

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Talotekniikan koulutusohjelma

Joel Ikonen

Hiilidioksidipäästöjen arviointi LVI-kuntoarvion yhteydessä

Opinnäytetyö
Syyskuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2019
Talotekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Joel Ikonen

Nimeke
Hiilidioksidipäästöjen arviointi LVI-kuntoarvion yhteydessä

Toimeksiantaja
CTS Engtec Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli arvioida tiettyjen saneeraustoimenpiteiden vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin tyypillisissä suomalaisissa kiinteistöissä. Rakennuskanta alkaa vanhentua Suomessa ja vanhojen kiinteistöjen energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys ovat nykypäivän mittapuulla huonoja. Saneeraamalla on kuitenkin mahdollista parantaa näitä ominaisuuksia.

Kiinteistöjen ja niihin tehtävien saneerauksien hiilidioksidipäästöarvioita varten oli aluksi laskettava tai mitattava kiinteistön energiankulutus. Energian kulutus ja saneerauksen vaikutukset siihen oli syytä laskea yksityiskohtaisesti, sillä niiden perusteella saadaan selville kiinteistön hiilidioksidipäästöt. Hiilidioksidipäästöihin vaikuttaa, millä tavalla kiinteistön käyttämä energia on tuotettu, joten opinnäytetyössä myös tutkittiin eri energiantuotantotapojen hiilidioksidipäästöjen suuruuksia.

Valitut kolme saneeraustoimenpidettä, joiden vaikutuksia kiinteistöjen hiilidioksidipäästöihin tutkittiin, olivat poistoilmalämpöpumpun lisääminen kaukolämpökiinteistöön, öljylämmityksen vaihtaminen maalämpöön sekä jäteveden lämmöntalteenottimen lisääminen käyttöveden esilämmittimeksi kaukolämpökiinteistöön. Saatuja tuloksia verrattiin henkilöautojen päästöihin ja tulokset esitettiin myös ajokilometreinä. Lisäksi hiilidioksidipäästöjen suhteellista muutosta verrattiin saneerauksien suhteelliseen vaikutukseen kiinteistön E-lukuun.

Kieli
suomi

Sivuja 57
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat
hiilidioksidipäästöt, kiinteistöt, saneeraus



THESIS
September 2019
Degree Programme in Building
Services Engineering
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 013 260 600

Author
Joel Ikonen

Title
Estimation of Carbon Dioxide Emissions in Connection with HVAC condition Assessment

Commissioned by
CTS Engtec Oy

Abstract

The aim in this thesis was to estimate the effects of certain renovation projects on a buildings' carbon dioxide emissions in typical Finnish buildings. The building stock in Finland is getting old and the energy efficiency and environmental friendliness of the buildings are poor by the current standard. However, it is possible to improve these features by renovating.

To estimate the effects of renovation projects on carbon dioxide emissions you must first calculate or measure the building's energy consumption. Energy consumption must be estimated in detail because it forms the basis for the estimation of carbon dioxide emissions. Carbon dioxide emissions come from the production of energy that the buildings use so the carbon dioxide emissions of different ways to produce energy were also studied in this thesis.

The three chosen renovation projects the effects of which on buildings' carbon dioxide emissions were estimated are the following: adding exhaust air heat pump to district heated building, changing oil heating system to geothermal heating system and using sewage heat recovery to pre-warm domestic water in a district heated building. The results were compared to emissions of cars and presented in kilometers driven. In addition, the relative change in carbon dioxide emissions was compared to relative change in buildings' energy class.

Language
Finnish

Pages 57
Appendices 1
Pages of Appendices 1

Keywords
carbon dioxide emissions, real estate, renovation

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Toteutusmenetelmä	7
3	Esimerkkikiinteistö	8
3.1	Esimerkkikiinteistön muodostaminen	8
3.2	Esimerkkikiinteistön lämpöenergian tarve	9
3.2.1	Tilojen lämpöhäviöt	9
3.2.2	Käyttöveden lämpöenergian tarve	12
4	Hiilidioksidipäästöjen laskenta	14
5	PILP:n vaikutus kiinteistön energiankäyttöön	16
5.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate	17
5.2	Kaukolämpölaitteisto	17
5.3	Kaukolämmön ja PILP:n yhdistäminen	18
5.4	PILP:n kytkentä kaukolämmön rinnalle	18
5.5	Yksityiskohtainen laskentamalli PILP:n energiantuotolle ja -käytölle ..	19
5.5.1	Poistoilmasta saatava lämpöenergia	19
5.5.2	Rakennuksen lämmitykseen tarvittava lämpöenergia eri lämpötilaväleillä	21
5.5.3	Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia vuodessa	24
5.5.4	Lämpöpumpun käyttämä ostosähkö vuodessa	25
5.6	PILP:n vaikutus esimerkkikiinteistön energian käyttöön	25
6	Maalämpöjärjestelmän vaikutus öljylämmitteisen kiinteistön energiankäyttöön	28
6.1	Öljylämmitysjärjestelmä	28
6.2	Maalämpöjärjestelmä	29
6.3	Yksityiskohtainen laskentamalli maalämmöstä saatavalle energialle ..	31
6.3.1	Lämmitysenergian tarve lämpötilaväleittäin	31
6.3.2	Lämpökertoimet lämpötilaväleille	32
6.3.3	Tehomitoituspiste ja lisälämmitys	33
6.3.4	Maalämpöpumpun käyttämä ostosähkö vuodessa	34
6.4	Maalämpöpumpun vaikutus esimerkkikiinteistön energian käyttöön ..	34
7	Jäteveden LTO:n vaikutus kiinteistön energiankäyttöön	37
7.1	Jäteveden lämmöntalteenottolaitteistojen toiminta	38
7.2	Jäteveden lämmöntalteenoton tehomitoitus	39
7.3	Jäteveden LTO:n vaikutus esimerkkikiinteistön energiankäyttöön	40
8	Saneerauksien tuomat muutokset kiinteistöjen hiilidioksidipäästöihin esimerkkikiinteistössä	43
8.1	PILP:n säästämät hiilidioksidipäästöt vuodessa	43
8.2	Maalämmön tuomat säästöt öljylämmitteisessä kiinteistössä	44
8.3	Jäteveden lämmöntalteenoton tuomat säästöt kiinteistössä	45
8.4	Saneeraustoimenpiteiden päästövaikutusten vertaileminen	45
9	Saneeraustoimenpiteiden vaikutukset kiinteistön E-lukuun	46
9.1	Esimerkkikiinteistön E-luku	47
9.2	PILP:n lisäämisen vaikutus e-lukuun	49
9.3	Maalämpöpumpun lisääminen kiinteistöön	49
9.4	Jäteveden lämmöntalteenoton käyttöveden esilämmittimenä	50
9.5	Saneeraustoimenpiteiden e-lukuvaikutusten vertaileminen	50
10	Pohdinta	52

Liitteet

Liite 1 Sää tiedot

Määritelmät

PILP	Poistoilmalämpöpumppu
MLP	Maalämpöpumppu
COP	lämpökerroin
CO ₂	Hiilidioksidi
kWh	kilowattitunti
MWh	megawattitunti

1 Johdanto

Kiinteistönpidon lähtökohtana on aina, että pääoma tuottaa voittoa. Voittoa saadaan, kun kiinteistönpidosta aiheutuvat kustannukset ovat alhaisemmat kuin siitä saatavat tuotot. Kustannukset muodostuvat kiinteistönhoidosta, kunnossapidosta sekä kiinteistön kuluttamasta energiasta. Kiinteistönpidon kannalta olisi siis hyvä, että kustannukset olisivat mahdollisimman pienet, mutta olisi myös tärkeää ajatella, että sen aiheuttama ympäristökuorma olisi mahdollisimman pieni.

Kiinteistöt muodostavatkin merkittävän ympäristökuorman, sillä niiden kuluttaman lämpöenergian tuotto muodostaa pohjoisen sijainnin takia merkittävän osan Suomen hiilidioksidipäästöistä. Lainsäädäntö ohjaa kansallisella sekä Euroopan unionin tasolla uudisrakentamista kohti energiataloudellisempaa suuntaa, mutta se vaikuttaa myös korjausrakentamiseen esimerkiksi verotuksen kautta. Kustannusten ja lainsäädännön lisäksi ilmastovalistus ohjaa ihmisiä suosimaan ympäristöystävällisiä ratkaisuja.

Toimeksiantaja tähän opinnäytetyöhön on CTS Engtec Oy, jonka toimialoja ovat muun muassa LVI-, kone- ja teollisuustekniikan suunnittelu- ja konsultointipalvelut. Yksi yrityksen tuottamista palveluista on kuntoarvioiden tekeminen pääasiassa teollisuuden, taloyhtiöiden ja liikekiinteistöjen sektorille. Kuntoarviossa esitetään aina myös kiinteistössä havaittuihin puutteisiin korjaustoimenpide- ja saneerausehdotukset. Yksi puutteista on myös LVIA-järjestelmien energiatehottomuus, joka on myös elinkaarikustannuksiltaan ongelma, mutta lisäksi se tuottaa turhia hiilidioksidipäästöjä ilmakehään.

Tarkoitus tässä opinnäytetyössä on keskittyä laskemaan tyypillisten saneeraustoimenpiteiden tuomat säästöt kiinteistön hiilidioksidipäästöihin. Saneeraustoimenpiteet, joita tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ovat poistoilmalämpöpumpun lisääminen kaukolämpökiinteistöön, maalämmön lisääminen öljylämmitteiseen kiinteistöön sekä jäteveden lämmöntalteenoton lisääminen kiinteistön käyttöveden esilämmittimeksi. Nämä siksi, että ne ovat melko yleisiä

muutoksia, joita toimeksiantaja yrityksen sekä Lämpökarhu Oy Pasi Tahkolan mukaan kiinteistöissä tullaan tulevaisuudessa tekemään.

2 Toteutusmenetelmä

Opinnäytetyön toteutuksessa pyritään ottamaan huomioon sen mahdollisimman hyvän hyödynnettävyys. Työn on tarkoitus palvella toimeksiantajayritystä yleisellä tasolla eikä vain yhdessä kohteessa ja tämä täytyy ottaa huomioon päästöjen laskentamenetelmiä suunniteltaessa. Tarkoitus on laskea yksityiskohtaisesti saneerauksen tuomat muutokset kiinteistön ostoenergioiden kulutukseen, jotta voidaan saada selville toimenpiteen tuomat muutokset kiinteistön hiilidioksidipäästöihin.

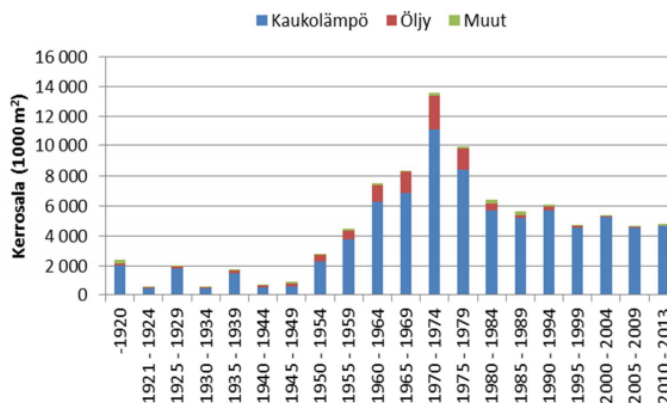
Opinnäytetyössä edetään siten, että siinä esitellään aluksi tarkoitusta varten luotu kuvitteellinen esimerkkikiinteistö, jossa myöhemmin tarkastellaan saneeraustoimenpiteiden vaikutusta sen energian käyttöön ja kulutukseen. Esimerkkikiinteistöä ei ole olemassa ja sen muodostamiseen vaikuttaneet asiat on myös perusteltu sitä käsittelevässä luvussa. Tämän jälkeen käydään läpi eri energiamuotojen tuotannosta syntyvien hiilidioksidipäästöjen teoriaa, jonka jälkeen esitellään saneeraustoimenpiteet tarkemmin ja suoritetaan niiden energialaskennat esimerkkikiinteistössä. Energialaskennan perusteella määritellään ja vertaillaan niiden vaikutuksia kiinteistön hiilidioksidipäästöihin. Lopuksi vertaillaan myös ovatko saneeraustoimenpiteiden vaikutukset hiilidioksidipäästöihin yhdenmukaisia niiden vaikutukseen E-luvun kanssa.

Energialaskennassa käytetään hyväksi poistoilma- ja maalämpöpumpun osalta ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaopasta ja jäteveden lämmöntalteenoton osalta hyödynnetään laitteiden valmistajien antamaa tietoa sekä asiasta tehtyä opinnäytetyötä. Päästölaskennat suoritetaan tilastokeskuksen tietojen sekä Motivan laskentaohjeen perusteella.

Toimeksiantajayritykselle CTS Engtec Oy:lle teen lisäksi laskennasta Excel-taulukko-ohjelmalla työkalun, jotta kuntoarvion tekijän työmäärä vähenee. Taulukkoa ei kuitenkaan esitellä tässä työssä.

3 Esimerkkikiinteistö

Hiilidioksidipäästöjen arviointia varten muodostetaan keksitty esimerkkikiinteistö, jossa saneeraustoimenpiteet suoritetaan. Esimerkkikiinteistö on järkevä muodostaa sillä perusteella ja arviolla, mihin tullaan tekemään tämän tyyppisiä saneerauksia tulevaisuudessa usein. Tällaiset rakennukset ovat usein rakennettu 1970-luvulla, sillä siihen aikaan alkoi suuri massamuutto maaseudulta kaupunkiin, ja rakentamisessa pyrittiin teolliseen sarjatuotantoon. Nyt nämä rakennukset ovat siinä pisteessä, että esimerkiksi niiden lämmitysjärjestelmät olisi aika päivittää ja energiatehokkuutta parantaa. Kuviosta 1 nähdään, kuinka viimeisen sadan vuoden aikana juuri 1970-luvulla on rakennettu eniten, ja että kaukolämpö ja öljylämmitys ovat sen ajan yleisimmät lämmitysmuodot.



Kuvio 1. Rakennusten lämmitysmuoto kerrosaloittain rakennusvuosina [1, 10].

3.1 Esimerkkikiinteistön muodostaminen

Havaintojen perusteella voidaan sanoa, että 1970-luvun kerrostaloissa on yleensä 3-4 kerrosta ja 2-4 porrashuonetta. Tyypillisin huoneistomäärä porrashuoneen kerrosta kohti on kolme tai neljä ja huoneistojen keskimääräinen pinta-ala Suomessa kerrostaloissa on 51 m² [2]. Lisäksi porrashuoneen pinta-ala on

arviolta noin 10 m². Ikkunapinta-ala on ympäristöministeriön asetuksen 127/2018 mukainen 10 % huonealasta [3,5] ja asukkaita kiinteistössä on yhteensä 36. Myöhemmin laskelmissa käytetään seuraavanlaista kiinteistöä:

- 4 kerrosta ja 2 porrashuonetta
- 6 huoneistoa kerrosta kohti
- yhteensä 24 huoneistoa
- kerrospinta-ala: $51\text{m}^2 \cdot 3 \cdot 2 + 2 \cdot 10\text{ m}^2 = 326\text{ m}^2$
- Ikkunapinta-ala $326\text{ m}^2 \cdot 0,1 = 32,6\text{ m}^2$
- Ulko-ovien pinta-ala 4 m²
- kerroshkorkeus 3 m

3.2 Esimerkkikiinteistön lämpöenergian tarve

3.2.1 Tilojen lämpöhäviöt

Tilojen lämpöhäviöiden ja lämmitysenergian tarpeiden kaavat on saatu Suomen rakentamismääräyskokoelman ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaohjeesta” [4]. Lämpöhäviöiden laskemiseksi tarvitaan tieto rakennuksen vaipan pinta-alasta ja lämmönjohtavuudesta sekä vuotoilman määrästä. Näiden avulla lasketaan rakennuksen ominaislämpöhäviö.

