



**ENERGIATEHOKKAIDEN TALOTEKNISTEN MUUTOSTOIMENPITEIDEN
ALUSTAVAT VALINNAT HUOMIOIDEN KIINTEISTÖN MAANTIETEELLINEN
SIJAINTI SUOMESSA**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

2023

Mikko Tontti

Tarkastajat: Dosentti, TkT Ahti Jaatinen-Värri

Diplomi-insinööri Janne Kala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energijärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Mikko Tontti

Energiatehokkaiden taloteknisten muutostoimenpiteiden alustavat valinnat huomioiden kiinteistön maantieteellinen sijainti Suomessa

Energiatekniikan diplomityö

2023

76 sivua, 29 kuvaa, 5 taulukkoa ja 0 liitettä

Tarkastajat: Dosentti, TkT Ahti Jaatinen-Värri ja Diplomi-insinööri Janne Kala

Avainsanat: energiansäästöpotentiaali, energiatehokkuus, lämpöpumppu, ilmanvaihto

Euroopan Unioni ohjaa jäsenvaltioitaan vähentämään energiankulutustaan ja kasvihuonehuonepäästöjä. Rakennusten käyttämä energia on merkittävä osa koko Suomen energian loppukäytöstä, se aiheuttaa suuren määrän kasvihuonepäästöjä ja energiatehokkuudella on suuri merkitys ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Suomessa energiayhtiöiden kaukolämmön hinnat, sähkön siirtohinnat ja hiilidioksidipäästöt vaihtelevat alueellisesti merkittävästi. Tämän takia energiatehokkaampien lämmitysjärjestelmien ja energiatehokkuutta edistävien toimenpiteiden kustannustehokkuus vaihtelee alueellisesti.

Tässä diplomityössä syvennyttään tarkastelemaan valittujen kaupunkien energiayhtiöiden hintojen, sähkönsiirtohintojen ja hiilidioksidipäästöjen vaikutusta energiatehokkuustoimenpiteiden tai laajemman hankkeen kannattavuuteen ja hiilidioksidipäästöjen alentamiseen. Lisäksi diplomityön tavoitteena on kehittää energiatehokkuushankkeiden ensimmäisen esivalintavaiheen prosessia tehokkaammaksi, jolloin jo varhaisessa vaiheessa voitaisiin valikoida kustannustehokkaimmat talotekniset toimenpiteet tarkempaan hankesuunnitteluvaiheeseen. Työ on rajattu käsittelemään toimitila-, toimisto- ja teollisuusrakennuksia.

Tarkasteltaessa kirjallisuusosuutta ja esivalintaohjelmiston ensimmäisen version antamia tuloksia, voidaan osoittaa, että energiatehokkuusinvestointeja tulisi tarkastella alueellisesti. Kaukolämpöenergian hinnalla on suuri yhteys investoinnin kannattavuuteen. Kaukolämmön hinnalla ja sähkön siirtohinnalla voidaan osaltaan tarkentaa alueellista, kaupunkikohtaista energiatehokkuustoimenpidepotentiaalia. Valittujen kaupunkien osalta, maalämpöinvestoinnin sisäisen korkokannan ero alueellisesti todettiin olevan 7 %. Tutkimuksen aikana kehitettiin energiatehokkuuden hankesuunnitelman prosessia tehostava esivalintaohjelmisto, jota on tarkoitus jatkokehittää tuottamaan kustannustehokkuutta energiatehokkuushankkeiden esisuunnitteluprosessiin valtakunnallisesti.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Engineering Science

Energy Technology

Mikko Tontti

Preliminary selections of energy-efficient building technical change measures, considering the property's geographic location in Finland

Master's thesis

2023

76 pages, 29 figures, 5 tables and 0 appendices

Examiners: Associate Professor Ahti Jaatinen-Värri and M.Sc. Janne Kala

Keywords: energy saving potential, energy efficiency, heat pump, ventilation

The European Union directs its member states to reduce their energy consumption and greenhouse emissions. The energy used by buildings is a significant part of the final energy use in Finland, it causes a large amount of greenhouse emissions, and energy efficiency is of great importance in curbing climate change. In Finland, energy companies' district heating prices, electricity transfer prices and carbon dioxide emissions vary significantly regionally. Because of this, the cost-effectiveness of more energy-efficient heating systems and measures that promote energy efficiency varies regionally.

In this thesis, we examine the effect of energy company prices, electricity transmission prices and carbon dioxide emissions in selected cities on the profitability of energy efficiency measures or a wider project and the reduction of carbon dioxide emissions. In addition, the aim of the thesis is to develop the process of the first pre-selection phase of energy efficiency projects more efficiently, so that already at an early stage the most cost-effective building technical measures could be selected for the more detailed project planning phase. The work is limited to examining commercial, office and industrial buildings.

Looking at the literature section and the results of the first version of the pre-selection software, it can be shown that energy efficiency investments should be considered regionally. The price of district heating energy has a great connection with the profitability of the investment, and in addition, the amount of emission reduction should be examined regionally using the emission factor. With the price of district heat and the transmission price of electricity, regional, city-specific energy efficiency measure potential can be specified. Regarding the selected cities, the regional difference in the internal interest rate of geothermal investment was found to be 7%. During the research, a pre-selection software was developed that enhances the process of the energy efficiency project plan.

KIITOKSET

Tämä diplomityö on tuotettu opinnäytteenä diplomi-insinöörin tutkintoa vasten Lappeenrantaan-Lahden teknillisen yliopiston energiatekniikan osastolle. Diplomityöni tilaajana toimi Granlund Oy:n energiatehokkuushankkeiden osasto. Diplomityössä tutkittiin energiatehokkuustoimenpiteiden alueellista potentiaalia osana hankesuunnitteluvaiheen esivalintaprosessin kehitystyötä. Diplomityön aihe valikoitui 2023 talvella ja kirjoitustyö on toteutunut kevään, kesän ja syksyn 2023 aikana.

Suuri kiitos kuuluu diplomityötäni ohjanneelle Janne Kalalle, joka antoi tilaa syventyä kiinnostavaan aiheeseen, haastoi tutkimaan tietoa erilaisilla näkökulmilla ja kannusti kohti edessä siintävää maalia. Lisäksi haluan kiittää työni valvomisesta tohtori Ahti Jaatinen-Värrä, jonka rakentava ja asiallinen palaute loi uskoa diplomityön tuottamiseen.

Diplomityö kirjoitettiin omien töideni ohessa ja esimieheni Miika Nuutilan kannustus, motivointi ja joutavuus loivat pohjan sille, että diplomityön toteutuminen oli edes mahdollista.

Viimeiseksi haluan kiittää perhettäni Emiliaa, Urhoa ja Siljaa. Te olette minulle ne todelliset sankarit, koska olette tukeneet ja kannustaneet minua upeasti koko opintojeni ajan, vaikka yhteinen vapaa-aikamme on opintojeni myötä kärsinyt. Opintojen suorittaminen työn ohessa oli hyvin vaativaa ja haastoi huomattavasti enemmän kuin olin alkujaan ajatellut, mutta minä tein sen!

Helsinki 1.11.2023

Mikko Tontti

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

| | | |
|----------|--------------------------------|------------|
| C_p | Veden ominaislämpökapasiteetti | [kJ/(kgK)] |
| t_{et} | Kaukolämpöveden tulolämpötila | [°C] |
| t_{ep} | Kaukolämpöveden paluulämpötila | [°C] |

Kreikkalaiset

| | | |
|--------|--------------|-----------------------|
| Φ | Sopimusteho | [kW] |
| ρ | Veden tiheys | [kg/dm ³] |

Lyhenteet

| | |
|-----------------|--|
| ALV | Arvonlisävero |
| ARA | Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus |
| CHP | Yhteistuotanto (Combined Heat and Power) |
| CO ₂ | Hiilidioksidi |
| COP | Lämpöpumpun hyötysuhde (Coefficient of Performance) |
| EDD | Ostokohteen ympäristövastuullisuuden ennakkotarkastus (Environmental Due Diligence) |
| ELY | Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus |
| ESCO | Energiätehokkuuspalveluita urakoiva yritys (Energy Service Company) |
| EU | Euroopan Unioni |
| LCC | Elinkaarikustannukset (Life cycle cost) |

| | |
|-------|---|
| LTO | Lämmöntalteenotto (-järjestelmä) |
| NEEAP | Kansallinen energiatehokkuuden toimeenpanosuunnitelma (National Energy Efficiency Action Plan) |
| RakM | Rakentamismääräyskokoelma |
| SULPU | Suomen lämpöpumppuyhdistys |
| TEM | Työ- ja elinkeinoministeriö |
| TRY | Rakennuksen energialaskennan testivuosi |

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto..... | 9 |
| 1.1 | Tutkimuksen tavoitteet..... | 10 |
| 1.2 | Tutkimuksen rakenne ja rajaukset..... | 11 |
| 2 | Energiatuotanto ja kiinteistöjen energiankäyttö Suomessa | 13 |
| 2.1 | Suomen energiantuotanto ja kulutus | 13 |
| 2.2 | Kaukolämmöntuotanto | 14 |
| 2.2.1 | Kaukolämmöntuotannon päästöt | 15 |
| 2.3 | Sähköntuotanto..... | 16 |
| 2.3.1 | Sähköntuotannon päästöt | 17 |
| 2.4 | Lämmitysaineet toimitila-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa | 18 |
| 2.5 | Kaukolämmön hinta | 19 |
| 2.5.1 | Liittymismaksu | 21 |
| 2.5.2 | Perusmaksu | 21 |
| 2.5.3 | Energiamaksu..... | 22 |
| 3 | Kaukolämpötuotanto tulevaisuudessa | 23 |
| 3.1 | Kaukolämpöyhtiöiden tekniset ratkaisut tulevaisuudessa..... | 24 |
| 3.2 | Rakennusten tekniset ratkaisut tulevaisuudessa..... | 25 |
| 3.3 | Nykyhetken ja tulevaisuuden kilpailukyvyn optimointi | 27 |
| 4 | Energiatehokkuus Euroopassa ja Suomessa | 29 |
| 4.1 | Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivi | 30 |
| 4.2 | Suomen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma | 30 |
| 4.3 | Suomen energia- ja ilmastostrategia | 31 |
| 4.4 | Rakennusten lämmityksen energiatehokkuus | 31 |
| 4.5 | Energia-avustukset ja energiatuki | 33 |
| 5 | Energiantuotantojärjestelmät ja toimenpiteet rakennuksissa..... | 36 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | Lämpöpumput | 36 |
| 5.2 | Lämmitysenergian kulutukseen vaikuttavat talotekniset toimenpiteet rakennuksessa..... | 37 |
| 5.3 | Jäähdytysenergian kulutukseen vaikuttavat toimenpiteet | 38 |
| 5.4 | Sähköenergiaan vaikuttavat talotekniset toimenpiteet | 39 |
| 6 | Kirjallisuusosion pohdinta..... | 41 |
| 7 | Toimistorakennuksen taloteknisten energiatehokkuustoimenpiteiden valinnat alueellisesti..... | 44 |
| 7.1 | Toimistorakennuksen lämmitysenergian tarpeen ja huipputehontarpeen määrittäminen ja simulointi..... | 44 |
| 7.1.1 | Tyyppirakennuksen simuloinnin lähtötiedot | 45 |
| 7.1.2 | TRY 2020 testivuodet | 46 |
| 7.1.3 | Tehontarpeen määrittäminen | 47 |
| 7.1.4 | Tyyppirakennusten energiasimulointien tulokset | 48 |
| 7.2 | Geoenergiapotentiaali Suomessa | 51 |
| 7.3 | Kaukolämmön hinta alueellisesti | 52 |
| 7.3.1 | Perusmaksun osuuden laskenta..... | 53 |
| 7.3.2 | Kaukolämmön energiahinnat alueellisesti | 54 |
| 7.4 | Kaukolämmön päästöt alueellisesti..... | 55 |
| 7.5 | Kaukolämmön päästöjen alueellinen kehitys tulevaisuudessa..... | 57 |
| 7.6 | Sähkönsiirron hinta alueellisesti | 60 |
| 7.7 | Investoinnit puhtaampaan energiantuotantoon nyt ja tulevaisuudessa | 61 |
| 7.8 | Kaukolämmön ja sähkönsiirron suhde alueellisesti osana investointipotentiaalia..... | 62 |
| 7.9 | Lämpöpumppuvertailu-menetelmä lämpöpumppuhankkeiden esivalintojen vertailemiseksi..... | 63 |
| 7.9.1 | Lähtötietojen määrittäminen ja tausta..... | 64 |
| 7.9.2 | Alueellisen lämpöpumppuinvestointivertailun tulokset | 64 |
| 8 | Johtopäätökset | 68 |
| 8.1 | Jatkotutkimustarpeet | 69 |
| 8.2 | Tutkimuksen luotettavuus | 69 |
| 9 | Yhteenveto..... | 71 |
| | Lähteet | 73 |

1 Johdanto

Rakennusten energiatehokkuus on hyvin merkittävässä roolissa siinä, kuinka paljon käytämme energiaa Suomessa. Suomessa rakennukset käyttävät noin 40 % kaikesta käytetystä energiasta, joten osuus energian kokonaiskulutuksesta on merkittävä (Mattinen et al. 2016). Energiatehokas rakennus on tärkeä ennen kaikkea ilmastolle, mutta se vähentää rakennusten käyttökustannuksia ja ennaltaehkäisee kustannusten nousua omalta osaltaan, jos energian hinnoissa tapahtuu merkittävää nousua. Erilaiset talotekniikkaan liittyvät energiatehokkuustoimenpiteet ovatkin herättäneet laajaa kiinnostusta, niin rakennusten omistajissa kuin kiinteistömarkkinoilla yleensäkin. Monessa tapauksessa erilaiset energiatehokkuustoimenpiteet ovat hyvin kannattavia, varsinkin puhuttaessa lämmitysjärjestelmään, ilmanvaihtoon ja kiinteistön taloautomaation liittyvistä modernisointihankkeista. Energiatehokkuustoimenpiteiden kannattavuutta ja investointien halukkuutta lisää Business Finlandin tarjoama energiatuki, joka voi olla hankkeen mukaan 15–25 % investoinnin arvosta (Business Finland, 2023). Lisäksi erilaisiin energiansäästöön ja energiatehokkuuteen tähtääviin katselmus- ja selvityshankkeisiin on mahdollista saada tukea. Toisaalta rakennusten omistajien halu ratkaista osaltaan ilmastonmuutosta ja hiilipäästöjen vähentämistä ovat olleet enenemässä määrin ratkaisevassa asemassa energiatehokkuushankkeiden investoinneissa. Kaikissa tapauksissa investointihankkeiden kannattavuus ja tietyt energiatehokkuustoimenpiteet eivät ole taloudellisesti tai hiilidioksidipäästöjensä osalta kannattavia ja investointihankkeet eivät näin ollen ole myöskään tukikelpoisia. Tähän ongelmaan pyritään löytämään ratkaisu, jotta taloudellisesti tai hiilipäästöjensä osalta kannattamattomat talotekniikkaan liittyvät energiatehokkuushankkeet voitaisiin rajata hankesuunnitteluvaiheessa pois.

