käytettiin mitattua q_{50} -lukua rakennuksen lämpötaloudellisessa selvityksessä tarvittavan vuotoilmamäärän $q_{v,vuotoilma}$ laskemiseen, joka laskettiin ympäristöministeriön kaavalla 10. Kohteen vuotoilmamääräksi saatiin $0,0085 \frac{m^3}{s} = 8,5 \frac{l}{s}$, joka on laskettu luvun 3.2 esimerkissä 2. Sijoitetaan saatu arvo paranneltuun lämpötaloudelliseen selvitykseen (Kuva 25, ympyröity oranssilla).

Tutkimuksessa mitattiin rakennuksen poistoilmamääräksi $55 \frac{l}{s}$ (Kuva 25, ympyröity keltaisella), joka näkyy päivitetyn lämpötaloudellisen selvityksen otteessa (Kuva 25). Alkuperäisessä lämpötaloudellisessa selvityksessä on ilmanvaihdon poistoilmavirraksi merkitty $77 \frac{l}{s}$ (Kuva 26).

Lasketaan kohteen poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhde mitatulla poistoilmamäärällä hyödyntäen ympäristöministeriön (2018) PILP-laskuria. Laskuriin vaaditut arvot saatiin talonvalmistajan ilmoittamista tiedoista ja PILP:n

kompressorin teho valmistajan ilmoittamista laitteen teknisistä tiedoista. Laskurilla PILP:n vuosihyötysuhteeksi saatiin 77,7 % \approx 78 % (Liite 4). Saatu vuosihyötysuhde sijoitetaan kohteen päivitettyyn lämpötaloudelliseen selvitykseen (Kuva 25, ympyröity sinisellä).

Ilmanvaihto	LTO:n vuosihyötysuhde,		Ominaislämpöhäviöt, W/K [$1,2 \cdot 1000 \cdot qv \cdot (1 - \eta)$]
	Ilmavirta m ³ /s [qv]	% [η a]	
Lämpimät tilat	0,055	78	14,52
Vuotoilmanvaihto (vuotoilmanvaihtokerroin on 0,1 1/h)			
Lämpimät tilat	0,0085		10,2
Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä			122,054

Kuva 25. Ote liitteestä 3.

Kuvassa 25 on ote päivitetystä lämpötaloudellisesta selvityksestä, jossa on ympyröity päivitetyt arvot.

Arvioidaan päivitetyn lämpötaloudellisen selvityksen avulla saatujen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöiden summan $122,054 \frac{W}{K}$ sekä aste-päiväluvun avulla kohteen vuotuinen sähkönkulutus kaavalla 13.

$$E_{\text{vuosi,päivitetty}} = \frac{122,054 \frac{W}{K} \cdot 24h \cdot 5309,3^{\circ}C_{vrk}}{1000} = 15552,51 \text{ kWh} \approx 15553 \text{ kWh}$$

Päivitetyn lämpötaloudellisen selvityksen avulla arvioiduksi vuotuiseksi sähkönkulutukseksi saadaan noin 15553 kWh, joka eroaa toteutuneesta kulutuksesta 1535 kWh.

ILMANVAIHTO	Ilmavirta m ³ /s [qv]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [ηa]		Ominaislämpöhäviöt, W/K [1.2*1000*qv*(1-ηa)]	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,077		30	30	64,7	64,7
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)			0	0	-	-
Puolilämpimät tilat			30		-	-
Vuotoilmanvaihto (vuotoilmanvaihtokerroin on 0,1-1/h)						
Lämpimät tilat	0,011				12,6	12,6
Puolilämpimät tilat					-	-
3. Laajennettu lämpöhäviöiden tasaus						
Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä					184,1	174,614

Kuva 26. Ote liitteestä 2.

Alkuperäisen lämpötaloudellisen selvityksen otteesta (Kuva 26) on ympyröity vastaavat arvot, joita muutettiin päivitettyyn lämpötaloudelliseen selvitykseen.