Vaipan pinta-ala voidaan laskea kerrospinta-alan ja rakennuksen sivujen suhteiden perusteella. Oletetaan laskussa, että rakennuksen sivujen pituuksien välinen suhde on 1:3, jolloin niiden pituus saadaan laskettua pinta-alasta johdetulla kaavalla 1.

$$A_{\text{kerros}} = 1L \cdot 3L \rightarrow L = \sqrt{\frac{A_{\text{kerros}}}{3}} \quad (1)$$

missä

L sivun pituus [m]

A_{kerros} kerros pinta-ala [m²]

Esimerkki kiinteistössä tämä tarkoittaa, että lyhyemmän sivun pituus on

$$L = \sqrt{\frac{326 \text{ m}^2}{3}} \approx 10,4 \text{ m, jolloin pidemmän sivun pituus on } 3 \cdot 10,4 \text{ m} \approx 31,2 \text{ m}$$

Ulkoseinien pinta-ala on tällöin $2 \cdot 10,4 \text{ m} \cdot 3 \cdot 4 + 2 \cdot 31,2 \text{ m} \cdot 3 \cdot 4 \approx 998,4 \text{ m}^2$

Kiinteistön lämpöenergian tarve lasketaan rakenteiden lämmönjohtavuuden avulla. Eri rakenteilla on lämmönläpäisykertoimensa eli U-arvonsa [$\text{W/m}^2\text{K}$]. Koko rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö H_{rak} [W/K] saadaan laskemalla yhteen ulkoseinien, ala- ja yläpohjan sekä ikkunoiden ja ovien ominaislämpöhäviöt H [W/K]. Koneellisella poistoilmalla varustetussa rakennuksessa tähän lisätään vielä korvausilman lämmittämiseen kuluva energia. Rakenteen ominaislämpöhäviön laskentakaava on esitetty kaavassa 2 ja rakenteiden yhteenlaskettu ominaislämpöhäviön laskentakaavassa 4 [4,18]. Korvausilman lämmittämiseen kuluva energia on esitetty kaavassa 3 [4, 25].

$$H = A \cdot U \quad (2)$$

$$H_{\text{korvausi}} = \rho_i \cdot c_i \cdot q_v \quad (3)$$

missä

H	rakenteen ominaislämpöhäviö [W/K]
A	rakenteen pinta-ala [m^2]
H_{korvausi}	tuloilman lämmittämiseen kuluva energia [kWh]
ρ_i	ilman tiheys [kg/m^3]
c_i	ilman ominaislämpökapasiteetti [Ws/kgK]
q_v	tuloilman tilavuusvirta [m^3/s]
U	lämmönläpäisykerroin [$\text{W/m}^2/\text{K}$]

$$H_{\text{rak}} = H_{\text{seinät}} + H_{\text{yläp}} + H_{\text{alap}} + H_{\text{ikkunat}} + H_{\text{ovet}} + H_{\text{korvausi}} \quad (4)$$

Rakenteiden kautta poistuva kokonaislämpöenergia vuodessa lasketaan kaavalla 5 [4, 18], jota varten täytyy tietää myös paikkakuntaakohtaiset vuotuiset astetunnit N.

$$Q_{\text{klit}} = (H_{\text{rak}} \cdot N) / 1000 \quad (5)$$

missä

Q_{jlt} kokonaislämpöenergian tarve [kWh]

N vuoden astetunnit [h]

1000 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Rakenteiden U-arvoina käytän esimerkissä ”Energiatodistusopas 2018 Vanhojen rakennusten tyypillisiä suunnitteluarvoja” [5] mukaisia U-arvoja 1970-luvulta, jotka voidaan lukea ulkoseinien osalta taulukosta 1. Edellä mainitun oppaan mukaan asuinkerrostalon U-arvot 1970-luvulla olivat:

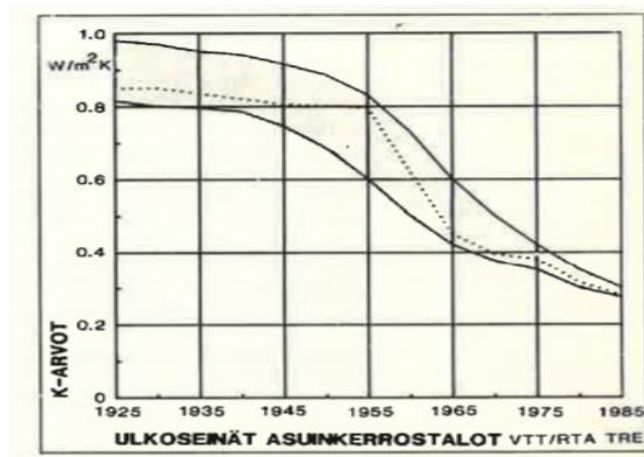
-alapohja 0,35 W/m²K [5, 9]

-yläpohja 0,4 W/m²K [5, 8]

-ikkunat 2,1 W/m²K [5,11]

-ovet 1,4 W/m²K [5,11.]

Taulukko 1. Rakenteiden U-arvot rakentamisvuoden mukaan [5,14.]



Korvausilman lämpöhäviötä varten täytyy tietää sen ilmamäärä aikayksikössä. Se voidaan määrittää poistoilman perusteella, sillä korvausilmaa täytyy tulla saman verran kuin ilmaa poistuu kiinteistöstä. Esimerkkikiinteistön poistoilman

määrä lasketaan jakamalla kiinteistön ilmatilavuus kahdella, sillä ilmanvaihtuvuus on yleensä 0,5 kertaa tunnissa. Poistoilman määrä on silloin kiinteistössä 1,63 m³/h eli 0,45 m³/s, joka voidaan pyöristää lukemaan 0,5 m³/s.

Alla on laskettu esimerkkikiinteistön ominaislämpöhäviö kaavoja 2, 3 ja 4 hyödyn-
täen, jolloin kiinteistön ominaislämpöhäviöksi on saatu **1523 W/K**.

$$H_{\text{rak}} = 0,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 998,4 \text{ m}^2 + 0,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 326 \text{ m}^2 + 0,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 326 \text{ m}^2 + 32,6 \text{ m}^2 \cdot 4 \cdot 2,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} + 1,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 4 \text{ m}^2 + 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1000 \cdot 0,5 \text{ m}^3/\text{s} \approx 1523 \text{ W/K}$$

Jotta voidaan ominaislämpöhäviön perusteella laskea kiinteistön vuotuinen tilojen lämmitykseen tarvittava energia, täytyy tietää missä kiinteistö sijaitsee, sillä vuotuiset astetuntiluvut ovat paikkakuntaakohtaisia. Liitteessä 1 on esitetty säävyöhykkeen 1 astetuntiluvut. Säävyöhyke 1 arvoja käytetään Etelä- ja Keski-Suomessa. Kaavalla 5 laskettuna saadaan esimerkkikiinteistön tilojen vuotuinen lämpöenergian tarve. Astetuntilukuna käytetään ulkolämpötilaan 12 °C kumuloiduvaa arvoa, sillä sitä korkeammassa ulkolämpötilassa kiinteistöä ei enää lämmitetä.

$$Q_{\text{klt}} = \frac{1523 \text{ W/K} \cdot 122\,608 \text{ }^\circ\text{Ch}}{1000} \approx \mathbf{186\,769 \text{ kWh}}$$

Esimerkkikiinteistön vuotuinen tilojen lämmitysenergian tarve on siis 186 769 kWh.

3.2.2 Käyttöveden lämpöenergian tarve

Kiinteistön lämmönjakokeskuksen on myös lämmitettävä sen käyttäjien tarvitsema lämmin käyttövesi. Käyttöveden lämmitykseen kuluva energia lasketaan kulutuksen mukaan kaavalla 6 [4,26] ja käyttöveden ja kiertoveden yhteenlaskettu energiankulutus kaavalla 7. Kaavat on saatu Suomen rakentamismääräyskokoelman Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeesta [4.]

$$Q_{lkv,käyttö} = \rho_v \cdot c_v \cdot V_{lkv} \cdot (t_{lkv} - t_{kv}) / 3600 \quad (6)$$

missä

$Q_{lkv,käyttö}$	lämpimän käyttöveden nettoenergian tarve [kWh]
ρ_v	veden tiheys [kg/m ³]
c_v	veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus vuorokaudessa [m ³]
t_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila [°C]
t_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila [°C]
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

$$Q_{lkv} = \frac{Q_{lkv,käyttö}}{\eta_{siirto}} + Q_{lkv,kierto} \quad (7)$$

missä

Q_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve
$Q_{lkv,käyttö}$	lämpimän käyttöveden nettoenergian tarve
η_{siirto}	lämpimän käyttöveden siirto ja varastointihäviöt
$Q_{lkv,kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviönä käytetään tämän opinnäytetyön laskuissa Ympäristöministeriön ”Energiatodistusopas 2018 kerrostalo vuodelta 1970” mukaista arvoa 10 W/m ja sen pituutena arvoa 0,2 m/m². Siirron lämpöhäviönä käytetään samasta oppaasta saatavaa arvoa 0,97. [6, 9.]

Esimerkkikiinteistön käyttöveden lämpöenergian tarvetta varten tarvitsemme tiedon käyttöveden kulutuksesta. Oletetaan, että lämmintä käyttövettä kuluu kiinteistössä tyypillinen 40% kokonaisvedenkulutuksesta, jolloin henkilöä kohti tämä tarkoittaa 62 litraa eli 0,062 m³ vuorokaudessa, koska keskimäärin henkilö käyttää vuorokaudessa 155 litraa vettä [7]. Koko kiinteistössä tällöin kuluu lämmintä vettä vuorokaudessa 2,232 m³ ja vuodessa 815 m³, koska asukkaita on 36. Tällöin käyttöveden lämmitykseen kuluu kaavoilla 6 ja 7 laskettuna **71 625 kWh**.

$$Q_{\text{lkv}} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 815 \text{ m}^3 \cdot (60-10)/3600}{0,97} + \frac{0,01 \text{ kW}}{\text{m}} \cdot \frac{0,2 \text{ m}}{\text{m}^2} \cdot 1304 \text{ m}^2 \cdot 8760 \text{ h}$$

$$\approx 71\,625 \text{ kWh}$$

4 Hiildioksidipäästöjen laskenta

Motiva on tehnyt laskentaohjeen yksittäisen kohteen energiankäytön CO₂-päästötarkastelulle. Ohje on tehty energiakatselmuksia varten ja sillä voidaan laskea suunniteltujen toimenpiteiden vaikutukset CO₂-päästöihin. [8.]

Kaukolämmön CO₂-päästöt muodostuvat tuotantolaitoksella käytettävistä polttoaineista. Tuotantolaitoksia on olemassa kahdenlaisia: yhteistuotantolaitoksia, joissa tuotetaan lämmön ohella sähköä sekä erillistuotantolaitoksia, joissa tuotetaan pelkästään kaukolämpöä. Jonkin verran riippuu siis tuotantolaitoksesta kuinka paljon päästöjä lämpöenergian tuotto tuottaa. Päästökerroin ilmoitetaan muodossa kgCO₂/MWh ja se on ilmoitettu rakennuksessa käytettyä energiaa kohti, joten siinä on otettu jo huomioon kaukolämmön tuotannon ja siirron häviöt. Lisäksi päästökertoimessa on otettu huomioon, mitä polttoaineita tuotantolaitoksessa on käytetty, sillä uusiutuvien polttoaineiden osalta päästökerroin on 0 kgCO₂/MWh.

Tapauksessa, jossa energia tulee yhteistuotantolaitoksesta, laskenta suoritetaan käyttämällä hyödynjakomenetelmää [8, 11]. Hyödynjakomenetelmää varten tarvitaan lähtötiedoiksi paikkakunnan yhteistuotantolaitokselta sen sähkö- ja lämpöteho sekä tieto polttoaineiden kokonaiskulutuksesta [9], jotka löytyvät energiateollisuuden vuositilastoista. Näiden tietojen perusteella voidaan jakaa laitoksen käyttämät polttoaineet sähkön- ja kaukolämmöntuotannon kesken. Kun lisäksi tiedetään polttoaineiden päästökertoimet, saadaan selville, miten päästöt jakautuvat sähkön- ja kaukolämmön tuotannolle. Yhteistuotannon päästöjen selvittämiseksi täytyy ensin laskea vaihtoehtoisten hankintamuotojen polttoaineiden kulutus kaavoilla 8 ja 9 [8,11].

$$F'_e = E_e / \eta_e \quad (8)$$

$$F'_h = E_h / \eta_h \quad (9)$$

missä

F'_e vaihtoehtoisen sähkön erillistuotannon polttoaineidenkulutus

F'_h vaihtoehtoisen lämmön erillistuotannon polttoaineidenkulutus

E_e tuotettu sähkö yhteistuotannossa

E_h tuotettu lämpö yhteistuotannossa

η_e sähkön erillistuotannon hyötysuhde (39 %)

η_h lämmön erillistuotannon hyötysuhde (90 %)

Sen jälkeen lasketaan toteutunut polttoaineiden kulutus vaihtoehtoisten hankintamuotojen suhteessa kaavoilla 10 ja 11 [8,11].

$$F_e = F'_e / (F'_e + F'_h) \cdot F \quad (10)$$

$$F_h = F'_h / (F'_e + F'_h) \cdot F \quad (11)$$

missä

F_e laskennallinen sähkön polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

F_h laskennallinen lämmön polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

F polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

Jotkin energiantoimittajat ilmoittavat suoraan nettisivuillaan hyödynjakomenetelmällä lasketut CO₂-päästöt tai sitten päästölaskemissa voidaan käyttää hyödynjakomenetelmällä laskettua yhteistuotantolaitosten keskimääräistä päästökerrointa. Viimeisen kolmen vuoden keskimääräinen päästökerroin kaukolämmölle tällä menetelmällä saatuna on 188 kgCO₂/MWh [10].

Myös sähkön osalta ilmoitetaan sen keskimääräinen päästökerroin Suomessa. Viimeiseltä viideltä vuodelta liukuvana keskiarvona laskettuna se on 164 kgCO₂/MWh [10]. Kevyen polttoöljyn päästökerroin on aina vakio 261,72 kgCO₂/MWh [11].

Saneeraustoimenpiteen vuodessa säästämät hiilidioksidipäästöt saadaan siis laskettua kaavalla 12 [8,4].

$$\text{kgCO}_2 = Q_{\text{muutos}} \cdot \frac{\text{kgCO}_2}{\frac{\text{MWh}}{1000}} \quad (12)$$

missä	
kgCO_2	säästetyt hiilidioksidipäästöt [kilogrammaa hiilidioksidia]
Q_{muutos}	Energian tarpeen muutos [kWh]
$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{MWh}}$	päästökerroin [kgCO_2/MWh]
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Päästöjen ilmoittaminen kuluttajaystävällisemmässä muodossa on järkevää, koska vaikutuksen suuruutta on vaikea hahmottaa, jos tuloksen esittää vain kilogrammoina. Selkein mittari on verrata säästettyjä hiilidioksidipäästöjä henkilöauton tuottamiin hiilidioksidipäästöihin ajokilometriä kohti. Suomessa henkilöauton keskimääräinen hiilidioksidipäästö ajokilometriä kohti on 158 grammaa [12]. Saneeraustoimenpiteen tuottamat säästöt hiilidioksidipäästöissä jaetaan tällä luke-malla, jolloin voidaan sanoa kuinka montaa ajokilometriä se vuodessa vastaa. Esimerkiksi yksi säästetty kaukolämmönkulutuksen megawattitunti päästökertoimella 188 kgCO_2/MWh vastaa silloin 1190 kilometriä ajoa henkilöautolla.