Nykyisellään energiatehokkuuden hankesuunnittelussa osa käytössä olevista resursseista käytetään erilaisten energiatehokkuustoimenpiteiden selvittämiseen, jotka saattavat osoittautua myöhemmässä vaiheessa kannattamattomiksi alueen energiantoimittajan energiahinnan muodostumisesta, hiilidioksidipäästötasosta tai kohteen geologisesta sijainnista johtuen. Toisaalta on huomattu tarve saada potentiaalisista energiatoimenpiteiden kannattavuuksista ja hiilidioksidipäästöjen alenemasta tietoisuutta kiinteistöjen omistajille kustannustehokkaalla tavalla.

Hankesuunnitteluprosessin tehokkuuden kannalta onkin tärkeä pyrkiä rajaamaan lähtötietojen perusteella sellaiset energiatehokkuustoimenpiteet suunnittelutyön ulkopuolelle jo varhaisessa vaiheessa, jotka eivät ole toteutuskelpoisia, investoinneiltaan kannattavia tai hiilipäästöjen alenemaa ei saavuteta, jotta käytössä oleva resurssi voidaan ohjata toteutuskelpoisiin hankkeisiin. Uusi esiselvitysvaihe vapauttaa varsinaiselta energiatehokkuuden selvitysvaiheelta resursseja ja mahdollistaa varsinaisten investointipotentialien tarkemman energiatehokkuuspotentialin ja päästövähennystavoitteiden analysoimisen.

Tässä työssä tarkastellaan lämmitysenergian kulutusta, sen vähentämisen edellytyksiä ja suositeltavien taloteknisten toimenpiteiden kannattavuuksia tyyppitoimistorakennusten kautta alueellisesti eri mitoitussäävyöhykkeillä. Lisäksi työssä tarkastellaan eri säävyöhykkeillä sijaitsevien energiayhtiöiden energian- ja perusmaksujen hintatasoa ja hintasuhdetta, sekä päästötasoja suhteessa toisiinsa.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Työn tavoitteena on saada luotua eri kulutusprofiileilla olevien rakennusten taloteknisten energiatehokkuushankkeiden kannattavuutta ja toteutettavuutta arvioiva analyysi, jonka perusteella voidaan rajata kannattamattomat investointihankkeet, niin taloudellisen, toteutettavuuden kuin hiilipäästöjänsä osalta pois hankesuunnitteluprosessin alkuvaiheessa.

Tällä hetkellä suunnittelun alkuvaiheessa kuluu aikaa ja resursseja sellaisten investointitoimenpiteiden analysointiin ja laskentaan, joiden energiatehokkuushankepotentiali on vähäinen tai potentiaalia ei ole. Tarkoitus onkin luoda esivalintaprosessi, joka antaa tuloksena toteutuskelpoiset investointihankkeet, joiden perusteella käytössä oleva resurssi voidaan käyttää tehokkaasti kannattavien ja toteutuskelpoisten hankkeiden tarkempaan analysointiin.

Työn tavoitteena on luoda käsitys eri alueiden ostoenergiakustannusten ja päästötasojen avulla kannattavia energiatehokkuustoimenpiteitä alueellisesti. Energiatehokkuustoimenpiteiden tavoitteena alentaa rakennusten ostoenergianmäärää, hiilidioksidipäästöjä ja löytää kustannustehokkaimmat toimenpiteet.

Opinnäytetyöllä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten eri energiankulutusprofiilin omaavien rakennusten energiatehokkuusinvestointien kannattavuus ja hiilipäästövähennys muuttuvat alueellisesti?

2. Miten eri alueiden kaukolämpöenergian ja sähkönsiirron hintasuhte vaikuttaa investointihankkeiden kannattavuuteen?
3. Mitkä tekijät vaikuttavat investointihankkeiden kannattavuuteen alueellisesti?

1.2 Tutkimuksen rakenne ja rajaukset

Tutkimus alkaa kirjallisuusosuudella, jossa on ensimmäiseksi käsitelty energiantuotantoa ja kiinteistöjen energiankäyttöä suomessa, joka antaa osaltaan kuvaa siitä, miten energiaa tuotetaan Suomessa ja kuinka sitä käytetään rakennuksissa. Seuraavaksi käsitellään energiatehokkuutta, lähtien Euroopan Unionin asettamista direktiiveistä aina Suomen lainsäädäntöön, jonka tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä, vähentää energiankulutusta ja lisäksi pienentää hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi osiossa käsitellään energiatukea mekanismeina, jonka tarkoituksena on helpottaa ja alentaa investoijan kynnystä toimeenpanna energiatehokkuushankkeita omistamissaan rakennuksissa. Tämän jälkeen energiantuotantoa ja hintojen muodostumista on käsitelty alueellisesti, jonka tarkoituksena on havainnollistaa kuinka hintakomponentit muodostavat energian kokonaishinnan ja mitkä vaikutukset primäärienergiälähteillä on energiatuotteen hiilidioksidipäästöihin. Viimeisessä osiossa syvennyttään rakennuksen tyypillisiin taloteknisiin järjestelmiin, jotka vaikuttavat voimakkaimmin rakennusten energiankulutukseen. Päähuomio kohdistuu lämmitystä, jäähdytystä ja sähköä käytäviin järjestelmiin ja lisäksi automaatioon. Kirjallisuuslähteinä työssä käytetään alan julkaisuja, joita ovat erilaiset artikkelit, asetukset, direktiivit, kirjat sekä tutkimukset.

Tutkimusosuudessa syvennyttään tarkastelemaan erilaisten energiatehokkuushankkeiden kannattavuuksia alueellisesti. Osiossa tarkastellaan kaukolämmön suhdetta sähkönsiirtoon alueellisesti, joka osaltaan antaa käsityksen investointihankkeiden kannattavuuksista geologinen sijainti huomioiden. Aihetta tarkastellaan neljän eri mitoitussäävyöhykkeen kaupungin avulla, jolloin on mahdollista tarkastella energiahintojen vaikutuksia energiatehokkuushankkeiden kannattavuuksiin sisäisen korkokannan mukaisesti.

Työ rajataan käsittelemään Suomen rajojen sisällä tapahtuvaa energiantuotantoa ja käyttöä. Energiatehokkuusinvestointihankkeet rajataan käsittelemään talotekniikkaa, pääpainona erilaiset lämpöpumppuhankkeet. Lisäksi työssä käsitellään energiantuotantoa ja toimenpiteitä toimitila-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa ja taloteknisten järjestelmien ohjausta

automaatiikalla. Työssä ei käsitellä rakenneteknisiä energiatehokkuustoimia energiankäytön vähentämiseksi.

2 Energiatuotanto ja kiinteistöjen energiankäyttö Suomessa

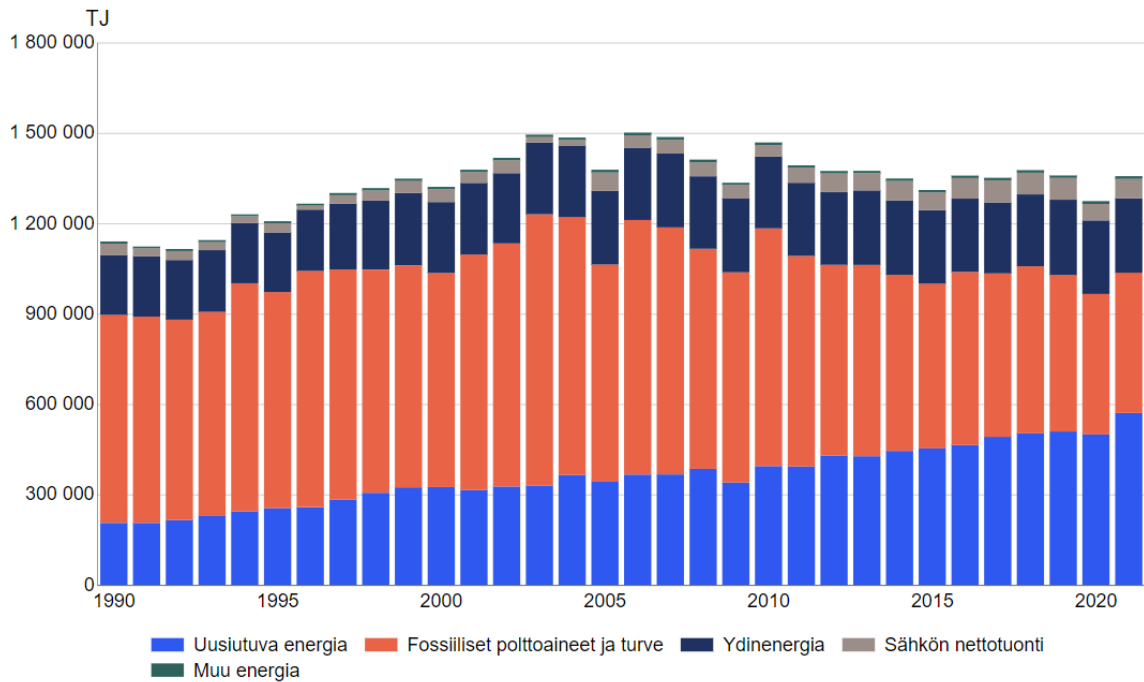
Tässä luvussa tullaan käsittelemään Suomen energiantuotantoa ja kulutusta, yleisimpiä lämmitysmuotoja niin toimitila kuin teollisuusrakennuksissa sekä kiinteistöjen energiankäyttöä. Lisäksi luvussa tarkastellaan lämmitys ja sähköenergian hintoja ja energiayhtiöiden tulevaisuuden suunnitelmia kaukolämmön tuottamisen suhteen.

2.1 Suomen energiantuotanto ja kulutus

Suomen energiantuotanto koostuu uusiutuvilla energianlähteillä, fossiilisilla polttoaineilla ja ydinenergialla tuotetusta energiasta. Fossiilisia energianlähteitä ovat mm. öljy, maakaasu, hiili ja turve. Uusiutuvia energianlähteitä ovat mm. vesivoima, tuulivoima, mustalipeä, teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet, aurinkoenergia ja erilaiset hukkalämmöt. (Energiamailma, 2023)

Energian loppukulutusta sektoreittain tarkasteltuna, jokaisen sektorin kulutus kasvoi vuonna 2021 edelliseen vuoteen verrattuna. Teollisuuden kulutus oli noin 500 000 TJ, rakennusten lämmityksen kulutus noin 300 000 TJ, liikenteen kulutus noin 170 000 TJ ja muiden sektorien kulutus noin 130 000 TJ. (Tilastokeskus, 2022)

Suomen energian kokonaiskulutus vuonna 2021 oli 1,36 miljoonaa terajoulea. Edelliseen vuoteen 2020 kasvua oli 7 %. On huomionarvoista, että vuosi 2020 piti sisällään koronapandemian, joka laski energian kokonaiskulutusta 6 % vuoteen 2019 verrattuna. Uusiutuvaa energiaa käytettiin 42 % osuus kokonaiskulutuksesta, joka on 14 % suurempi kuin vuonna 2020. Huomionarvoista on, että fossiilisten polttoaineiden kulutus suhteessa kokonaiskulutukseen pysyi lähes ennallaan verrattuna vuoteen 2020 vaikka turpeen kulutus laski 11 %. Kuten kuvasta 1 voimme huomata, uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta on kasvanut, toisaalta fossiilisten polttoaineiden kulutus on taas laskenut. (Tilastokeskus, 2022)



Kuva 1. Energian kokonaiskulutus 1990–2022 (Tilastokeskus, 2022)

2.2 Kaukolämmöntuotanto

Kaukolämmön lämpöenergiaa tuotetaan pääasiallisesti primäärienergianlähteillä, joihin lukeutuvat esimerkiksi geoterminen lämpö, biomassa, aurinkolämpö ja fossiiliset polttoaineet sekä sekundäärienergianlähteillä, joihin lukeutuvat yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon energiantalteenotto, jätteenpoltto sekä teollisuuden hukkalämmöt. Lämpöenergiaa tuotetaan yleensä keskitetysti lämmitysvoimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa. Lisäksi lämpöenergiaa saadaan muun muassa kiinteistöjen ja teollisuuden hukkalämmöistä. Tuotettu lämpöenergia jaellaan kaukolämpöverkoston avulla asiakkaille ja lämpöenergiansa luovuttanut ja jäähtynyt paluuvesi palautuu kaukolämpölaitokseen uudelleen lämmitettäväksi. (Mäkelä V., Tuunanen J., 2015)

Vuonna 2021 kaukolämmöntuotanto oli lähellä ennätyslukemia johtuen osaltaan poikkeuksen kylmästä talvijaksosta. Kaukolämmön tuotanto kasvoi 16 % edelliseen vuoteen verrattuna ollen 39 100 GWh. (Motiva, 2023a)