Arvioidaan alkuperäisen lämpötaloudellisen selvityksen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöiden summan $174,614 \frac{W}{K}$ sekä astepäiväluvun avulla kohteen vuotuinen sähkönkulutus kaavalla 13.

$$E_{Vuosi,alkup.} = \frac{174,614 \frac{W}{K} \cdot 24h \cdot 5309,3^{\circ}Cvirk}{1000} = 22249,87 kWh \approx 22250 kWh$$

Alkuperäisen lämpötaloudellisen selvityksen avulla arvioiduksi vuotuiseksi sähkönkulutukseksi saadaan noin $22250 kWh$, joka eroaa toteutuneesta kulutuksesta $8232 kWh$.

7 Pohdintaa energiantarpeen arvioinnista

Luvussa 6 lasketut lämmityksen ylläpitämiseen tarvittavat tehot yhtä lämpötilaeroastetta kohden ja niillä lasketut vuotuiset sähkönkulutukset sekä niiden erot toteutuneesta sähkönkulutuksesta on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Laskennalliset vuotuiset sähkönkulutukset.

Mittaustapa	Lämmityksen ylläpitämiseen tarvittava teho yhtä lämpötilaeroastetta kohden, $P_{Lämmitys}$ [W/K]	Vuotuinen sähkönkulutus, [kWh]	Ero toteutuneesta sähkönkulutuksesta, [kWh]
Testijakso, normaalitalanne	114	14577	559
Testijakso, tyhjillään	102	13037	-981
Päivitetty lämpötaloudellinen selvitys	122	15553	1535
Alkuperäinen lämpötaloudellinen selvitys	175	22250	8232
Energiatodistus	-	18591	4573
<i>Toteutunut</i>		<i>14018</i>	

Lähimmäksi kohteen toteutunutta vuotuista sähkönkulutusta päästin normaalin käytön testijakson laskentatuloksella. Tulos on todenmukaisin, sillä se vastaa parhaiten rakennusta todellista käyttötilannetta. Toisaalta tämä pitää sisällään oletuksen, että rakennus on ympäri vuoden samanlaisessa käytössä, kuin testijakson aikana.

Toiseksi lähimmäksi toteutunutta sähkönkulutusta päästiin tyhjillään olon testijakson laskentatuloksella, joka on ainoa todellista sähkönkulutusta pienemmäksi arvioiva laskentatapa. Arvion todenmukaisuutta pienempi sähkönkulutus johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että tyhjillään olon testijakso ei ota huomioon lämpimän käyttöveden kulutusta. Toisaalta tyhjillään olon testijakson arvioima sähkönkulutus ilmaisee parhaiten vain rakenteiden lämpimänä pitämiseen ja ilmanvaihdon ylläpitämiseen tarvittavan energian.

Lämpötaloudellisten selvitysten mukaan laskettujen vuotuisten sähkönkulutusten välillä on merkittävä ero. Vaikka lämpötaloudellisten selvitykset eivät huomio esimerkiksi lämpimän käyttöveden tarvitsemaa energiaa, niin päivitetyllä lämpötaloudellisella selvityksellä päästään jo suhteellisen lähelle todellista vuotuista

sähkönkulutusta. Lämpötaloudellisten selvitysten avulla laskettujen vuotuisten sähkönkulutusten välinen ero johtuu osittain lämpötaloudellisten selvitysten ilmanvaihdon sekä vuotoilmamäärän arvojen eroista. Merkittävin ero sekä lämpötaloudellisten selvitysten välille että todelliseen sähkönkulutukseen syntyy PILP:n vuosihyötysuhteena käytetystä arvosta, joka eroaa alkuperäisen ja päivitetyn lämpötaloudellisen selvityksen välillä lähes 50 prosenttiyksikköä.

Energiatodistuksen laskema vuotuinen sähkönkulutus eroaa alkuperäisen lämpötaloudellisen selvityksen mukaan lasketun sähkönkulutuksen tavoin merkittävästi toteutuneesta sähkönkulutuksesta, vaikka energiatodistus huomioi muun muassa lämpimän käyttöveden kulutuksen, toisin kuin lämpötaloudelliset selvitykset.