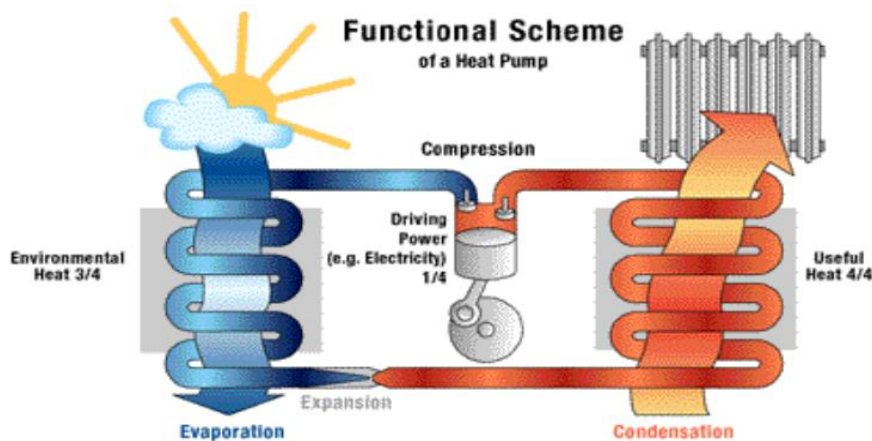
5 PILP:n vaikutus kiinteistön energiankäyttöön

Kiinteistössä, jossa poistoilmasta ei oteta talteen lämpöä, huoneilman lämmittämiseen kulutettu energia puhalletaan kanavia pitkin sellaisenaan taivaalle. Tällaiset koneelliset poistoilmajärjestelmät ovat hyvin yleisiä kerrostaloissa ja liikekiinteistöissä, jotka ovat rakennettu 1970-luvulla.

Koneellisesti poistettavan jäteilman lämpöenergia on järkevintä ottaa talteen poistoilmalämpöpumpulla (PILP). PILP-järjestelmän tuoma energiansäästö perustuu siihen, että poistoilmakanavaan sijoitetusta lämmönsiirtimellä varustetusta lämmöntalteenotto yksiköstä, pumpataan lämpöenergiaa tekniseen tilaan sijoitetulla lämpöpumpulla korvaamaan osittain, esimerkiksi rakennuksen kaukolämmön kulutusta.

5.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoprosessiin (kuva 1). Kiertoprosessissa kompressor imee höyrystyneen kylmäaineen matalapainepuolelta ja puristaa sen korkeapaineiseksi, jolloin se kuumenee. Korkeapaineinen kuuma kaasu johdetaan lauhduttimelle, jossa kylmäaine luovuttaa lämpöä ja nesteytyy. Tämän jälkeen nesteytynyt kylmäaine johdetaan paineenalennusventtiilille, jossa sen paine alenee. Paineenalennusventtiiliin jälkeen kylmäaineen olomuoto on osittain nestettä ja osittain kaasua. Lopulta se päättyy höyrystimeen, jossa se muuttaa olomuotonsa kokonaan kaasumaiseksi ja samalla sitoo höyrystimen lämmönvaihtimeen sitoutunutta lämpöenergiaa. Tämän jälkeen kiertoprosessi alkaa alusta uudestaan. [13, 4.]



Kuva 1. Lämpöpumpun kiertoprosessin toimintaperiaate [14].

5.2 Kaukolämpölaitteisto

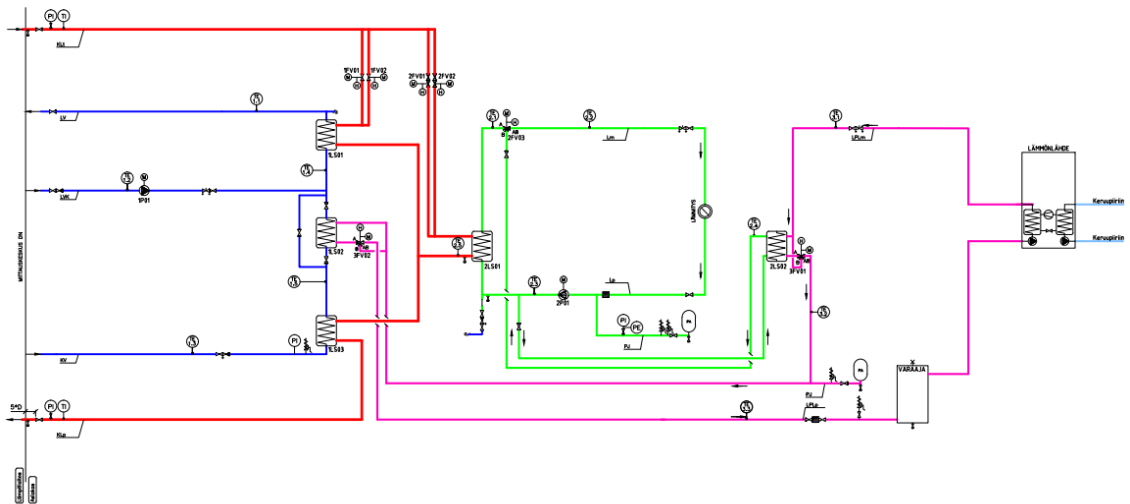
Kaukolämmön lämpöenergia jaetaan kiinteistön käyttöön kaukolämmön alajakokeskuksessa. Lämmönjakokeskukseen kuuluu lämmönsiirtimet, ensiö- ja toisiopuolen säätöventtiilit ja anturit sekä toisiopuolen pumppauslaitteet. Kaukolämmön lämpöenergiaa käytetään rakennuksen tilojen sekä käyttöveden lämmittämiseen. [15, 5.]

5.3 Kaukolämmön ja PILP:n yhdistäminen

Yhdistettäessä kaukolämpöä ja lämpöpumppua tulee päättää, mihin käyttää ensisijaisesti lämpöpumpun energiaa. Investoinnin kannattavuuden näkökulmasta tehokkainta on yhdistää lämpöpumppu sekä lämmitykseen, että käyttövedeen, sillä tällöin käyttöveden lämmityksessä voidaan hyödyntää sitä osaa lämmöstä, jota lämmityksessä ei tarvita. Lisäksi investoinnin kannattavuutta tukee, jos kohteessa on lattialämmitys, sillä lämpöpumppu toimii tehokkaimmin, kun tasojen eli tässä tapauksessa poistoilman ja lämmityksen menoveden välinen lämpötilaero on mahdollisimman pieni [1,5]. Lattialämmityksen menoveden lämpötila on korkeintaan 45 °C [16,4], radiaattoreille se voi olla jopa 70 °C [17,2] ja käyttöveden lämpötilan alarajaksi on terveyssyistä määrätty 55 °C ja ylärajaksi palovamma-vaaran takia 65 °C [18, 94].

5.4 PILP:n kytkentä kaukolämmön rinnalle

Energiateollisuuden oppaassa ”Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpöalaan: ohjeet suunnittelijalle”, on esimerkkikytkentöjä PILP-järjestelmän ja kaukolämmön yhdistämiseksi [19, 4-7]. Kyseisen oppaan mukaan lämpöpumppu tulisi kytkeä aina rinnan kaukolämmön kanssa kuvan 2 mukaisesti, jolloin se tuottaa yhtä aikaa lämpöä lämmitysjärjestelmälle sekä käyttövedelle siten, että käyttöveden lämmityksessä hyödynnetään sitä osaa lämmöstä, jota lämmityksessä ei tarvita. Rinnankytkennässä kaukolämmön ja lämpöpumpun lämmönsiirtimet ovat rinnan, eikä kumpikaan siten toimi toiselle esilämmittimenä, vaan lämmitysverkon paluuvesi jakautuu lämmönsiirtimille kuvassa 2 näkyvällä tavalla. Kaukolämmön paluuv veden tulisi olla 25-50 °C [19, 3] ja tällaisella kytkentätavalla varmistetaan lämpötilaltaan 65-115 celsiusasteisen kaukolämmön menoveden jäähtyminen noihin lukemiin. Kytkennässä on lisäksi lämpöpumpun käytössä varaaja.



Kuva 2. PILP:n kytkeminen rinnan kaukolämpölaitteiston rinnalle [19, 5].

5.5 Yksityiskohtainen laskentamalli PILP:n energiantuotolle ja -käytölle

LVI-järjestelmän energian kulutukseen vaikuttaa moni asia kiinteistössä. Ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaan yksityiskohtaisessa laskentamallissa [20] käydään läpi kaikkia laskennan vaiheita, jotka täytyy mahdollisesti ottaa huomioon energiankulutuksen tarkastelussa, mutta monesti kuitenkin kaikki vaiheita ei tarvitse suorittaa. Laskentamalli etenee siten, että ensin lasketaan kuinka paljon PILP ottaa poistoilmasta energiaa talteen ja siirtää lauhduttimen kautta kiinteistön käyttöön. Tämän jälkeen tarkastellaan sen riittävyyttä eri vuodenaikoina, jonka avulla pystytään määrittämään PILP:n käyntiajat.

5.5.1 Poistoilmasta saatava lämpöenergia

Koneellisen poistoilman jäteilmasta saatava lämpöenergian määrä riippuu sen ilmavirtauksen määrästä, lämpötilasta sekä lämmönvaihtimessa tapahtuvasta lämpötilan alenemisesta. Laskukaavat, jotka tässä luvussa esitetään ovat otettu ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaasta [20].

Asuinhuoneistoissa ilmvirran tulisi vaihtua kerran kahdessa tunnissa [18, 208]. Huippuimurin imevä poistoilmavirta on mitoitettu tämän perusteella ja sen perusteella voidaan laskea poistoilmavirrasta saatava lämpöenergia. Tuloilma tällaisiin kohteisiin tulee vuotoilmana rakenteiden läpi tai korvausilmaventtiilien kautta. Poistoilmalämpöpumpulla talteen otettava energia voidaan laskea kaavalla 13 [21, 24].

$$Q_{lto} = \rho_{pi} \cdot c_{pi} \cdot q_{v,poisto} (t_{poisto} - t_{lto}) \cdot \Delta t / 1000 \quad (13)$$

Poistoilmalämpöpumpulla poistoilmavirrasta saatava teho lasketaan kaavalla 14 [21, 10].

$$\phi_H = \rho_{pi} \cdot c_{pi} \cdot q_{v,poisto} (t_{poisto} - t_{lto}) \quad (14)$$

missä

Q_{lto}	talteenottavan energian määrä [kWh]
ρ_{pi}	jäteilman tiheys [kg/m ³]
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti [Ws/kgK]
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirran määrä [m ³ /s]
t_{poisto}	jäteilman lämpötila ennen lämmönvaihdinta [°C]
t_{lto}	jäteilman lämpötila lämmönvaihtimen jälkeen [°C]
Δt	ajanjakson pituus [h]
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi
ϕ_H	höyrystimen teho [kW]
ϕ_L	lauhduttimen teho [kWh]

Poistoilmalämpöpumpun tyypillinen hyötysuhde COP (coefficient of performance) monella valmistajalla on 3 - 3,5, kun lämpöenergiaa tuotetaan lattialäm-

mitykselle. Hyötysuhde COP ilmaisee kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa [kWh] kompressorin käyttämää kilowattituntia kohti. E-luvun laskennassa käytetään kuitenkin COP arvona kolmea, joten sitä käytetään myöhemmin esimerkkilaskennassa. Lauhdutin lämmittää vettä varaajassa ja sen teho saadaan laskettua kaavalla 15 [21, 9].

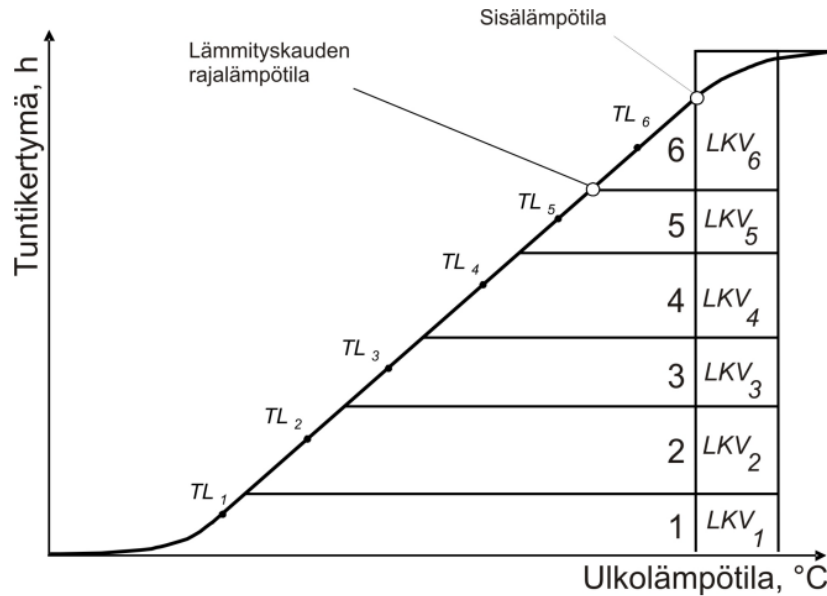
$$\Phi_L = \frac{\phi_H}{1 - \frac{1}{COP}} \quad (15)$$

missä

ϕ_L lauhduttimen teho [kWh]

5.5.2 Rakennuksen lämmitykseen tarvittava lämpöenergia eri lämpötilaväleillä

Lämpöpumpun käyntiaikojen ja ostosähkön tarpeen määrittämistä varten täytyy olla tarkemmin tietoa sen toiminnasta eri vuodenaikoina. Tämän takia on kehitetty pysyvyyskäyrämenetelmä, jota käytetään lämpöenergian määrän ja lämpöpumpun käynnin sekä sen tuottaman lämpöenergian laskennassa. Siinä ulkolämpötila on jaettu kuuteen lämpötilaväliin ja säävyöhykkeen tietojen perusteella tiedetään jokaisen lämpötilavälin astetuntien määrä ja lämpötilavälin kesto. Lisäksi jokaiselle lämpötilavälille valitaan toimintalämpötila, joka on välin ylä- ja alarajan puolessavälissä ja siten edustaa lämpötilavälin keskimääräistä lämpötilaa. Kuviossa 2 on esitetty pysyvyyskäyrämenetelmän lämpötilaväliperiaate. Kuviossa on lisäksi esitetty lämpimän käyttöveden lämpöenergian jakautuminen lämpötilaväleille LKV 1-6. Käyttöveden tarvitseman lämpöenergian määrän jakautumiseen näille väleille, vaikuttaa vain lämpötilavälin kesto.



Kuvio 2. Ulkolämpötilavälien tuntikertymä. [20, 14.]

Lämmitysenergian tarve jokaiselle lämpötilavälille lasketaan käyttäen hyödyksi painokerrointa, jolla kokonaislämpöenergian tarve jaetaan lämpötilaväleille aste-tunteja hyväksi käyttäen. Painokerroin lasketaan kaavalla 16 [20, 22].

$$k = (DH_{yr} - DH_{ar}) / DH_{lk} \quad (16)$$

missä

- k painokerroin tilojen lämmityksen lämpötilaväleille
- DH_{yr} kertyneet astetunnit välin yläraja-arvon kohdalla. LIITE 1 [°Ch]
- DH_{ar} kertyneet astetunnit välin alaraja-arvon kohdalla. LIITE 1 [°Ch]
- DH_{lk} lämmityskauden ulkolämpötilaa vastaava astelukujen kertymä. LIITE 1 [°Ch]

Lämpötilavälin lämpöenergian tarpeen laskukaava esitetty kaavassa 17 [20, 22].

$$Q_{jlt} = k \cdot Q_{klt} \quad (17)$$

missä

- Q_{jlt} jakson lämmitystarve [kWh]

Q_{klt}	kokonaislämmöntarve lämmityskaudella [kWh]
k	painokerroin tilojen lämmityksen lämpötilaväleille. Kaikkien lämpötilavälien painokertoimien summa on yksi

Kun on saatu selville lämpöenergian tarve lämpötilaväleillä, lasketaan myös lämpöpumpun käyntiaika näille väleille. Käyntiaika lasketaan kaavalla 18 [20, 29].

$$t_k = \frac{Q_{jlt}}{\phi_{lp}} \quad (18)$$

missä

t_k	käyntiaika [h]
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve [kWh]
ϕ_{lp}	lämpöpumpun lauhdutinteho [kW]

Kaavoilla 16, 17 ja 18 lasketut arvot kirjataan myöhemmin selkeyden vuoksi taulukon 2 kaltaiseen taulukkoon. Taulukossa 2 on myös esitetty lämpötilavälien toimintälämpötilat.

