Tampere University

Max Koitela

RAKENNUSTEN ENERGIATODISTUSTEN JOHDONMUKAISUUS SUOMESSA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta (ENS)
Tarkastaja: Pauli Losoi
Kesäkuu 2025

Tiivistelmä

Max Koitela: Rakennusten energiatodistusten johdonmukaisuus Suomessa
Coherence of Building Energy Performance Certificates in Finland
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden kandidaattiohjelma, ympäristö- ja energiatekniikan opintosuunta
Kesäkuu 2025

Työn tavoitteena oli selvittää Suomessa yleisesti käytettävien rakennusten lämmitysmuotojen hiilidioksidipäästökertoimet, verrata niitä Valtionneuvoston asettamiin E-luvun laskennassa käytettäviin energiamuotojen kertoimiin ja arvioida, mitä rakennusten energiamuotoja nykylainsäädäntö suosii. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Yhteistuotannon päästöt arvioitiin energiamenetelmällä.

Öljylämmityksen päästökerroin oli kaikista suurin (280,0 $kgCO_2/MWh$), kun taas puun pienpolton (0,0 $kgCO_2/MWh$, bioperäinen) ja lämpöpumppulämmityksen (esim. ilma-ilmalämpöpumpun 14,1 $kgCO_2/MWh$ v. 2024) päästökertoimet olivat pienimmät. Kaukolämmön (125,9 $kgCO_2/MWh$ v. 2023) ja sähkön (34,4 $kgCO_2/MWh$ v. 2024) päästökertoimet ovat pienentyneet merkittävästi muutaman vuoden sisällä.

Suhteutettaessa Valtioneuvoston määrittämiä energiamuotojen kertoimia laskettuihin päästösuhdelukuihin havaittiin, että kaukolämmön energiamuodon kerroin (0,5) vastasi läheisesti sen tuottamia päästöjä (suhdeluku 0,45 v. 2023), mutta sähkön kerroin (1,2) oli huomattavasti korkeampi kuin sen päästöihin perustuva suhdeluku (0,12 v. 2024). Myös uusiutuvien polttoaineiden kerroin (0,5) oli päästösuhdelukua (0,0) korkeampi johtuen bioperäisen hiilen kokonaispäästöttömyydestä.

Laskettaessa energiamuodoille toiminnalliset kertoimet, jotka huomioivat energiamuotojen järjestelmien keskimääräiset rakennuksen sisäiset vuosihyötysuhteet, todettiin lainsäädännön suosivan E-luvun kautta eniten lämpöpumpputeknologioita (toiminnalliset kertoimet 0,37−0,54) ja kaukolämpöä (0,52). Perinteisellä sähkölämmityksellä (1,20) ja fossiilisilla polttoaineilla (1,04−1,17) E-luvut muodostuvat selvästi korkeammiksi.

Johtopäätöksenä todettiin, että vaikka Valtioneuvoston asettamat energiamuotojen kertoimet eivät suoraan vastaa laskennallisia päästöjä, ne ohjaavat lämmittämään vähäpäästöisemmillä, energiatehokkaammilla ja Suomen sähköverkkoa vähemmän rasittavilla lämmitysmuodoilla, kuten lämpöpumpuilla ja kaukolämmöllä. Energiamuotojen kertoimia voi kuitenkin olla tarpeen arvioida uudelleen sähkön ja kaukolämmön tuotantojen muuttuessa yhä vähähiilisemmiksi.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Opinnäytteessäni käytetyt tekoälytyökalut ja niiden käyttötarkoitukset on kuvailtu alla:

Scopus AI:

Opinnäytteeseen liittyvän kirjallisuuden hakeminen ja kartoittaminen.

Google Gemini 2.5 Pro:

Opinnäytteeseen liittyvän kirjallisuuden hakeminen ja kartoittaminen. Tiivistelmän alustavan rakenteen työstäminen.

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien tekoälyllä tuotetut osat, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

Sisällys

1 Johdanto 1

2 Lainsäädäntö 3

2.1 Energiatodistus 3

2.2 E-luku 3

2.3 Energiamuotojen kertoimet 4

3 Energiamuodot 6

3.1 Rakennusten sisäisten järjestelmien häviöt 6

3.2 Kaukolämpö 9

3.3 Sähköpohjaiset lämmitysjärjestelmät 12

3.3.1 Sähkölämmitys 12

3.3.2 Lämpöpumput 14

3.4 Pienpolttoon perustuvat lämmitysmuodot 17

3.4.1 Puun pienpoltto 17

3.4.2 Öljylämmitys 17

4 Tulokset ja niiden tulkinta 19

5 Johtopäätökset 23

Lähdeluettelo 30

A Kaupunkikohtaisia päästöjä . . . . . .

1 Johdanto

Suomen lain mukaan pääsääntöisesti kaikki rakentamislupaa vaativat uudisrakennukset tarvitsevat energiatodistuksen [1, 2 luku 3§]. Energiatodistuslainsäädännöllä mahdollistetaan rakennusten energiatehokkuuden vertailu ja sillä pyritään edistämään uusiutuvan energian käyttöä rakennuksissa [1, 1 luku 1 §]. Sillä vaikutetaan näin ollen ohjaavasti rakennusten osto- ja rakennuspäätöksiin.

Rakennuksen energiatodistuksen luokitus perustuu Suomen laissa määritettyyn energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) laskentamenetelmään, josta saatua lukua verrataan lainsäädännössä määritettyihin raja-arvoihin [2, 2 luku 7§]. Suomen laissa on myös määritetty uusien rakennusten E-luvuille raja-arvot, joita ne eivät saa ylittää [2, 2 luku 4§]. Kyseiset raja-arvot tulevat todennäköisesti tiukentumaan Euroopan Unionin kiristyvien ilmastotavoitteiden myötä [3, 4].

E-lukuun vaikuttavia päätekijöitä on kaksi, jotka ovat rakennuksen lämmitetty nettopinta-ala sekä rakennuksen kuluttama energian määrä vuodessa [2]. Tämän lisäksi eri energiamuodoille on Suomen laissa määritetty kertoimet, joiden avulla erityisesti rakennusten lämmitysmuotoja pyritään ohjaamaan [5]. Energiamuodolla tarkoitetaan tässä työssä energian tuotanto- tai siirtokeinoa, jolla joko tuotetaan tai tuodaan rakennukseen joko lämpöä tai sähköä. Valtioneuvoston kertoimista käytetään tässä työssä termiä *energiamuodon kerroin.*

Energiamuodolle voidaan määrittää myös niin sanottu *päästökerroin.* Päästökerroin arvioi energian tuotannon tai kulutuksen päästöjä esim. suhteena tCO_2e/m^3, jossa esitetty tilavuus on käytetyn polttoaineen määrä [6]. Tässä työssä päästökertoimen suhteena käytetään $kgCO_2/MWh$. Työssä arvioidaan ainoastaan energiamuotojen suorat hiilidioksipäästökertoimet, eikä siinä oteta huomioon muita kasvihuonekaasuja johtuen siitä, että Energiateollisuus ry:n ilmoittamat kaukolämmön päästökertoimet ja Tilastokeskuksen ilmoittamat polttoaineluokituksen päästökertoimet annetaan vuosittain ainoastaan tuotetun hiilidioksidin määrinä [7, Kaukolämpötilasto 2023, taulukot][8].

Selvittämällä energiamuodon vuosihyötysuhde, on kyseiselle energiamuodolle mahdollista määrittää myös *energiamuodon toiminnallinen kerroin.* Energiamuodon toiminnallisella kertoimella tarkoitetaan tässä työssä energiamuodolle määritettyä kerrointa, joka ottaa huomioon kyseisen energiamuodon järjestelmien vuotuiset keskimääräiset rakennuksessa tapahtuvat häviöt ja sillä pyritään arvioimaan energiamuodon keskimääräistä vaikutusta rakennuksen E-lukuun verrattaessa muihin energiamuotoihin. Toiminnallinen kerroin lasketaan jakamalla Valtioneuvoston asettama energiamuodon kerroin kyseisen energiamuodon keskimääräisellä vuosihyötysuhteella.

Tässä työssä selvitetään, mitkä ovat Suomessa yleisesti käytettävien energiamuotojen päästökertoimet ja kuinka johdonmukaisia *Valtioneuvoston asetus (20.12/1048)* [5] energiamuotojen päästökertoimet ovat niiden aiheuttamiin päästöihin verrattuna. Tämän lisäksi työssä selvitetään energiamuotojen toiminnallisten kertoimien avulla, mitä energiamuotoja Suomen lainsäädäntö nykymuodossaan suosii.

Suomen Tilastokeskuksen arvion mukaan rakennusten lämmityksen päästöt vastaavat noin neljäsosaa koko Suomen päästöistä [9]. Rakennusten energialainsäädäntö vaikuttaa voimassaolohetkellään pääosin uusien rakennusten suunnitelluun ja rakentamiseen, jolloin nykyisellä lainsäädännöllä voi olla jopa vuosikymmenien mittainen suora vaikutus Suomen kuluttamiin energiamuotoihin ja täten myös tuottamiin päästöihin. Työn tutkimuskysymykset ovat:

- Mitkä ovat Suomessa yleisesti käytettävien energiamuotojen keskimääräiset päästökertoimet?
- Kuinka hyvin Valtioneuvoston asettamat energiamuotojen kertoimet vastaavat nykytilanteessa energiamuotojen keskimääräisiä päästökertoimia?
- Mitä energiamuotoja Suomen rakennusenergialainsäädäntö nykymuodossaan suosii?

Työ suoritetaan kirjallisuuskatsauksena. Työn toisessa luvussa tutkitaan Suomen energialainsäädäntöä ja määritetään, kuinka energiamuotojen kertoimet vaikuttavat rakennusten E-lukuihin ja energiatodistuksiin. Työn kolmannessa luvussa käsitellään energiamuotoja, niiden tuottamia päästöjä ja energiamuotojen toiminnallisia kertoimia. Työn neljännessä luvussa päästökertoimia verrataan toisiinsa sekä energiamuotojen E-luvun laskennassa käytettäviin kertoimiin sekä verrataan energiamuotojen toiminnallisia kertoimia. Työn viidennessä luvussa käydään läpi tutkimuksen johtopäätökset.

2 Lainsäädäntö

Suomen rakennusten energiatodistuksesta määrätään laissa (Laki rakennuksen energiatodistuksesta, 50/2013). Lain tarkoitus ja soveltamisala on määritetty seuraavasti: ”Tämän lain tarkoituksena on erityisesti lisäämällä mahdollisuuksia rakennusten energiatehokkuuden vertailuun edistää rakennusten energiatehokkuutta ja edistää uusiutuvan energian käyttöä rakennuksissa” [1, 1 luku 1 §].

2.1 Energiatodistus

Suomessa energiatodistus vaaditaan pääosin kaikilta rakennuksilta, jotka vaativat rakennusluvan. Energiatodistus täytyy luoda rakentamisen yhteydessä tai silloin, kun rakennusta tai sen osaa ollaan myymässä tai vuokraamassa. Energiatodistusta ei kuitenkaan tarvitse teettää, jos olemassa olevaa rakennusta remontoidaan, korjataan, laajennetaan taikka sen käyttötarkoitus muuttuu. [10]

Energiatodistuksen pakollisuuteen on kuitenkin useita poikkeuksia ja mm. alle 50 m^2 kokoiselle, loma-asumiseen tarkoitetulle, suojellulle, taikka salassa pidettävälle puolustushallinnon käytössä olevalle rakennukselle ei tarvitse teettää energiatodistusta. Energiatodistusta tehtäessä voidaan myös soveltaa kevennettyä energiatodistusmenettelyä. Kevennettyä menettelyä voidaan käyttää, mikäli kohteen arvo on vähäinen. Tämä toteutuu, jos kohteen myyntihinta on alle 50 000 euroa tai kohteen vuokra alittaa 350 euroa kuussa. Kohteen myynti tai vuokra voidaan suorittaa kevennetyllä menettelyllä myös siinä tilanteessa, että kohde myydään tai vuokrataan lähisukulaiselle, tai sitä ei esitellä julkisesti myyntiä varten tai tarjota myytäväksi julkisesti esillä olevalla ilmoittelulla. Kevennetyn menettelyn mukaista todistusta ei tarvitse toimittaa energiarekisteriin tai Motivalle. [10]

2.2 E-luku

Laki rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013 9 §) [1] määrää:

> Energiatodistuksessa rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) sijoittumista luokitteluasteikolle kuvaavalla tunnuksella. Rakennukset jaetaan niiden käyttötarkoituksen mukaan ryhmiin, joilla kullakin on oma luokitteluasteikkonsa. Rakennuksen E-luku lasketaan jakamalla energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergian kulutus rakennuksen pinta-alaa kohden vuodessa.