2.2.1 Kaukolämmöntuotannon päästöt

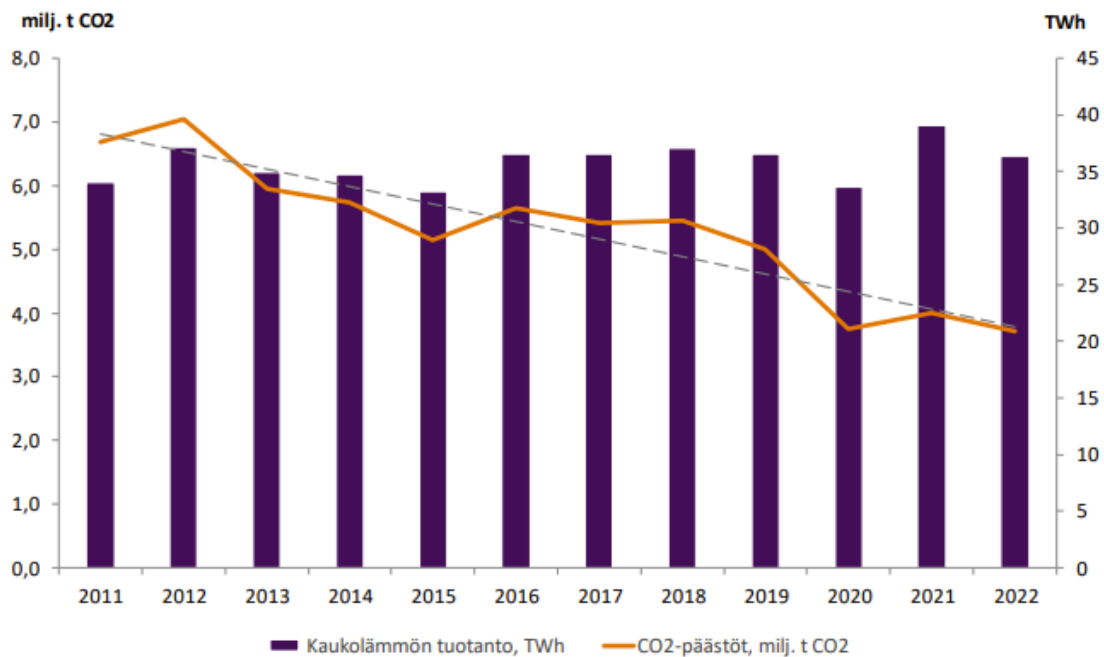
Kaukolämmöntuotannon päästöjä voidaan tarkastella monilla eri menetelmillä, mutta yleisimmin käytössä olevat hyödynjakomenetelmä ja energiamenetelmä ovat kaksi laajasti käytössä olevaa päästöjen tarkastelumenetelmää. (Motiva, 2023d)

Hyödynjakomenetelmän erityispiirteenä on, että lämpöenergian ja sähköenergian yhteistuotannolla voidaan saavuttaa korkea hyötysuhde, joka osaltaan vaikuttaa kokonaispäästöihin. Hyödynjakomenetelmä huomioi lisäksi erillisen sähkön- ja lämmöntuotannon hyötysuhteet ja polttoaineiden kulutettu määrä ja niiden tuottamat päästöt jaetaan suhteessa polttoainekustannuksille. (Motiva, 2023d)

Energiamenetelmässä laskentatapaa on suoraviivaistettu ja polttoaineet ja päästöt jakautuvat tuotettujen energioiden suhteessa. Jos esimerkiksi 75 % kokonaisenergiamäärästä on lämpöä ja 25 % sähköä, jakautuu polttoaineiden kulutukset kyseisten osuuksien mukaan ja sen myötä myös energiantuotannon päästöt. (Motiva, 2023d)

Energiateollisuus ry, Energiavirasto, Kuntaliitto, Motiva, Paikallisvoima ry:n, Palveleva kaukolämpö FinDHC ry, Suomen ympäristökeskus, suomalaiset kaukolämpöyhtiöt sekä tilastokeskus ovat kehittäneet yhteistyössä päästölaskurin, jonne on kerätty eri energiayhtiöiden tuottamat vuosipäästöt, päästökertoimet sekä energialähteiden tuotantojakaumat. Laskurin sivulla voidaan myös tarkastella päästötietojen kehitystä viimeisen viiden vuoden osalta sekä kuinka energialähteiden osuudet ovat muuttuneet suhteessa päästöihin. Laskurista voidaan tarkastella tuloksia aluekohtaisesti niin hyödynjakomenetelmällä saatuja tuloksia kuin energiamenetelmällä saatuja tuloksia. Myös eri alueiden vertailu toisiinsa onnistuu laskurin avulla. (Paikallisvoima ry, 2023)

Vuonna 2022 kaukolämmön CO₂-kokonaispäästöt laskivat edelliseen vuoteen verrattuna noin 7 % ollen noin 3,7 miljoonaa tonnia. Kuvasta 2 voimme tarkastella kaukolämmön kokonaispäästöjä suhteessa tuotettuun energiamäärään. Huomionarvoista on se, kuinka kaukolämmöntuotannon CO₂-kokonaispäästöt ovat vähentyneet verrattuna edelliseen vuoteen aina vuodesta 2012, pois lukien vuonna 2016 tapahtunutta kokonaispäästöjen nousua. (Motiva, 2023d)

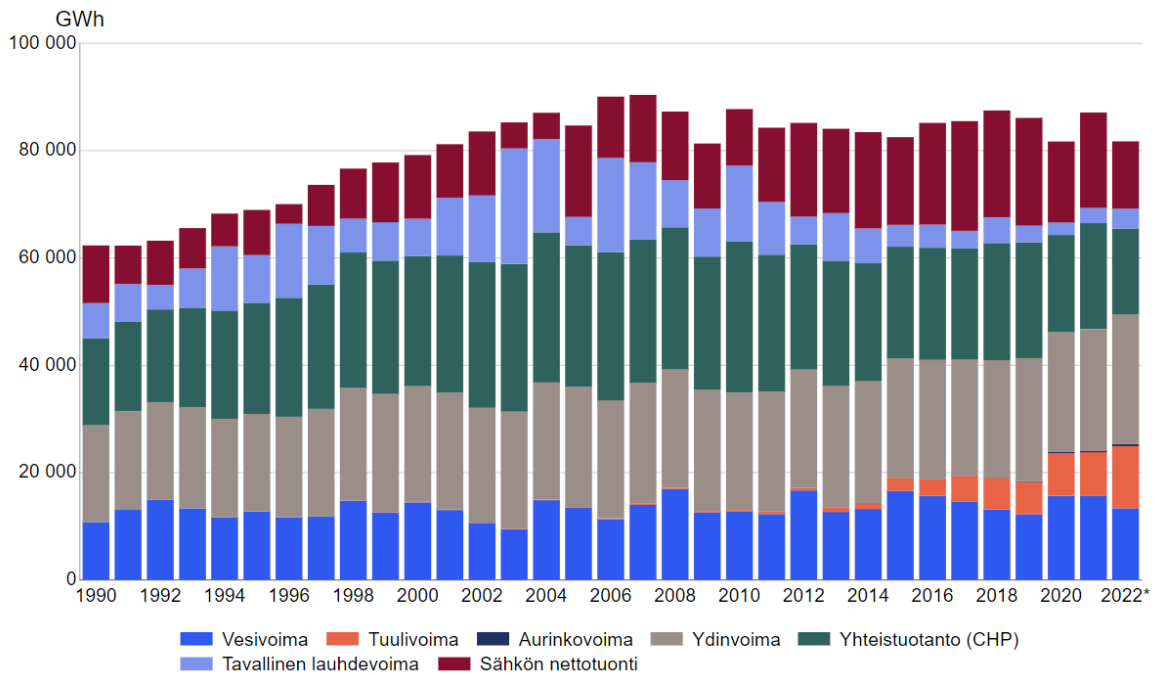


Kuva 2. Kaukolämmön kokonaispäästöt vuonna 2022. (Energiavuosi 2022 kaukolämpö, 2023)

2.3 Sähköntuotanto

Suomessa tuotettiin sähköä vuonna 2022 noin 69 TWh ja sähköä kulutettiin noin 82 TWh, joka tarkoittaa noin 6 % vähennystä vuoteen 2021 verrattuna. Sähköä tuotettiin pääasiassa ydinvoimalla, vesivoimalla, yhteistuotannolla (CHP), tuulivoimalla, tavallisella lauhdevoimalla sekä aurinkovoimalla. Sähkön nettotuonti väheni merkittävästi ollen noin 12,5 TWh. Merkittävin kasvu sähköenergiatuotannossa tapahtui tuulivoiman osalta, jonka kapasiteetti kasvoi 76 % ja tuotannon osuus noin 41 % vuoteen 2021 verrattuna, ollen 11,6 TWh. Fossiilittoman sähköntuotannon osuus sähkön kokonaiskulutuksesta oli noin 75 %, toisaalta hiilidioksidivapaan sähkön osuus oli jopa 89 %. (Energiavuosi 2022 sähkö, 2023)

Kuten voimme kuvasta 3 havaita, ydinvoiman ja vesivoiman käyttö on ollut jo vuosia tasaisista, ydinvoiman käyttö kasvoi noin 7 % vuoteen 2021 verrattuna, mutta tuulivoiman voimakas kasvu on osaltaan korvannut yhteistuotannon, lauhdevoiman ja sähkön nettotuontin osuutta. (Tilastokeskus, 2023)



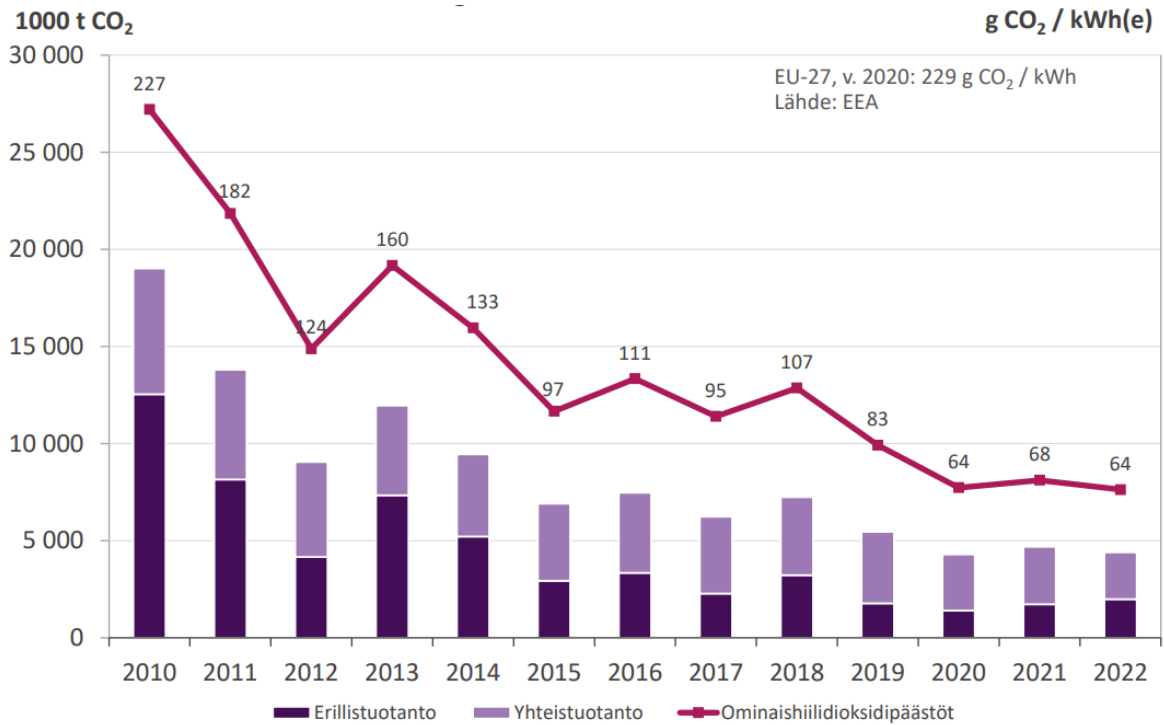
Kuva 3. Sähköenergian hankinta ja kulutus. (Tilastokeskus, 2023)

2.3.1 Sähköntuotannon päästöt

Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat laskeneet tasaisesti vuodesta 2010 saakka, jolloin sähkön hiilidioksidipäästöt olivat noin 19 Mt verrattuna vuoden 2022 tasoon, jolloin hiilidioksidipäästöt olivat noin 4,4 Mt. Laskua edellisvuoteen 2021 oli 6 % ja vuodesta 2010 saakka hiilidioksidipäästöt ovat laskeneet noin 77 %. (Energiavuosi 2022 sähkö, 2023)

Suurin sähköntuotannon hiilidioksidipäästöihin vaikuttanut tekijä viimeisen kymmenen vuoden aikana on ollut fossiilisten energialähteiden korvaaminen vaihtoehtoisilla tuotantoenergiatuotantomuodoilla. Esimerkiksi vuonna 2006 kivihieillä tuotettiin vielä noin 16 TWh sähköä, kun vuonna 2022 kivihieillä tuotettiin sähköä enää vain noin 4 TWh. (Energiavuosi 2022 sähkö, 2023)

Kuten kuvasta 4 voidaan selkeästi havaita, sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat vähentyneet tasaisesti nykytasolle vuodesta 2010 saakka.