Taulukko 2. Taulukko arvoille, jotka lasketaan lämpötilaväleittäin

Toimintälämpötilat [°C]	Lämpötilaväli 1. -20	Lämpötilaväli 2. -15	Lämpötilaväli 3. -7	Lämpötilaväli 4. 2	Lämpötilaväli 5. 7	Lämpötilaväli 6. 20
k , tilojen lämmitykselle $k = (DH_{yr} - DH_{ar})/DH_{lk}$						
Tilojen lämmitysenergian tarve Q [kWh] $Q_{jlt} = k \cdot Q_{lt}$						
Käyttöveden lämmitysenergian tarve Q [kWh] $Q = t/8760 \cdot Q_{lkv}$						

Lämpöpumpun käyntiaika $t_k = \frac{Q_{jit}}{\phi_{ip}}$						
Tuntia lämpötilavälillä t [h]						

Lämpöpumpun käyntiaika lämpötilavälillä ei voi olla lämpötilavälin aikaa pidempi. Jos käyntiaika on lyhyempi kuin aika lämpötilavälillä, ei lämpöpumpun tarvitse olla koko aikaa päällä. Jos taas käyntiaika on pidempi kuin aika lämpötilavälillä, tarvitaan lisälämmitystä. [20, 29.]

Laskennallisesti yksinkertaisinta olisi pumpata poistoilman lämpöenergia käyttövedeen, sillä käyttöveden tarve on tasaista ympäri vuoden ja tällöin lämpöpumpun käyntiaika ja teho ovat vakioita ympäri vuoden. Siinä tapauksessa, jos lämpöpumpua käytetään vain tilojen lämmitykseen, täytyy laskea lämpöenergian johtuminen tiloista, jonka perusteella saadaan selville pumpun käyntiaika vuodessa. Tämä sen takia, koska kesäisinhän ei tilojen lämmitystä tarvita, joten lämpöpumppu ei kuluta sähköä kesän tunneilla.

5.5.3 Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia vuodessa

Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia vuodessa saadaan selville, kun tarkastellaan jokaisen jakson käyntiaikoja ja lasketaan ne yhteen. Pumppu on päällä/pois päältä tyyppinen, joten sen vuodessa tuottama lämpöenergia saadaan kaavalla 19.

$$Q_{ip} = \phi_L \cdot t_k \quad (19)$$

missä

Q_{ip} lämpöpumpun tuottama lämpöenergia vuodessa [kWh]

ϕ_L lauhduttimen teho [kW]

t_k lämpöpumpun käyntiaika vuodessa [h]

5.5.4 Lämpöpumpun käyttämä ostosähkö vuodessa

Vuotuinen ostosähkö lasketaan kaavalla, jossa täytyy tietää kompressorin ottama sähköteho ja pumpun käyntiaika vuodessa. Poistoilmalämpöpumpun kompressorin ottama sähköteho saadaan laskettua kaavalla 20 ja ostosähkön vuotuinen määrä kaavalla 21.

$$P = \phi_L / \text{COP} \quad (20)$$

missä

P kompressorin sähköteho [kW]

$$E = P_{lp} \cdot t_k \quad (21)$$

missä

E vuotuinen ostosähkön tarve [kWh]

P_{lp} lämpöpumpun kompressorin teho [kW]

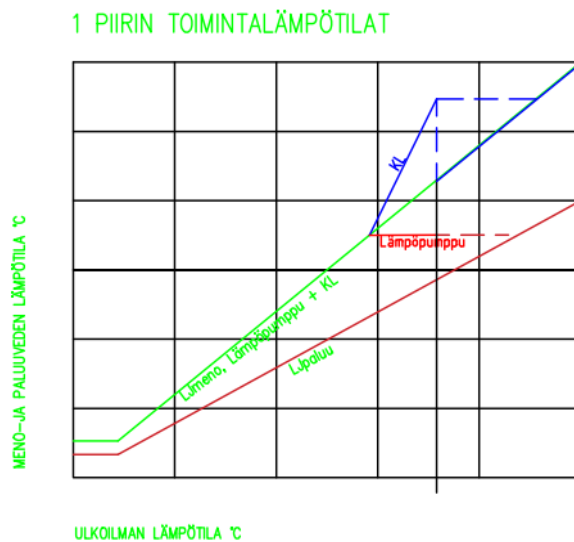
t_k lämpöpumpun käyntiaika vuodessa [h]

5.6 PILP:n vaikutus esimerkkikiinteistön energian käyttöön

Esimerkkikiinteistöön asennetaan kaukolämpölaitteiston rinnalle PILP-järjestelmä, jota käytetään tilojen sekä käyttöveden lämmitykseen energiateollisuuden esimerkkikytkennän mukaisesti [19, 5], joka on esitetty luvussa 5.4. Lämmönjakotapana kiinteistössä on vesikiertoinen radiaattorilämmitys, jossa käytetään 60/40 °C mitoitusta. Lämmityskaudella lämpöpumppu toimii käyttöveden lämmityksessä esilämmittäjänä, siltä osin kuin lämpöä jää käyttöveden tarpeisiin. Lämmityskauden ulkopuolella, kun ulkolämpötila nousee yli +12 °C ei tiloja enää lämmitetä ja lämpöpumppu lämmittää pelkästään käyttövettä. Kuviossa 3 on esitetty lämmitysverkoston piirin toimintalämpötilan kehitys ulkolämpötilan mukaan.

Energian säästölaskelmia varten täytyy tietää poistoilmasta saatava lämpöteho, joka lasketaan kaavalla 14 ja jota varten täytyy tietää poistoilmavirran määrä ja

lämpötila. Luvussa kolme on laskettu poistoilmavirran määräksi $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ja sen lämpötila lämmönvaihtimen jälkeen on $3 \text{ }^\circ\text{C}$, jolloin saadaan poistoilmasta saatavaksi lämpötehoksi: $1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,0 \text{ kJ/kgK} \cdot 0,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - 3 \text{ }^\circ\text{C}) = \mathbf{10,8 \text{ kW}}$. Lämpöpumpun COP-arvona käytetään luvussa 5.5 päätettyä arvoa 3, joka tarkoittaa, että lämpöpumpun lauhdutinteho on kaavalla 15 laskettuna: $10,8 \text{ kW} / (1 - 1/3) = \mathbf{16,2 \text{ kW}}$. Lämpöpumpun kompressorin teho on tällöin kaavalla 20 laskettuna: $16,2 \text{ kW} / 3 = \mathbf{5,4 \text{ kW}}$.



Kuvio 3. Lämmitysverkon menovesi ulkolämpötilan mukaan

Lämpöenergian pysyvyyden kerroin lämpötilaväleille lasketaan kaavalla 16, jonka jälkeen voidaan laskea lämpöenergian tarve näille väleille kaavalla 17. Lämpötilavälin lämpöenergian tarvetta Q verrataan lämpöpumpun tuottamaan lämpöenergiaan Q_{LP} lämpötilavälillä, joka lasketaan kertomalla liitteestä 1 löytyvällä lämpötilavälin kestolla, kaavalla 15 laskettu poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho Φ_L . Tällä tavoin lasketut arvot ovat esillä taulukossa 3. Taulukossa 3 on esitetty myös käyttöveden lämpöenergian tarve kullekin lämpötilavälille ja lämpöpumpun käyntiaika.

Taulukko 3. Esimerkki kiinteistön tilojen lämpöenergian tarve ja PILP:n tuottaman lämpöenergian jakautuminen tiloille ja käyttövedelle.

Toimintalämpötilat [°C]	-20	-15	-7	2	7	20	yht.
k, tilojen lämmityk- selle $k = \frac{(DH_{yr} - DH_{ar})}{DH_{lk}}$	$\frac{(2745^\circ\text{Ch} - 0^\circ\text{Ch})}{122608^\circ\text{Ch}}$ $\approx 0,02$	0,11	0,28	0,37	0,22	0	1
Tilojen lämmitys- energian tarve Q [kWh] $Q_{jit} = k \cdot Q_{klt}$	$0,02 \cdot 186\,769$ kWh ≈ 3735 kWh	20545	52295	69105	41089	0	186769
Tuntia lämpötilavä- lillä t [h] (liite 1)	70	404	1382	1771	2955	2175	8760
Lämpöpumpun tuot- tama energia aika- välillä Q_{LP} [kWh] $Q = t \cdot \Phi_L$	$70\text{ h} \cdot 16,2\text{ kW}$ ≈ 1134 kWh	6545	22388	28690	47871	17784	124412
Käyttöveden tarvit- sema lämpöenergia aikavälillä Q [kWh] $Q = t/8760 \cdot Q_{lkv}$	$\frac{70\text{h}}{8760\text{h}} \cdot 71625\text{kWh}$ ≈ 572 kWh	3303	11230	14480	24161	17784	71 625
Käyttöveden lämmi- tykseen käytettävä lämpöpumpun ener- gia [kWh]	0	0	0	0	47871- 41089 =6782	17784	24 566
Poistoilmalämpö- pumpun käyntiaika [h] $t_k = \frac{Q_{jit}}{\Phi_{lp}}$	70	404	1382	1771	2955	$\frac{17784\text{kWh}}{16,2\text{kW}}$ $\approx 1098\text{h}$	7680

Poistoilmalämpöpumppu siis vähentää esimerkikiinteistössä kaukolämmön ku-
lutusta $124\,412\text{ kWh} + 24\,566\text{ kWh} = \mathbf{148\,978\text{ kWh}}$.

Poistoilmalämpöpumpun käyttämä ostosähkö vuodessa lasketaan sen käyn-
tiaikojen ja sen sähkötehon perusteella kaavalla 21. Tällöin saadaan vuotuisen
ostosähkön määräksi **41 472 kWh**.

$$E = 5,4\text{ kW} \cdot 7680\text{ h} = 41\,472\text{ kWh}$$

6 Maalämpöjärjestelmän vaikutus öljylämmiteisen kiinteistön energiankäyttöön

Vanhoissa rakennuksissa öljylämmitys on edelleen yleistä ja esimerkiksi asuin-kerrostaloissa se on kolmanneksi yleisin lämmitysmuoto kaukolämmön ja sähkön jälkeen, kuten taulukossa 4 ilmaistaan [22]. Nykytrendi on kuitenkin lämmityksessä ja kaikessa muussakin energian käytössä on syystäkin fossiilisten polttoaineiden vastainen, joten uudisrakentamisessa öljylämmitysjärjestelmät ovat hyvin harvinaisia.

Taulukko 4. Asumisen energiankulutus [GWh] energialähteittäin vuonna 2017

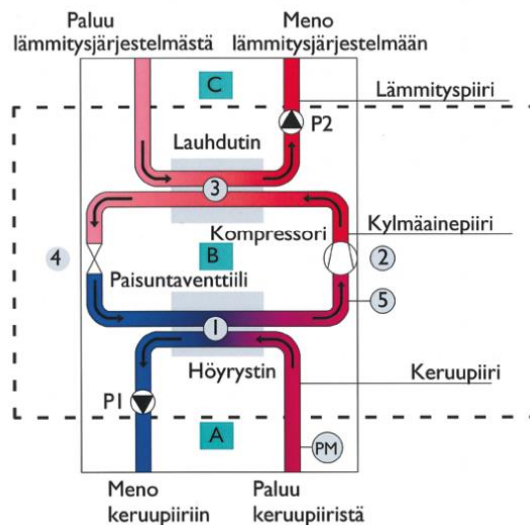
Tiedot	Energiälähde						Maakaasu	Lämpöpumppuenergia	Kaukolämpö	Sähkö	Yhteensä
	Puu	Turve	Hiili	Raskas polttoöljy	Kevyt polttoöljy						
Asuminen yhteensä	14 812	41	2		32	3 569	392	5 815	19 310	22 513	66 486
Tilojen lämmitys	12 539	27	2		22	2 922	239	4 989	13 882	10 727	45 349
Varsinaiset asuinrakennukset yhteensä	11 171	27	2		22	2 880	238	4 814	13 879	9 843	42 876
- Erilliset pientalot	11 004	23	2		0	2 492	62	4 240	1 884	7 797	27 504
- Rivi- ja ketjutilat	122	1	0		0	95	55	505	2 225	1 124	4 127
- Asuinkeuhkot	45	3	0		22	293	121	69	9 770	922	11 245
Vapaa-ajan asuinrakennukset	1 368	0	0		0	42	1	175	3	884	2 473
Kotitalouslaitteet	..	..	..		..	..	92	..	..	8 034	8 126
- Valaistus	..	..	..		..	..	..	..	..	1 633	1 633
- Ruuan valmistus	..	..	..		..	..	92	..	..	581	673
- Muut sähkölaitteet	..	..	..		..	..	..	..	..	5 820	5 820
Saunojen lämmitys	1 835	..	..		..	..	..	..	..	1 222	3 057
Käyttöveden lämmitys	438	14	0		10	647	61	826	5 428	2 530	9 954

6.1 Öljylämmitysjärjestelmä

Öljylämmitysjärjestelmässä polttoaineena asuinkeuhkoissa toimii kevyt polttoöljy, jota saadaan maaöljyn tisleestä. Sen energiasisältö on hyvin suuri noin 11,85 kWh/litra [10] ja palamistuotoksena syntyy lähes pelkästään hiilidioksidia ja vettä. Kevyen polttoöljyn päästökerroin on 261,72 gCO₂/kWh [10]. Suomessa myydään pelkästään rikitöntä polttoöljyä, joten se palaa hyvin puhtaasti ja sen palaminen tuottaa pelkästään kasvihuonekaasuja. Lisäksi nykyaikaisten öljylämmityskattiloitten hyötysuhde on jopa 95% [23].

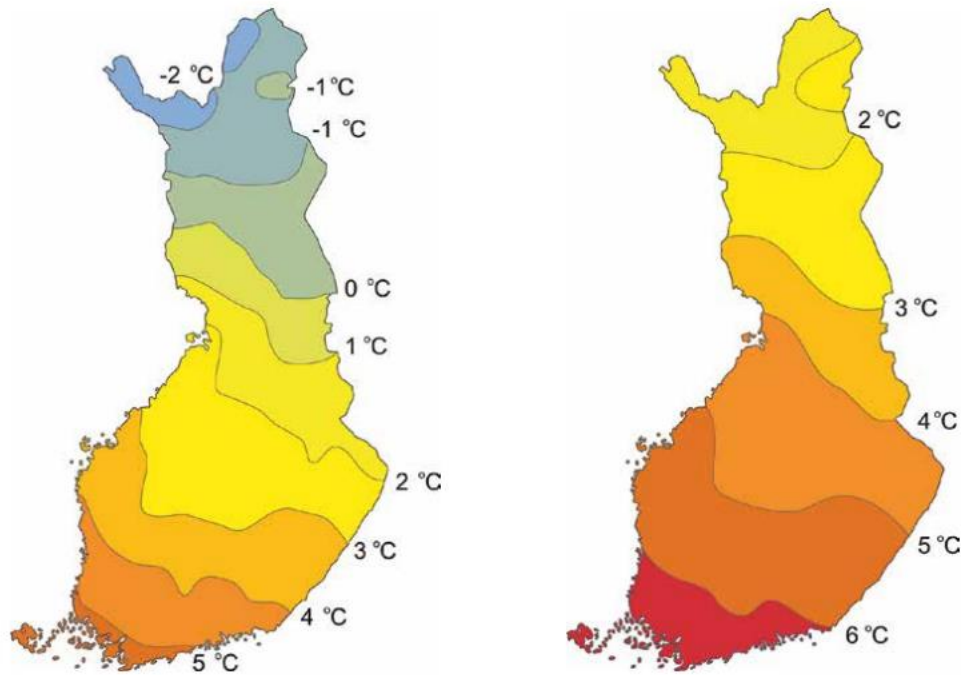
6.2 Maalämpöjärjestelmä

Maalämpöjärjestelmä on tehokas nykyaikainen lämmitysjärjestelmä, joka pystyy mahdollisesti tuottamaan koko kiinteistön tarvitseman lämpöenergian. Se vaatii ympäristöltään tietynlaisia edellytyksiä, sekä lisäksi sellaisen asentaminen on luvanvaraista [24, 13]. Maalämpöjärjestelmä sisältää poistoilmalämpöpumpun tavoin lämpöpumpun, jonka toiminta perustuu kylmäaineen kiertoprosessiin ja se myös lämmittää poistoilmalämpöpumpun tavoin vesikiertoisen lämmönjaon menovettä. Eroavaisuutena on vain, että se kerää lämpöä maaperästä eikä ilmanvaihdon poistoilmasta. Tämä tarkoittaa, että kylmäaine höyrystyy höyrystimessä maalämmön keruupiiriin liuoksen lämmön vaikutuksesta. Kuvassa 3 näkyy maalämpöjärjestelmän toimintaperiaate.