Rakennuksen energiatehokkuusluokka määräytyy täten ainoastaan rakennuksen käyttötarkoituksen, ostoenergiankulutuksen, sekä pinta-alan mukaan. Sen laskemisessa ei suoraan oteta huomioon esimerkiksi rakennuksen eristystä eikä ikää, vaan nämä otetaan välillisesti huomioon rakennuksen kuluttaman energian määrässä. Rakennuksen E-luvun laskentakaava on määritetty laissa seuraavasti:

$$E = \frac{f_{\mathrm{kl}} Q_{\mathrm{kl}} + f_{\mathrm{kj}} Q_{\mathrm{kj}} + \sum_i f_{\mathrm{pa},i} Q_{\mathrm{pa},i} + f_{\mathrm{s}} W_{\mathrm{s}}}{A_{\mathrm{net}}} \tag{2.1}$$

jossa E on energiatehokkuuden vertailuluku ($\mathrm{kWh_E/m^2a}$),
Q_{kl} on kaukolämmön kulutus vuodessa (kWh/a),
Q_{kj} on kaukojäähdytyksen kulutus vuodessa (kWh/a),
$Q_{\mathrm{pa},i}$ on polttoaineen i sisältämän energian kulutus vuodessa (kWh/a),
W_{s} on sähkön kulutus vuodessa (kWh/a), missä on otettu huomioon vähennykset rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristöstä vapaasti hyödynnettävästä energiasta otetusta energiasta siltä osin, kuin se on käytetty rakennuksessa siinä tapahtuvan vakioituun käyttöön perustuvan energiakulutuksen kattamiseen,
f_{kl} on kaukolämmön energiamuodon kerroin,
f_{kj} on kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin,
$f_{\mathrm{pa},i}$ on polttoaineen i energiamuodon kerroin,
f_{s} on sähkön energiamuodon kerroin,
A_{net} on rakennuksen lämmitetty nettoala ($\mathrm{m^2}$) [2, 7 §].

2.3 Energiamuotojen kertoimet

Ympäristöministeriön asetuksessa (1010/2017) on määritetty E-lukua laskettaessa käytettävän maankäyttö- ja rakennuslain nojalla säädettyjä energiamuotojen kertoimien lukuarvoja (Taulukko 2.1).

Taulukko 2.1 *Energiamuotojen kertoimia. Muokattu lähteestä [2, 7 §].*

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

Kertoimilla ei ole yksiköitä. Työssä ei käsitellä tarkemmin kaukojäähdytyksen aiheuttamia päästöjä tai kaukojäähdytyksen energiamuodon kertoimen johdonmukaisuutta tuotettujen päästöjen suhteen. Tämä johtuu kaukojäähdytyksen suhteellisesta harvinaisuudesta Suomessa suhteessa muihin energiamuotoihin [11] sekä siitä,

että kaukojäähdytyksellä ei pystytä korvaamaan lämmittäviä energiamuotoja, jolloin kaukojäähdytyksen energiamuodon kertoimen vaikutus rakennuspäätöksiin on vähäinen.

Määritetyillä kertoimilla on suora vaikutus rakennuksen E-lukuun. Teoreettisessa tilanteessa, jossa kaksi identtistä rakennusta lämmitetään eri energiamuodoilla, toinen kaukolämmöllä ja toinen fossiilisilla polttoaineilla, lämmittäminen tapahtuu 100 %:n hyötysuhteella, eikä kumpikaan rakennus kuluta vuodessa yhtään sähköä, on kaukolämmöllä lämpenevän rakennuksen E-luku puolet fossiilisilla lämpenevän rakennuksen E-luvusta. Lämmitysmuodon valinnalla voi tällöin olla ratkaiseva merkitys esim. lainsäädännössä määrättyjen raja-arvojen noudattamisen kannalta [2, 2 luku 4§].

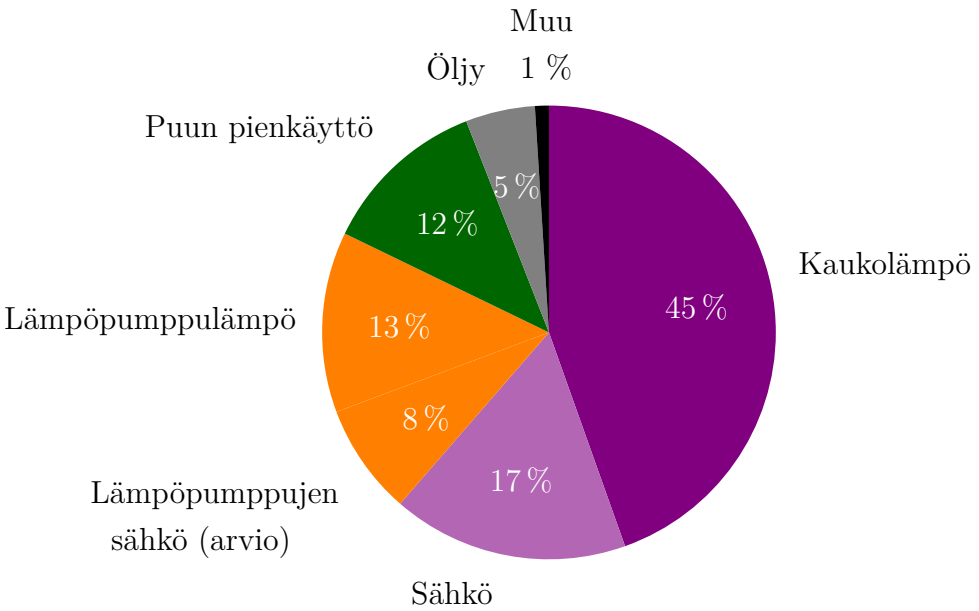
Tapaa, jolla kyseiset kertoimet on määritetty, ei ole eritelty Valtioneuvoston asetuksessa, mutta voidaan olettaa, että energiamuotojen kertoimien määrityksessä ollaan huomioitu vähintään energiamuotojen tuottamat päästöt lain (Laki rakennuksen energiatodistuksesta, 50/2013) asettamien tavoitteiden mukaisesti [1, 1 luku 1 §]. On kuitenkin huomionarvoista, että esim. sähkön energiamuodon kerroin (1,2) on suurempi kuin fossiilisten polttoaineiden (1,0), eikä rakennuksissa käytettävien uusiutuvien polttoaineiden energiakerroin ole nolla, kuten päästölaskennassa usein oletetaan [12]. Täten voidaan olettaa, että energiamuotojen kertoimia määritettäessä on otettu huomioon myös muita tekijöitä, kuten energiamuotojen keskimääräiset hyötysuhteet, sähköjärjestelmän kuormitus ja mahdolliset biopolttoaineiden ekologiset ja terveydelliset vaikutukset [13]. Energiamuotojen päästökertoimet ovat voineet myös muuttua huomattavasti vuodesta 2017, jolloin nykyiset energiakertoimet on asetettu esitettäviksi [5].

3 Energiamuodot

Suomen asuin- ja palvelurakennusten käyttämät energiamuodot voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, kaukolämpöön, sähköön ja pienpolttoon. Seuraavissa alaluvuissa kyseiset energiamuodot tullaan käymään läpi mainitussa, lämmityksen markkinaosuuksien suuruutta mukailevassa, järjestyksessä.

3.1 Rakennusten sisäisten järjestelmien häviöt

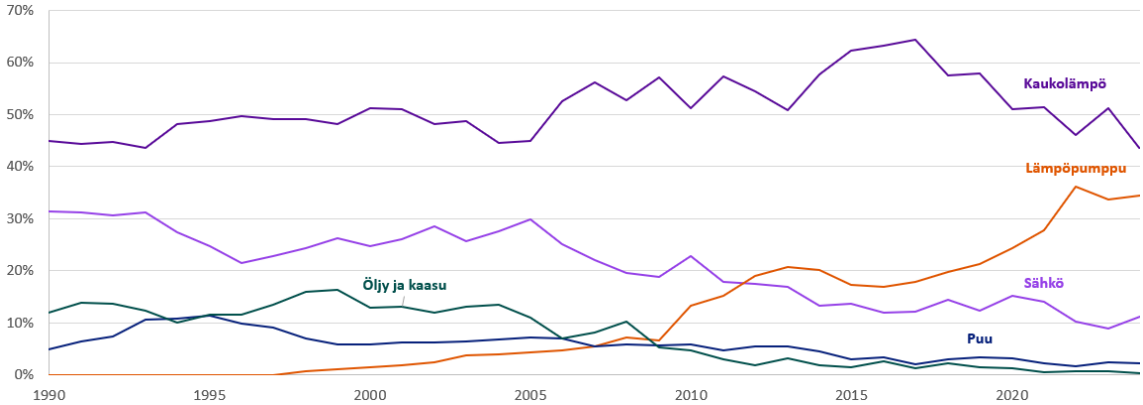
Kuvassa 3.1 esitetään Suomen rakennusten lämmitysmuotojen markkinaosuudet vuonna 2022, ja kuvassa 3.2 uudisrakennuksiin asennettujen lämmitysmuotojen markkinaosuudet vuosilta 1990−2024. Vuonna 2022 Suomen lämmityksestä noin 45 % hoidettiin kaukolämmöllä, 38 % sähköpohjaisilla lämmitysjärjestelmillä kuten perinteisellä sähkölämmityksellä ja lämpöpumpuilla, ja yhteensä 17 % hoidettiin pienpolttoon perustuvilla lämmitysmuodoilla kuten puun ja öljyn poltolla. Noin 1 % lämmitykseen kulutetusta energiasta ei sijoittunut kyseisiin kategorioihin.



Kuva 3.1 *Suomen asuin- ja palvelurakennusten lämmitysmuotojen osuudet kulutetusta lämmitysenergiasta vuonna 2022. Muokattu lähteestä [7].*

Taulukoissa 3.1 ja 3.2 esitetään Ympäristöministeriön arviot eri tyyppisten rakennusten sisäisistä vuotuisista varastointi- ja jakeluhäviöistä lämmitysmuotokohtaisesti. Kyseisissä taulukoissa on annettu myös arviot lämmitysmuotojen vaatimien apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Apulaitteiden vuodessa kuluttaman sähkön määrä saadaan kaavalla:

$$\text{apulaitteiden sähkön kulutus} = \text{ominaiskulutus} \cdot \text{lämmityspinta-ala}. \tag{3.1}$$



Kuva 3.2 *Uudisrakennuksiin asennettujen lämmitysmuotojen lämmitystilavuuteen suhteutetut markkinaosuudet vuosilta 1990–2024 [7].*

Taulukko 3.1 *Pientalon, ketjutalon osana olevan rakennuksen, rivitalon, tai enintään kaksikerroksisen asuinkerrostalon hyötysuhteita ja apulaitteiden sähkön ominaiskulutuksia. Muokattu lähteestä [14, liite 1].*

Lämmontuotto	**Vuosihyötysuhde, (-)**	**Apulaitteiden sähkön ominaiskulutus, (kWh/(m^{2}a))**
Öljy/kaasu, standardikattila	0,81(3	0,99(1 0,59(2
Öljy, kondenssikattila	0,87(3	1,07
Kaasu, kondenssikattila	0,92(3	0,68
Pellettikattila	0,75(3	0,77
Puukattila energiavaraajalla	0,73	0,38
Sähkökattila	0,88(3	0,02
Kaukolämpö	0,94	0,60
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

(1 öljy
(2 kaasu
(3 Vuosihyötysuhde sisältää tyypillisen lämmöntuotantoyksikköön integroidun varaajan häviöt.