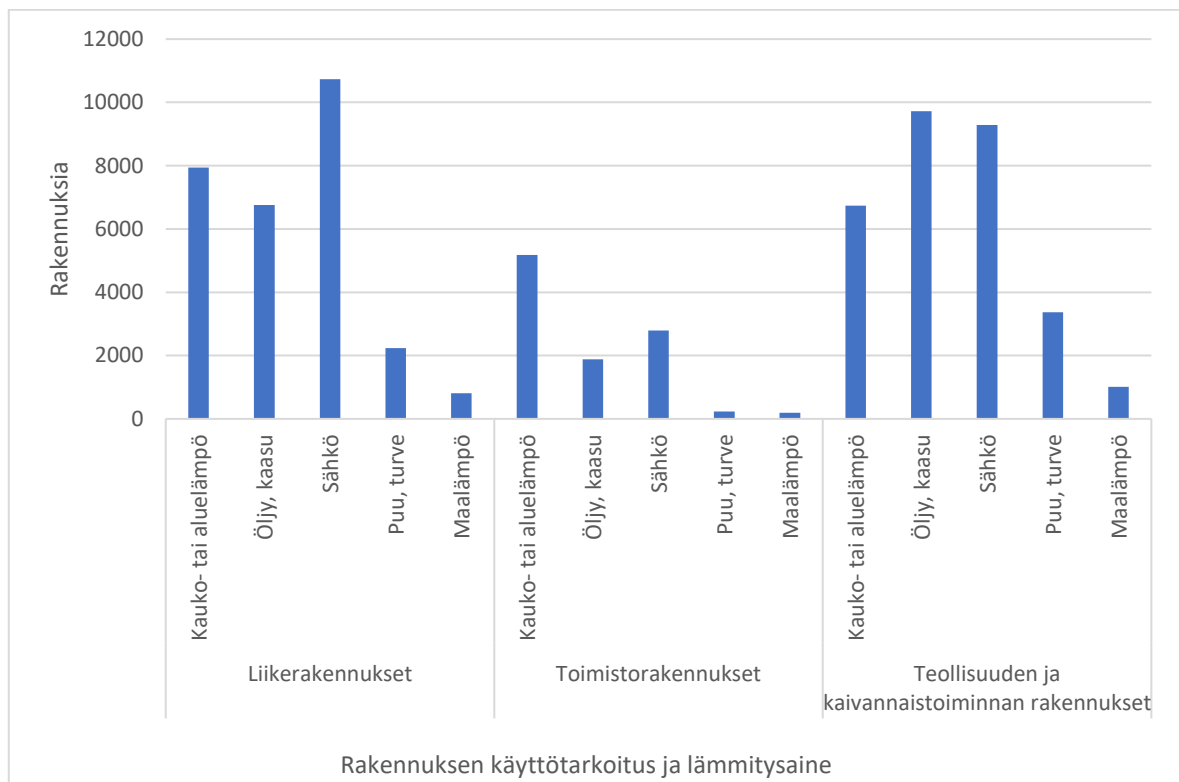


Kuva 4. Sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöt 2010–2022. (Energiavuosi 2022 sähkö, 2023)

2.4 Lämmitysaineet toimitila-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa

Suomalaisissa toimitila-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa yleisimmät lämmitysaineet vuonna 2022 ovat sähkö, kauko- tai aluelämpö, puu tai turve sekä maalämpö. Hiililämmitystä käyttävät sekä tuntemattomat kohteet rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Suurin määrä löytyy sähköllä lämpeneviä rakennuksia, joita on 22 809 kpl. Toiseksi suurin lämmitysainemuoto on kauko- tai aluelämpö, joita on 19 855 kpl. Kolmanneksi suurin joukko on öljy tai kaasulämmitys, joita on 18 366 kpl. Neljänneksi suurin lämmitysainemuoto on puu tai turve, joita on 5 841 kpl. Viidenneksi suurin on maalämpö, joita on 2 004 kpl. (Tilastokeskus, 2023)

Tilastojen perusteella suuri määrä rakennuksia käyttää vielä fossiilisia polttoaineita lämmityksen tuottamiseksi. Energiatehokkuuspotentiaalia ajatellen rakennuksissa on suuri potentiaali vähentää energiakustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä. Kuvasta 5 voimmekin tarkastella eri käyttötarkoituksen mukaan lajiteltujen rakennusten lukumääräisiä eroja visualisoina.

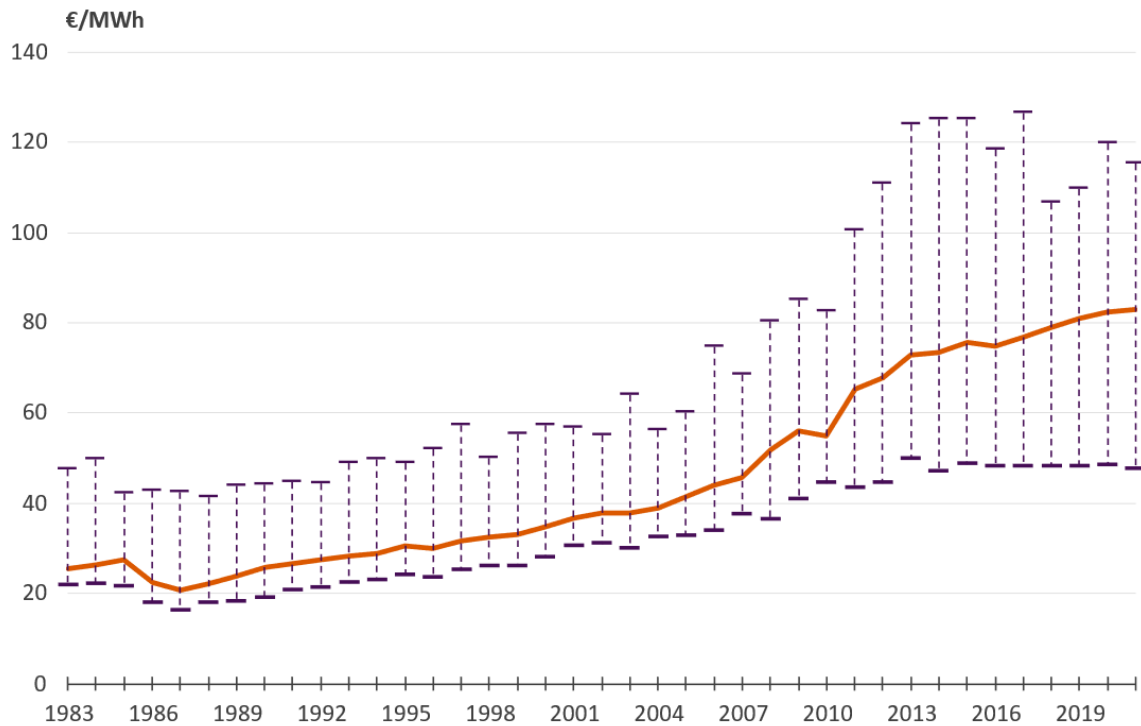


Kuva 5. Rakennusten lukumäärä käyttötarkoituksen ja lämmitysaineen perusteella vuonna 2022. (Tilastokeskus, 2023)

2.5 Kaukolämmön hinta

Kaukolämmön hinta muodostuu useasta eri komponentista, joita ovat liittymismaksu/irtautumismaksu, perusmaksu ja energiamaksu. Kaukolämpöverkkoon liittyminen ja irtautuminen ovat kertaluonteisia maksueriä, mutta perusmaksua ja energiamaksua maksetaan kuukausittain. (Energiateollisuus, 2014)

Kaukolämmön keskihinta, joka pitää sisällään kaikki verot, teho- ja energiamaksut, pois lukien liittymismaksun osuus, on kasvanut aina vuodesta 1987 neljää poikkeusvuotta lukuun ottamatta. Kuvasta 6 voimme tarkastella keskihinnan nousua sekä lisäksi huomata, että vuoden 2010 jälkeen minimi ja maksiarvojen erot suurenevät merkittävästi. Tämä onkin yksi merkittävä syy, miksi kaukolämmön kustannuksia suhteessa vaihtoehtoisen lämmitystavan kustannuksiin tulisi vertailla alueellisesti, koska alueiden väliset hintaerot ovat kasvaneet merkittävästi.



Kuva 6. Kaukolämmön keskihinta sekä minimi ja maksimi-arvot 1983–2021. (Kaukolämpö 2021 graafeina, 2023)

Vuonna 2021 kaukolämmön myynnillä painotettu keskihinta oli 82,83 €/MWh. Esimerkiksi vuonna 2010 kaukolämmön myynnillä painotettu keskihinta oli noin 55 €/MWh. Prosentuaalinen hinnannousu vuodesta 2010 on ollut 49,5 %. (Tilastokeskus, 2023)

Kaukolämmön hinta onkin siis energiakomponentti, jota asiakas ei pysty kilpailuttamaan muulla tavoin, kuin kilpailuttamalla koko lämmitysmuotonsa. Toisin kuin esimerkiksi sähköenergian osalta, asiakkaalla on mahdollisuus kilpailuttaa energiaosuutensa eri myyjillä, on kaukolämpöasiakkaan ostettava energiansa paikalliselta energiantuottajalta tuottajan määrittelemällä energianhinnalla ja perusmaksulla. Lisäksi ostetun kaukolämmön hiilidioksidipäästöt muodostuvat paikallisen yhtiön energiantuotantotavasta ja asiakkaalla on mahdollisuus lisämaksua vasten edistää hiilineutraalin tuotannon kehitystä kaukolämpösopimuksellaan.

2.5.1 Liittymismaksu

Kun uusi kaukolämpöasiakas liittyy kaukolämpöverkkoon, maksaa asiakas kaukolämpöyhtiölle liittymismaksun. Uuden rakennuksen osalta, rakennukselle määritetään tehontarve, joka perustuu energiatarvelaskelmiin. Tehontarpeen suuruuteen vaikuttavat ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysteho, rakennuksen tilojen vaatima teho sekä käyttöveden lämmityksen käyttämä teho. Lisäksi laskennassa saatuja tehontarpeen arvoja ja tilausvesivirran määrää verrataan olemassa oleviin vastaavan tyyppisiin rakennuksiin. (Energiateollisuus, 2014)

Kaukolämpöyhtiön ja asiakkaan väliseen sopimukseen kirjataan lopullinen sopimusvesivirta tai vaihtoehtoisesti rakennuksen tehontarpeen määrittämä sopimusteho, joka määrittää lopullisesti liittymismaksun suuruuden. (Energiateollisuus, 2014)

2.5.2 Perusmaksu

Perusmaksulla kaukolämpöyhtiö kattaa lämmönhankinnan kiinteitä kustannuksia, joita ei pystytä sisällyttämään liityntämaksuihin tai energiamaksuihin, kuitenkin siinä mittakaavassa, että kilpailukyky muihin vaihtoehtoisiin lämmitysmuotoihin säilyisi. (Energiateollisuus, 2014)

Laskettaessa asiakkaan perusmaksun osuutta, laskentaperiaatteet ovat hyvin samankaltaisia eri energiayhtiöiden välillä. Perusmaksun osuus kaukolämpölaskusta on yleensä suurempi niiden asiakkaiden osalta, joiden kaukolämpöenergiankäyttö on pienempää. (Energiateollisuus, 2014)

Laskentakaavoissa on kuitenkin eroja ja jokainen kaukolämpöyhtiö on määrittänyt laskukaa-voihin omat kertoimensa, joka osaltaan haittaavat hinnoittelun ymmärrettävyyttä. Oikeudenmukaisimpana hinnoitteluperusteena pidetään asiakkaan todelliseen laskutustehontarpeeseen perustuvaa hinnoittelua. Laskutusvesivirtaan perustuvaa hinnoittelua voidaan pitää oikeudenmukaisena, koska asiakkaan on mahdollista vaikuttaa omalla kulutuksellaan lopulliseen hintaan. Hinta määräytyy käytön aikana todettuun arvoon. (Energiateollisuus, 2014)

2.5.3 Energiamaksu

Energiamaksu on yksi kolmesta kustannuskomponentista, joka perusmaksun ohella tulee maksettavaksi valitulla tiheydellä, mitatun energiankäytön mukaisesti.

Energiamaksun määrään tai yksikköhintaan vaikuttavat kaukolämmöntuotannon käyttämät polttoaineet ja lämmönhankinnan muut muuttuvat kustannukset, kuten varastojen muutokset, pumppaus- ja omakäyttösähkö sekä lisävesi. (Energiateollisuus, 2014) On myös huomionarvoista, että viime vuosina päästökaupalla ja polttoaine- sekä tuotantoveroilla on vaikutusta kaukolämmön energiamaksun suuruuteen. Kuvasta 7 voimme tarkastella päästöoikeuksien hinnan muutosta vuosien 2020 ja 2023 välillä. Huomionarvoista on, että päästöoikeuksien hinnat hiilidioksiditonnia kohden ovat kasvaneet vuoden 2020 alun 24,64 €/t vuoden 2022 lopun 88,30 €/t tasolle. Tämä ohjaava toimenpide osaltaan on saanut energiayhtiöt muuttamaan energiatuotantoaan hiilineutraalimpaan suuntaan ja lisäämään uusiutuvan energiatuotannon määräänsä, kuitenkin kilpailukykyä säilyttäen.



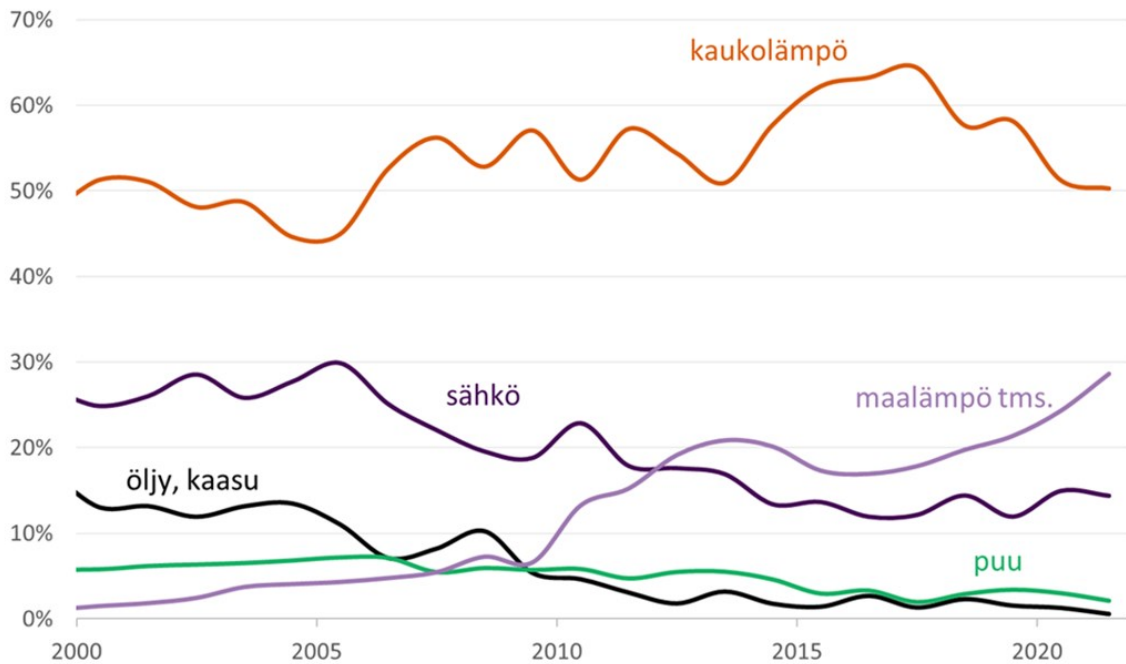
Kuva 7. Päästöoikeuksien hinnat 2020–2023. (Ember, 2023)

3 Kaukolämpötuotanto tulevaisuudessa

Seuraavassa kappaleessa käsitellään energiatuotannon kehitystrendejä ja siihen liittyviä uusia hinnoittelumalleja. Energiayhtiöt ovat joutuneet reagoimaan viime aikoina voimakkaasti ilmastotavoitteisiin ja kehittämään toimintaansa yhä hiilineutraalimpaan suuntaan, kehittämällä aikaisempien tuotantomuotojen rinnalle uusia tapoja tuottaa energiaa, mutta toisaalta muokata olemassa olevia järjestelmiä palvelemaan yhä paremmin tavoitteita. Lisäksi hinnoittelumalleja joudutaan miettimään yhä tarkemmin, jotta kaukolämmön kilpailukyky säilyisi kilpaileviin järjestelmiin verrattuna.