Tutkimuksen mukaan toteutuvaa vuotuista sähkönkulutusta voidaan arvioida parhaiten normaalin käytön testijakson avulla. Vaikka tulos on todenmukaisin, sitä ei voida käyttää virallisissa asiakirjoissa kuten energiatodistuksessa. Toisaalta sitä voidaan hyödyntää rakennuksen kuntoarviossa (Rakennustieto 2019), jossa energiankulutusta ei tarvitse määrittää ympäristöministeriön laskentaohjeen mukaan, vaan se voi perustua esimerkiksi toteutuneen kulutuksen mittaukseen. Lisäksi tällä tavoin arvioitua sähkönkulutusta voi hyödyntää oman talouden ennustamiseen.

Kun rakennus myydään, vuokrataan tai sille haetaan rakennuslupaa, on sille hankittava virallinen ympäristöministeriön ohjeiden mukaan laadittu energiatodistus (Finlex 2017). Vaikka testijaksolla mitattu sähkönkulutus olisi tarkempi kuin energiatodistuksen ilmoittama rakennuksen vuotuinen sähkönkulutus, tulee silti käyttää ympäristöministeriön hyväksymää energiankulutuksen laskentatapaa, kuten energiatodistusta.

Tutkimusta voisi kehittää testaamalla tämän tutkimuksen mittausjaksomenetelmää myös muissa rakennustyypeissä esimerkiksi kerrostaloissa sekä varasto- ja teollisuusrakennuksissa.

Koska tämän tutkimuksen mittausjaksomenetelmään perustuvalla arviolla vuotuisesta sähkönkulutuksesta päästiin huomattavasti lähimmäksi toteutunutta, tutkimusta voisi jatkaa, selvittämällä soveltuuko rakennuksen normaalissa käytössä mitattu rakennuksen tarvitsema teho yhtä sisä- ja ulkolämpötilaeroastetta kohden (W/K-lukema) esitettäväksi esimerkiksi E-luvun rinnalla.

Toisaalta normaalissa käytössä mitattuun W/K-lukemaan vaikuttavat jonkin verran rakennuksen käyttäjätottumukset, jolloin lukema saattaisi vaihdella rakennuksen käyttäjistä riippuen, kun taas E-luku ei huomioi rakennuksen käyttäjätottumuksia. Lisäksi W/K-lukema ei ole sidonnainen rakennuksen pinta-alaan, vaan se kuvaa suoraan rakennuksen tarvitsemaa lämmitystehoa koosta riippumatta, kun taas E-luku kuvaa rakennuksen vuotuista sähkönkulutusta neliötä kohden energiamuodon painokertoimet huomioiden.

8 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli käsitellä omakotitalon lämpöhäviöitä ja energiatehokkuutta laskemalla ja kokeellisin menetelmin sekä arvioida sen vuotuista energiantarvetta eri tavoin.

Aluksi aihetta käsiteltiin teoreettisella tasolla, jonka jälkeen toteutettiin tiiveysmittaus, lämpökuvauus sekä poistoilmamäärämittaus. Kohteeseen suoritettiin kaksi sähkönkulutuksen testijaksoa, yksi normaalikäytössä ja toinen kun rakennus oli tyhjillään. Lisäksi vuotuista sähkönkulutusta arvioitiin lämpötaloudellisten selvityksen ja testijaksoilla saatujen arvojen pohjalta sekä laatimalla energiatoistos.

Tutkimuksen mukaan omakotitalon vuotuista energiankulutusta pystyttiin parhaiten arvioimaan normaalin käytön testijakson aikana kuluneen sähkön perusteella. Lyhyellä testijaksolla voidaan helposti saada suhteellisen tarkka arvio koko vuoden sähkönkulutuksesta. Tätä tapaa voidaan hyödyntää esimerkiksi

rakennuksen kuntoarvion energiatalouden selvityksessä tai talon omistajan omaksi tiedoksi.