Kuva 3. Maalämpöpumpun toiminta [24, 12.]

Maalämpöjärjestelmän lämmönkeruupiiri asennetaan maahan ympäristöön parhaiten sopivalla tavalla. Keruuputkisto voidaan asentaa maalämpökaivoon, pintaamaan vaakaputkistona tai vesistön vieressä olevien rakennusten kohdalla vesistöön [24, 8-9]. Kaikissa asennustavoissa keruupiirissä kiertää jäätymätöntä lämmönsiirtoainetta, joka yleensä on vettä, johon on sekoitettu noin 28 % painoprosenttia etanolia [24, 16]. Maaperän vuotuinen keskilämpötila Suomessa on yleensä noin kaksi astetta ilman vuotuista keskilämpötilaa korkeampi [24, 7] ja lämpötila nousee maassa syvemmällä mentäessä noin 0,5-1 K/100 m [24, 7]. Keskilämpötilat ilmassa ja maassa on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Vasemmalla ilman vuotuinen keskilämpötila vyöhykkeittäin ja oikealla maan- ja kallioperän [24, 7].

Yleisin lämmönkeruutapa on maalämpökaivo, sillä se asennetaan vaakasuoraan tai pienellä kulmalla maahan, eikä siten vaadi niin suurta tilaa rakennuksen tontilta [24, 34]. Maalämpökaivo porataan maahan maksimissaan 300 metrin syvyyteen [24, 8] ja mikäli yhdestä kaivosta ei saada riittävästi lämpöenergiaa, niitä porataan useita. Lämpöenergia maaperässä on syvemmissä osissa peräisin maapallon ytimeistä syntyvästä fissioenergiasta ja pintamaassa siihen varastoitunutta auringon lämpöenergiaa [24, 7]. Lämmönjohtumisen vaatimuksena on, että kaivo ylittää pohjaveden pinnan alapuolelle, koska energia johtuu keruuputkistoon pääosin vain siltä osin, kun se on pohjaveden peittämä. Osuutta, jonka pohjaveden pinta peittää maalämpökaivon pituudesta, kutsutaan nimellä aktiivisyvyys [25, 1]. Kaivoon voidaan myös tarvittaessa lisätä täyteainetta kuten bentoniittia lämmönjohtuvuuden parantamiseksi, ellei maaperässä ole pohjavettä [25,1].

Vaakaputkisto asennetaan irtomaahan vaakatasoon noin metrin syvyyteen ja putket asennetaan toisistaan vähintään 1,5 metrin päähän. Pintamaan lämpötila vaihtelee enemmän kuin lämpökaivon ja siitä saadaan eniten lämpöenergiaa

Etelä-Suomessa [24, 7-8]. Suotuisin maaperä pintamaalle on kostea saviperäinen maa-aines. Vaakaputkiston asennus tulee halvemmaksi kuin lämpökaivon, mutta se vaatii suuren tontin, joten se on yleisempää maaseudulla [26, 4].

Keruupiirin asennus vesistöön on mahdollista, jos rakennus sijaitsee kohtuullisen etäisyyden päässä vesistöstä. Putket asennetaan vesistöön samalla tavalla kuin vaaka-asennuksena pintamaahan, mutta ne ankkuroidaan pohjaan vähintään kahden metrin syvyyteen [26, 5].

6.3 Yksityiskohtainen laskentamalli maalämmöstä saatavalle energialle

Maalämmöllä voidaan korvata öljylämmitys osittain tai kokonaan. Lämmönjakotapana kiinteistössä täytyy olla vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, joka voi olla vesikiertoinen radiaattorilämmitys tai vesikiertoinen lattialämmitys. Tämän lisäksi lämmitysjärjestelmän on lämmitettävä lämminkäyttövesi sekä lämpimän käyttöveden kiertojohto. Lämpöpumpun on suotuisinta siirtää lämpöä alhaisempaan lämpötilaan, joten lattialämmitys on suotuisin vaihtoehto ja käyttöveden lämmitys sekä korkealämpöiset radiaattorit ovat epäsuotuisimmat vaihtoehdot. Nykyaikaiset pumput pystyvät kuitenkin tuottamaan lämpöä jopa 65 °C asti. Yksityiskohtainen laskentamalli [20] maalämmöstä saatavalle energialle etenee siten, että aluksi lasketaan lämmitysenergian tarve lämpötilaväleille. Sen jälkeen tarkastellaan valitun maalämpöpumpun lämpöenergian tuottoa eri olosuhteissa ja lasketaan mahdollinen korjattu lämpötilakerroin COP_T . Lopuksi saadaan selville maalämpöpumpun energian tuottoa ja lämpöenergian tarvetta vertailemalla maalämpöpumpun käyntiajat ja ostosähkön tarve.

6.3.1 Lämmitysenergian tarve lämpötilaväleittäin

Tilojen lämmitysenergian tarve lämpötilaväleittäin on syytä laskea, sillä siten pystytään arvioimaan lämmitysjärjestelmän käyttöastetta tarkemmin. Lämpötilavälit on esitetty kuviossa 2 luvussa 5. Rakennuksen ominaislämpöhäviö lasketaan luvussa kolme esitettyjen kaavojen 2, 3 ja 4 avulla, jossa kaavoilla 2 ja 3 lasketaan

ensin rakenteiden ja korvausilman ominaislämpöhäviöt ja kaavalla 4 koko rakennuksen ominaislämpöhäviö. Tämän jälkeen lasketaan luvussa 5.5.1 esitetyt painokertoimet lämpötilaväleillä kaavalle 16, jonka avulla saadaan selville lämpötilavälien lämmöntarve käyttäen kaavaa 17. Näiden laskujen tulokset voidaan kirjata ylös luvussa 5.5.1 olevan taulukon 2 kaltaiseen taulukkoon.

6.3.2 Lämpökertoimet lämpötilaväleille

Lämpöpumpun lämpökertoimeen COP-arvoon vaikuttaa valmistajasta riippumatta lämmitysverkon menoveden lämpötila sekä meno ja paluuveden lämpötilaerotus ΔT . Näiden lisäksi myös keruupiirin liuoksen lämpötila muuttuu hieman vuoden aikojen mukaan, mikä myös vaikuttaa lämpökertoimeen. Valmistajat ilmoittavat COP-arvot testausolosuhteissa lämpötilaväleille. Testausolosuhteet ovat standardien mukaan määritettyjä ja niissä on määritelty maaperän lämpötila lämpötilaväleille sekä menoveden lämpötila ja meno- ja paluuveden lämpötilaerotus ΔT . Mikäli on tiedossa, että olosuhteet kiinteistössä poikkeaa jossain määrin näistä testausolosuhteista, on mahdollista laskea korjattu lämpötilakerroin kaavalla 22 [20, 20].

$$\text{COP}_T = \text{COP}_M \left[1 - \frac{\frac{\Delta T_{LM} - \Delta T_{LS}}{2}}{\left\{ T_{HJ} - \frac{\Delta T_{LM}}{2} + \Delta T_L - (T_{L\ddot{A}H} - \Delta T_H) \right\}} \right] \quad (22)$$

missä

COP_T lämpötilakorjattu lämpökerroin

COP_M mitattu lämpökerroin testausolosuhteissa

ΔT_{LM} meno- ja paluuveden lämpötilaerotus testausolosuhteissa [K]

ΔT_{LS} meno- ja paluuveden lämpötilaero mitoitusolosuhteissa [K]

T_{HJ} lämmönjakojärjestelmän menoveden lämpötila [°C]

ΔT_L lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä lauhduttimessa (asteisuus) [K]

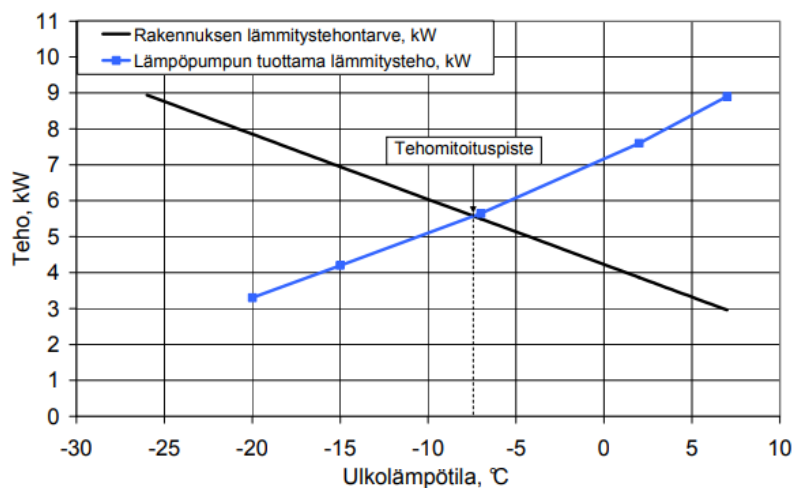
$T_{L\ddot{A}H}$ lämmönlähteen lämpötila [°C]

ΔT_H lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä höyrystimessä (asteisuus) [K]

Maalämpöjärjestelmissä kylmäaineen ja lämmönsiirtoaineen välinen lämpötilaero eli asteisuus ΔT_L ja ΔT_H on tyypillisesti lauhduttimessa 10 K ja höyrystimessä 5 K [20, 21]. Näitä voidaan käyttää, mikäli niitä ei tarkemmin tunneta.

6.3.3 Tehomitoituspiste ja lisälämmitys

Maalämpöjärjestelmää ei välttämättä suunnitella kattamaan koko rakennuksen lämpöenergian tarvetta. Se voidaan mitoittaa osateholle, jolloin se riittää kattamaan lämmitystehontarpeen tiettyyn ulkolämpötilaan saakka, kuten kuviossa 4. Tätä lämpötilaa kutsutaan tehomitoituspisteeksi [20, 18-19]. Tehomitoituspisteen määrittämiseksi tarvitaan tieto rakennuksen lämmitystehontarpeesta sekä lämpöpumpun tuottamasta lämmitystehosta. Myös lämpöpumpun toimintarajalämpötila voi tulla vastaan, jos lämmitysjärjestelmän menovesi on kovilla pakkasilla sitä korkeampi. Tällöin lämmitys voidaan hoitaa kokonaan lisälämmitysjärjestelmällä, joka voi olla esimerkiksi sähkölämmitys tai vanha öljylämmityskattila. Järkevintä on kuitenkin suunnitella järjestelmä, jossa lisälämmitys on vain tarvittaessa maalämmön rinnalla.



Kuvio 4. Esimerkki maalämpöpumpun tehomitoituspisteestä [20, 19].

Tehomitoituspiste saadaan tarvittaessa selville, kun tiedetään rakennuksen lämpöenergian tarve ja lämpöpumpun tuottama teho muutamassa pisteessä [20,18]. Valmistajan ilmoittamien teholumien perusteella saadaan interpoloitu käyrä, joka leikkaa rakennuksen lämpöenergian tarpeen tehomitoituspisteessä.

Maalämpöpumpun kullakin lämpötilavälillä tuottaman lämpöenergian perusteella saadaan selville lisälämmitysenergian tarve, kun verrataan sitä rakennuksen lämpöenergian tarpeisiin kyseisillä lämpötilaväleillä. Lämpöenergian tarpeen laskenta on käyty läpi luvussa 6.3.1. Liitteestä 1 saadaan luettua kunkin säävyöhykkeen kohdalta lämpötilavälien kesto ja kumuloituvat astetuntiluvut.

6.3.4 Maalämpöpumpun käyttämä ostosähkö vuodessa

Vuotuisen ostosähköenergian tarpeen määrittämisessä täytyy olla tiedossa pumpun sähköteho ja sen käyntiajat vuodessa. Käyntiaikojen laskennassa käytetään kaavaa 18, jolla saadaan kunkin lämpötilavälin käyntiaika, joiden summa on koko vuoden käyntiaika. Ostosähkön kulutus lasketaan kaavalla 21.

6.4 Maalämpöpumpun vaikutus esimerkkikiinteistön energian käyttöön

Kiinteistönä laskelmissa toimii sama esimerkkikiinteistö kuin edellisessäkin esimerkissä samalla ilmanvaihtomäärällä ja vesikiertoisella radiaattorilämmityksellä 60/40 °C mitoituksella. Lämmityskauden rajalämpötila kiinteistössä toimii +12 °C. Maalämpöpumppu mitoitetaan hieman alle täystehomitoituksen, jolloin lisälämmityksenä toimii öljylämmitys. Kiinteistön maksimitehon tarve saadaan, kun lisätään tilojen lämmityksen tehon tarpeeseen mitoituslämpötilassa -28°C, käyttöveden lämmityksen tehontarve. Alla on laskettu kiinteistön maksimi tehon tarpeeksi 79,6 kW.

$$\phi_{\max} = H_{\text{rak}} \cdot \Delta T + \rho \cdot c \cdot q_v \cdot \Delta T + \phi_{\text{lkv, kierto}}$$

$$\phi_{\max} = \frac{1,523 \text{ kW}}{\text{K}} \cdot 47 \text{ K} + \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{4,18 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot \frac{0,0000258 \text{ m}^3}{\text{s}} \cdot 50 \text{ K} + \frac{0,01 \text{ kW}}{\text{m}} \cdot \frac{0,2 \text{ m}}{\text{m}^2} \cdot 1304 \text{ m}^2$$

$$\approx 79,6 \text{ kW}$$

Kiinteistöön valitaan 20 kW kompressorilla toimiva lämpöpumppu, joka luultavasti tarvitsee kovilla pakkasilla hieman lisälämmitystä.

Lämpöpumppu valmistajat ilmoittavat pumppujensa lämpökertoimet yleensä menoveden lämpötiloille 35 °C ja 55 °C. Tässä tapauksessa menoveden maksimilämpötila on 60 °C, joten täytyy laskea lämpötilakorjattu lämpötilakerroin. Kytkeäntapana käytetään osatehomitoitukselle tyypillistä kiinteälauhdutusta, joka tarkoittaa, että maalämpöpumppu tuottaa jatkuvasti varaajaan 60 °C lämmön, josta shunttiventtiilin avulla saadaan ulkolämpötilan mukaan sopivan lämmintä vettä lämmitykseen. Korjattu lämpökerroin sekä lauhdutinteho on laskettu taulukossa 5 jokaiselle lämpötilavälille. Niiden laskennassa on käytetty korjatun lämpökertoimen COP_T osalta kaavaa 22 ja lauhdutintehon Φ_L laskennassa kaavaa 15.

Taulukko 5. Taulukko korjatulle lämpökertoimelle lämpötilaväleittäin.

Toimintalämpötila	-20	-15	-7	2	7	12
COP_M	3	3,03	3,17	3,62	4,06	4,31
ΔT_{LM}	5	5	5	5	5	5
ΔT_{LS}	20	20	20	20	20	20
ΔT_L	10	10	10	10	10	10
ΔT_H	5	5	5	5	5	5
T_{HJ}	60	60	60	60	60	60
$T_{LÄH}$	-6,1	-6	-5,6	-4,1	-2,9	0,8
COP_T	3,29	3,32	3,47	3,97	4,46	4,76
Φ_L	65,8	66,4	69,4	79,4	89,2	95,2

Asteisuuksina eli kylmäaineiden ja lämmönsiirtoaineiden välisinä lämpötilaeroina taulukossa ja laskennassa on käytetty tyypillisiä arvoja $\Delta T_H=5$ K ja $\Delta T_L=10$ K. Ympäristöministeriön ”Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan” mukaan näitä voidaan käyttää, mikäli ei tunneta tarkkoja arvoja [20, 21].

Taulukossa 6 on laskettu taulukon 5 korjatuilla lämpökertoimilla maalämpöjärjestelmän lämpöenergian tuotto, ostosähkön kulutus sekä pumpun käyntiaika jokaiselle lämpötilavälille.

Taulukko 6. Lämpöenergian tarve lämpötilaväleittäin sekä sen tuotto maalämpöjärjestelmällä.