Paiho et al. (2018) tulevat johtopäätökseen tutkimuksessaan, että kuntien omistamien kaukolämpöyhtiöiden omistajapolitiikka on yksi merkittävä este tai ainakin hidaste kehittää toimintaansa. Toisaalta kunnissa nähtiin suuri potentiaali pilotoida erilaisia kehityshankkeita julkisten rakennusten avulla tai ylipäätänsä omalla vaikutusalueellaan.

Monet kaukolämpöyhtiöt ovat joutuneet miettimään energiatuotantoaan niin ilmastotavoitteiden kannalta kuin kilpailukykynsä kannalta. Tilastokeskuksen tuottaman tilaston mukaan uudisrakennusten lämmitystapojen osuudessa kaukolämpö on menettänyt osuuttaan maalämmölle ollen kuitenkin edelleen suosituin lämmitystapa uudisrakennuksissa. Kuvasta 8 voimme nähdä uudisrakentamisen lämmitystapaosuuksien muutosta vuosien 2000–2022 aikana. Puu-, öljy-, kaasu- ja kaukolämmitteisten uudisrakennusten osuus on selkeästi vähentynyt, sähkölämmitys pysynyt vuodesta 2015 tasaisena, mutta maalämmön osuus on kasvanut jo lähelle 30 % tasoa. (Energiateollisuus ry, 2023)



Kuva 8. Kaukolämpöjärjestelmien osuus uudisrakennuksissa. (Energiateollisuus ry, 2023)

Alola et al. (2020) syventyvätkin tarkastelemaan energiainnovaatioita ja tiekarttaa hiilineutraalin suomen saamiseksi, jonka perusteella valtion ja yksityisen sektorin kumppanuusmallisen taloudellisen tuen nojalla on mahdollista ohjata resursseja ympäristöystävällisiin tutkimus- ja kehityshankkeisiin, jotka osaltaan auttavat viemään suomea hiilineutraalimmaksi.

3.1 Kaukolämpöyhtiöiden tekniset ratkaisut tulevaisuudessa

Kaukolämpöliiketoimintaan vaikuttavat niin uusien lämmöntuotantotapojen kehittyminen polttotuotannon rinnalle kuin vastaanottopään rinnakkaiset lämmöntuotantojärjestelmät. Osa kaukolämpöasiakkaista tulevat irtautumaan kokonaan kaukolämmön piiristä ja tuottavat lämmitysenergiansa vaihtoehtoisilla järjestelmillä. Osa asiakkaista saattavat tuottaa rinnakkaisella lämmöntuotantojärjestelmä osan lämpöenergiastaan ja ottavat vain huipputehontarpeen ja varakuorman kaukolämpöverkosta. (Korri, J., 2021)

Onkin nähtävissä, että kaukolämpöyhtiöt lisäävät niin sanottua polttovapaata lämmöntuotantoa polttojärjestelmiensä rinnalle. Kaukolämmöntuotantoa sähköistetään esimerkiksi erilaisilla lämpöpumppuratkaisuilla, jolloin lämpöenergiaa otetaan talteen esimerkiksi ilmasta

ja jätevesistä ja lämpöpumppujen avulla energia siirretään korkeampaan lämpöön kaukolämpöverkkoon. (Korri, J., 2021)

Erilaisia hukkalämpöjä pyritään hyödyntämään yhä tehokkaammin lämmöntuotannossa. Erilaiset teollisuuden, konesalien ja jäähdytysenergian hukkalämmöt pyritään valjastamaan kaukolämmön tuottamiseen. Teollisuuden hukkalämpöjen hyödyntämiselle suurin haaste on, että monessa tapauksessa potentiaalinen hukkalämmönlähde saattaa sijaita kaukolämpöverkoston ulkopuolella ja putkilinjojen rakentaminen osaksi kaukolämpöverkosta saattaa tehdä hankkeesta kannattamattoman hankkeen kustannuksien kohotessa rakennustöiden seurauksena. (Afy Consulting, 2020)

Monet kaukolämpöyhtiöt ovat myös investoineet erilaisiin lämpövarastoihin. Lämpövarastoja on rakennettu maanpäällisiksi varastoiksi, kuten esimerkiksi Helsingin Salmisaassa ja Vuosaassa, joilla voidaan tasata vuorokausihuippuja. Maanalaisia luolastoja on valjastettu viime aikoina käyttöön monien kaukolämpöyhtiöiden toimesta. Esimerkiksi Suomen suurin luolalämpövarasto, jonka tilavuus on noin 260 000m³, sijaitsee Helsingin Mustikkamaalla, jolla voidaan tasata ja optimoida energiaa jo viikkotasolla. Luolaston toimintalämpötila on 45–100 °C astetta ja vuosikapasiteetti on noin 140 GWh. (Helen, 2018)

Useat energiayhtiöt ovat ilmoittaneet myös investoivansa kaukolämmön sähköistymiseen myös investoimalla suuren kapasiteetin sähkökattiloihin. Esimerkiksi Helsingin Energia Helen on ilmoittanut lisäävänsä sähkökattilakapasiteettiaan 280 MW:iin vuoteen 2025 mennessä, jolla pyritään korvaamaan fossiilista kaukolämmöntuotantoa. (Helen, 2022a)

3.2 Rakennusten tekniset ratkaisut tulevaisuudessa

Kuten kaukolämpöyhtiöiden teknisten ratkaisujen kehittäminen on murroksessa, myös asiakkaiden ja kiinteistöjen energiajärjestelmät ovat murroksessa ja kehittyvät vuosi vuodelta. Viime vuosina suurin vaikutus asiakaspuolelta kaukolämpöliiketoimintaan on ollut maalämmön lisääntyminen uudisrakentamisessa. Vaikka kaukolämpö on edelleen suosituin lämmitystapa uudisrakennuksissa, se on menettänyt viime vuosina markkinaosuuttaan nimenomaan maalämmölle. (Korri, J., 2021)

Erilaiset hybridijärjestelmät ovat yleistyneet varsinkin kerrostalokokoluokasta suurempiin. Kaukolämmön rinnalle on tuotu erilaisia lämpöpumppuratkaisuja kuten

maalämpöjärjestelmiä, ilma-vesilämpöpumppuja ja energiankierrätysjärjestelmiä, joiden tarkoituksena on kerätä esimerkiksi ilmanvaihdosta ja jäähdytyksestä syntyvää hukkalämpöä ja käyttää kerätty lämpöenergia lämpöpumppujärjestelmien avulla takaisin rakennusten käyttöön. Näissä tapauksissa kaukolämpöä on tarkoitus käyttää vain huipputehoaikojen ja varakuorman tuottamiseen. Näissä tapauksissa valtaosa rakennusten käyttämästä lämpöenergiasta tuotetaan vaihtoehtoisilla lämmitystavoilla. (Korri, J., 2021)

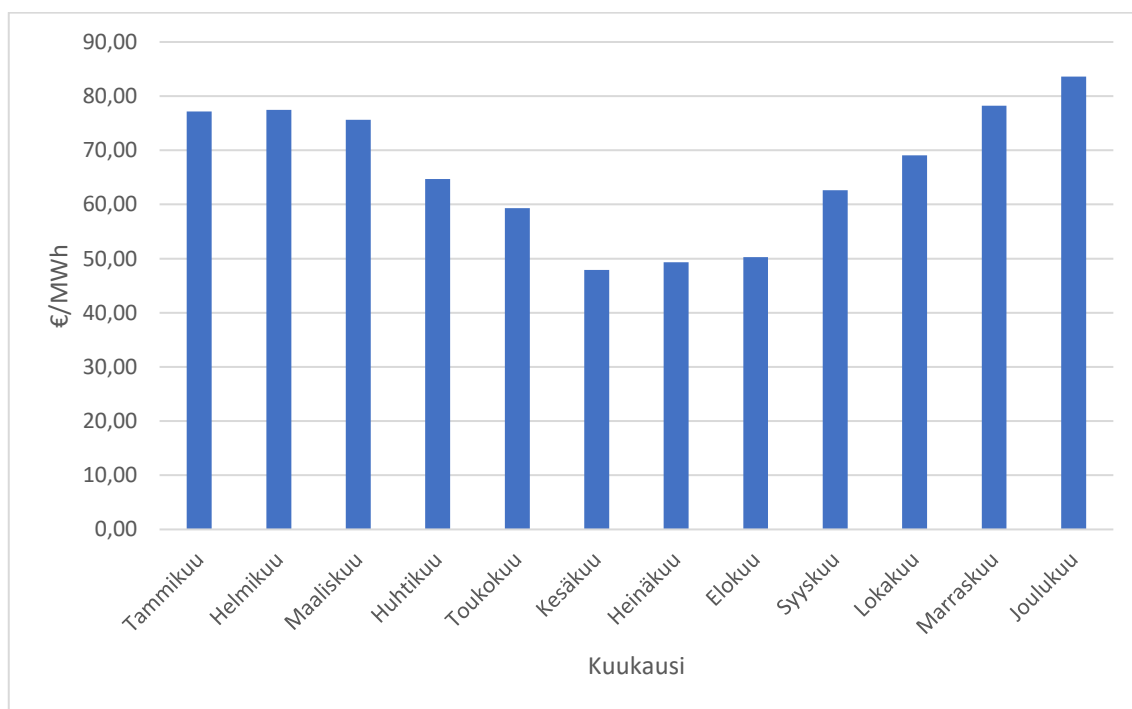
Monet kaukolämpöyhtiöt ovat siirtyneet ostamaan asiakkaidensa tuottamaa lämpöenergiaa omiin kaukolämpöverkkoihinsa. Tätä kutsutaan niin sanotuksi kaksisuuntaiseksi kaukolämmöksi, jolloin asiakas ei pelkästään osta lämpöä kaukolämpöyhtiöltä, vaan asiakkaalla on myös tekniset valmiudet myydä tuottamaansa ylimääräistä energiaa kaukolämpöyhtiölle. Rajoituksia ja esteitä asiakkaan puolella ovat teknisten valmiuksien rakentaminen osaksi lämmönjakokeskusta, riittävän korkea lämpötilatilataso myytävän energian suhteen ja lämpöyhtiön halu ostaa asiakkaan tarjoama lämpöenergia. Lisäksi kaukolämpöverkkoon täytyy tehdä niin sanottu menoliitäntä, josta löytyy periaatekytkentä Energiateollisuus ry:n julkaisemasta K1 rakennusten kaukolämmitys-julkaisusta. Kaukolämpöyhtiöt kuitenkin vaativat poikkeuksetta heidän hyväksymän liitännätavan kaukolämpöverkkoon, joten kytkentä tulee aina ensisijaisesti varmentaa lämmöntoimittajalta. Lisäksi kaukolämpöverkkoon syötettävän veden lämpötila tulee olla korkea, jotta kaukolämpöyhtiö hyväksyy lämpöenergian syöttämisen kaukolämpöverkkoon. (Korri, J., 2021)

Myytävän lämpöenergian määrä mitataan tuntitasolla ja hinnoittelu tapahtuu energiayhtiön toimesta. Esimerkiksi Fortum hinnoittelee ostetun energian tuntitasolla toteutuneen ulkolämpötilan ja tuotetun energiamäärän perusteella. Fortum toimittaa asiakkaalle tunnittaiset tiedot ostetusta energiasta, jonka perusteella asiakas voi laskuttaa myymästään lämpöenergiasta kaukolämpöyhtiötä. (Fortum, 2023)

On myös huomionarvoista, että mittauksen ja automaation taso on kehittynyt viime vuosina merkittävästi. Hyvät tietoliikenneyhteydet, etäluettavat mittarit ja automaatio yhdessä mahdollistavat energiamittareiden etäluennan ja järjestelmien etähallinnan, joka mahdollistaa osaltaan kaukolämpötuotteiden hinnoittelun jopa tuntitasolla. (Korri, J., 2021)

3.3 Nykyhetken ja tulevaisuuden kilpailukyvyn optimointi

Tällä hetkellä kaukolämpöyhtiöt hinnoittelevat valtaosan energiamyyntinsä hinnasta kiinteällä kuukausittaisella energiamaksulla. Tämä tarkoittaa sitä, että energiamaksun suuruus megawattia kohden on joka kuukausi sama. Kiinteäkuukautisen hinnoittelun rinnalle on tullut niin kutsuttu kausihinnoittelu, joka muuttuu kysynnän mukaan korkeammaksi talvikausilla ja on toisaalta edullisempi pienemmän kysynnän kesäkaudella. Kuvasta 9 voimme tarkastella Energiateollisuus ry:n ylläpitämän tilaston keskihintoja 51 kaukolämpöalueen osalta. Kiinteähintainen kaukolämpöenergiainnoittelu on käytössä yhteensä 228 eri kaukolämpöalueella.