Mikäli energiankulutuksesta tarvitaan virallinen dokumentti, esimerkiksi rakennuslupaa tai rakennuksen myyntiä varten, on käytettävä ympäristöministeriön vaatimusten mukaista laskentatapaa. Esimerkiksi liitteen 1 mukainen energiatoistus, jossa ilmoitetaan myös rakennuksen E-luku, täyttää ympäristöministeriön asettamat vaatimukset.

Lähteet

Energiatehokas koti 2024. Lämmitys.

Finlex 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta (20.12.2017/1048). [Luettu: 20.4.2024]

Ilmatieteenlaitos 2024. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. [Luettu 29.4.2024]

Laskentapalvelut.fi 2024. Olemassa olevan rakennuksen energiatodistus.

Motiva 2024. Energiatehokas pientalo. [Luettu 2.5.2024]

NIBE. Asennus- ja hoito-ohjeet FIGHTER 310P.

Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Paloniitty, S., Paloniitty, J. & Haimilahti, J. 2016. Lämpökuvaus rakentamisessa. Vaasa: Rakennustieto.

Perälä, R. 2009. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Tallinna: Alfamer Oy.

Rakennukset 2023. Eri ilmanvaihtojärjestelmät. [Luettu 2.5.2024]

Rakennustieto 2019. Kiinteistön kuntoarvio. RT 103098

Rakentaja.fi 2010. Käyttötottumukset avainasemassa.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Tampere: Rakennustieto Oy

Ympäristöministeriö 2017a. PILP-opas 2018. Poistoilmalämpöpumpun (PILP) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten.

Ympäristöministeriö 2017b. Tasauslaskentaopas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen.

Ympäristöministeriö 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma. PILP-laskin 2018.

Ympäristöministeriö 2019. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen.

Ympäristöministeriö 2024. Rakennusten energiatehokkuus. [Luettu: 20.4.2024]

Kohteen energiatodistus

ENERGIATODISTUS 2018

LUONNOSVERSIO - virallinen todistus ARA:n valvontajärjestelmästä

Rakennuksen nimi ja osoite: **Omakotitalo**

Pysyvä rakennustunnus:

Rakennuksen valmistumisvuosi: **2006**

Rakennuksen käyttötarkoitukseluokka:
Pientalo

Todistustunnus:

Energiatodistus on laadittu:

Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivänmäärä: **03.05.2024**

	Energiatohokkuusluokka
A	
B	
C	← C 2018
D	
E	
F	
G	

Rakennuksen laskennallinen energiatohokkuuden vertailuluku eli E-luku	kWh _E /m ² vuosi	136
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus (Huom! Ylläoleva on 2018 säädösten vaatimustaso mahdolliset helpotukset huomioiden)		109

Todistuksen laatija:
Markus Pitkäniemi

Yritys:
-

Sähköinen allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:
06.05.2024

Viimeinen voimassaolopäivä:
06.05.2034

Huom! Todistuksessa esitetyt lukuja/laskentatuloksia ei tule käyttää Lämpöpumppujen/lämmitysjärjestelmän valintaan.

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA													
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)													
Lämmitetty nettoala, m ²	165												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Poistoilmalämpöpumppu Nibe F310 / (55.0 L/s)												
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Nibe F310 (poisto)												
Käytettävä energiamuoto	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus									
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)			kWhE/(m ² vuosi)								
Sähkö	18591	113	1.20	135.2									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	3468	21.0											
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				136									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokitteluasteikko	Erilliset pientalot												
Luokkien rajat asteikolla	<table border="0"> <tr> <td>A: ... 79</td> <td>B: 80 ... 124</td> <td>C: 125 ... 161</td> </tr> <tr> <td>D: 162 ... 241</td> <td>E: 242 ... 371</td> <td>F: 372 ... 441</td> </tr> <tr> <td>G: 442 ...</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A: ... 79	B: 80 ... 124	C: 125 ... 161	D: 162 ... 241	E: 242 ... 371	F: 372 ... 441	G: 442 ...		
A: ... 79	B: 80 ... 124	C: 125 ... 161											
D: 162 ... 241	E: 242 ... 371	F: 372 ... 441											
G: 442 ...													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	C												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													
TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI													
Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)													
<p>Suosituksot on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".</p>													