Motivan arvion mukaan, sähkölämmitteisen pientalon lämmitykseen kuluu vuosittain noin 12,5−13,9 MWh energiaa [15]. Sähkövertailu.fi arvoi suorasähkölämmitteisen omakotitalon vuotuiseksi sähkön kulutukseksi 17−20 MWh, josta 10 MWh kuluu muuhun kuin lämmitykseen [16]. Tällöin lämmitykseen kuluu 7−10 MWh. Vattenfallin mukaan keskimääräisen sähkölämmitteisen omakotitalon vuotuinen energiankulutus on 25 MWh [17]. Mikäli kyseiselle kulutukselle oletaan edeltävästi, että 10 MWh kuluu muuhun kuin lämmitykseen, on Vattenfallin arvio sähkölämmityksen vuotuisesta energiankulutuksesta omakotitalolle 15 MWh. Tämä antaa keskimääräisen sähkölämmitteisen omakotitalon vuotuiseksi lämmityksen tarpeeksi 7−15 MWh.

Koska kondenssikattilalla lämmitettävän pienrakennuksen apulaitteiden sähkön ominaiskulutus on suurin annetuista lämmitysmuodoista (Taulukko 3.1), arvioidaan

Taulukko 3.2 *Muiden rakennusten hyötysuhteita ja apulaitteiden sähkön ominaiskulutuksia. Muokattu lähteestä [14, liite 1].*

Lämmöntuotto	**Vuosihyötysuhde (-)**	**Apulaitteiden sähkön ominaiskulutus (kWh/(m^{2}a))**
Öljy/kaasu, standardikattila	0,90	0,24(1 0,11(2
Öljy, kondenssikattila(3	0,95	0,25
Kaasu, kondenssikattila(3	1,01	0,12
Pellettikattila	0,84	0,13
Puukattila energiavaraajalla	0,82	0,25
Kaukolämpö	0,97	0,07
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

(1 öljy
(2 kaasu
(3 hyötysuhde alemman lämpöarvon mukaan

tässä työssä apulaitteiden suurin mahdollinen energiankulutuksen vuosiosuus kyseisellä teknologialla. Olettaen, että öljylämmitteisen omakotitalon vuotuinen lämmöntarve on yhtä suuri kuin sähkölämmitteisellä, saadaan vuodessa kulutetun energian määrä jakamalla lämmityksen tarve lämmitysmuodon vuosihyötysuhteella 0,95. Keskimääräiselle kondenssikattilalla lämmitetylle pientalolle tulisi tällöin kulutetun lämmön tarpeeksi 7,6−16,3 MWh/a. Vuonna 2010 uudet omakotitalot ovat olleet pinta-alaltaan keskimäärin 144 m^2 [18]. Kaavan 3.1 mukaisesti keskimääräisen vuonna 2010 rakennetun öljykondenssikattilalla lämmitetyn omakotitalon apulaitteiden sähkönkulutus olisi tällöin 154,1 kWh/a. Tällöin apulaitteiden sähkönkulutuksen osuus kulutetusta energiasta olisi vuodessa 0,9−2,0 %. Lämmityksen apulaitteiden energiankulutuksen osuus lämmityksen energiasta on niin pieni, että sitä ei tämän työn päästölaskuissa huomioida.

Rakennusten vuosihyötysuhteiden avulla rakennuksille voidaan laskea toiminnalliset energiamuotojen kertoimet. Kaavan 2.1 mukaisesti rakennukseen E-lukuun vaikuttavat ainoastaan vuodessa kulutetun energian määrä, käytetyn energiamuodon kerroin sekä rakennuksen pinta-ala. Kyseisen kaavan voi esittää myös muodossa:

$$E = \sum_i \frac{f_i Q_{i,\text{kulutettu}}}{A_{net}} = \sum_i \frac{f_i Q_{i,tarve}}{A_{net}\eta_i}, \tag{3.2}$$

jossa E on rakennuksen E-luku (kWh$_E$/m^{2}a), f_i on energiamuodon i kerroin, $Q_{i,\text{kulutettu}}$ on vuodessa kulutetun energiamuodon i sisältämän energian määrä (kWh/a), $Q_{i,\text{tarve}}$ on vuodessa tarvittava energiamuodon i lämmön määrä (kWh/a), A_{net} on rakennuksen lämmitettävä nettopinta-ala (m^2) ja η_i on energiamuodon i keskimääräinen vuosihyötysuhde.

Jos rakennuksen pinta-ala asetetaan vakioksi ja rakennuksen vuodessa tarvitsema energiamäärä on vakio riippumatta energiamuodosta, voidaan rakennukselle arvioida energiamuodon valinnan vaikutusta E-lukuun kaavalla:

$$\text{energiamuodon toiminnallinen kerroin} = \frac{f_i}{\eta_i}, \tag{3.3}$$

jolla pystytään arvioimaan, mikä lopullinen vaikutus tietyn energiamuodon valinnalla on rakennuksen E-lukuun. Taulukossa 3.3 esitetään Ympäristöministeriön vuosihyötysuhdearvioihin (Taulukot 3.1 ja 3.2) perustuvat kaavalla 3.3 lasketut keskimääräiset toiminnalliset energiamuotojen kertoimet.

Taulukko 3.3 *Rakennuksen lämmityksen teknologiakohtaisia toiminnallisia kertoimia.*

Energiamuoto	**Toiminnallinen kerroin, (-)**
Öljy/kaasu, standardikattila	1,17
Öljy, kondenssikattila	1,10
Kaasu, kondenssikattila	1,04
Pellettikattila	0,63
Puukattila energiavaraajalla	0,65
Sähkökattila	1,36
Kaukolämpö	0,52
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,20

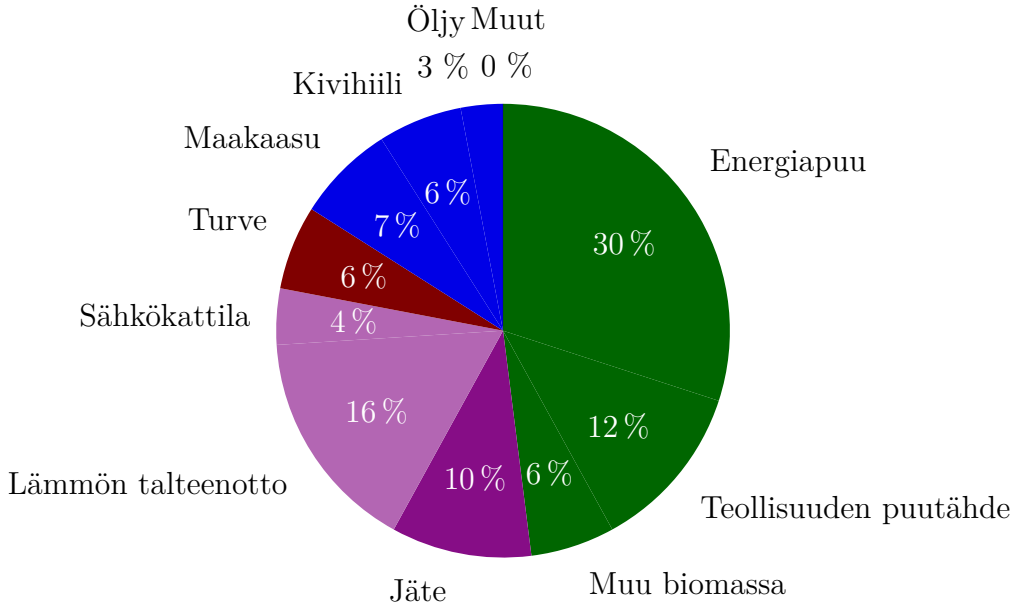
Taulukossa ei esitetä lämpöpumpputeknologioiden toiminnallisia kertoimia, koska Ympäristöministeriö ei ole esittänyt kyseisille teknologioille keskimääräisiä vuosihyötysuhteita. Lämpöpumppujen toiminnallisten kerrointen laskenta käydään läpi luvussa 3.3.2.

3.2 Kaukolämpö

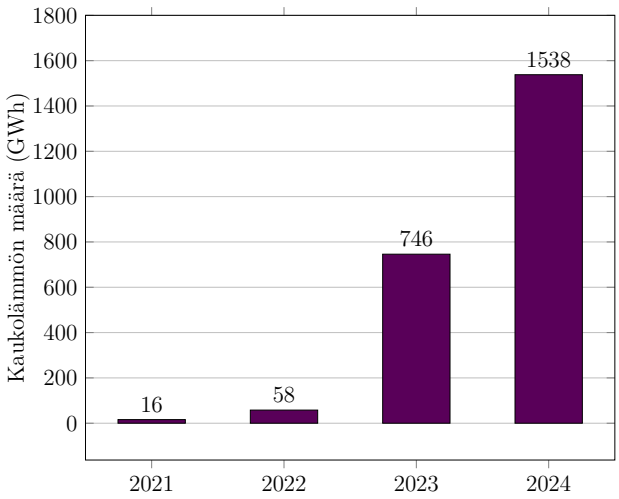
Kaukolämpö on lämmityksen muoto, jossa rakennusten lämmittämiseen tarvittava energia tuotetaan keskitetysti suurissa tuotantolaitoksissa sen sijaan, että lämpö tuotettaisiin itse rakennuksissa taikka niiden lähistöllä. Suomessa suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan nykyään polttamalla (Kuva 3.3), mutta sähkökattiloilla tuotetun kaukolämmön osuus on ollut viime vuodet suuressa kasvussa (Kuva 3.4).

Kaukolämmön tuottamissa päästöissä on suurta kaupunkikohtaista vaihtelua. Liitteessä A esitetään Helsingissä, Tampereella ja Oulussa tuotetun kaukolämmön päästökertoimet, hiilidioksidipäästöt sekä käytettyjen polttoaineiden osuudet vuonna 2024 [19]. Helsingin kaukolämmön päästökerroin on lähes kaksinkertainen Tampereen päästökertoimeen ja yli kaksinkertainen Oulun päästökertoimeen. Helsinki oli myös ainoa näistä kolmesta kaupungista, joka vielä vuonna 2024 tuotti yli puolet

kaukolämmöstään polttamalla fossiilisia polttoaineita. Helenin Hanasaaren hiilivoimalan muuttaminen pellettipohjaiseksi vuonna 2023 ja Salmisaaren voimalan sulkeminen huhtikuussa 2025 vaikuttivat merkittävästi pääkaupunkiseudun kaukolämmön hiilijalanjälkeen [20], mutta kaupunkikohtaiset erot kaukolämmön päästöissä ovat silti huomattavia.



Kuva 3.3 *Kaukolämmön tuotannossa käytetyt energianlähteet vuonna 2024. Muokattu lähteestä [7].*



Kuva 3.4 *Sähkökattiloilla tuotetun kaukolämmön vuosittainen määrä. Muokattu lähteestä [7].*

Suomessa tuotetusta kaukolämmöstä 42,7 % tuotettiin vuonna 2023 lämmön ja sähkön yhteistuotannolla (combined heat and power, CHP) [21, luku 1.4]. CHP:n päästölaskentaan on olemassa erilaisia menetelmiä ja laskentatapoja, jotka voivat antaa hyvin erilaisia tuloksia. Eri menetelmillä voidaan pyrkiä mittaamaan esim. CHP:n nykyisiä päästötasoja, tietyn energiamuodon valinnan päästövaikutuksia tai

kaavoitusvaihtoehtojen energiaratkaisujen vaikutuksia [22, s. 2].

Suomessa CHP:n päästöjä muihin energiantuotantotapoihin verratessa käytetään nykyään yleisesti *energiamenetelmää*. Tilastokeskus on ennen vuotta 2021 laskenut CHP:n päästöjä *hyödynjakomenetelmällä*, mutta kyseinen laskumenetelmä vaihdettiin vuonna 2021 aikaisemmin mainittuun [23]. Bionova-konsulttiyrityksen vuonna 2013 Energiateollisuus ry:lle tekemän päästöjen laskentamenetelmien raportin [22, luku 8.4.2] mukaan:

> Energiamenetelmä jyvittää yhteistuotantolaitoksen tuottamat kokonaispäästöt suhteessa tuotettuihin energiayksikköihin tasasuhteessa kWh per kWh. Tuotettu energia lasketaan laitoksen tuottaman nettoenergian perusteella. Lopputuloksena yhteistuotantolaitoksessa tuotetun sähkön ja lämmön päästöt ovat samat.