Toimintalämpötilat [°C]	-20	-15	-7	2	7	20	yht.
k, tilojen lämmitykselle $k = (DH_{yr} - DH_{ar}) / DH_{lk}$	$\frac{(2745 \text{ °Ch} - 0 \text{ °Ch})}{122608 \text{ °Ch}}$ $\approx 0,02$	0,11	0,28	0,37	0,22	0	1
Tilojen lämmöntarve Q [kWh] $Q_{jlt} = k \cdot Q_{klt}$	$0,02 \cdot 186769 \text{ kWh}$ ≈ 3735	20545	52295	69105	41089	0	186769
Käyttöveden lämmöntarve Q [kWh] $Q = t / 8760 \cdot Q_{lkv}$	$\frac{70h}{8760h} \cdot 71\,625 \text{ kWh}$ $\approx 572 \text{ kWh}$	3303	11230	14480	24161	17784	71 625
Tuntia lämpötilavälillä t [h]	70	404	1382	1771	2955	2175	8760
Φ_L [kW]	65,8	66,4	69,4	79,4	89,2	95,2	
Lämpöpumpun tuottama energia aikavälillä [kWh] $Q = t \cdot \Phi_L$	$70h \cdot 65,8 \text{ kW}$ ≈ 4307	23848	63525	83585	65250	17784	258299
Maalämpöpumpun käyntiaika [h] $t_k = \frac{Q_{jlt}}{\Phi_{lp}}$	$\frac{3735 \text{ kWh} + 572 \text{ kWh}}{65,8 \text{ kW}}$ ≈ 66	360	916	1053	732	187	3 314

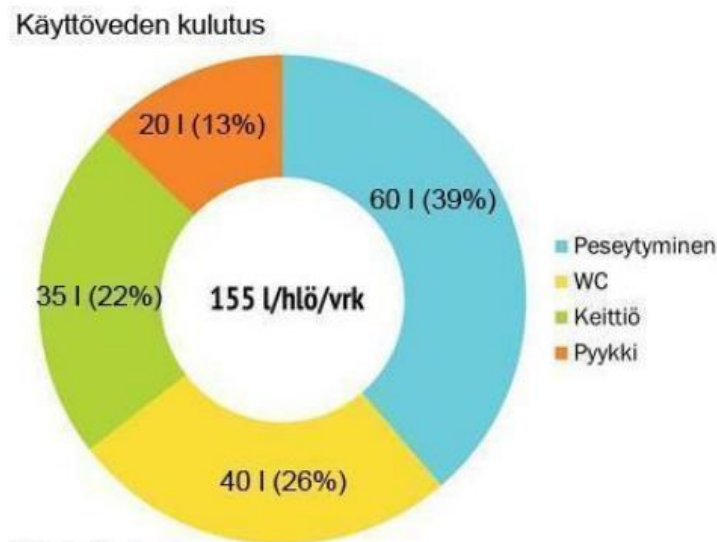
Maalämpöpumppu tuottaa siis kiinteistöön lämpöenergiaa **258 299 kWh**. Taulukon mukaan maalämpöpumppu pystyy tuottamaan kaiken lämpöenergian kiinteistöön ympäri vuoden, mutta menetelmä ei ota huomioon mahdollisia huippupakkasia, joille maalämpöpumpun lämmitysteho ei riitä.

Maalämpöpumpun käyttämä ostosähkö vuodessa lasketaan sen käyntiaikojen ja sen sähkötehon perusteella kaavalla 12. Tällöin saadaan vuotuiseksi ostosähköksi määräksi **66 280 kWh**.

$$E=20 \text{ kW} \cdot 3314 \text{ h}=66\,280 \text{ kWh}$$

7 Jäteveden LTO:n vaikutus kiinteistön energiankäyttöön

Jäteveden lämmöntalteenotto (LTO) on melko harvinaista Suomessa, mutta suurissa asuinkiinteistöissä, uimahalleissa ja teollisuuden toimitiloissa kuten pesuloissa, sillä saadaan säästettyä merkittävästi energiaa. Käyttöveden kulutus asukasta kohden Suomessa on keskimäärin asuinkerrostaloissa 155 litraa päivässä, josta lämmintä vettä noin 40% [7]. Suurin osa kulutuksesta muodostuu peseytymisestä, kuten kuvasta 5 voidaan lukea.



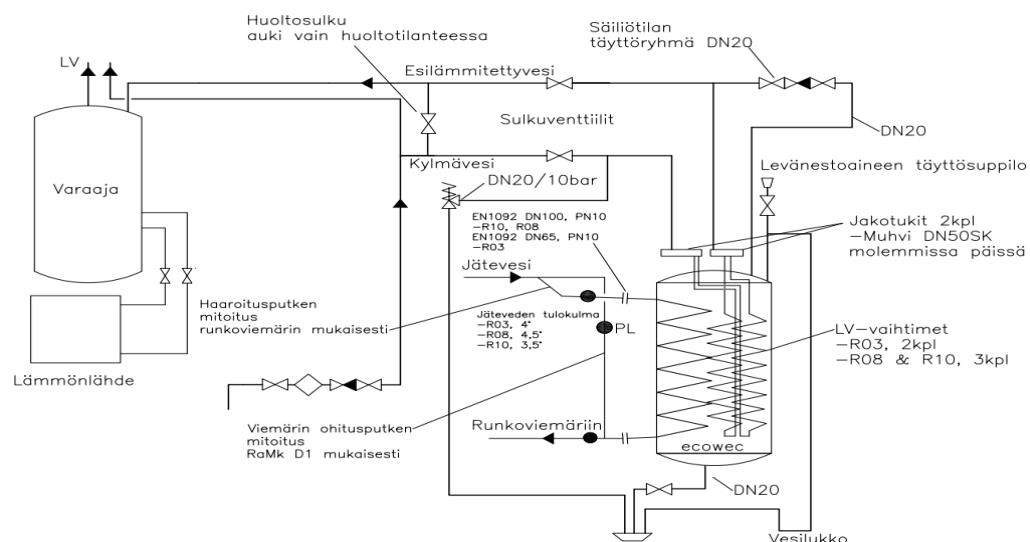
Kuva 5. Käyttöveden kulutuksen jakautuminen eri osa-alueille [6].

Vesi- ja viemärlaitteistojen rakentamista säättävät asetukset tulee huomioida jäteveden lämmöntalteenottonimen asentamista suunniteltaessa. ”Ympäristöministeriön asetus vesi- ja viemärlaitteistoista” määrää, että vesijohdot on asennettava siten, että haitallinen aine ei pääse vuotamaan tai diffunoitumaan putken seinämän läpi [27, 6]. Tämän takia esimerkiksi Wasenco ecowec lämmönvaihtimessa on vaaraton väliaine (kuva 6) jäteveden ja käyttöveden välillä sekä vuotoilmais-

ilmaisemaan vuodot väliaineeseen. Asetus myös määrää, että vesi- ja viemäri-laitteiston jäätyminen on estettävä [27, 11; 7, 21]. Tähän ottaa kantaa myös ase-tus yhdyskuntajätevesistä 12.10.2006/888, sillä liian kylmä jätevesi aiheuttaa on-gelmia typen poistolle jätevedestä. Jäteveden puhdistukselle olisi edullista, että jäteveden lämpötila ei laskisi alle 12 °C [28]. Typpi aiheuttaa rehevöitymistä ja siksi sen pitoisuuksille on asetettu rajoituksia. Näiden perusteella on järkevää, ettei jäähdytä jätevettä alle 10 °C. Lisäksi ympäristöministeriön asetusten mu-kaan viemärikoko ei saa pienentyä virtaussuunnassa, joka aiheuttaa rajoituksia asennettavalle lämmöntalteenottolaitteistolle [27, 17].

7.1 Jäteveden lämmöntalteenottolaitteistojen toiminta

Jäteveden lämpöenergia voidaan ottaa talteen lämpöpumpulla ja käyttää hyväksi rakennuksen tilojen tai käyttöveden lämmityksessä (kuva 6) tai sillä voidaan esi-lämmittää kylmää käyttövettä ilman lämpöpumpua (kuva 7). Jätevesi on harvoin niin lämmintä, että sillä voidaan lämmittää tiloja ilman lämpöpumpua.



Kuva 6. Wasenco Ecowec jäteveden lämmönvaihtimen kytkentä käyttöveden esi-lämmitykseen [29].

Jätevedestä saatava lämpöenergia vuorokaudessa käyttöveden esilämmitykseen kuvan 5 mukaisessa kytkennässä ilman lämpöpumppua lasketaan kaavalla 24.

$$Q_{JV} = \frac{c \cdot V \cdot \rho \cdot (t_{KVout} - t_{KVin})}{3600} \quad (24)$$

missä

Q_{JV}	jätevedestä saatava energia [kWh]
c	veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]
V	käyttöveden käyttö vuorokaudessa [m ³]
ρ	veden tiheys [kg/m ³]
t_{KVout}	kylmän käyttöveden lämpötila ennen lämmönvaihdinta [°C]
t_{KVin}	kylmän käyttöveden lämpötila lämmönvaihtimen jälkeen [°C]

Lämmönvaihtimen lämmitysteho lasketaan kaavalla 25.

$$\phi_{jit} = c \cdot q_m \cdot \Delta T \quad (25)$$

missä

ϕ_{jit}	jäteveden lämmönvaihtimen teho [kW]
c	veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]
q_m	käyttöveden massavirta [kg/s]
ΔT	meno- ja tuloveden lämpötilaero

7.3 Jäteveden LTO:n vaikutus esimerkkikiinteistön energiankäyttöön

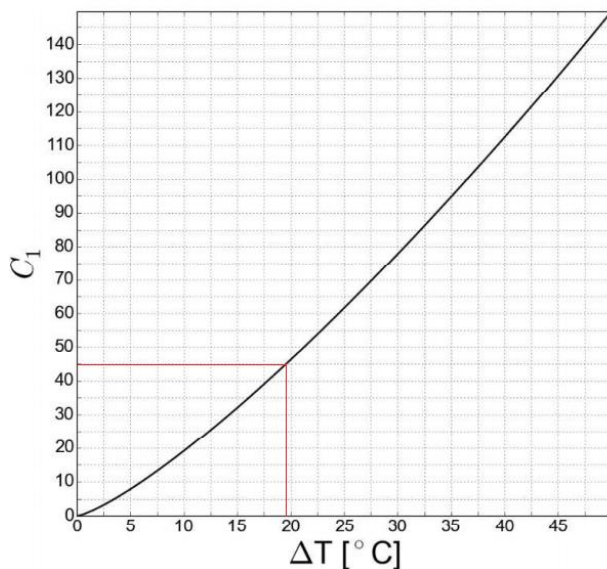
Esimerkkikiinteistöön asennetaan jäteveden lämmöntalteenotin. Lämmöntalteenottimeksi valitaan Wasenco Ecowec lämmönvaihdin, jota varten ei tarvitse erottaa mustaa ja harmaata jätevettä toisistaan. Lämmönvaihdinta käytetään käyttöveden esilämmitykseen ilman lämpöpumppua.

Wasenco Ecowecin nettisivuilla on lämmönvaihtimen tehomitoitusohje [31], jossa tehon mitoitus tehdään kuvaajia lukemalla. Kytkentävaihtoehdolla, jossa jätevesi

menee lämmönvaihtimen läpi ylhäältä alas, saadaan teho määritettyä seuraavalla tavalla kuvioiden 5 ja 6 avulla. Kuviosta 5 luetaan arvo C1 jäteveden menopuolen lämpötilan ja kylmän käyttöveden lämpötilaeron ΔT perusteella, jonka jälkeen kuviosta 6 luetaan jäteveden ja lämmönvaihtimen läpi kulkevan kylmän käyttöveden tilavuusvirran perusteella arvo C2. Lämmönvaihtimen teho kilowatteina saadaan, kun kerrotaan C1, C2:lla.

Jäteveden menoveden lämpötila esimerkkikiinteistössä on laskettu kuviota 5 varten kaavalla 23, jonka tuloksesta 29°C vähennetään kylmän käyttöveden lämpötila 10°C , jolloin kuviota 5 luetaan ΔT arvolla 19°C .

$$t = \frac{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 4 \text{ kg} \cdot 58 \text{ K} + \frac{4,18 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot 6 \text{ kg} \cdot 10 \text{ K}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 6 \text{ kg} + 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 4 \text{ kg}} \approx 29^{\circ}\text{C}$$



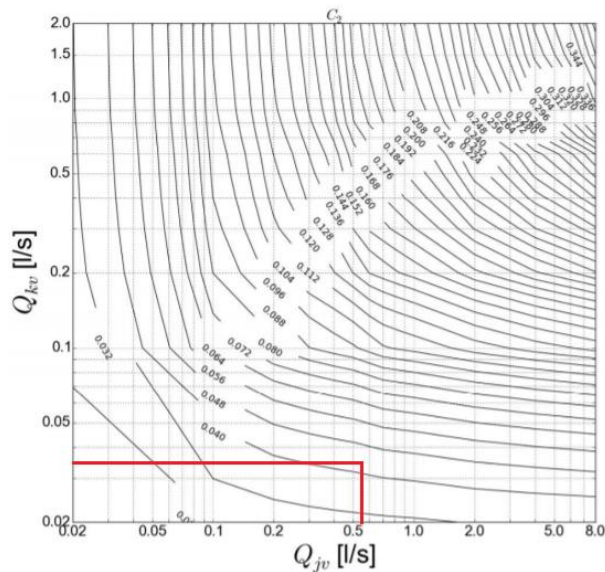
Kuvio 5. Vaaka-akselilla jäteveden menopuolen lämpötilan ja kylmän käyttöveden lämpötilaero. Pystyakselilta luetaan C1 arvo [31].

Kuvion 6 käyttöä varten täytyy tietää kiinteistön veden kulutus litroina sekunnissa. Esimerkkikiinteistössä vettä kuluu henkilöä kohti vuorokaudessa 155 litraa ja yhteensä 36 henkilöltä vuorokaudessa vettä kuluu tällöin 5580 litraa. Käyttöveden virtaama ei ole lähellekään tasaista ympäri vuorokauden, koska öisin sitä ei kulu juuri lainkaan. Voisikin arvioida, että sitä kuluu lähinnä 6:00-

23:00 välisenä aikana, jolloin sekuntia kohti virtaama tällä ajanjaksolla on:

$$\frac{55801}{17 \cdot 60 \cdot 60} \approx 0,091 \text{ litraa. Tästä lämmintä vettä on 40\%, jolloin lämpimän käyttöveden}$$

virtaama on: $0,091 \text{ l/s} \cdot 0,4 \approx 0,036 \text{ l/s}$.



Kuvio 6. C2 saadaan käyttöveden ja jäteveden tilavuusvirran leikkauskohdalla olevasta käyrästä [31].

Tehoksi saadaan tällöin: $\phi_{jv} = C1 \cdot C2 = 44 \cdot 0,042 \approx 1,85 \text{ kW}$. Vertailuksi teho voidaan laskea myös kaavalla 25. Kyseisessä kaavassa tulee tietää, kuinka paljon käyttövesi lämpenee lämmönvaihtimessa. Timo Torvisen opinnäytetyön ”Jäteveden lämmöntalteenoton hyödyntäminen asuinkerrostalossa” [32, 43] perusteella käytän laskussa arvoa 10 K, jolloin tehoksi saadaan 1,52 kW, joka on 18 % pienempi kuin kuvaajista luettuna.

$$\phi_{jlt} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 0,036 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 10 \text{ K} \approx 1,52 \text{ kW}$$

Vuodessa jäteveden lämmöntalteenotin ottaisi siis talteen lämpöenergiaa ja siten säästäisi käyttöveden lämmitysenergiaa kuvaajien perusteella:

$$Q_{jv} = 1,85 \text{ kW} \cdot 17 \text{ h} \cdot 365 \text{ vrk} = 11\,479 \text{ kWh}$$

Laskukaavan 25 ja opinnäytetyön arvojen perusteella talteenotettu energia:

$$Q_{jv} = \frac{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 0,155 \text{ m}^3 \cdot 36 \text{ hlö} \cdot 365 \text{ vrk} \cdot 0,4 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \text{ K}}{3600} \approx 9\,459 \text{ kWh}$$

Menetelmien lopputuloksissa on noin 18% ero, mutta ne ovat kuitenkin melko hyvin samassa suuruusluokassa. Ero tulee luultavasti siitä, että kuvaajista arvioi-
dessa jäteveden lämpötila on arvioitu liian suureksi, koska siinä ei ole otettu huo-
mioon lämpöhäviötä, joita viemäreissä on. Voisi kuitenkin kuvitella, että niiden
välinen keskiarvo 10 000 kWh on lähellä todellista arvoa, joten sitä käytetään
päästölaskelmissa seuraavassa kappaleessa.