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Pientalo (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2006	Lämmitetty nettoala	165	m ²
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q50	1.98	m ³ /(h m ²)		
	A m ²	U W/(m ² K)	UxA W/K	Osuus lämpöhäviöstä %
Ulkoseinät	141.40	0.22	31.11	27.12
Yläpohja	109.80	0.15	16.47	14.36
Alapohja	101.50	0.23	23.35	20.35
Ikkunat	20.90	1.20	25.08	21.86
Ulko-ovet	6.00	1.00	6.00	5.23
Kylmäsiilat	-	-	12.72	11.09
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A m ²	U W/(m ² K)	g_{kohtisuora}-arvo	
Pohjoinen	2.00	1.20	0.56	
Itä	8.45	1.20	0.56	
Etelä	2.00	1.20	0.56	
Länsi	8.45	1.20	0.56	
Koillinen	-	-	-	
Kaakko	-	-	-	
Lounas				
Luode				
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	Nibe F310 (poisto)			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto
Pääilmavaihtokoneet	0.000 / 0.066	1.5	-	C
Erillispoistot			>70	5.00
Ilmanvaihtojärjestelmä	0.000 / 0.066	1.5	-	
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:		78 %		
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Poistoilmalämpöpumppu Nibe F310 / (55.0 L/s)			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin (1)	Apulaitteiden sähkönkäyttö (2) kWh/(m ² vuosi)
Tilojen ja iv:n lämmitys	-	80 %	3.54	2.50
LKV:n valmistus		85 %	3.54	0.00
(1) vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
(2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija				
Ilmalämpöpumppu				
Jäähdytysjärjestelmä				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä	-			
Lämmin käyttövesi				
	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
Lämmin käyttövesi	436.00	25		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
Henkilöt ja kuluttajalaitteet	-	2.00	3.00	
Valaistus	60 % 10 %			6.00

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Pientalo (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2006			
Lämmitetty nettoala, m ²	165			
E-luku, kWhE/(m²vuosi)	136			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWhE/vuosi	kWhE/(m ² vuosi)
Sähkö	18591	1.20	22309	135.2
YHTEENSÄ	18591		22309	135.2
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys (1)		2.5	148.9	
Tuloilman lämmitys			32.8	
Lämpimän käyttöveden valmistus				
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus				
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21.0		
YHTEENSÄ		23.5	181.7	0
(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)		19657	119	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)		0	0	
Lämpimän käyttöveden valmistus		4200	25	
Jäähdytys		0	0	
(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa				
(3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko		3399	20.60	
Ihmiset		1734	10.51	
Kuluttajalaitteet		2602	15.77	
Valaistus		867	5.25	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä		237	1.44	
Laskentatyökalun nimi ja versionumero				
Laskentatyökalun nimi ja versionumero	www.laskentapalvelut.fi, versio 1.5 (8.1.2023)			

TOTEUTUNUT ENERGIANKULUTUS

Saatavilla olevat ostoenergian määrät ilmoitetaan sellaisenaan ilman lämmöntarvelukukorjausta.
Ostoenergian määrät ilmoitetaan energiatodistuksen laatimista edeltävältä täydeltä kalenterivuodelta.

Toteutunut ostoenergiankulutus

Lämmitetty nettoala 165 m²

Energiaverkoista ostettu energia

Kokonaissähkö

kWh/vuosi

14018

kWh/(m²vuosi)

84.96

Ostetut polttoaineet (1)

polttoaineen
määrä
vuodessa

yksikkö

muunnos-
kerroin
kWh:ksi

kWh/vuosi

kWh/(m²vuosi)

(1) Selostus ostettujen polttoaineiden määrään arvioinnista (yksikköä vuodessa) tulee esittää kohdassa "Lisämerkintöjä"

Toteutunut ostoenergia yhteensä

Sähkö yhteensä

Kaukolämpö yhteensä

Polttoaineet yhteensä

Kaukojäähdytys

YHTEENSÄ

kWh/vuosi

14018

kWh/(m²vuosi)

84.96


14018

84.96

Toteutunut energiankulutus riippuu mm. rakennuksen käyttäjien lukumäärästä ja käyttötottumuksista, käyttöajoista, sisäisistä kuormista, rakennuksen sijainnista ja vuotuisista sääolosuhteista. Todistusta laadittaessa energiankulutus lasketaan Etelä-Suomen säätedoilla ja siten, että rakennuksen käyttö on vakioitu.