Tämä eroaa aiemmin yleisesti käytetystä hyödynjakomenetelmästä, jota käytettäessä päästöt jaetaan: ”perustuen oletukseen, että ilman yhteistuotantoa lämpö tuotettaisiin kaukolämpökattilassa ja sähkö tuotettaisiin lauhdevoimalaitoksessa käyttäen samaa polttoainetta” [22, luku 8.4.1]. Hyödynjakomenetelmää käytettäessä kaukolämmölle allokoidut tuotannon päästöt ovat pienempiä kuin energiamenetelmällä, sillä yhtä paljon lämpöä ja sähköä tuottavan CHP-laitoksen päästöistä vain noin 30 % allokoitaisiin kaukolämmölle [22, s. 39].

Tässä työssä CHP:llä tuotetun sähkön ja lämmön päästökertoimet arvioidaan energiamenetelmällä saaduista tuloksista. Tämä johtuu kyseisen menetelmän yleisyydestä sekä siitä, että hyödynjakomenetelmän pohjana toimivan oletuksen CHP:n korvautuvuudesta kaukolämpökattiloilla ja lauhdevoimalaitoksilla ei koeta nykyisessä markkinatilanteessa realistisena useiden eri energiantuotantoteknologioiden ollessa varteenotettavia vaihtoehtoja.

Suomen kaukolämmön tukkumyyjistä suuri osa toimittaa viralliset tuotantotietonsa vuosittain Energiateollisuus ry:lle vertailtaviksi. Vuonna 2023 kaukolämpöä Suomessa tuottaneista yhtiöistä 16 vastasi tuotantomuotojen tilastokyselyyn ja 17:lta Energiateollisuus ry ei joko saanut tuloksia tai niitä ei voitu hyödyntää [7, Kaukolämpötilasto 2023, taulukot]. Tilastokyselyyn vastanneet yhtiöt myivät vuonna 2023 yhteensä 33 217,0 GWh kaukolämpöenergiaa ja tilastoimattomat tuottajat 142,2 GWh [7, Kaukolämpötilasto 2023, taulukot]. Täten tilastoitujen kaukolämpöyhtiöiden osuus kaikesta Suomessa tuotetusta kaukolämmöstä oli noin 99,6 %.

Kaukolämmön valtakunnallisen päästökertoimen viiden vuoden keskiarvo vuosilta 2019−2023 energiamenetelmällä laskettuna on 145 $kgCO_2/MWh$ ja vuoden 2023 kaukolämmön päästökerroin on 110 $kgCO_2/MWh$ [23]. Energiateollisuus ry:n arvio kaukolämpöverkon keskimääräisistä jakeluhäviöistä on 8−9 % [24]. Tällöin rakennukselle saapuvan kaukolämmön keskimääräinen päästökerroin vuosille 2019−2023 on 158,5 $kgCO_2/MWh$ ja vuodelle 2023 120,2 $kgCO_2/MWh$.

Taulukkojen 3.1 ja 3.2 mukaiset arviot kaukolämpölämmitteisten rakennusten vuosihyötysuhteille ovat pienrakennuksille 0,94 ja muille rakennuksille 0,97. Tällöin rakennuksissa hyödynnetyn kaukolämmön päästökertoimen viiden vuoden keskiarvoksi vuosille 2019−2023 tulee 162,5−169,5 $kgCO_2/MWh$ ja vuoden 2023 päästökertoimeksi 123,3−127,2 $kgCO_2/MWh$. Taulukossa 3.4 esitetään Suomen kymmenen suurimman kaupungin uusimman tilastovuoden päästökertoimet.

Taulukko 3.4 *Suomen kaupunkikohtaisia keskimääräisiä päästökertoimia kaupunkien asukasluvun mukaisessa järjestyksessä [19].*

Kaupunki	**Tuotannon päästökerroin, ($kgCO_2/MWh$)**	**Pienrakennusten päästökerroin, ($kgCO_2/MWh$)**	**Muiden rakennusten päästökerroin, ($kgCO_2/MWh$)**
Helsinki(1	154,9	174,5	180,1
Espoo(1	104,6	117,9	121,6
Tampere(1	86,0	96,9	100,0
Vantaa(2	174,1	196,2	202,4
Oulu(1	52,0	58,6	60,5
Turku(1	39,4	44,4	45,8
Jyväskylä(1	87,6	98,7	101,8
Kuopio(2	98,5	111,0	114,5
Lahti(2	57,0	64,2	66,3
Pori(1	22,7	25,6	26,4

(1 vuoden 2024 laskennalliset päästöt
(2 vuoden 2023 laskennalliset päästöt

Taulukon tuotannon päästökerroin kertoo kaukolämmön tuotannon päästökertoimen ennen jakelu- ja varastointihäviöitä. Pienrakennusten ja muiden rakennusten päästökertoimet ottavat huomioon kaukolämpöverkon jakelussa aiheutuneet 8−9 % häviöt sekä rakennustyypin lämmitysjärjestelmän vuotuisen hyötysuhteen taulukkojen 3.1 ja 3.2 mukaisesti.

3.3 Sähköpohjaiset lämmitysjärjestelmät

Sähköpohjaisilla lämmitysjärjestelmillä tarkoitetaan tässä työssä lämmitysteknologioita, jotka kuluttavat ainoastaan sähköä tuottaakseen taikka siirtääkseen lämpöä. Teknologiat, jotka käyttävät sähköä ainoastaan sähköllä toimiviin lämmityksen apulaitteisiin, käsitellään työn muissa kappaleissa.

3.3.1 Sähkölämmitys

Perinteisen sähkölämmityksen voi jakaa kahteen kategoriaan: suorasähkölämmitykseen ja varaavaan sähkölämmitykseen. Suorasähkölämmityksessä sähkö muutetaan lämmöksi vastuksien avulla sinä hetkenä, kun sille on tarve. Lämpöä voivat luovuttaa esim. radiaattorit taikka suorasähkölämmitykseen perustuva lattialämmitys. [25]

Varaavassa sähkölämmityksessä sähköllä lämmitetään usein vettä yöllä, kun sähkö on halvempaa, ja tätä lämmitettyä vettä voidaan sitten kierrättää rakennuksessa tarpeen mukaan lämmitykseen ja käyttövedeksi. Näiden kahden kategorian lisäksi voidaan käyttää myös niin sanottua osittain varaavaa sähkölämmitystä, jonka pohjana toimii varaava lämmitys, mutta tarvittaessa rakennusta tai tilaa voidaan myös lämmittää suorasähköllä [25].

Perinteisessä suorasähkölämmityksessä lämmittämisen hyötysuhteen voidaan yleensä olettaa olevan 100 %. Tämä johtuu siitä, että sähkölaitteiden häviöt johtuvat laitteen sisäisestä ei-tarkoituksenmukaisesta komponenttien vastuksesta, joka muuttaa laitteeseen syötettyä sähköä lämmöksi. Perinteisessä sähkölämmityksessä tavoitteena on muuntaa laitteeseen syötetty sähkö lämmöksi, jolloin resistanssista johtuva laitteen lämpeneminen on tarkoituksenmukaista, kunhan se tapahtuu itse lämmitettävässä sijainnissa. Täten sähkön päästökerrointa voidaan suoraan soveltaa sähkölämmityksen päästökertoimeksi. [26, 27]

Varaavassa sähkölämmitysjärjestelmässä lämpöä varastoidessa voi syntyä häviöitä, kun lämpöä varastoidaan lämminvesivaraajaan. Ympäristöministeriön arvioima vuosihyötysuhde sähkökattiloille pienrakennuksissa taulukon 3.1 mukaisesti on 0,88. Tämä tarkoittaa, että varaava sähkölämmitys kuluttaisi vuodessa keskimääräisesti 1,13-kertaisen määrän sähköä suorasähkölämmitykseen verrattuna.

Suomessa on vain yksi yhdistävä sähkön hinta-alue ja täten Suomelle on järkevää määrittää valtakunnan laajuinen sähkönkulutuksen päästökerroin, jossa otetaan huomioon kaiken Suomessa kulutetun sähkön tuotannossa syntyneet päästöt. Fingridin arvioiden mukaan, Suomessa kulutetun sähkön viiden vuoden päästökertoimen keskiarvo vuosille 2020−2024 oli 60,2 $kgCO_2/MWh$ ja vuoden 2024 sähkön kulutuksen päästökerroin oli 33,0 $kgCO_2/MWh$ [28]. Kulutetun sähkön päästökerroin on pienentynyt kyseisellä aikavälillä varsin merkittävästi. Tämä selittyy Suomessa tuotetun ydin- ja tuulisähkön määrän suurella kasvulla ja kyseisestä tuotannon kasvusta johtuneella sähkön tuonnin merkittävällä vähenemisellä [29].

Tilastokeskuksen julkaisemien tietojen pohjalta Suomen sähkön siirto- ja jakelu-häviöiden viiden vuoden keskiarvo vuosille 2020−2024 oli 3,7 % ja vuodelle 2024 4,0 % [30]. Jakelu- ja siirtohäviöt huomioituna, Suomessa kulutetun sähkön viiden vuoden keskiarvoinen päästökerroin vuosille 2020−2024 oli 62,5 $kgCO_2/MWh$ ja vuonna 2024 kulutetun sähkön päästökerroin oli 34,4 $kgCO_2/MWh$. Nämä luvut pätevät suoraan suorasähkölämmityksen päästökertoimiksi 100 %:n hyötysuhdearviolla.

Varaavalle sähköjärjestelmälle, huomioiden 88 %:n vuosihyötysuhde taulukon 3.1 mukaan, tulee sähkölämmityksen vuosien 2020−2024 keskimääräiseksi päästökertoimeksi 70,9 $kgCO_2/MWh$ ja vuoden 2024 päästökertoimeksi 39,0 $kgCO_2/MWh$. On hyvä huomioida, että kasvanut päästökerroin johtuu täysin kulutetun energian määrän noususta suhteessa saatuun lämpöön, eikä tuotetun sähkön hiilijalanjälki muutu

sähkölämmityksen tyypistä riippuen. Joka tapauksessa suurempi kulutetun sähkön määrä näkyy kaavalla 2.1 E-lukua laskettaessa huonompana luokituksena. On myös huomioitavaa, että varaavalla sähkölämmitysjärjestelmällä lämmitetään vettä yleisesti halvemman sähkön aikoina, kuten öisin [25], jolloin myös sähkön päästökerroin on usein pienempi [31].

3.3.2 Lämpöpumput

Kuten mainittu, lämpöpumput ovat Suomessa nopeasti yleistyvä ja toiseksi yleisin uudisrakennusten lämmitysmuoto. Lämpöpumppujen osuus uudisrakennusten lämmityksestä on ollut nousussa jo jonkin aikaa samalla, kun muiden lämmitysmuotojen osuus on laskenut (Kuva 3.2). Suomessa yleisin lämpöpumpputeknologia oli vuonna 2018 ilma-ilmalämpöpumput ja tätä harvinaisempia, mutta kuitenkin yleistyviä teknologioita olivat maalämpö-, ilma-vesi- ja poistoilmalämpöpumput [32].

Lämpöpumput ovat sähköpohjaisia lämmitysjärjestelmiä, eli rakennuksen lämmittämiseen vaaditaan pääsääntöisesti sähköenergiaa. Lämpöpumppujen ero suorasähkölämmitykseen on, ettei sähköä muuteta suoraan lämmöksi vastuksien avulla, vaan sitä siirretään kylmästä lämpimään sähköllä toimivalla termodynaamisella prosessilla. Näin voidaan saavuttaa suurempi hyötysuhde (Coefficient of Performance, COP) kuin mikä olisi suorasähkölämmityksellä mahdollista.