Kuva 9. Kaukolämpöenergian kausihinnoittelun keskihinta 2022 (alv. 0 %). (Energiateollisuus ry, 2023)

Kaukolämmön veroton keskihinta oli vuonna 2022 kiinteän kuukausimaksun kaukolämpöalueilla 63,40 €/MWh. Korkein veroton hinta vuonna 2022 oli 112,50 €/MWh kun taas alhaisin hinta oli 38,30 €/MWh. (Tilastokeskus, 2023)

Kysyntä- ja kulutusjoustolla on mahdollisuus optimoida niin tuotantojärjestelmien tilaa siirtämällä osan kulutuksen tarpeesta toiseen hetkeen kuin asiakaspään energian tai kustannusten vähentämistä tavoitellen. Kysyntäjoustossa on siis kyse kaukolämpöyhtiön motiivista saada optimoitua omaa tuotantotilannettaan kysynnän huippujen osalta. Kulutusjoustossa taas asiakkaan on mahdollista vaikuttaa hinnoitteluun omalla kulutuksellaan, jolloin esimerkiksi ennen varsinaista huipputehontarvetta tai korkean energiatuntien alkua varataan lämpöenergiaa kiinteistön varaajiin tai esimerkiksi siirretään energian käyttöä halvemmille tunneille. (Timonen, J. 2018)

Kysyntäjoustolle löytyy myös fundamentaalisia eroja sähkön ja lämmön osalta. Tuotannon ja kulutuksen osalta sähköverkon tulee olla jatkuvasti tasapainossa, jotta verkon taajuus pysyisi mahdollisimman tasaisena. Lämmöntuotannossa tuotannon ja kulutuksen ei tarvitse olla jatkuvasti täysin tasapinotilassa, koska kaukolämpöverkko itsessään kykenee varastoi-
maan energiaa, jolloin muutokset eivät vaikuta välittömästi verkon toimintaan. (Timonen, J. 2018)

Varastoinnin osalta sähköä voidaan varastoida erilaisiin akkuihin ja pumppaamalla vettä vesialtaisiin, kun taas erilaisia lämpöakkuja ja varastoja on laajemminkin käytössä, koska suhteellinen varastointikustannus lämmön osalta on noin 1/100 verrattuna sähkөөn. (Timonen, J. 2018)

Hinnoittelumallit eroavat ainoastaan siinä, että sähkön osalta on käytössä tuntihinnoittelumalli. Kaukolämmön ja sähkön osalta on olemassa niin kausihinnoiteltuja tuotteita kuin määräaikaisia kiinteähintaisia tuotteita. Lämmön osalta dynaamista hinnoittelua on kokeiltu esimerkiksi Fortumin Spring -virtuaaliakun muodossa. (Timonen, J. 2018)

Nykyaikainen uusi tekniikka, automaatio, mittarointi ja etähallinta mahdollistaisi dynaamisen hinnoittelun laajemman käytön. Energiayhtiöt joutuvat tulevaisuudessa miettimään yhä tarkemmin kilpailukykynsä parantamista suhteessa muihin lämpö- ja jäähdytystuotantomuotoihin verrattuna.

4 Energiatehokkuus Euroopassa ja Suomessa

Vuonna 1997 hyväksytyn Kioton sopimuksen mukaan, Euroopan unionin jäsenmaat sitoutuivat vähentämään kasvihuonepäästöjä vuoden 1990 tasosta kahdeksan prosenttia vuoteen 2008–2012 mennessä. Ilmastonmuutos ja sen tuomat vakavat uhat maapallolle on tiedostettu ja sen myötä erilaisilla direktiiveillä säädetään EU-tason ja kansallisen tason tavoitteista, toimenpiteistä ja velvoitteista. Euroopan unioni näin ollen asettaa jäsenmaillaan tavoitteita energiatehokkuuden parantamiseksi, päästöjen vähentämiseksi ja uusiutuvan energian lisäämiseksi ja kansallisella tasolla ohjaus tapahtuu esimerkiksi energia- ja ilmastostrategian toimenpideohjelmilla ja lainsäädännöllä. (Suomen ympäristökeskus, 2022)

Toisaalta Hyvönen et al. löytävät tutkimuksessaan mahdollisia pullonkauloja puhtaaseen energiaan siirtymisessä suomessa. Yksi merkittävä asia energiantuotannon kannalta on mineraalien ja biomassan mahdollinen saatavuus, joka saattavat haitata tai viivyttää ilmastopolitiikan toteutumista, mutta toisaalta hakkuiden ja biomassan käytön vähentäminen lisäsivät positiivisesti hiilinieluja. Lisäksi tutkimuksen mallinnus osoitti, että sähköistämällä kaukolämmöntuotantoa, helpottamalla vihreän vedyn tuotantoa ja lisäämällä sähkön tuontia, voisi asetetut ilmastotavoitteet olla saavutettavissa tai jopa ylitettävissä. Toisaalta ydinvoiman ja tuulivoiman käyttöönoton viivästyttäminen ja kaukolämmön voimakas sähköistäminen estää Suomea olemasta sähkön nettovientimaa vuoteen 2035 mennessä. (Hyvönen et al., 2023)

Suomessa on myös erilaisia muita mekanismeja, joilla pyritään päästövähennyksiin energiatehokkuuden lisäämisellä ja uusiutuvan energian käytön lisäämisellä. Energiatehokkuussopimus on yksi keino osana energia- ja ilmastostrategiaa, jonka tarkoituksena on edistää energian tehokasta käyttöä Suomessa. Energiatehokkuussopimukseen on liittynyt yli 700 yritystä ja yli 130 kuntaa ja kuntayhtymää, joiden energiankäyttö on lähes 60 % koko Suomen energiankäytöstä. Lisäksi valtio myöntää tukia ja määrärahoja erilaisten energiakatselmusten toteuttamiseksi ja energiatehokkuushankkeiden investointitukia, joilla pyritään kannustamaan uusiutuvan energian käytön lisäämiseen ja energiatehokkaiden teknologioiden käyttöönottoon. (Motiva, 2022b)

On myös huomionarvoista, että kyselytutkimusten mukaan suuri enemmistö suomalaisyrityksiä pitävät hiilineutraalisuutta ja vähähiilisyyttä strategisen kilpailukyvyn lähteenä ja

yleisesti merkittävänä tekijänä toimintaympäristössään. Kyselytutkimuksen mukaan kustannussäästöt eivät ole ainoa ajuri yritysten hiilineutraaliuden vähentämiseksi vaan muun muassa jätteiden vähentäminen, positiivinen yrityskuva ja asiakkaiden vaatimukset nousevat korkealle tärkeydessään.

4.1 Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivi

Energiatehokkuusdirektiivi (EU/27/2012) astui voimaan vuonna 2012. Energiatehokkuusdirektiivi on myöhemmin toimeenpantu energiatehokkuuslailla (1429/2014), joka astui voimaan vuonna 2015. Direktiivin muutos astui voimaan vuonna 2018. Direktiivin tarkoituksena on asettaa tavoitteet, toimenpiteet ja velvoitteet liittyen energiansäästöön ja energiatehokkuuteen. (Euroopan komissio, 2018)

Kun vuoden 2020 tavoitteet saavutettiin, EU asetti uudet tavoitteet, joilla pyritään vähentämään primäärienergian ja loppuenergian kulutusta vuoteen 2030 mennessä, osana 2050 hiilipäästötavoitteitaan. Valmiuspaketti-55 osana EU komissio antoi vuonna 2021 ehdotuksensa, jonka mukaan energiatehokkuuden yleistavoitteeksi asetettaisiin 9 %. Vuoden 2023 muutosdirektiivi nostaa EU:n yleistavoitteeksi 11,7 % verrattuna ennusteisiin odotetusta energiankäytöstä vuonna 2030, vertailuskenaario 2020 verrattuna. Muutosdirektiivi ei ole astunut vielä voimaan, mutta heinäkuussa 2023 direktiivistä on olemassa muodollinen sopimus. (Sitra, 2015)

4.2 Suomen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma

Energiatehokkuusdirektiivi EDD (Environmental Due Diligence) velvoitti EU jäsenmaita laatimaan kansallisen energiatehokkuuden toimintasuunnitelman NEEAP (National Energy Efficiency Action Plan) kolmen vuoden välein. EDD vuosiraportoinnin oli tarkoitus seurata ja arvioida EU:n jäsenvaltioiden energiankäyttöä ja tehokkuutta vuosien 2014–2020 välisenä ajanjaksona, jolloin voitaisiin tarkastella kansallisella tasolla tavoitteiden toteutumista. Ensimmäinen NEEAP-1 raportti toimitettiin vuonna 2007 ja viimeisin NEEAP-4 raportti toimitettiin Euroopan komissiolle vuonna 2017. (Motiva, energiatehokkuusdirektiivi, 2022)

Nykyisellään Euroopan komission tekemän hallintoehdotuksen mukaisesti EDD-raportointi integroitiin kansallisiin ilmasto- ja energiasuunnitelmiin. (Motiva, 2022c)

4.3 Suomen energia- ja ilmastostrategia

Pitkän aikavälin tavoitteena Suomen on tarkoitus olla hiilineutraali yhteiskunta. Suomessa käytännöksi on muodostunut, että Suomen hallitus tekee omalla kaudellaan energia- ja ilmastopoliittisen strategian. Vuonna 2022 julkaistussa hiilineutraali Suomi 2035-strategiassa linjataan toimia, jolla Suomi täyttää aikaisemmin asetut EU:n vuoden 2030 ilmastovelvoitteet ja saavuttaa kasvihuonekaasujen vähentämisen ja vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteet. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022)

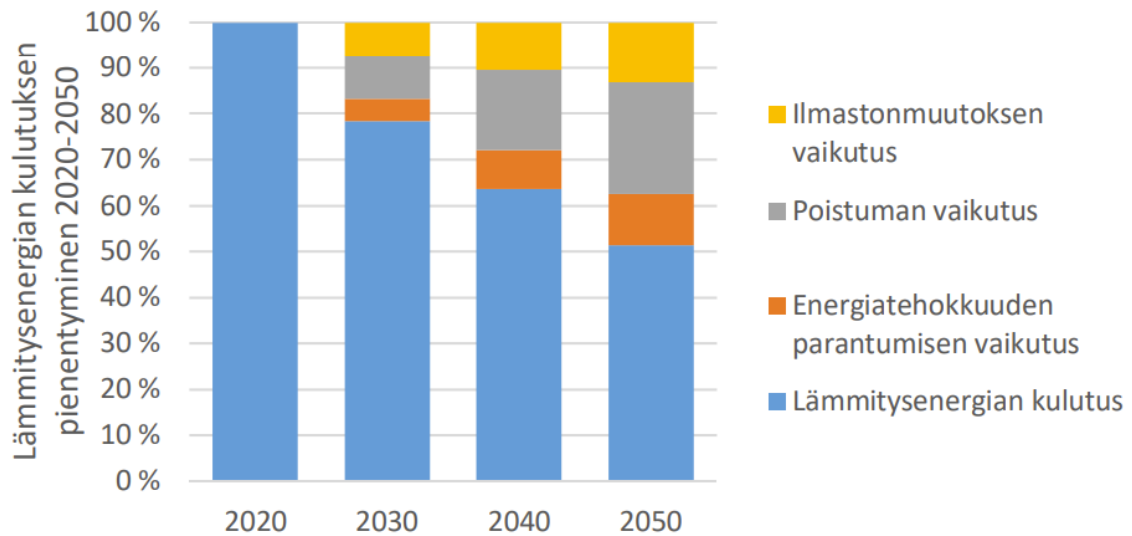
Strategian ydin on vihreässä siirtymässä ja Venäläisen fossiilisen energian korvaaminen. Lämmöntuotannon osalta pyritään edistämään polttoon perustumatonta energiatuotantoa. Energiajärjestelmien sähköistäminen ja kansallinen vetystategia ovat myös merkittävässä roolissa tulevaisuudessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022)

Lisäksi päästökauppa ja pitkäjänteiseen ilmasto- ja energiapolitiikka toimivat strategiassa tärkeinä ohjauskeinoina. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022)

4.4 Rakennusten lämmityksen energiatehokkuus

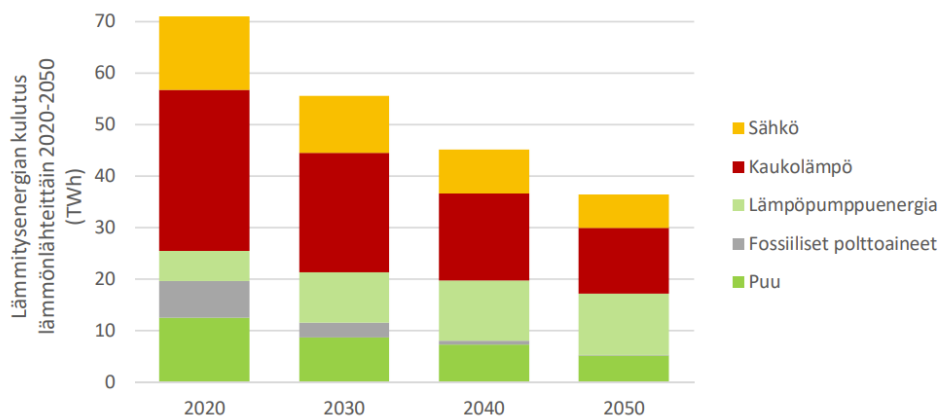
Vuonna 2010 julkaistu rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2010/31EU) tavoitteena parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. Vuonna 2018 voimaan tulleen ja päivittyneen direktiivin tavoitteena on nopeuttaa kustannustehokkaita peruskorjauksia ja hyödyntää älykkäiden teknologioiden käyttöä rakennuksissa. Direktiivi koskee niin uudisrakentamista kuin korjausrakentamista. Huomionarvoista on kuitenkin, että direktiiviä voidaan soveltaa kansallisella tasolla, jolloin voidaan ottaa paremmin huomioon maantieteellisen sijainnin, paikallisten olosuhteiden ja muiden alueellisten vaatimusten vaikutukset. (Motiva, 2023c)

Ympäristöministeriön käynnistämässä pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050-hankkeessa, joka on laadittu EU komission suositusten mukaisesti, keskitytään olemassa olevan 2020 rakennuskannan saamiseksi energiatehokkaiksi ja hiilivapaiksi vuoteen 2050 mennessä. Kuvasta 10 voimme tarkastella lämmitysenergian osalta strategian etenemissuunnitelmaa vuoteen 2050 vuosikymmenittäin. (Ympäristöministeriö, 2020)



Kuva 10. Lämmitysenergian kulutus 2020 olemassa olevassa rakennuskannassa 2020–2050. (Ympäristöministeriö, 2020)

Lämmitystapojen kehitys on yksi keskeinen tekijä kohti energiatehokasta ja hiilivapaata energiankäyttöä rakennuksissa. Strategian lämmitystapojen kehityssuunnitelmasta käy hyvin ilmi, että kaukolämmön, suoran sähkölämmityksen, fossiilisten polttoaineiden ja puun osuus tulee vähenemään lämmitysenergianlähteinä, kun taas lämpöpumpputeknologiaa tullaan kasvattamaan. Kuvasta 11 voimme tarkastella lämmitystapojen kehitystä vuosikymmenittäin aina vuoteen 2050 saakka. (Ympäristöministeriö, 2020)



Kuva 11. Ennen vuotta 2020 rakennettujen asuin- ja ei-asuinrakennusten lämmitysenergian kulutus (TWh) vuosina 2020–2050. (Ympäristöministeriö, 2020)

Onkin huomionarvoista, että Ympäristöministeriön tuottamassa strategiassa jokaisessa rakennussegmentissä, omakotitaloista aina ei-asuinrakennuksiin, lämpöpumppujen osuutta tulnaisiin kasvattamaan ja muita lämmitystapoja tulnaisiin vähentämään.