Yllä olevassa taulukossa ilmoitetut luvut saattavat sisältää kulutusta, joka ei sisälly laskennalliseen ostoenergiankulutukseen. Taulukosta voi myös puuttua energiankulutuksia, joiden kulutustietoja ei ollut saatavilla todistusta laadittaessa. Näiden syiden vuoksi toteutunut ostoenergiankulutus ei ole verrattavissa laskennalliseen ostoenergian kulutukseen.

Kohteen alkuperäinen lämpötaloudellinen selvitys

ALVSBYHUS		ISOVER		Versio 1.0.0				
Kohde:								
Suunnittelija/laskija:								
Talotyyppi								
Suunnitteluratkaisu:								
Kompensointi:								
G1: Valoaukon pinta-ala on asuinhuoneissa vähintään 10 % lattia-alasta: on								
Yleistiedot								
Rakennustilavuus	524	rak-m3	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C			
Kerrosala	179	kr-m2	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C			
Lämmin huoneala	165	m2	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C			
Kerroskorkeus	2,7	m	Määräysten mukaiset vaatimusehdot (seuraavalta sivulta):					
Huonekorkeus	2,4	m	Tarkistustapa 1. EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA					
Lämmin ilmatilavuus	393	m3	Tarkistustapa 2. TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET					
Puolilämmin ilmatilavuus		m3						
1. Perusvaatimukset								
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m2		U-arvot, W/(m2*K)			2. Vaipan lämpöhäviöiden taseus		
	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	Perus-ratkaisu	Min	Max	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	
Lämpimät tilat								
Ulkoseinä	141,4	141,4	0,25		0,60	0,22	35,35	31,108
Yläpohja	109,8	109,8	0,16		0,60	0,15	17,568	16,47
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,16		0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	101,5	101,5	0,20		0,60	0,23	16,24	18,676
Alapohja (maanvastainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,25	0,15	0,60	0,22	-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,25		0,60		-	-
Ikkunat	20,9	20,9	1,40		1,80	1,20	29,26	25,08
Ulko-ovet	6,0	6,0	1,40		-	1,00	8,4	6
Kattoikkunat			1,50		1,80		-	-
Puolilämpimät tilat								
Ulkoseinä			0,40		0,60		-	-
Yläpohja			0,30		0,60		-	-
Alapohja			0,30		0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen, matalaper.)			0,36	0,25	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,36		0,60		-	-
Ikkunat			1,80		2,80		-	-
Ulko-ovet			1,80		-		-	-
Lämpimän ja puolilämpimän tilan väliset rakenteet (eivät kuulu rakennuksen vaippaan)								
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45			
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80			
Lämpimät tilat yhteensä	379,6	379,6					106,818	97,334
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-					-	-
ILMANVAIHTO						Ominaislämpöhäviöt, W/K		
	Ilmavirta m3/s [qv]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [ηa]		[1.2*1000*qv*(1-ηa)]			
Hallittu ilmanvaihto	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu		
Lämpimät tilat		0,077	30	30	64,7	64,7		
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)			0	0	-	-		
Puolilämpimät tilat			30		-	-		
Vuotoilmanvaihto (vuotoilmanvaihtokerroin on 0,1 1/h)								
Lämpimät tilat		0,011			12,6	12,6		
Puolilämpimät tilat					-	-		
3. Laajennettu lämpöhäviöiden taseus								
Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä						184,1	174,614	
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä						-	-	
1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan arvolla 0,8 osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.								
								