COP-luku vaihtelee lämpöpumpun toimilämpötilojen mukaan, joten usein on järkevää määrittää lämpöpumpun vuotuinen hyötysuhde (Seasonal Coefficient of Performance, SCOP), jolla pyritään tarkemmin kuvaamaan lämpöpumpun hyötysuhdetta vuoden ympäri. Eurooppa on jaettu standardin *EN 14825* [33, s. 33] mukaisesti kolmeen lämpövyöhykkeeseen, joiden mukaan erityisesti ilma-, sekä ilmavesilämpöpumppujen vuotuisia hyötysuhteita arvioidaan. Kyseisistä vyöhykkeistä kylmän vyöhykkeen tiedot on laskettu Helsingin olosuhteiden perusteella, ja koko Suomessa onkin suositeltavaa käyttää kylmän alueen SCOP-lukuja lämpöpumppujen hyötysuhteiden arvioimiseen [34, Luku 3.5].

Mikäli lämmön jakelussa tai pumpun säädöistä johtuen tapahtuu merkittäviä häviöitä, voi SCOP-luvun avulla olla tarpeellista arvioida myös lämpöpumpun häviöllinen vuosikerroin. Vuosikerroin lasketaan energiamerkinnässä ilmoitetusta SCOP-luvusta huomioiden lämmönjaon hyötysuhde, sekä esim. alenema, joka voi johtua lämpöpumpun melureunaehdosta [35]. Lämpöpumpun melureunaehto on lämpöpumpulle mahdollisesti asetettu ilmanvaihdon rajoitus, jonka tarkoituksena on vähentää yksikön tuottamaa melua. Rajoituksen haittapuolena on, että se vähentää ilmavirtaa yksikön läpi, joka taas pienentää pumpun hyötysuhdetta. [35] Ilma-ilmalämpöpumpulle vuosihyötysuhde voidaan arvioida seuraavalla kaavalla:

$$\text{vuosihyötysuhde} = (\text{SCOP} - 0,3)\eta_{\text{lämmönluovutus}} \tag{3.4}$$

jossa SCOP on kylmälle ilmastolle energiamerkinnässä ilmoitettu vuosilämpökertoimen arvo, $0,3$ on sisäyksikön äänirajoituksesta johtuva vakiokorjaus ja $\eta_{\text{lämmönluovutus}}$ on ilmalämpöpumpun lämmönluovutuksen kokonaishyötysuhde (= 0,85) [35].

Laitisen [35] ilma-ilmalämpöpumpuille tekemän arvion pohjalta jakelusta ja säädöstä johtuvat häviöt ovat noin 10−15 %. Tässä työssä muille suoralämmittäville lämpöpumpuille käytetään saman kokoluokan jakelu- ja säätöhäviöitä, huomioiden kuitenkin kyseisen oletuksen puutteellisuus.

Ilma-ilmalämpöpumput koostuvat kahdesta tai useammasta yksiköstä, joista ainakin yksi sijaitsee ulkona ja yksi sisällä. Lämmityskäytössä lämpöpumppu lämmittää sen sisällä kiertävää nestettä ulkona ja kompressorin avustamana jäähdyttää sitä sisällä lämmittäen sisäilmaa. Suurta osaa ilmalämpöpumpuista voidaan käyttää myös jäähdytyskäyttöön, jolloin prosessi toimii toiseen suuntaan. [36] Laitisen [35] VTT:lle tehdyssä selvityksessä Suomen pientalojen ilma-ilmalämpöpumppujen vuosihyötysuhteet arvioitiin välille 1,84−3,03.

Maalämpöpumppu toimii keräämällä maaperään, vesistöön, taikka kallioon kerääntynyttä lämpöä. Enemmän pinnassa sijaitsevat maalämpöpumppujärjestelmät hyödyntävät maaperään tai veteen varastoitunutta auringon tuottamaa energiaa, kun taas syvemmälle poratut pumput hyödyntävät maapallon ytimessä tapahtuvien fissioreaktioiden tuottamaa, sekä lämpimien pohjavesivirtausten kuljettamaa maaperään johtunutta lämpöä [37]. Maalämpöpumppujärjestelmien hyötysuhde vaihtelee riippuen rakennuksen koosta sekä lämmönjakelujärjestelmästä. Suuremmissa rakennuksissa on usein parempi hyötysuhde ja lattialämmityksellä lämmitettävien rakennusten hyötysuhde on usein parempi kuin pattereilla lämmitettävissä [37]. Suomessa maalämpöpumpun vuositason SCOP-luku vaihtelee useimmiten välillä 2,5−3,5 [37]. Maalämpöpumppujärjestelmä on yleensä suoralämmittävä, vaikka rakennukseen voidaan myös asentaa ns. puskurivaraaja tasoittamaan pumpun toimintaa ja varmistamaan käyttöveden tasainen lämpötila [38]. Vesipohjaiselle suoralämmitykselle hyötysuhteeksi arvioidaan 100 % huomioiden kuitenkin, että pieni osa siirretystä lämmöstä hukkuu lämmönsiirron aikana.

Ilma-vesilämpöpumput ottavat lämpöä ympäröivästä ilmasta ja varaavat sitä rakennuksen lämmitysveteen. Ilma-vesilämpöpumppuja on pääosin kahden tyyppisiä: split ja monoblock [39]. Split-tyypin ilma-vesilämpöpumpuissa on erillinen ulko- ja sisäyksikkö, joiden välillä kiertää kylmäaine [39]. Monoblock-tyypin ilma-vesilämpöpumpuilla on vain yksi ulkoyksikkö, jonka läpi kiertää lämmitysvesi [39]. Ilma-vesilämpöpumput tarvitsevat Suomen oloissa usein avukseen toisen lämmönlähteen, sillä niiden hyötysuhteet laskevat merkittävästi kovimmilla pakkasilla ja niiden toiminta saattaa jopa lakata kokonaan. Varajärjestelmänä käytetään usein joko pumpun omia sisäisiä vastuksia tai vanhaa öljykattilaa. [40] Kazjonovs et al. [41] vuonna 2014 tehdyssä selvityksessä ilma-vesilämpöpumppujen Latvian olojen

SCOP-luvuksi arvioitiin 2,45−2,62. Tutkimus tehtiin Latvian olosuhteissa, jossa keskimääräinen vuosilämpötila on korkeampi kuin Suomessa [42][43], mutta tutkimus myös suoritettiin vuonna 2014, jolloin lämpöpumppujen hyötysuhteet ovat voineet olla huonompia. Tässä työssä oletetaan näiden tekijöiden kumoavan toisensa. Käyttäen taulukon 3.1 arviota 0,88 varaavan sähkölämmitysjärjestelmän hyötysuhteesta, saadaan ilma-vesilämpöpumppujen vuosihyötysuhteeksi 2,16−2,31.

Poistoilmalämpöpumpulla voidaan vähentää rakennuksen lämmityksen energiantarvetta, mutta lämmitystä ei voida yleensä täysin hoitaa poistoilmalämpöpumpulla. Tästä johtuen rakennuksessa on usein joku vaihtoehtoinen lämmitysjärjestelmä, kuten ilmalämpöpumppu. [44] Suomen olosuhteissa keskimääräisten asunnossa käytettävän poistoilmalämpöpumpun SCOP-luvun arvioidaan olevan noin 3,7 [45].

Poistoilmalämpöpumppu voi lämmittää tarpeen mukaan sisäilmaa tai kiertovettä [44]. Tässä työssä poistoilmalämpöpumpun päästökerroin arvioidaan sisäilmaa lämmittävälle pumpulle. Aikaisemmin määritetyn 10−15 % suoralämmityksen jakeluhäviöiden perusteella poistoilmalämpöpumpun hyötysuhteeksi arvioidaan 3,15−3,33. Taulukossa 3.5 esitetään lämpöpumppujen teknologiakohtaiset päästökertoimet laskettuna arvioitujen hyötysuhteiden keskiarvoilla.

Taulukko 3.5 *Lämpöpumpputeknologioiden suhteellisia vuosihyötysuhteita ja niiden toiminnallisia päästökertoimia.*

Energiamuoto	**Vuosi-hyötysuhde, (-)**	**2020−2024 päästökerroin, (kgCO2/MWh)**	**2024 päästökerroin, (kgCO2/MWh)**
Ilma-ilmalämpöpumppu	2,44	25,7	14,1
Maalämpöpumppu	2,65	23,6	13,0
Ilma-vesilämpöpumppu	2,24	28,0	15,4
Poistoilmalämpöpumppu	3,24	19,3	10,6

Lämpöpumppujen toiminnalliset energiamuotojen kertoimet lasketaan kaavalla 3.3. Laskennassa käytetään lämpöpumpputeknologioiden keskimääräisiä vuosihyötysuhteita ja energiamuodon kertoimena käytetään sähkön energiamuodon kerrointa (1,2). Taulukossa 3.6 esitetään lämpöpumpputeknologioiden toiminnalliset kertoimet.

Taulukko 3.6 *Lämpöpumpputeknologioiden keskimääräisiä toiminnallisia energiamuodon kertoimia.*

Energiamuoto	**Toiminnallinen kerroin, (-)**
Ilma-ilmalämpöpumppu	0,49
Maalämpöpumppu	0,45
Ilma-vesilämpöpumppu	0,54
Poistoilmalämpöpumppu	0,37

Lämpöpumppujen toiminnalliset energiamuotojen kertoimet ovat varsin lähellä kaukolämmön toiminnallista kerrointa 0,52 (Taulukko 3.3). Ilma-vesilämpöpumpun kerroin on hieman suurempi kuin kaukolämmön, mutta ero on niin vähäinen, että paremman hyötysuhteen ilma-vesilämpöpumpulla toiminnallinen kerroin voi hyvin olla kaukolämpöä pienempi. Muiden lämpöpumpputeknologioiden toiminnalliset kertoimet ovat keskimäärin kaukolämmön toiminnallista kerrointa pienempiä.

3.4 Pienpolttoon perustuvat lämmitysmuodot

Pienpoltolla tarkoitetaan tässä työssä lämmitysmuotoa, jossa lämpö tuotetaan polttamalla joko lämmityskohteessa tai sen välittömässä läheisyydessä. Pääosin pienpoltolla lämmitettyjen rakennusten osuus uusien rakennusten lämmitysmuotona on ollut jo pitkään laskussa (Kuva 3.2), mutta näiden osuus olemassa olevasta rakennuskannasta on silti merkittävä (Kuva 3.1). Pääosin pienpoltolla lämmitettyä rakennuskantaa on Suomessa noin 17 %, joista 12 %-yksikköä lämmitetään pääosin puun pienpoltolla ja 5 %-yksikköä öljyllä.

3.4.1 Puun pienpoltto

Kiinteistön lämmittäminen puun pienpoltolla on Suomessa teollisuuden jälkeen yleisin puuenergian hyödyntämisen muoto [46]. Täysin tai suurelta osin puulla lämpenevät kiinteistöt hyödyntävät yleensä vesikiertoon yhdistettyjä polttokattiloita, joilla lämmitetään käyttö- ja lämmitysvettä [47]. Tämän lisäksi Suomessa on yleistä, että asuinkiinteistössä on lisä- ja varajärjestelmänä erillinen tulisija, kuten takka, hella tai uuni, ja myös saunojen puukäyttöiset kiukaat voidaan laskea tulipesiksi [48].

Puun ja puupolttoaineiden, kuten pellettien ja brikettien, hyödyntäminen lämmityskäyttöön pohjautuu polttoaineen kemiallisen energian muuntamiseen lämmöksi polttamisen avulla. Polttoaineiden hiili ja vety reagoivat palamisilman hapen kanssa vapauttaen lämpöä. Tässä työssä keskitytään raakapuun, kuten pilkkeen ja hakkeen, käsittelemiseen jalostettujen puupolttoaineiden hyödyntämisen harvinaisuudesta johtuen [47].

Tilastokeskuksen vuoden 2024 voimassa olevan luokituksen mukaisesti energiapuuna käytettävien halkojen, rankojen ja pilkkeiden määritetty CO_2 päästökerroin on 112,0 t/TJ [8]. Kyseinen luku muodostuu kuitenkin kokonaan bioperäisestä hiilestä ja tällöin polttopuun varsinaiseksi hiilijalanjäljeksi määritetään yleisesti 0 $kgCO_2/MWh$ [12].