8 Saneerauksien tuomat muutokset kiinteistöjen hiilidioksidipäästöihin esimerkki kiinteistössä

8.1 PILP:n säästämät hiilidioksidipäästöt vuodessa

Poistoilmalämpöpumppu vähentää vuodessa kiinteistön kaukolämmön kulutusta yhteensä 148 978 kWh ja lisää sähkön kulutusta 41 472 kWh. Säästetyt hiilidioksidipäästöt saadaan siis, kun vähennetään vähentyneen kaukolämmön kulutuksen seurauksena säästetyistä päästöistä, lisääntyneen sähkön kulutuksen päästöt.

PILP:n vaikutukset hiilidioksidipäästöihin lasketaan kaavalla 13 sekä vähentyneen kaukolämmön osalta, että lisääntyneen kulutuksen osalta. Olemassa olevassa kiinteistössä olisi järkevintä käyttää paikkakuntaakohtaisen tuotantolaitoksen laskettuja päästökertoimia, mutta tässä tapauksessa käytän koko Suomen keskimääräisiä päästökertoimia.

$$\text{kgCO}_2 = 148\,978 \text{ kWh} \cdot \frac{188 \text{ kgCO}_2}{1000 \text{ MWh}} \approx 28\,008 \text{ kgCO}_2 \quad (13)$$

$$\text{kgCO}_2 = 41\,472 \text{ kWh} \cdot \frac{\frac{164 \text{ kgCO}_2}{\text{MWh}}}{1000} \approx 6\,801 \text{ kgCO}_2 \quad (13)$$

Kokonaisuudessaan PILP-järjestelmä säästää siis kiinteistön päästöjä vuodessa:

$$28\,008 \text{ kgCO}_2 - 6\,801 \text{ kgCO}_2 = 21\,207 \text{ kgCO}_2$$

Henkilöauton ajokilometreinä tämä tarkoittaa:

$$\text{HA}_{\text{ajokm}} = \frac{21\,207 \text{ kgCO}_2}{0,158 \text{ kgCO}_2/\text{km}} \approx 134\,221 \text{ km}$$

8.2 Maalämmön tuomat säästöt öljylämmitteisessä kiinteistössä

Maalämpöpumppu, jonka kompressoriteho on 20 kW ja lämpökertoimet taulukon 5 mukaiset korvaa lähes täysin kiinteistön öljyn kulutuksen. Se tuottaa vuodessa 258 299 kWh lämpöenergiaa, joka tarkoittaa 24 322 litraa öljyä, sillä litralla öljyä pystytään tuottamaan noin 11 kWh lämpöenergiaa, kun kattilan hyötysuhde on 90%. Litraa polttoöljyä syntyy poltettuna 2,7 kg hiilidioksidia, joka tarkoittaa, että yksi megawattitunti öljyllä tuotettuna tuottaa 261,72 kg hiilidioksidia. Tällöin maalämpöpumpun säästämät päästöt ovat kaavalla 13 laskettuna:

$$\text{kgCO}_2 = 258\,299 \text{ kWh} \cdot \frac{\frac{261,72 \text{ kgCO}_2}{\text{MWh}}}{1000} = 67\,602 \text{ kgCO}_2 \quad (13)$$

$$\text{kgCO}_2 = 66\,280 \text{ kWh} \cdot \frac{\frac{164 \text{ kgCO}_2}{\text{MWh}}}{1000} = 10\,870 \text{ kgCO}_2 \quad (13)$$

Kokonaisuudessaan maalämpöjärjestelmä säästää siis kiinteistön päästöjä vuodessa:

$$67\,602 \text{ kgCO}_2 - 10\,870 \text{ kgCO}_2 = 56\,732 \text{ kgCO}_2$$

Henkilöauton ajokilometreinä tämä tarkoittaa:

$$\text{HA}_{\text{ajokm}} = \frac{56\,732 \text{ kgCO}_2}{0,158 \text{ kgCO}_2/\text{km}} \approx 359\,063 \text{ km}$$

8.3 Jäteveden lämmöntalteenoton tuomat säästöt kiinteistössä

Jäteveden lämmöntalteenoton käyttöveden esilämmittimenä säästää kaukolämmitteisessä kiinteistössä sen verran energiaa kuin se ottaa talteen jätevedestä. Kaukolämmön päästöt ovat paikkakuntaakohtaisia ja yhteistuotantolaitoksissa päästöt saadaan laskettua polttoaineiden kulutusten perusteella hyödynjakomenetelmällä. Tässä tapauksessa käytän kuitenkin valtakunnallista kaukolämmön keskimääräistä päästökerrointa.

$$\text{kgCO}_2 = 10\,000 \text{ kWh} \cdot \frac{188 \text{ kgCO}_2}{1000 \text{ MWh}} = 1\,880 \text{ kgCO}_2 \quad (13)$$

Henkilöauton ajokilometreiksi muutettuna tämä tarkoittaa:

$$HA_{\text{ajokm}} = \frac{1\,880 \text{ kgCO}_2}{0,158 \text{ kgCO}_2/\text{km}} \approx 11\,900 \text{ km}$$

8.4 Saneeraustoimenpiteiden päästövaikutusten vertaileminen

Saneeraustoimenpiteet vaikuttavat kukin kiinteistön päästöihin positiivisesti. Suhteessa säästetyn ostolämpöenergian määrään, parhaiten vaikuttaa jäteveden lämmöntalteenotto, sillä se ei lisää sähkön (E_{muutos}) kulutusta kiinteistössä. Poistoilmalämpöpumppu ja maalämpöpumppu vähentävät hiilidioksidipäästöjä suhteessa korvattuun lämpöenergian määrään ($Q_{\text{muutos}} \%$) melko yhteneväisesti, sillä näissä laskuissa kaukolämmön ja kevyen polttoöljyn päästökertoimet eivät paljoa poikenneet toisistaan. Kevyen polttoöljyn päästökertoimenä käytettiin 261,72 kg/CO₂/MWh ja kaukolämmön 188 kgCO₂/MWh, joten sen ja paremman lämpökertoimen ansiosta maalämpöpumppu säästää 3,3 kertaa enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin poistoilmalämpöpumppu, vaikka se tuottaa vain 2,1 kertaa enemmän lämpöenergiaa kiinteistölle. Rahallinen säästö taulukkoon 7 on laskettu saneerausta edeltävillä ja seuranneilla ostoenergioilla, eikä siinä ole otettu huomioon mahdollisten apulaitteiden kulutusten muutosta. Energiamuotojen hintoina on käytetty arvoja:

- kaukolämpö 50 €/MWh
- sähkö 80 €/MWh
- kevyt polttoöljy 1 €/litra.

Taulukko 7. Saneeraustoimenpiteiden vaikutusten vertailu

	Q _{muutos} [kWh]	Q _{muutos} [%]	E _{muutos} [kWh]	CO ₂ - muutos [kgCO ₂]	CO ₂ - muu- tos [%]	€-muu- tos	€- muu- tos [%]
PILP KL-kiinteis- töön	-148 978	57,6	+ 41 472	-21 207	44	-4 131	32
MLP Öljykiinteis- töön	-258 299	100	+ 66 280	-56 732	84	-19 020	78
MLP KL-kiinteis- töön	-258 299	100	+ 66 280	-37 690	78	-7 613	59
Jäteveden LTO	-10 000	4	0	-1 880	4	-500	4

9 Saneeraustoimenpiteiden vaikutukset kiinteistön E-lukuun

Rakennusten e-luku on suunniteltu edistämään rakennusten energiatehokkuutta ja uusiutuvien energianlähteiden käyttöä, antamalla mahdollisuuden osaltaan vertailla rakennusten energiatehokkuutta [33,1]. E-luvun arvo ei kuitenkaan välttämättä kerro tarkasti kiinteistön hiilidioksidipäästöistä. Laskettujen saneeraustoimenpiteiden vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin ja e-lukuun voidaan verrata, jotta nähdään, ovatko vaikutukset niihin suuruudeltaan yhteneväisiä.

9.1 Esimerkkikiinteistön E-luku

Esimerkkikiinteistön tiedot löytyvät kappaleesta 3 ja ohje E-luvun laskentaan löytyy Ympäristöministeriön määräämästä asetuksesta rakennuksen energiatodistuksesta [34]. Suhteellisten muutosten vertailun helpottamiseksi alla on laskettu esimerkkikiinteistön E-luku.

E-luvun laskentaa varten täytyy tietää kiinteistön tilojen- ja käyttöveden vuotuinen lämpöenergian kulutus, lämmönjakotapa sekä järjestelmien apulaitteiden sähkönkulutus. Käyttöveden jaossa tapahtuvat häviöt on jo huomioitu sen vuotuisessa kulutuksessa pois lukien varaajan häviöitä. Varaaja tämän kokoisessa kiinteistössä on ympäristöministeriön ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta”-ohjeen mukaan 1 m^3 [34, 45]. Myös apulaitteiden ominaissähkönkulutukset ovat valittu edellä mainitun oppaan perusteella ja ne on lueteltu muiden lähtötietojen lisäksi alla.

- Tilojen vuotuinen lämpöenergian kulutus: 186 769 kWh
- Radiaattorien hyötysuhde: 0,9 [34, 41]
- Käyttöveden vuotuinen lämpöenergian kulutus: 71 625 kWh
- Käyttöveden varaajan lämpöhäviöt: 1100 kWh [34, 45]
- Ilmanvaihdon virtaama: $0,5\text{ m}^3/\text{s}$
- Ilmanvaihdon ominaissähkönkulutus: $0,9\text{ kWh}/\text{m}^3/\text{s}$ [34, 57]
- Kiertopumpun sähkönkulutus: $2\text{ kWh}/\text{m}^2$
- Esimerkkikiinteistön pinta-ala: 1304 m^2

Kokonaislämpöenergian tarpeeksi laskentaohjeen häviöt huomioon ottaen saadaan siis: $186\,769\text{ kWh} \cdot 0,9 + 71\,625\text{ kWh} + 1100\text{ kWh} = \mathbf{280\,246\text{ kWh}}$.

Apulaitteiden yhteen laskettu sähkön kulutus vuodessa laskentaohjeen mukaan on: $0,9\text{ kWh}/\text{m}^3/\text{s} \cdot 0,5\text{ m}^3/\text{s} \cdot 8760\text{ h} + 2\text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot 1304\text{ m}^2 = \mathbf{6550\text{ kWh}}$

E-luvun laskennassa jokaisella ostoenergiamuodolla on oma energiamuotokerroin. Näillä kerrottuna saadaan kiinteistön lopullinen E-luku. Ostoenergioiden energiamuotokertoimet esitetään taulukossa 8 [35, 14].

Taulukko 8. Energiamuotojen kertoimet e-luvun laskentaan [35, 14].

Energiamuoto	Energiamuodon kerroin
Sähkö	1,2
Kaukolämpö	0,5
Kaukojäähdytys	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Energiamuotokertoimilla saadaan energiankulutukseksi kaukolämpökiinteistössä:

$$280\,246\text{ kWh} \cdot 0,5 + 6\,550\text{ kWh} \cdot 1,2 \approx 147\,983\text{ kWh}$$

Öljylämmitteisessä kiinteistössä:

$$280\,246\text{ kWh} \cdot 1,0 + 6\,550\text{ kWh} \cdot 1,2 \approx 288\,106\text{ kWh}$$

E-luku ilmaistaan pinta-alaa kohden, jotta kiinteistöt olisivat vertailukelpoisia keskenään. Pinta-alaa kohden energiamuodoilla kerrottu kulutus tarkoittaa kaukolämmitteisessä kiinteistössä:

$$\frac{147\,983\text{ kWh}}{1304\text{ m}^2} \approx \frac{113\text{ kWh}}{\text{m}^2}/\text{a}$$

Öljylämmitteisessä kiinteistössä:

$$\frac{288\,106\text{ kWh}}{1304\text{ m}^2} \approx \frac{221\text{ kWh}}{\text{m}^2}/\text{a}$$

9.2 PILP:n lisäämisen vaikutus e-lukuun

Kiinteistön lämmönjakotapa ja niiden apulaitteiden sekä varastoinnin häviöt pysyvät vakiona saneerauksesta huolimatta, joten tarkastella täytyy vain ostoenergioiden muutosta. Lämpöpumpun poistoilmasta ottama energia määritellään uusiutuvaksi energiaksi, joten sillä ei ole energiamuotokerrointa ja se vähentää ostoenergian tarvetta.

PILP vähentää esimerkkikiinteistössä kaukolämmön kulutusta 148 978 kWh ja lisää sähkön kulutusta 41 472 kWh. Energiamuotokertoimilla tarkasteltuna se vähentää kiinteistön energiankulutusta seuraavanlaisesti:

$$148\,978\text{ kWh} \cdot 0,5 - 41\,472\text{ kWh} \cdot 1,2 \approx 24\,723\text{ kWh}$$

E-luku määritellään arvona kilowattituntia neliötä kohden vuodessa (kWh/m²/a), joten muutos siinä muodossa esimerkki kiinteistössä on:

$$\frac{24\,723\text{ kWh}}{1304\text{ m}^2} \approx \frac{19\text{ kWh}}{\text{m}^2}/\text{a}$$

9.3 Maalämpöpumpun lisääminen kiinteistöön

Tapauksessa lämmönjakotapa säilyi samana, joten vaikutus on ainoastaan ostoenergiaan. Esimerkki kiinteistössä tällä toimenpiteellä maalämpö korvasi öljyllä tai kaukolämmöllä tuotettua lämpöenergiaa 258 299 kWh ja lisäsi sähkön kulutusta 66 280 kWh. Öljyn energiamuotokertoimilla tarkasteltuna se vähentää kiinteistön energiankulutusta seuraavanlaisesti:

$$258\,299\text{ kWh} \cdot 1,0 - 66\,280\text{ kWh} \cdot 1,2 \approx 178\,763\text{ kWh}$$

E-luku määritellään arvona kilowattituntia neliötä kohden vuodessa (kWh/m²/a), joten muutos siinä muodossa esimerkki kiinteistössä on:

$$\frac{178\,763\text{ kWh}}{1304\text{ m}^2} \approx \frac{137\text{ kWh}}{\text{m}^2}/\text{a}$$

Kaukolämmön energiamuotokertoimilla tarkasteltuna se vähentää kiinteistön energiankulutusta ja e-lukua seuraavanlaisesti:

$$258\,299\text{ kWh} \cdot 0,5 - 66\,280\text{ kWh} \cdot 1,2 \approx 49\,614\text{ kWh}$$

Muutos e-lukuun:

$$\frac{49\,614\text{ kWh}}{1304\text{ m}^2} \approx \frac{38\text{ kWh}}{\text{m}^2}/\text{a}$$

9.4 Jäteveden lämmöntalteenotin käyttöveden esilämmittimenä

E-luvun määrittämissä ei kerrota jäteveden lämmöntalteenotosta mitään, mutta se voidaan vähentää kokonaan ostoenergiasta, sillä se on täysin uusiutuvaa energiaa, jota muuten ei otettaisi talteen. Esimerkki kiinteistössä jäteveden lämmöntalteenotin lämmitti vuodessa käyttövedettä 10 000 kWh ja vähensi siten kaukolämmön kulutusta sen verran. Energiamuotokertoimen kanssa tarkasteltuna se tarkoittaa:

$$10\,000\text{ kWh} \cdot 0,5 \approx 5000\text{ kWh}$$

Muutoksen vaikutus esimerkki kiinteistön e-lukuun:

$$\frac{5000\text{ kWh}}{1304\text{ m}^2} \approx \frac{3,8\text{ kWh}}{\text{m}^2}/\text{a}$$

9.5 Saneeraustoimenpiteiden e-lukuvaikutusten vertaileminen

Vertailemalla saneeraustoimenpiteiden vaikutusta kiinteistön hiilidioksidipäästöihin ja e-lukuun pystytään tarkastelemaan, kuinka hyvin e-luku ohjaa rakentamista

tai tässä tapauksessa korjausrakentamista ympäristöystävällisempään suuntaan. Taulukon 9 viimeisessä sarakkeessa on jaettu prosentuaalinen e-luvun muutos, prosentuaalisella hiilidioksidipäästöjen muutoksella. Tämä arvo korreloi kuinka muutokset linkittyvät toisiinsa. Silloin kun arvo on 1 muutokset ovat yhtä suuria ja kun se on alle yksi, muutos e-luvussa on pienempi kuin kiinteistön hiilidioksidipäästöissä.