Lähde: Ympäristöopas 106, Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen								

Kohteen päivitetty lämpötaloudellinen selvitys

Päivitetty lämpötaloudellinen selvitys

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]	U-arvot, W/(m ² *K) [U]	Ominaislämpöhäviöt, W/K [A*U]
Ulkoseinät	141,4	0,22	31,108
Yläpohja	109,8	0,15	16,47
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	101,5	0,23	18,676
Ikkunat	20,9	1,2	25,08
Ulko-ovet	6	1	6
Lämpimät tilat yhteensä			97,334

Ilmanvaihto	Ilmavirta m ³ /s [qv]	LTO:n vuosihyötysuhde, % [η a]	Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2*1000*qv*(1- η a)]
Lämpimät tilat	0,055	78	14,52
Vuotoilmanvaihto (vuotoilmanvaihtokerroin on 0,1 1/h)			
Lämpimät tilat	0,0085		10,2
Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä			122,054

Päivitetyt arvot vihreällä pohjalla

Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

PILP-laskin 2018. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten.

20.4.2024, 20:02

Rakennuskohde	Tutkimuskohde
Rakennuslupatunnus	-
Rakennustyyppi	1,5-kerroksinen pientalo
Pääsuunnittelija	-
Laskelman tekijä	Markus Pitkäniemi
Päiväys	20.4.2024

Laskentataulukko, jolla voidaan laskea lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, \text{PILP}}$).

Tällä voidaan laskea myös PILP:n ja LTO-lämmönsiirtimen yhdistelmä ja pelkkä LTO-lämmönsiirratkaisu.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Ulkoilmavirta m ³ /s	Poistoilmavirta m ³ /s
PILP	Koko rakennus	jatkuva käyttö	0,000	0,055

Rakennuksen tiedot

Rakennuksen käyttötarkoitukseluokka (1 - 9)	1
Lämmitetty nettoala	165,0 m ²
Ilmanvaihdon käyttöaika vuorokaudessa	24 h/vrk
Ilmanvaihdon käyttöaika viikossa	7 vrk/viikko
Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö	106,0 W/K
Rakennuksen muu vakiolämmitystarve	0,0 W

Sisäiset lämpökuormat käyttöaikana

Lämpökuorma valaistuksesta	0,6 W/m ²
Lämpökuorma kuluttajalaitteista	1,8 W/m ²
Lämpökuorma ihmisistä	1,2 W/m ²
Sisäiset lämpökuormat yhteensä	594 W

Auringon lämpökuorma

Ikkunoiden tiedot ilmansuunnittain	Pinta-ala, m ²	g-arvo	F _{lämpäisy}
Pohjoinen	2	0,5	0,720
Koillinen			
Itä	8,45	0,5	0,623
Kaakko			
Etelä	2	0,5	0,570
Lounas			
Länsi	8,45	0,5	0,623
Luode			
Yhteensä	20,9		
Auringon lämpökuorma käyttöaikana keskimäärin			242 W

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöä käytetään käyttöveden lämmittämiseen:

Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus	21,0 kWh/m ² /a
Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämpöhäviöenergia	350,0 kWh/a

Poistoilmalämpöpumpun tiedot:

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin, COP	3,00
Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähköteho	550 W

2. Höyrystin poistoilmassa ennen LTO:a tai ilman LTO:a

2. Lauhdutin on varaajassa

Ulkoilmavirran suhde poistoilmavirtaan PILP:ssa	0,00
---	------

LTO-lämmönsiirtimen tiedot:

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,00
Tuloilman lämpötilasuhde	0,00
Poistoilman lämpötilasuhde	0,00

Lämpötilat:

Huoneilman eli poistoilman lämpötila	21,0 °C
Poistoilman minimilämpötila LTO:n jäätymissuojauksessa	0,0 °C
Poistoilman minimilämpötila PILP:n jäätymissuojauksessa	0,0 °C
Tuloilman jälkilämmityksen asetuslämpötila	0,0 °C
Tuloilman jälkilämmitys PILP-varaajasta (1 = kyllä, 0 = ei)	0

Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, \text{PILP}}$)

Säävyöhyke

I Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	77,7 %
---------------------------------------	--------

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähkönkulutus	3 191 kWh/lämmityskausi
--	-------------------------