3.4.2 Öljylämmitys

Suomessa selvästi yleisin rakennusten lämmitykseen pienpoltossa käytettävä fossiilinen polttoaine on öljy (Kuva 3.1) ja noin 5 % kaikesta Suomen rakennusten läm-

mityksestä suoritettiin öljyllä vuonna 2022. Öljylämmitys on vesikiertoon perustuva lämmitysmuoto, ja öljylämmitteisessä rakennuksessa ei yleisesti tarvita erillistä lämminvesivaraajaa [49].

Rakennusten öljylämmitys suoritetaan lämmitysöljyllä, joka on kevyttä polttoöljyä [50]. Tilastokeskuksen vuoden 2025 voimassa olevan luokituksen mukaisesti sekä rikittömän että vähärikkisen kevyen polttoöljyn fossiiliset CO_2 päästökertoimet ovat 68,0 t/TJ ja bioperäiset CO_2 päästökertoimet ovat 5,0 t/TJ [8]. Tässä työssä laskennassa otetaan huomioon ainoastaan fossiiliset päästöt, jolloin kevyen polttoöljyn fossiiliseksi päästökertoimeksi saadaan 244,8 $kgCO_2/MWh$. Kun huomioidaan Ympäristöministeriön arviot öljylämmityksen vuotuisesta hyötysuhteesta taulukoiden 3.1 ja 3.2 mukaisesti standardi- ja kondenssikattiloille, saadaan öljylämmityksen päästökertoimeksi 257,7−302,2 $kgCO_2/MWh$.

4 Tulokset ja niiden tulkinta

Taulukossa 4.1 esitetään työn arviot eri lämmitysmuotojen päästökertoimista suhteutettuna kulutetun energian määrään. Tulokset esitetään luvussa 3 tehtyjen ylä- ja alarajojen keskiarvoina, joissa bioperäisen hiilen palamisen hiilidioksidipäästöiksi on määritetty 0 [12]. Kaukolämmön ja sähköllä toimivien lämmitysjärjestelmien päästökertoimet perustuvat työn teon aikana viimeisimpiin saatavilla oleviin tilastoihin [7, Kaukolämpötilasto 2023, taulukot][28], ja sekä puun että öljyn päästökertoimet perustuvat Tilastokeskuksen vuonna 2025 voimassa olevaan luokitukseen [8]. Lämmitysmuotojen päästökertoimet ovat suhteutettuna hyödynnetyn lämmön määrään.

Taulukko 4.1 *Energiamuotojen viimeisimmän viiden vuoden keskiarvoiset päästökertoimet ja viimeisimmän tilastovuoden päästökerroin.*

Energiamuoto	**Keskimääräinen 5:n tilastovuoden päästökerroin, ($kgCO_2/MWh$)**	**Viimeisimmän tilastovuoden päästökerroin, ($kgCO_2/MWh$)**
Kaukolämpö(1	165,9	125,9
Sähkö/suorasähkölämmitys(2	62,5	34,4
Varaava sähkölämmitys(2	70,9	39,0
Ilma-ilmalämpöpumppu(2	25,7	14,1
Maalämpöpumppu(2	23,6	13,0
Ilma-vesilämpöpumppu(2	28,0	15,4
Poistoilmalämpöpumppu(2	19,3	10,6
Puun pienpoltto(3	0,0	0,0
Öljylämmitys(3	280,0	280,0

(1 viimeisin tilastovuosi 2023
(2 viimeisin tilastovuosi 2024
(3 vuoden 2025 luokitus

Koska kevyen polttoöljyn päästöt ovat verratuista energiamuodoista suurimmat, ja Valtioneuvoston asettamissa energiamuodon kertoimissa on kyseisen energiamuodon kerroin määritetty arvoon 1, verrataan muiden energiamuotojen päästökertoimia öljylämmityksen päästökertoimeen (Kaava 4.1). Kyseisellä suhdeluvulla voidaan arvioida, mitä energiamuodon kerrointen pitäisi olla, jotta ne olisivat täysin suhteessa energiamuotojen tuottamiin päästöihin, käyttäessä öljylämmityksen päästökerrointa oletusarvona.

$$\text{energiamuodon päästösuhdeluku} = \frac{\text{energiamuodon päästökerroin}}{\text{öljylämmityksen päästökerroin}} \tag{4.1}$$

Verrattaessa kaavalla 2.1 laskettuja suhdelukuja Valtioneuvoston asettamiin energiamuotojen kertoimiin (Taulukko 4.2), on kaukolämmön suhdeluku varsin lähellä asetettua energiamuodon kerrointa, mutta sähkön ja uusiutuvien polttoaineiden suhdeluvut eroavat määritetyistä energiamuotojen kertoimista varsin merkittävästi. Oletettaessa uusiutuvien polttoaineiden olevan hiilineutraaleja, on mikä tahansa 0:aa suurempi energiamuodon kerroin suurempi kuin uusiutuvien polttoaineiden päästösuhdeluku. Sähkön suhdeluku vuodelle 2024 (0,12) on 10 kertaa pienempi kuin sille asetettu energiamuodon kerroin (1,2). Fossiilisten polttoaineiden suhdeluku on 1, koska energiamuotojen päästöt on suhteutettu öljyn päästöihin.

Taulukko 4.2 *Öljylämmityksen päästökertoimeen suhteutetut energiamuotojen päästökertoimet.*

Energiamuoto	**Energiamuodon kerroin, (-)**	**Viimeisimmän 5:n tilastovuoden suhdeluku, (-)**	**Viimeisimmän tilastovuoden suhdeluku, (-)**
Sähkö	1,2	0,22(1	0,12(1
Kaukolämpö	0,5	0,59(2	0,45(2
Fossiiliset polttoaineet	1	1	1
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5	0	0

(1 viimeisin tilastovuosi 2024
(2 viimeisin tilastovuosi 2023

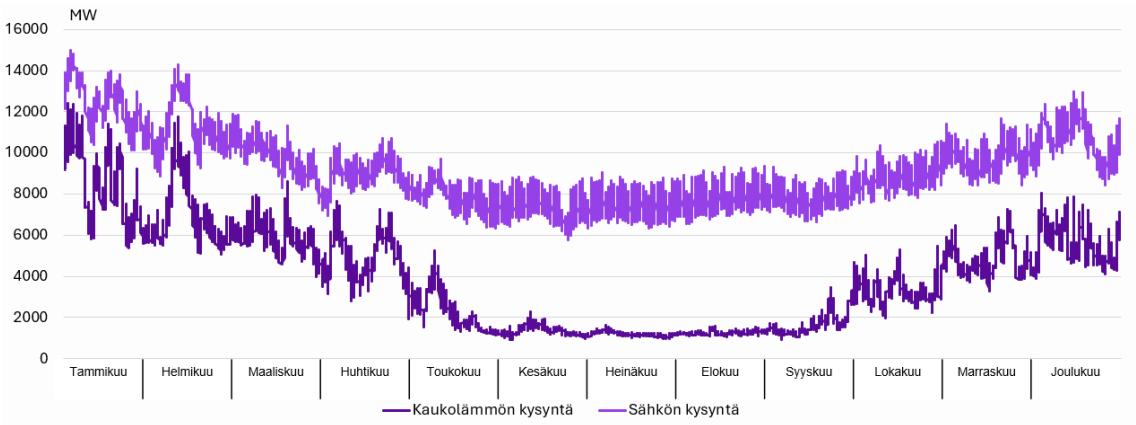
Taulukossa 4.3 esitetään kootusti työssä arvioidut energiamuotojen toiminnalliset kertoimet. Mitä pienempi toiminnallinen kerroin, sitä pienemmän E-luvun, ja tämän myötä paremman energialuokituksen, kyseisellä lämmitysmuodolla lämmitettävä rakennus keskimääräisesti saa.

Taulukko 4.3 *Rakennusten lämmitysmuotojen toiminnaliset energiamuotojen kertoimet kootusti.*

Energiamuoto	**Toiminnallinen kerroin, (-)**
Kaukolämpö	0,52
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,20
Sähkökattila	1,36
Ilma-ilmalämpöpumppu	0,49
Maalämpöpumppu	0,45
Ilma-vesilämpöpumppu	0,54
Poistoilmalämpöpumppu	0,37
Puukattila energiavaraajalla	0,65
Pellettikattila	0,63
Öljy/kaasu, standardikattila	1,17
Öljy, kondenssikattila	1,10
Kaasu, kondenssikattila	1,04

Taulukon 4.2 pohjalta Valtioneuvoston asettamat energiamuotojen kertoimet eivät vastaa suoraan kovinkaan tarkasti energiamuotojen päästökertoimia. Kuitenkin, jos tarkastellaan millä energiamuodoilla rakennus saa keskimääräisesti pienimmän E-luvun, ovat sähköpohjaiset lämpöpumppujärjestelmät teknologioiden kärjessä. Kaukolämmöllä saa lämpöpumppujen jälkeen keskimääräisesti pienimmän E-luvun ja kolmanneksi pienimmän saa rakennuksessa käytettävillä uusiutuvilla polttoaineilla kuten puuhakeella ja pelleteillä. Nykyisellä lainsäädännöllä erityisesti perinteisellä sähkölämmityksellä ja fossiilisilla polttoaineilla lämpenevien rakennusten E-luvut ovat selvästi suurempia kuin muilla energiamuodoilla.

Energiamuotojen kertoimet eivät siis täysin vastaa energiamuotojen päästökertoimia, mutta päästökerroin ei kuitenkaan ole ainut asia, joka kannattaa huomioida ohjatessa Suomen energiantuotantoa ja -kulutusta. Yhtenä tärkeimmistä voidaan pitää Suomen sähköjärjestelmän vakauden ylläpitoa. Suomessa sähkön kulutuksen piikit osuvat vuoden kylmimmille ajankohdille osittain juuri sähkölämmityksestä johtuen. Vuoden kulutuspiikit osuvat suurelta osin samoille ajanjaksoille sekä sähkölle että lämmölle (Kuva 4.1). Tämä voi olla suurelta osin syy siihen, miksi nykyisellä lainsäädännöllä perinteisestä sähkölämmityksestä lämpöpumppuun vaihtamisella on niin suuri vaikutus rakennuksen E-lukuun. Koska Suomessa suuri osa kaukolämmöstä tuotetaan CHP-laitoksissa, kylmän sään aikana saadaan tuotettua yhtäaikaisesti sekä lämpöä että sähköä. Mikäli Suomessa lämmitettäisiin jokainen rakennus pelkällä sähkölämmityksellä, olisivat vuositason vaihtelut Suomen sähkönkulutuksessa suuremmat, joka voisi vaatia suuria sijoituksia sähköverkon kehittämiseen sekä suurempaa osaa ajasta, jolloin sähköä jouduttaisiin tuottamaan huipputuotantolaitoksissa polttamalla esim. öljyä tai maakaasua, tehden sähköntuotannosta vähemmän ympäristöystävällistä. Tästä syystä kaukolämmön tuotannon vaikutukset Suomen kokonaispäästöihin voivat olla pienemmät kuin työssä käytetyllä energiamenetelmällä on arvioitu.



Kuva 4.1 *Kaukolämmön ja sähkön kysyntä tunneittain vuonna 2024 [7].*

Puun pienpolttokaan ei ole täysin ongelmaton lämmityksen muoto. Suomessa puun pienpoltto on suurin yksittäinen mustan hiilen ja lyhytikäisten pienhiukkasten lähde [51] ja pitkäaikaisella altistumisella puulämmitteisten talojen päästöihin on tilastollisesti merkittävä yhteys sydän- ja kokonaiskuolleisuuteen [13]. Pitkäaikaisen altistumisen puu- ja hiililämmitykseen on havaittu olevan myös tilastollisesti merkittävästi miehillä yhteydessä kokonaissyöpään ja keuhkosyöpään, sekä naisilla kohdunkaulasyöpään ja lähes merkitsevästi aivosyöpään [13].

Päästökertoimesta riippumattomat muuttujat huomioon ottaen sähkön energiamuodon kertoimen muuttaminen arvoon 0,12 ja rakennuksessa käytettävien uusiutuvien polttoaineiden energiamuodon kertoimen muuttaminen arvoon 0, jotka vastaisivat energiamuotojen päästösuhdelukuja, ei välttämättä ole Suomen päästötavoitteiden mukaista, mutta erityisesti kaukolämmön ja sähkön tuotannon muuttuessa koko ajan vähäpäästöisemmiksi, voi kyseisten energiamuotojen kertoimia olla tarpeen arvioida uudelleen.