Taulukko 19. Muutoksien vertailu hiilidioksidipäästöjen ja e-luvun välillä

	CO ₂ -muutos [kgCO ₂]	CO ₂ -muutos [%]	E-luvun muutos [kWh/m ² /a]	E-luvun muutos [%]	e-luvun muutos [%]/ CO ₂ -muutos [%]
PILP KL-kiinteistöön	-21 207	44	-19	16,7	0,43
MLP Öljykiinteistöön	-56 732	84	-137	62	0,74
MLP KL-kiinteistöön	-37 690	78	-38	34	0,44
Jäteveden LTO	-1 880	4	-3,8	3,3	0,83

Taulukon 9 perusteella voidaan sanoa, että lähimpänä E-luvun ja hiilidioksidipäästöjen suhteellinen muutos on tapauksessa, jossa kiinteistöön lisätään jäteveden lämmöntalteenotin ja tapaus, jossa öljylämmitys korvataan maalämpöpumpulla. Jäteveden lämmöntalteenotin ei lisää kiinteistön sähkön kulutusta, joten se pienentää myös e-lukua suhteessa hyvin, sillä sähkön energiamuotokerto on suurin. Heikoin korrelaatio on tapauksissa, joissa saneeraustoimenpide lisää kiinteistön sähkönkulutusta ja vähentää kaukolämmön kulutusta, johtuen yksinkertaisesti niiden merkittävästä erosta energiamuotokertoissa, vaikka kummankin energiantuotanto tuottaa keskimäärin lähes samansuuruiset hiilidioksidipäästöt.

10 Pohdinta

Opinnäytetyössä selvitettiin, kuinka paljon tyypilliset asuinkerrostalojen saneeraukset vähentävät kiinteistön hiilidioksidipäästöjä. Selvityksen tarkoituksena oli saada selville, onko kuntoarvion yhteydessä tehtävä hiilidioksidipäästöjen arviointi järkevää ja onko tulokset niin merkittäviä, että ne vaikuttavat kuluttajien päätöksiin. Lopputulosten vaatiman laskenta- ja arviointiprosessin muodostaminen onnistui ja tulokset säästettyjen hiilidioksidipäästöjen osalta on esitetty luvussa 8. Tuloksiksi saadut lukemat ovat mielestäni niin merkittäviä, että kyseiset saneeraustoimenpiteet voidaan nähdä selvästi ympäristöystävällisinä.

Lisäksi saneeraustoimenpiteen vähentämiä hiilidioksidipäästöjä verrattiin sen E-luku vaikutukseen luvussa 9. Tämä vertailu osoitti, että E-luku ei osoita kovin hyvin, kuinka paljon kiinteistö aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, sillä saneeraustoimenpiteiden vaikutukset siihen, olivat suhteessa merkittävästi pienemmät kuin hiilidioksidipäästöihin. Eniten tähän vaikuttaa se, että erot energiamuotojen kertoimissa E-luvun laskennassa, eivät kohtaa tuotantomuotojen päästökertoimien kanssa. Monet nykyiset ympäristöystävälliset lämmitysmuodot käyttävät lämpöpumpputeknologiaa, joka lisää aina sähkön kulutusta. Sähkön suuren energiamuotokertoimen takia kuitenkin E-luku vaikutus jää melko pieneksi, eikä se näissä tapauksissa korreloi järjestelmän ympäristöystävällisyyttä kovin hyvin.

Opinnäytetyötä varten muodostettu päästöjen arviointimalli on mielestäni niin yksityiskohtainen, että lopputulokset ovat luotettavat muodostetussa esimerkkikiinteistössä tarpeellisessa määrin. Päästöihin vaikuttavia asioita olemassa olevissa kiinteistöissä voi olla enemmän tai vähemmän ja kiinteistöjen rakenteiden energiatehokkuudet vaihtelevat huomattavasti, mutta keskimäärin valitun kaltaisissa kiinteistöissä muodostetulla prosessilla päästään varmasti luotettavaan lopputulokseen.

Aloitin tekemään tätä opinnäytetyötä huhtikuun alkupuolella ja tein sitä aktiivisesti toukokuun loppuun asti toimeksiantajan toimistolla. Kesän aikana pidin taukoa ja viimeistelin työn elokuun lopussa ja syyskuun alussa. Tekoprosessin aikana opin

todella paljon, sillä lopputulokseen vaikuttaa niin monet asiat ja monet lukemani ja opiskelemani asiat eivät lopulta edes päätyneet työhön rajauksen takia. Lisäksi opinnäytetyön merkitys tärkeänä osana koulutuksesta vahvistui, sillä se vaatii suuren määrän omatoimisuutta ja oman tekemisen tarkkailua ja suunnittelemista.

Hiilidioksidipäästöjen arviointiprosessin haastavuus vaihtelee ja samalla arvioijan työmäärä. Tämän työn tavoitteena oli helpottaa arviointiprosessia, ja hyödynnettävyys siinä mielessä varmasti toimii. Täysin valmista pohjaa arvioijalle se ei aina välttämättä anna johtuen kiinteistöjen poikkeavuuksista. Jatkokehityksenä toimeksiantajayritykselle teen laskentaprosessista Excel taulukko-ohjelmalla työkalun, joka mahdollisesti nopeuttaa arviointiprosessia.

Havainnot päästöjen ja E-luku vaikutusten eroavaisuudessa saa miettimään, pitäisikö lainsäädännön puolen pyrkiä vaikuttamaan rakentamisen ympäristöystävällisyyteen enemmän. Tällä hetkellä E-luku on pitkälti kompromissi energiatehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden välillä, ja indikoi siten myös kiinteistön ylläpidon taloudellisuudetta. Kaupallisella puolella etenkin kansainväliset toimijat ovat jo kehittäneet ympäristösertifikaatteja kiinteistölle, mutta ne eivät ole vielä lyöneet läpi Suomessa. Kiinteistöjen päästöt muodostavat kuitenkin yli neljänneksen Suomen päästöistä, joten rakentamisen ympäristöystävällisyyteen tulisi pyrkiä vaikuttamaan enemmän. Selvästi tehokkain tapa olisi yhtenäinen lainsäädännön määrittelemä pakollinen luokittelu. Kuitenkin vastaavalla tavalla päästölaskelmien lopputulosten ilmaiseminen kuluttajille kuin tässä opinnäytetyössä, voidaan varmasti vaikuttaa kuluttajien päästöksiin. Päästövaikutusten ilmaiseminen ajokilometreinä on yksinkertainen monenlaisiin kohteisiin soveltuva kansankielinen tapa, joten se voi puhutella ihmisiä hyvin.

Lähteet

1. Rämä, M., Niemi, R., Similä, L. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. VTT Oy.
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-00564-15.pdf>. 12.5.2019
2. Tilastokeskus. Liitetaulukko 3. Pinta-ala huoneistoa kohti (m²) asunnon talotyyppin mukaan 1970-2017, koko asuntokanta.
http://stat.fi/til/asas/2017/asas_2017_2018-05-17_tau_003_fi.html. 10.6.2019
3. Ympäristöministeriö. 2018. Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista annetun ympäristöministeriön asetuksen 5 §:n muuttamisesta. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B6B65756E-C7D3-4F4E-B8D4-7C02978CF35F%7D/140918>. 19.9.2019
4. Ympäristöministeriö. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohje. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>. 20.8.2019
5. Motiva. 2018. Energiatodistusopas 2018 Vanhojen rakennusten tyypillisiä suunnitteluarvoja. http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e8ea8b8606c502ea8b11e89b1a77278a7d4c494c49/energiatodistus-opas_2018_vanhojen_rakennusten_tyypillisia_suunnitteluarvoja.pdf. 20.8.2019
6. Motiva. 2018. Energiatodistusopas 2018 Kerrostalo vuodelta 1970. http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e95220aa1b4ae2522011e9b40bab954c87be9cbe9c/energiatodistus-opas_2018_kerrostalo_vuodelta_1970.pdf. 20.8.2019
7. Motiva. 2019. Vedenkulutus taloyhtiöissä. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian_ja_vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiössä. 27.5.2019
8. Motiva. 2012. Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. https://www.motiva.fi/files/8886/CO2-laskentaohje_Yksittainen_kohde.pdf. 13.5.2019
9. Energiateollisuus. 2018. Kaukolämpötilasto. https://energia.fi/ajankohdista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view. 27.5.2019
10. Motiva. 2019. CO₂- päästökertoimet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipäästöjen_laskentaan/co2-paastokertoimet. 13.5.2019
11. Ilmastolaskuri. 2018. Laskentaperusteet. WWF. <http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/calculation-basis?country=2&year=10746>. 27.5.2019
12. Liikenne fakta. 2019. Liikennekäytössä olevien henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt maakunnittain. https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/henkilootot/hiilidioksidipaastot/henkilootojen_keskimaaraiset_hiilidioksidipaastot_maakunnittain. 27.5.2019
13. Motiva. 2008. Lämpöä ilmassa. <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>. 9.5.2019

14. Sulpu ry. 2019. Yleistä lämpöpumpuista. <https://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Yleista-l%C3%A4mp%C3%B6pumpuista-SULPU.pdf>. 20.8.2019
15. LVI-kortisto. 2006. LVI 10-10398. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.tietopalvelu.karelia.fi/resource/juha/content/10982#page=1>. 12.5.2019
16. Rakennustieto Oy. 2003. RT 52-10801. <https://kortistot-rakennustieto-fi.tietopalvelu.karelia.fi/resource/juha/content/9826#page=1>. 12.5.2019
17. LVI-kortisto. 2002. LVI 12-10343. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.tietopalvelu.karelia.fi/resource/juha/content/12511#page=1>. 12.5.2019
18. Lehtonen, H & Harju, P. 2011. LVI-mitoituksen oppikirja. Kouvola: Penan tieto-opus Ky.
19. Energiategollisuus Ry. 2017. Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpöaloon: ohjeet suunnittelijalle. https://energia.fi/files/1977/Poistoilmalampopumppu_kaukolampotaloon_ohjeet_suunnittelijalle.pdf. 21.5.2019
20. Eskola, L & Jokisalo, J & Siren, K. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757>. 13.5.2019
21. Ympäristöministeriö. 2018. PILP-opas 2018. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B3A3AA968-B9E7-48FC-ACEB-7C4E7F0917D8%7D/133697>. 10.9.2019
22. Tilastokeskus. 2018. Liitetaulukko 2. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2017, GWh. https://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_tau_002_fi.html. 27.5.2019
23. Öljylämmittäjän tietopankki. Öljylämmitysjärjestelmän energiatehokkuus. 2019. Suomen lämmitystieto. <https://www.oljylammitys.fi/energiatehokkuus/oljylammitysjarjestelman-energiatehokkuus>. 27.5.2019
24. Juvonen, J & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Ympäristöministeriö. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y. 27.5.2019
25. LVI-kortisto. 2018. LVI 11-10624. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.tietopalvelu.karelia.fi/resource/juha/content/11041#page=1>. 27.5.2019
26. Motiva. 2012. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput. https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf. 25.8.2019
27. Ympäristöministeriö. 2018. Ympäristöministeriön asetus vesi- ja viemärlaitteistoista. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B6BCD2F9D-9D8A-419E-879A-8D8560E400B6%7D/133639>. 19.9.2019
28. Edilex. 2006. Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 12.10.2019/888. [https://www.edilex.fi/lainsaadanto/20060888?languages\[\]=fi&offset=1&perpage=20&phrase=12.10.2006%2F888&sort=relevance&typelds\[\]=1%2C23%2C35%2C141&search-Key=544650&quickSearch=true](https://www.edilex.fi/lainsaadanto/20060888?languages[]=fi&offset=1&perpage=20&phrase=12.10.2006%2F888&sort=relevance&typelds[]=1%2C23%2C35%2C141&search-Key=544650&quickSearch=true). 27.5.2019

29. Wasenco. 2019. Käyttöveden esilämmitys: kaukolämpö. http://www.ecowec.com/wp-content/uploads/2017/05/Ka%CC%88ytto%CC%88veden-esila%CC%88mmitys_kaukola%CC%88mpo%CC%88.pdf. 27.8.2019
30. Wasenco. 2019. Ecowec-hybridivaihdin lämpöpumppu. <http://www.ecowec.com/wp-content/uploads/2017/05/La%CC%88mpo%CC%88pumppu.pdf>. 27.8.2019
31. Wasenco. 2019. Ecowec tehomitoitus käyttöveeseen. <http://wasenco.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Ecowec-tehomitoitus-k%C3%A4ytt%C3%B6veeseen.pdf>. 10.6.2019
32. Timo Torvinen. 2017. Jäteveden lämmöntalteenoton hyödyntäminen asuinkerrostalossa. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126258/Jateveden%20lammontalteenoton%20hyodyntaminen%20asuinkerrostalossa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 10.9.2019
33. Finlex. 2013. Laki rakennuksen energiatodistuksesta. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130050>. 28.5.2019
34. Energiatodistus. 2018. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Ympäristöministeriö. http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e805b9885aaaa605b911e8b01aa1811e2b87de87de/yma_rakennuksen_energiatodistuksesta_sk1048-2017.pdf. 27.8.2019
35. Motiva. 2018. Energiatodistusopas 2018. Ympäristöministeriö. http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e9521ff449b398521f11e9830f7fb4906bf8d8f8d8/energiatodistus-opas_2018_varsinainen_opas.pdf. 27.8.2019

Säätetiedot:

Liitteen sisältämät lämpötilan pysyvyystiedot perustuvat Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) tunnittaisiin ulkolämpötiloihin.

Säävyöhykkeet I ja II

Ulkoilman lämpötila	Lämpötilavälin kesto	Kumulatiivinen lämpötilavälin kesto	DH (20 °C) astetunnit	Kumulatiivinen DH (20 °C) kumulatiiviset astetunnit
Tu, °C	h	h	°Ch	°Ch
-22	0	0	0	0
-21	7	7	287	287
-20	19	26	771	1058
-19	23	49	888	1946
-18	21	70	799	2745
-17	30	100	1102	3847
-16	55	155	1987	5834
-15	83	238	2913	8747
-14	63	301	2144	10891
-13	72	373	2370	13262
-12	52	425	1654	14916
-11	49	474	1521	16436
-10	49	523	1472	17908
-9	76	599	2210	20118
-8	124	724	3483	23601
-7	146	870	3950	27551
-6	169	1039	4396	31947
-5	174	1213	4358	36305
-4	193	1406	4625	40930
-3	214	1620	4916	45846
-2	237	1856	5203	51050
-1	301	2158	6328	57378
0	519	2676	10372	67750
1	494	3170	9387	77137
2	460	3630	8278	85415
3	354	3984	6016	91432
4	280	4264	4485	95917
5	301	4566	4520	100437
6	279	4844	3900	104337
7	300	5144	3895	108232
8	280	5424	3364	111595
9	285	5709	3132	114727
10	290	5999	2900	117627
11	293	6292	2641	120268
12	293	6585	2341	122608
13	322	6907	2257	124865
14	297	7204	1782	126647
15	291	7495	1454	128101
16	309	7804	1237	129338
17	209	8014	628	129966
18	180	8194	361	130327
19	160	8354	160	130487
20	142	8496	0	130487
21	98	8594	0	130487
22	48	8643	0	130487
23	41	8684	0	130487
24	29	8713	0	130487
25	33	8746	0	130487
26	6	8752	0	130487
27	3	8755	0	130487
28	5	8760	0	130487