4.5 Energia-avustukset ja energiatuki

Erilaiset energia-avustukset ja tuet toimivat yhtenä mekanismina ohjata kansallisella tasolla rakennuskantaa kohti energiatehokkaampaa ja hiilivapaampaa tavoitetta. Valtio on sitoutunut ohjaamaan energiatukia erilaisten energiakatselmusten tekemiseen, energiaa säästäviin ja uusiutuvaa energiaa lisääviin korjausinvestointeihin sekä ESCO-hankkeisiin (Energy Service Company). Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) myöntää erilaisia tukia selvityksille, jotka on tehty TEM:n ja Motivan ohjeita ja vaatimuksia noudattaen. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) myöntää henkilöasiakkaille, taloyhtiöille, ARA-yhteisöille ja kuntien vuokrataloyhtiöille energia-avustusta. Lisäksi Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY) avustaa pientalojen omistajia siirtymään öljy- ja maakaasulämmityksestä vaihtoehtoiseen lämmitystapaan. (Motiva, 2022b)

Business Finland myöntää ja rahoittaa erilaisia energian käytön säästöön tähtäviä tukia. Tukia myönnetään yrityksille ja yhteisöille, joiden on tarkoitus edistää uusiutuvan energian lisäämistä, energiansäästöä, energiantuotannon ja käytön tehostamista tai tähtäävät energiajärjestelmien osalta vähähiiliseen käyttöön kiinteistöissään. Tukea ei myönnetä mm. asunto-osakeyhtiöille, asuinkiinteistöille, maatiloille tai valtionosuutta saaville tahoille. Asunto-osakeyhtiöitä ja pientaloja palvelevat ARA ja ELY-keskus. (Business Finland, 2023)

Energiatehokkuussopimukseen liittyneen yrityksen tai yhteisön on mahdollista saada hankkeelleen 20 % investointituen, muuten investointitukien määrä vaihtelee 15–25 % välillä. Katselmuksiin ja selvityshankkeisiin on toisaalta mahdollisuus saada 40–50 % tukea, mutta selvitykset tulee tehdä rahoittajan vaatimilla tavoilla. (Business Finland, 2023)

Huomionarvoista on, että tukea myönnetään uusiutuvan energian tuotannon lisäämiseen, energiansäästöön tähtääviin hankkeisiin tai energiakatselmukseen, jota ei ole vielä keretty käynnistämään. Jotta yrityksen tai yhteisön olisi mahdollisuus saada paras mahdollinen tuki hankkeelleen, tulisi hanke käynnistyä ensin tukikelpoisella katselmuksella tai vapaamuotoisemmalla kevyen tason hankesuunnitelmalla, jotta hankkeelle voitaisiin hakea

mahdollisimman aikaisessa vaiheessa energiatukea. Näin suurin osa syntyvistä kuluista olisi mahdollista saada energiatuen piiriin.

Myös ESCO-palveluiden (Energy Service Company) tuet haetaan Business Finlandin kautta. ESCO-palveluita tarjoava yritys ottaa asiakkaalle suoritettavasta hankkeesta toiminnallisen vastuun ja hankkeen rahoitus tulee kokonaan tai pääosin investoinnin tuottamista säästöistä. ESCO-palvelut ovat korkeamman tuen piirissä, koska hankkeissa vaaditaan säästöjen todentaminen sekä palvelun tuottavan yrityksen on myönnettävä hankkeelle säästötakuu. Säästötakuun on oltava vähintään 50 % kokonaissäästöistä, jotta investointihanke olisi tukikelpoinen. (Motiva, 2023f)

Tuen saamisen ehdot ovatkin tiukemmat ja asettavat toisaalta riskejä myös ESCO-palveluita suorittavalle yritykselle. Riskit muodostuvat hyvin pitkälti ESCO-hankkeen vaatimuksiin, jotka ovat säästöjen todentaminen ja säästötakuu, mutta myös työvoiman, materiaalikustannusten ja rahoituskulujen nousu ovat merkittäviä riskitekijöitä investointihankkeen kustannuslaskentaa tehdessä. Näin ollen hankkeen kokonaiskustannusten kasvamisen riskiä pyritään välttämään erilaisilla riskikertoimilla, jonka takia hankkeen kokonaiskustannukset saattavat nousta muita hankemalleja korkeammiksi.

ARA-yhteisöt (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus), asuinrakennuksen omistavat tahot ja taloyhtiöt voivat hakea energiatehokkuutta parantaviin korjaushankkeisiin ARA:n energia-avustusta. Avustusta on mahdollisuus saada puolet investointilaskentaan hyväksytyistä kuluista, kuitenkin enintään 4 000 € asuntoa kohden tai 6 000 € siinä tapauksessa, että saavutetaan lähes nollaenergiataso. Avustukseen hyväksyttävät investointikustannusten osuudet vaihtelevat toimenpiteen mukaan 20–100 %:n välillä. Esimerkiksi öljylämmityksestä luopumisen ja rakennuksen tiivistämisen investointikustannukset huomioidaan 100 % tasolla, jolloin hankkeelle on mahdollista saada 50 % kokonaiskustannuksista avustusta. Toisaalta esimerkiksi lämpöpumppuinvestoinnin osuudeksi hyväksytään ainoastaan 50 % kokonaiskustannuksista, josta on mahdollisuus saada avustusta 50 %, toisin sanoen 25 % kokonaiskustannuksista. (Ara, 2023)

Pientalon omistavalla taholla on mahdollisuus saada avustusta ELY-keskukselta (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) siirryttäessä öljy- tai maakaasulämmityksestä vaihtoehtoiseen lämmitysmuotoon. Pientaloksi määritellään omakotitalo tai paritalo, joka on ympärivuotisessa käytössä. Näin ollen vapaa-ajan asunnot on rajattu avustuksen ulkopuolelle. Jotta

avustuksen myöntämisehdot täyttyisivät, uusi lämmitysmuoto ei saa käyttää energianlähteenä fossiilisia polttoaineita tai biokaasua tai -öljyä. (ELY-keskus, 2023)

Avustusta myönnetään yhden kerran lämmitysjärjestelmää kohden, mutta paritalot, joissa on omat lämmitysjärjestelmänsä, avustusta on mahdollisuus saada molempien järjestelmien uusimiseksi. Kun pientalo päättää muuttaa lämmitysjärjestelmänsä kaukolämpöön, maalämpöön tai ilma-vesilämpöpumppuun on avustuksen saaja oikeutettu 4 000 € avustukseen. Siirryttäessä muihin ei-fossiilisiin lämmitysjärjestelmiin on pientalon mahdollisuus saada 2 500 € avustusta. Avustusta haetaan ennen hankkeen alkamista, mutta avustuksen maksatus tapahtuu vasta hankkeen valmistuttua. (ELY-keskus, 2023)

5 Energiantuotantojärjestelmät ja toimenpiteet rakennuksissa

Erilaisten lämpöpumpputekniikoiden, energiankierrätysjärjestelmien ja aurinkosähköpaneelien hinnat ovat laskeneet viime vuosina. Toisaalta Ukrainan sota aiheutti osaltaan jossain määrin joidenkin komponenttien hintojen nousua. Suomen lämpöpumppuyhdistyksen (SULPU) mukaan, vuonna 2022 lämpöpumppuja myytiin lähes 200 000 kappaletta ja myynnin kasvu edelliseen vuoteen 2021 oli 50 % (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry, 2023). Lisäksi vuonna 2022 pienverkkoon liitettyjen aurinkovoimaloiden yhteenlaskettu kapasiteetti oli yli kaksinkertaistunut vuoteen 2020 verrattuna (Energiavirasto, 2023). Rakennukset ovat sähköistymässä merkittäväällä vauhdilla. Omatuotannolle ja energiatehokkuustoimenpiteille onkin selvästi kysyntää ja Suomen itsenäisyyden juhlarahaston Sitran teettämän kyselytutkimuksen mukaan yritysten hiilineutraaliuden ajureina ei toimi ainoastaan kustannussäästöt vaan kyselytutkimuksen mukaan muun muassa positiivinen brändi- tai yrityskuva, asiakkaiden vaatimukset ja päästöjen vähentäminen sijoittuvat arvoasteikolla korkeammalle. (Sitra, 2015)

Erilaiset talotekniset energiatehokkuustoimenpiteet ovat merkittävänä tekijänä alentamaan rakennusten ylläpitovaiheen hiilipäästöjä ja kustannuksia. Tässä työssä käsitellään taloteknisiä energiatehokkuustoimenpiteitä. Rakenteelliset toimenpiteet rajataan työn ulkopuolelle.

5.1 Lämpöpumput

Lämpöpumpputeknologia on ja tulee olemaan tulevaisuudessakin merkittävässä roolissa rakennusten viemiseksi kohti energiatehokasta ja hiilivapaata tavoitettaan. Kuten Suomen energia- ja ilmastostrategia 2022 kertoo, tulevat strategian mukaan lämpöpumput korvaamaan muita lämmitysmuotoja merkittäväällä tavalla aina tarkastelujakson loppuun, ainakin vuoteen 2050 saakka. Monen energiayhtiön tulevaisuuden strategioissa onkin nähtävissä jo erilaisten lämpöpumppujen jalkautuminen osaksi energiantuotantoa. (Työ- ja ympäristöministeriö, 2022)

Lämpöpumpuilla voidaan tuottaa sekä lämmitysenergiaa, että jäähdytysenergiaa. Lämpöpumpuilla kerätään lämpöenergiaa yleisimmin maasta tai kalliosta, ilmanvaihdon

poistoilmasta, ulkoilmasta tai vedestä. Energiankierrätyksessä poistoilman lisäksi energianlähteenä voivat olla myös erilaiset hukkalämmöt, kuten kaupan kylmälaitteet, serveritilat ja teollisuuden erilaiset laitteistot ja järjestelmät, kuten paineilmakompressorit tai erilaiset kuivaimet.

5.2 Lämmitysenergian kulutukseen vaikuttavat talotekniset toimenpiteet rakennuksessa

Kun vertaa toimistorakennuksen eri ostoenergioiden säästöpotentiaalia on lämmitysenergian säästöpotentiaali merkittävin niin hiilipäästöjen kuin kustannussäästöjenkin osalta. Päästökertoimet vaihtelevat alueellisesti, mutta myös kaukolämmön hinnoissa, perusmaksutasoissa ja sähkönsiirtohinnoissa on suurta hajontaa alueellisesti. Tarkasteluun valitut toimenpiteet ovat todettu merkittävimmiksi lämmitysenergiaan vaikuttaviksi tekijöiksi, joista on esivaihtovaiheessa tarkoitus suodattaa kannattavimmat toimenpiteet.

Merkittävin kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin vaikuttava tekijä on lämmitysjärjestelmä. Yleisimmät lämmitysmuodot ovat kaukolämpö, sähkölämmitys, puulämmitys, fossiiliset ja lämpöpumppuenergia. Suomen energia- ja ilmastotavoitteissa käy ilmi, kuinka suomen lämmitysjärjestelmiä ja energiantuotantoa on tarkoitus viedä kohti sähköistettyä lämmitysenergiantuotantoa. Erilaiset lämpöpumpputeknologiat ja järjestelmät yleistyvät merkittävää vauhtia suomalaisissa kiinteistöissä. Maalämpö onkin noussut yhdeksi merkittävimmäksi lämmitysmuodoksi kilpailemaan kaukolämpöjärjestelmiä vastaan. Fossiilisten lämmitysmuotojen osuus laskee osittain niiden kustannusten ja osittain päästöjen takia.

Maalämmöllä voidaankin kattaa koko rakennuksen lämmitysenergian tarve, jos kiinteistön maa-alueet antavat mahdollisuuden porata tarvittava määrä energiakaivoja lämpöenergian keräämiseksi. Maalämmön rinnalle asennetaan kuitenkin monessa tapauksessa sähkökattila varmistamaan huipputehontarpeen vaatimaa kapasiteettia, rinnakkaislämmönlähteeksi tai varmistamaan varsinaista päälämmitysjärjestelmää. Lisäksi muut lämmitysmuodot voivat monessa tapauksessa toimia maalämpöjärjestelmän rinnalla, jos esimerkiksi maalämpöpumpulle ei saada tarvittavaa määrää energiakaivoja kattamaan täysimääräistä lämmitysenergiaa. Maalämpöjärjestelmä voidaan myös valjastaa tuottamaan jäähdytystä rakennuksen tarpeisiin. Maalämpöjärjestelmän suurimmat kuluerät ovatkin energiakaivokentän poraus ja itse maalämpöpumppu, mutta maalämpöjärjestelmällä voidaan vähentää merkittävästi

ostoenergian määrää hyötysuhteensa ansiosta, verrattuna ei lämpöpumpputekniikoilla toimiin lämmitysmuotoihin.