5 Johtopäätökset

Työn tavoitteena oli selvittää Suomessa yleisesti käytettävien energiamuotojen päästökertoimet, verrata kyseisten energiamuotojen käytön päästökertoimia Valtioneuvoston määrittämiin energiamuotojen kertoimiin, joita käytetään rakennusten E-luvun määrittämisessä sekä arvioida, mitä energiamuotoja nykyinen lainsäädäntö suosii. Korkein päästökerroin kaikista energiamuodoista on öljylämmityksellä, jonka laskettiin olevan 280,0 $kgCO_2/MWh$. Toiseksi korkein päästökerroin on kaukolämmöllä, jonka kulutuksen päästökertoimeksi saatiin 165,9 $kgCO_2/MWh$ vuosille 2019−2023 ja 125,9 $kgCO_2/MWh$ vuodelle 2023. CHP-tuotannon päästöjä arvioitiin sekä kaukolämmölle että sähkölle energiamenetelmällä. Toisilla menetelmillä päästöjen suhteet voivat vaihdella ja esimerkiksi ennen yleisesti käytetyllä hyödynjakomenetelmällä kaukolämmölle saataisiin pienemmät päästöt ja sähkölle suuremmat. Kaukolämmön tuotannon päästöissä on myös suurta kaupunkikohtaista vaihtelua.

Sähkön kulutuksen päästökerroin oli vuosille 2020−2024 keskimäärin 62,5 $kgCO_2/MWh$ ja vuodelle 2024 34,4 $kgCO_2/MWh$. Sähkön päästökertoimen nopeaan pienenemiseen muutaman vuoden sisällä on monta syytä, mutta kenties suurimpana voidaan pitää Suomen kasvanutta ydin- ja tuulivoiman tuotannon kapasiteettia, joka on puolestaan vähentänyt Suomen vuotuista sähkön tuontia maista, joissa uusiutuvan energian osuus sähkön tuotannossa on pienempi.

Sähkölämmitykseen on useita eri teknologioita, joiden päästökertoimet eroavat toisistaan. Suorasähkölämmityksen päästökerroin on sama kuin sähköllä yleisesti, mutta perinteisen vastuksilla toimivan varaavan sähkölämmityksen arvioitu päästökerroin vuosille 2020−2024 oli keskimäärin 70,9 $kgCO_2/MWh$ ja vuodelle 2024 39,0 $kgCO_2/MWh$. Arvio perustuu varaavan sähkölämmityksen hyötysuhteeseen ja rakennuskohtaisesti varaavan sähkölämmityksen päästöt saattavat olla jopa matalammat kuin suorasähkölämmityksellä riippuen, milloin vettä lämmitetään.

Suomessa nopeasti yleistyville lämpöpumpputeknologioille arvioitiin myös päästökertoimet, mutta teknologioiden keskimääräisiä vuosihyötysuhteita arvioivia tutkimuksia löytyi vaihdellen. Keskimääräiset päästökertoimet vaihtelivat välillä 19,3−28,0 $kgCO_2/MWh$ vuosille 2020−2024 ja välillä 10,6−15,4 $kgCO_2/MWh$ vuodelle 2024. Suomessa yleisesti käytettävistä lämpöpumpputeknologioista poistoilmalämpöpumpuilla on keskimäärin paras hyötysuhde ja täten myös pienin päästökerroin, kun taas ilma-vesilämpöpumpuilla on lämpöpumpuista huonoin hyötysuhde ja suurin päästökerroin. Kaikki lämpöpumput parantavat kuitenkin huomattavasti sähkölämmityksen hyötysuhdetta ja ero vastuksilla toimivan perinteisen sähkölämmityksen hyötysuhteen ja minkä tahansa lämpöpumpun hyötysuhteen välillä on huomattavasti suurempi kuin yksittäisten lämpöpumppujen välinen ero.

Pienin päästökerroin oli puun pienpoltolla, jonka päästökertoimeksi arvioitiin 0,0 kgCO_2/MWh poltettavan puun hiilen orgaanisesta alkuperästä johtuen. Puun pienpoltto tuottaa kuitenkin terveydelle haitallisia pienhiukkasia ja kaasuja, joten myöskään kyseinen energiamuoto ei ole ongelmaton.

Työssä selvitettiin kuinka hyvin Valtioneuvoston asettamat energiamuotojen kertoimet vastaavat energiamuotojen päästökertoimia laskemalla jokaiselle energiamuodolle päästösuhdeluku jakamalla kyseisen energiamuodon viimeisimmän 5:n ja viimeisimmän tilastovuoden päästökertoimet öljylämmityksen päästökertoimella. Tuloksista selvisi, että kaukolämmön lasketut suhdeluvut olivat varsin lähellä Valtioneuvoston asettamaa kerrointa, mutta sähkön ja rakennuksessa käytettävien uusiutuvien polttoaineiden suhdeluvut erosivat energiamuotojen kertoimista merkittävästi. Uusiutuvien polttoaineiden päästösuhdeluvuksi määritettiin 0, kun sen energiamuodon kerroin on 0,5. Sähkön viimeisimmän tilastovuoden päästösuhdeluku (0,12) oli 10 kertaa pienempi kuin Valtioneuvoston asettama energiamuodon kerroin (1,2). Tämä tarkoittaa, että erityisesti sähkön ja rakennuksessa käytettävien uusiutuvien polttoaineiden päästökerrointen ja energiamuotojen kertoimien välillä on selvä epäsuhta.

Energiamuotojen valinnan keskimääräistä vaikutusta rakennuksen E-lukuun arvioitiin toiminnallisilla energiamuotojen kertoimilla. Toiminnallinen kerroin ottaa huomioon vuodessa kulutetun energian määrän ja se lasketaan jakamalla Valtioneuvoston asettama energiamuodon kerroin energiamuodon keskimääräisellä vuosihyötysuhteella. Mitä pienempi energiamuodon toiminnallisen kerroin, sitä pienempi kyseistä energiamuotoa käyttävän rakennuksen E-luku keskimäärin. Kyseisellä laskentamenetelmällä lämmitysmuodoista hyödykseen erottuivat erityisesti kaukolämpö ja lämpöpumput, joiden toiminnalliset kertoimet sijoittuivat välille 0,37−0,54. Lämpöpumppujen keskimääräiset toiminnalliset kertoimet olivat yleisesti ottaen hieman kaukolämmön kerrointa pienempiä lukuun ottamatta ilma-vesilämpöpumppujen kerrointa. Mitä korkeamman hyötysuhteen lämpöpumpulla lämmittää, sitä pienempi toiminnallinen kerroin ja lämpöpumppujen kehittyessä entistä energiatehookkammiksi niiden toiminnalliset kertoimet pienenevät entisestään.

Kolmanneksi pienin toiminnallinen kerroin oli rakennuksessa käytettävillä uusiutuvilla polttoaineilla. Energiavaraajalla varustettujen puukattiloiden toiminnalliseksi kertoimeksi arvioitiin 0,65 ja pellettikattiloille 0,63. Fossiilisilla polttoaineilla toimivien kattiloiden toiminnallisiksi kertoimiksi arvioitiin 1,04−1,17.

Kaikista suurimmat toiminnalliset kertoimet olivat perinteisellä sähkölämmityksellä. Suorasähkölämmityksen toiminnallinen kerroin on 100 %:n hyötysuhteesta johtuen sama kuin määritetty energiamuodon kerroin (1,20), kun taas varaavan sähkökattilalämmityksen toiminnallinen kerroin oli kaikista energiamuodoista suurin (1,36).

Erityisesti fossiilisten polttoaineiden ja perinteisten sähkölämmitysteknologioiden kertoimet ovat varsin suuria verrattuna lämpöpumppujen ja kaukolämmön kertoimiin, ja esimerkiksi perinteisellä sähkölämmityksellä pääsääntöisesti lämmitettävän rakennuksen energiamuodon vaihtamisella lämpöpumpulla toimivaan lämmitysjärjestelmään voi pienentää rakennuksen lämmityksestä johtuvaa osuutta E-luvusta jopa kolmannekseen entisestään.

Suomen rakennusenergialainsäädännössä määritetyt energiamuotojen kertoimet eivät siis vastaa kovin tarkasti kyseisten energiamuotojen tuottamia päästöjä, mutta energiamuotojen keskimääräiset vuosihyötysuhteet huomioon ottaen lainsäädäntö suosii vähäpäästöisempiä, energiatehokkaampia ja Suomen sähköverkkoa vähemmän kuormittavia energiamuotoja E-luvun laskennassa. Erityisesti lämpöpumpuilla ja kaukolämmöllä lämmitettävät rakennukset voivat saada arvioinnin aikana huomattavasti pienemmän E-luvun kuin öljyllä tai perinteisellä sähkölämmityksellä lämmitettävät. Suomen sähkö- ja kaukolämpöjärjestelmien muuttuessa vähähiilisemmiksi, voi energiamuotojen kertoimia kuitenkin olla tarpeellista arvioida uudelleen.

Lähdeluettelo

[1] *Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013. Annettu Helsingissä 18.1.2013.* URL: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130050 (viitattu 20. 02. 2025).

[2] *Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017.* URL: https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010%5C# (viitattu 31. 01. 2025).

[3] *RT-kortistot | RT 103742, Rakennustieto Oy.* URL: https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%5C%20103742?page=41 (viitattu 01. 02. 2025).

[4] *Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistus, Ympäristöministeriö.* URL: https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus (viitattu 09. 05. 2025).

[5] *Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (788/2017). Annettu Helsingissä 30.11.2017.* Tammikuu 2018. URL: https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2017/788?language=fin%5C&highlightId=66668%5C&highlightParams=%5C%7B%5C%22type%5C%22%5C%3A%5C%22BASIC%5C%22%5C%2C%5C%22search%5C%22%5C%3A%5C%22%5C%28788%5C%2F2017%5C%29%5C%22%5C%7D (viitattu 20. 03. 2025).

[6] *Päästökerroin, Tilastokeskus.* URL: https://stat.fi/meta/kas/paastokerroin.html (viitattu 21. 04. 2025).

[7] *Kaukolämpövuosi 2024, ennakkograafit, Energiateollisuus ry.* Tammikuu 2025. URL: https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/ (viitattu 05. 04. 2025).

[8] *Polttoaineluokitus, Tilastokeskus.* URL: https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut%5C_polttoaineluokitus.html (viitattu 17. 03. 2025).

[9] *Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. ISSN: 1797-6049.* 2020. URL: https://stat.fi/til/khki/2020/khki%5C_2020%5C_2021-06-03%5C_tie%5C_001%5C_fi.html (viitattu 01. 02. 2025).

[10] *Milloin energiatodistus tarvitaan ja milloin ei?, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/mika%5C_on%5C_energiatodistus/milloin%5C_energiatodistus%5C_tarvitaan%5C_ja%5C_milloin%5C_ei (viitattu 31. 01. 2025).

[11] *Kaukojäähdytys 2024, Energiateollisuus ry.* Maaliskuu 2025. URL: https://energia.fi/tilastot/kaukojaahdytystilasto/ (viitattu 15. 05. 2025).

[12] *Puuenergia, Energiateollisuus ry.* URL: https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/yhteistuotanto/puuenergia/ (viitattu 19. 05. 2025).

[13] Jarkko Tissari. *Puun pienpolton päästöt ja niiden [ilmasto]vaikutukset.* Puulämmityspäivä. Kesäkuu 2019. URL: https://tsy.fi/wp-content/uploads/2019/02/2019-02-04-Puul%5C%C3%5C%A4mp%5C%C3%5C%B6p%5C%C3%5C%A4iv%5C%C3%5C%A4esitys.pdf.

[14] *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017.* URL: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20171048%5C# (viitattu 31. 01. 2025).

[15] *Energiatehokas sähkölämmitys, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/koti%5C_ja%5C_asuminen/energiatehokas%5C_pientalo/energiatehokas%5C_sahkolammitys (viitattu 19. 04. 2025).

[16] *Kodin ja kodinkoneiden sähkönkulutus, Effortia oy.* URL: https://sahkovertailu.fi/kodin-ja-kodinkoneiden-sahkonkulutus (viitattu 19. 04. 2025).

[17] *Onko sähkönkulutukseni normaalia?, Vattenfall oy.* URL: https://vattenfallfi-web-prd.azurewebsites.net/fokuksessa/sahkonkulutus/onko-sahkonkulutukseni-normaalia/ (viitattu 19. 04. 2025).

[18] Arja Tiihonen. *Asumisväljyys lisääntyy hitaasti, Tilastokeskus.* Lokakuu 2011. URL: https://stat.fi/tup/vl2010/art%5C_2011-10-18%5C_001.html (viitattu 21. 04. 2025).

[19] *Paikallisvoima | Kaukolämmön Päästölaskuri, Energiateollisuus Ry.* URL: https://klpaastolaskuri.fi/ (viitattu 31. 01. 2025).

[20] *Helenin viimeinen kivihiilivoimala sammuu Salmisaaressa päättäen hiilen aikakauden, Helen oy.* Huhtikuu 2025. URL: https://www.helen.fi/uutiset/2025/helenin-viimeinen-kivihiilivoimala-sammuu-salmisaaressa-paattaen-hiilen-aikakauden (viitattu 03. 04. 2025).

[21] "Kaukolämpötilasto 2023". *Energiateollisuus ry* (2024), s. 12. ISSN: 0786-4809. (Viitattu 20. 04. 2025).

[22] Panu Pasanen, Tytti Bruce ja Anastasia Sipari. *Kaukolämmön CO2-päästöjen laskentamenetelmät päätöksenteon työkaluina.* Elokuu 2013. URL: https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/09/Kaukolammon%5C_paastojen%5C_laskentamenetelmat%5C_RAPORTTI%5C_20130829.pdf (viitattu 14. 03. 2025).

[23] *CO2-päästökertoimet, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto%5C_suomessa/co2-paastokertoimet (viitattu 13. 03. 2025).

[24] *Kaukolämpöverkot, Energiateollisuus ry.* URL: https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/kaukolampoverkot/ (viitattu 28. 04. 2025).

[25] *Energiamuodot, lämmitysmuodot ja energialähteet, Effortia oy.* URL: https://sahkovertailu.fi/energiamuodot-lammitysmuodot-ja-energialahteet (viitattu 16. 04. 2025).

[26] Hilkka Haaga. *Öljy on hyötysuhteeltaan kilpailukykyinen lämmönlähde, Lämmitysenergia Yhdistys ry.* Lokakuu 2023. URL: https://lammolla.fi/oljy-on-hyotysuhteeltaan-kilpailukykyinen-lammonlahde/ (viitattu 19. 04. 2025).

[27] *Electric Resistance Heating, U.S. Department of Energy.* URL: https://www.energy.gov/energysaver/electric-resistance-heating (viitattu 19. 04. 2025).

[28] *Sähköntuotannon ja -kulutuksen CO2-päästöarviot, Fingrid oyj.* Heinäkuu 2019. URL: https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/ (viitattu 19. 04. 2025).

[29] Jukka Relander. *Sähkövuosi 2023: Puhdas sähköntuotanto kasvoi, päästöt ja hinnat romahtivat, Energiateollisuus ry.* Tammikuu 2024. URL: https://energia.fi/tiedotteet/sahkovuosi-2023-puhdas-sahkontuotanto-kasvoi-paastot-ja-hinnat-romahtivat/ (viitattu 07. 05. 2025).

[30] *Suomen Virallinen Tilasto (SVT): Energian Hankinta Ja Kulutus [Verkkojulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus.* URL: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin%5C_%5C_ehk/statfin%5C_ehk%5C_pxt%5C_12vm.px/ (viitattu 19. 04. 2025).

[31] *Sähköjärjestelmän tila, Fingrid oyj.* Toukokuu 2017. URL: https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/ (viitattu 19. 05. 2025).

[32] *Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus [verkkojulkaisu]. ISSN=2323-3273. 2018, 1. Asuinrakennusten päälämmönlähteiden kehitys 2010-luvulla . Helsinki: Tilastokeskus.* verkkojulkaisu. 2018. URL: https://stat.fi/til/asen/2018/asen%5C_2018%5C_2019-11-21%5C_kat%5C_001%5C_fi.html (viitattu 08. 04. 2025).

[33] *SFS-EN 14825:2022:En, Air Conditioners, Liquid Chilling Packages and Heat Pumps, with Electrically Driven Compressors, for Space Heating and Cooling, Commercial and Process Cooling. Testing and Rating at Part Load Conditions and Calculation of Seasonal Performance.* Heinäkuu 2022. URL: https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1134896.html.stx (viitattu 07. 06. 2025).

[34] *Establishing the Guidelines for Member States on Calculating Renewable Energy from Heat Pumps from Different Heat Pump Technologies Pursuant to Article 5 of Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council.* Kesäkuu 2013. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2013/114(1)/oj/eng (viitattu 18. 04. 2025).

[35] Ari Laitinen. "Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa". *Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy* (huhtikuu 2016), s. 82. ISSN: 2242-122X (Verkkojulkaisu). (Viitattu 15. 04. 2025).

[36] *Ilmalämpöpumppu, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva%5C_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilmalampopumppu (viitattu 12. 04. 2025).

[37] *Maalämpöpumppu, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva%5C_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu (viitattu 12. 04. 2025).

[38] Katja Manner. *Maalämpöjärjestelmään kannattaa asentaa puskurivaraaja.* URL: https://www.tomallensenera.fi/blogi/maalampojarjestelmaan-kannattaa-asentaa-puskurivaraaja (viitattu 13. 05. 2025).

[39] *Ilma-vesilämpöpumppu, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva%5C_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu (viitattu 16. 04. 2025).

[40] *Ulkoilma-vesilämpöpumppu (UVLP), Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry.* URL: https://www.sulpu.fi/lampopumput/ilma-vesilampopumput/ (viitattu 16. 04. 2025).

[41] Janis Kazjonovs et al. "Performance Analysis of Air-to-Water Heat Pump in Latvian Climate Conditions". *Environmental and Climate Technologies* 14.1 (joulukuu 2014), s. 18–22. ISSN: 2255-8837. DOI: 10.1515/rtuect-2014-0009. (Viitattu 16. 04. 2025).

[42] *Latvia Climate Zone, Weather By Month and Historical Data, Weather and Climate - The Global Historical Weather and Climate Data.* URL: https://weatherandclimate.com/latvia (viitattu 19. 05. 2025).

[43] *Finland Climate Zone, Weather By Month and Historical Data, Weather and Climate - The Global Historical Weather and Climate Data.* URL: https://weatherandclimate.com/finland (viitattu 19. 05. 2025).

[44] *Poistoilmalämpöpumppu, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva%5C_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu (viitattu 12. 04. 2025).

[45] Petri Pylsy ja Jarek Kurnitski. ”Measured Performance of Exhaust Air Heat Pumps in Finnish Apartment Buildings”. *E3S Web of Conferences* 246 (2021). Toim. J. Kurnitski ja M. Thalfeldt, s. 06001. ISSN: 2267-1242. DOI: 10.1051/e3sconf/202124606001. (Viitattu 12. 04. 2025).

[46] *Puulämmitys kiinteistöissä, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva%5C_energia/bioenergia/puulammitys%5C_kiinteistoissa (viitattu 21. 04. 2025).

[47] *Keskuslämmityskattilat, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva%5C_energia/bioenergia/puulammitys%5C_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat (viitattu 21. 04. 2025).

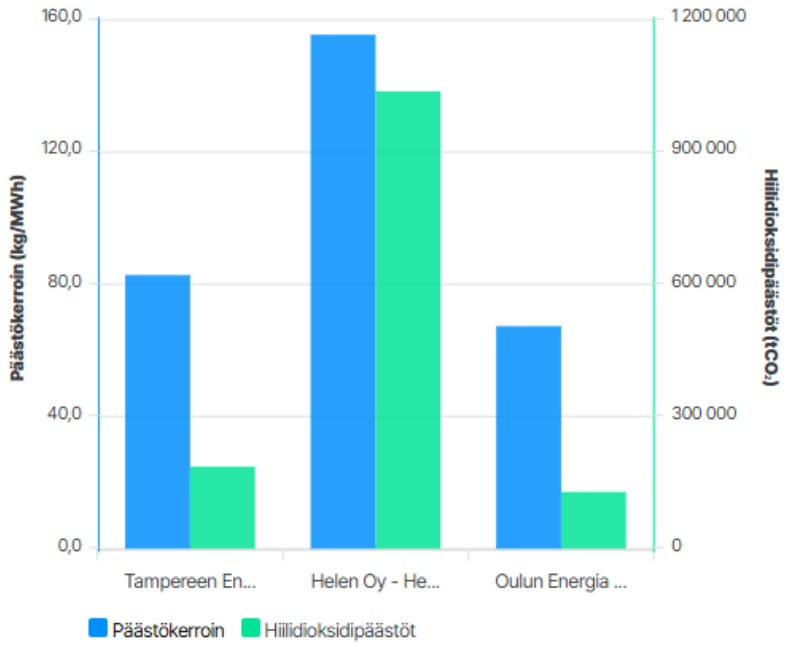
[48] *Kodin tulisijat, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva%5C_energia/bioenergia/puulammitys%5C_kiinteistoissa/kodin%5C_tulisijat (viitattu 21. 04. 2025).

[49] *Öljylämmitys, Motiva oy.* URL: https://www.motiva.fi/koti%5C_ja%5C_asuminen/energiatehokas%5C_pientalo/pientalon%5C_lammitys/oljylammitys?%5C_m=15829 (viitattu 15. 05. 2025).

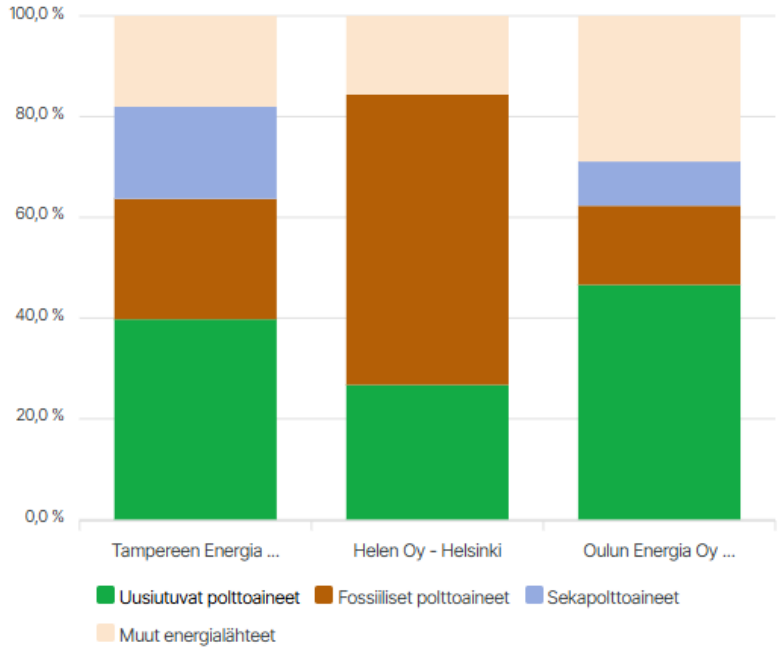
[50] *Lämmitysöljy, Kotimaisten Kielten Keskus Ja Kielikone Oy.* URL: https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/%5C#/l%5C%C3%5C%A4mmitys%5C%C3%5C%B6ljy?searchMode=all (viitattu 14. 05. 2025).

[51] Mikko Savolahti et al. ”Near-Term Climate Impacts of Finnish Residential Wood Combustion”. *Energy Policy* 133 (lokakuu 2019), s. 110837. ISSN: 03014215. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.06.045. (Viitattu 14. 05. 2025).

A Kaupunkikohtaisia päästöjä



(a) Tampereen, Helsingin ja Oulun kaukolämmön päästökertoimet, sekä tuotetut hiilidioksidipäästöt vuonna 2024.



(b) Tampereella, Helsingissä ja Oulussa tuotetun kaukolämmön kuluttamat polttoaineosuudet vuonna 2024.

Kuva A.1 *Tampereen, Helsingin ja Oulun kaukolämpöverkkojen eroavaisuudet [19].*