Ilma-vesilämpöpumput keräävät taas lämpöenergiaa ilmasta. Ilma-vesilämpöpumput pystyvätkin tuottamaan lämmitysenergiaa suurimman osan vuodesta, mutta tietyn pakkasrajan jälkeen lämpöpumpun hyötysuhde ja kyky tuottaa lämmitysenergiaa laskee sen verran alhaiseksi, että on järkevämpää tuottaa tarvittava lämpöenergian pyynti esimerkiksi sähkökatiloilla tai muulla rinnakkaislämmönlähteellä. Ilma-vesilämpöpuilla on kuitenkin suuri potentiaali vähentää esimerkiksi kaukolämpöenergian käyttöä, hiilidioksidipäästöjä ja lämmityskaudella pystyvät tuottamaan myös jäädytystä rakennuksen käyttöön.

Lisäksi ilmanvaihto on yksi merkittävä lämmitysenergian kulutukseen vaikuttava talotekninen järjestelmä. Parantamalla ilmanvaihtolaitteiston lämmöntalteenoton hyötysuhdetta tai kierrättämällä lämpöenergia lämpöpumppujärjestelmän avulla takaisin rakennuksen käyttöön, voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä lämmitysenergian kulutuksessa. Myös tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa kulutettuun lämmitysenergianmäärään, koska tarpeenmukaistuksella voidaan alentaa ilmanvaihdon määrää, jolloin myös lämmitettävän ilmamäärän laskiessa myös lämmitysenergian määrä laskee.

5.3 Jäädytysenergian kulutukseen vaikuttavat toimenpiteet

Jäädytysenergiankulutukseen vaikuttaa vuodenajat ja niiden tuomat erityispiirteet. Osassa rakennuksia jäädytystarvetta ilmenee ainoastaan kesäkaudella, mutta toisaalta osassa rakennuksia jäädytykselle voi olla ympärivuotista tarvetta. Monessa tapauksessa vedenjäähdytyskoneet tuottavat rakennusten jäädytystarpeen, mutta myös muilla lämpöpumpputekniikoilla on mahdollisuus tuottaa rakennuksen tarvitseman jäädytysenergian. Maalämpöjärjestelmä voidaan valjastaa tuottamaan myös jäädytystä rakennuksen käyttöön. Myös ilma-vesilämpöpumppujärjestelmät kykenevät tuottamaan jäädytystä. Rakennuksissa, joissa on ympärivuotista jäädytyksen tarvetta, kuten lämmityskaudella tarvittavaa jäädytystä, voidaan neste-nestelämpöpumpulla tuottaa samaan aikaan niin jäädytystä kuin lämmitystä. Energiankierrätyslämpöpumput keräävät hukkalämpöenergiaa esimerkiksi jäädytyksestä ja poistoilmasta ja tuottavat siitä lämpöenergiaa sekä jäädytysenergiaa rakennuksen käyttöön. Energiankierrätyslämpöpumpuilla voidaankin vaikuttaa kokonaisvaltaisesti rakennuksen jäädytys- ja lämmitysenergian tuotantoon.

Lisäksi erilaisten automaatio, säätö- ja huoltotöiden merkitys on suuri, jotta jäähdytysjärjestelmä toimii optimaalisimmalla hyötysuhteella. Näin voidaan varmistaa esimerkiksi, ettei yhtäaikaista jäähdytystä ja lämmitystä pääse tapahtumaan rakennuksessa.

5.4 Sähköenergiaan vaikuttavat talotekniset toimenpiteet

Toimistotalon sähköenergian kulutukseen vaikuttaa jokaisen taloteknisen pääjärjestelmän osa-alue. Lämmitys-, jäähdytys- ja käyttövesijärjestelmän osalta sähkönkulutukseen vaikuttaa laitteiden energiatehokkuus ja niiden toiminta. Toiminnalla tarkoitetaan, että verkostopaineet ovat suunnitellun mukaiset ja automaatio ja siihen liitetyt laitteet, anturit, toimilaitteet ja asetukset ovat tarkoituksen mukaiset. Väärin ohjatut järjestelmät kuluttavat sekä laitteistoa, että kasvattavat energiankulutusta. Valaistuksen osalta led-tekniikalla on suuri potentiaali vähentää sähkönkulutusta suhteessa perinteisiin loisteputkivalaisimiin.

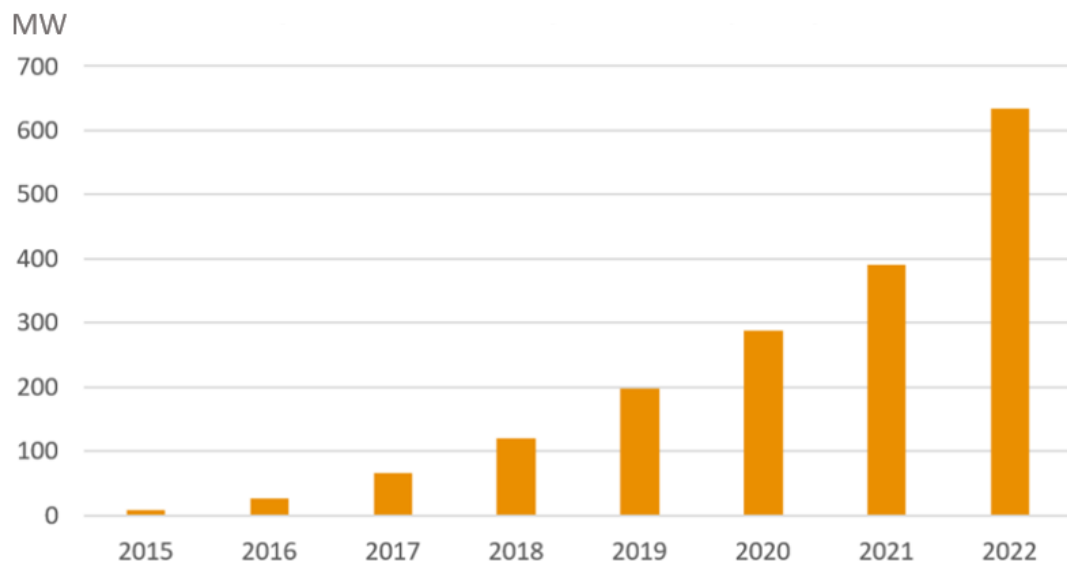
Niin kutsuttujen hybridilämmitysjärjestelmien osalta erilaisten lämpöpumppujärjestelmien tehopeitto vaikuttaa esimerkiksi lämmityksen huipputehon aikana tarvittavan sähkökattilan sähköenergian määrään tapauksissa, joissa esimerkiksi kaukolämpö ei ole valjastettu tuottamaan huipputehontarpeen aikaista lämpötehoa. Mitoittamalla lämpöpumppujärjestelmän energiaperiteon mahdollisimman korkeaksi, esimerkiksi 85–95 % välille mitoitustehontarpeesta, joutuvat sähkökattilat tuottamaan huipputehontarvetta vain murto-osan vuotuisesta tehontarpeesta. Monessa tapauksessa täysimääräisesti mitoitettu järjestelmä nostaa suhteessa kustannuksia merkittävästi, mutta toisaalta alimitoitettu järjestelmä joutuu käyttämään tukeaan muita energialähteitä, joista voi 20-vuoden tarkastelujaksolla muodostua merkittäviä kuluja.

Ilmanvaihtokoneiden käyntiajat ja puhaltimien käyttötehot ovat merkittävä osa toimistorakennuksen sähkönkulutusta. Tarpeenmukaistamalla ilmanvaihtoa kohtaamaan paremmin todellisen ilmanvaihdon tarvetta voidaan säästää energiaa sähkön ja lämmön osalta, sekä parantaa työntekijöiden tuottavuutta. Puhaltimien osalta, kun nopeus kaksinkertaistuu, niin puhaltimen tehonkulutus kasvaa kahdeksan kertoimella.

Automaation merkitys osana talotekniikan toimivuutta kasvaa vuosi vuodelta laitteiden ja järjestelmien kehittyessä. Väärin toimiva automaatio kasvattaa rakennuksen energiankulutusta, lyhentää laitteiden elinkaarta ja voi huonossa tapauksessa aiheuttaa ongelmia

rakennuksen sisäilmastoon. Automaation asetusarvoihin ja toimintaselostuksiin onkin syytä suhtautua nyt ja varsinkin tulevaisuudessa entistä vakavammin, koska sillä on suuri vaikutus niin energiataloudellisuuteen kuin sisäilmastoon. Reaaliaikainen poikkeamaseuranta auttaa osaltaan reagoimaan energiankulutuksien epäedullisiin muutoksiin, jolloin voidaan ryhtyä selvittämään epäedullisten muutosten syitä. Esimerkiksi havainto vedenkulutuksen poikkeamasta, juurisyyn löytämisestä ja tämän jälkeen asian nopealla korjaamisella voidaan välttyä turhilta vesienergiakustannuksilta ja lisäksi rakenneteknisiltä purku ja kuivatustöiltä jos esimerkiksi poikkeaman syyksi paljastuisi vesivuoto rakennuksen sisärakenteissa.

Aurinkosähköjärjestelmällä on mahdollisuus tuottaa uusiutuvaa sähköä rakennuksen käyttöön ja energiayhtiön salliessa, myydä ylijäämänsähkö sähköyhtiölle. Aurinkosähköpaneelien investointikustannukset ovat laskeneet viimevuosina, joka on lisännyt aurinkosähköjärjestelmien kiinnostavuutta. Sähköverkkoon liitettyjen pienvoimaloiden kapasiteetti on kasvanut viimevuosina merkittävästi. Kuvasta 12 voimme tarkastella, että, vuoden 2020 pientuotannon aurinkosähkökapasiteetti oli noin 293MW ja vuoden 2022 lopussa kapasiteetti oli 635MW.



Kuva 12. Verkkoon liitettyjen aurinkosähköjärjestelmien pientuotantokapasiteetti. (Energia-
virasto, 2023)

6 Kirjallisuusosion pohdinta

Suomessa rakennusten kuluttama energia on noin 40 % kokonaisenergiankulutuksesta, jota voidaan pitää merkittävänä. Hyvin nopeasti voidaan tulla johtopäätökseen, että energiatehokkuudella on merkittävä vaikutus myös hiilidioksidipäästöihin, jotka lämmittävät maapallon ilmastoa. Euroopan unioni onkin merkittävä unionin jäsenvaltioita ohjaava taho, jonka erilaiset direktiivit toimivat lainsäädäntöohjeina, joita jäsenvaltiot toteuttavat omien muotojensa ja keinojensa kautta. Merkittävimpinä energiatehokkuusdirektiivi ohjaa valtiotasoisien kulutuksien ja päästöjen kehystä, mutta toisaalta rakennusten energiatehokkuusdirektiivin tarkoituksena on ohjata vähentämään rakennusten hiilidioksidipäästöjä energiatehokkuuden avulla. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin vaikutukset kattavat niin uudisrakentamisen kuin korjausrakentamisen.

Se miten energiatehokkuuden investointeja voidaan nopeuttaa, ovat erilaiset tukimekanismit ja vihreä rahoitus toteuttaa vihreää siirtymää omistamisissaan rakennuksissa ja portfolioissaan. Omakotitalon omistajasta aina suureen kiinteistösijoitusyhtiöön on olemassa erilaisia mekanismeja, joiden avulla voidaan motivoida investoimaan energiatehokkuuteen. Valtiolla ja lainsäädännöllä voidaankin ajatella olevan merkittävä rooli ja vastuu ohjaamaan suomen rakennuskantaa vähähiilisempään suuntaan.

Suomen pohjoisen geologisen sijainnin takia, lämmitysenergian kulutuksen vaikutus ja erilaiset lämmitysmuodot vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen merkittävällä tavalla. Rakennusten lämmitysmuodoista kaukolämpö on edelleen merkittävin lämmitysmuoto. Maalämmön osuus uusien rakennusten lämmitysmuotona on kasvanut merkittävästi viimeisten vuosien aikana, jonka lisäksi erilaiset hybridimuodot ovat myös yleistyneet vauhdilla, osittain kuluttajien luottamuksen kasvaessa teknologiaan ja positiivisiin kokemuksiin. Lisäksi yritysten sitoumukset vähentävät hiilidioksidipäästöjä ja hiilineutraaliustiekartat johdattavat yrityksiä vihreämpään suuntaan. Suomen energia- ja ilmastostrategia linjaa myös, että uusiutuvien energialähteiden osuutta kasvatetaan voimakkaasti ja fossiilisista polttoaineista pyritään luopumaan. Lisäksi energiatehokkuutta tullaan edistämään voimakkaasti, koska nähdään, että näin hiilidioksidipäästöjä ja kustannuksia voidaan vähentää helpoiten.

Rakennusten lämmitysmuodoista kaukolämmön eduiksi voidaan ajatella sen toiminta- ja toimitusvarmuus, sekä järjestelmän käyttö ja ylläpitäminen on kohtalaisen helppoa. Toisaalta kaukolämmön keskihinta on kasvanut jatkuvasti, muutamaa poikkeusvuotta lukuun ottamatta, aina vuodesta 1987 lähtien ja merkittävänä huomiona alueellisten hintojen hajonta on myös kasvanut merkittävästi etenkin vuoden 2010 jälkeen. Hintojen hajontaan on vaikuttanut muun muassa alueellisten energiayhtiöiden tuotantotapa ja laitosten käyttämien energialähteiden kallistuminen. Tämän lisäksi kaukolämmön hiilidioksidipäästökertoimet kgCO₂/MWh eli hiilidioksidipäästöt suhteessa tuotettuun energiaan vaihtelevat merkittävästi alueellisesti, energiayhtiön mukaan. Maalämmön eduiksi voidaan ajatella sen taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys uusiutuvana energiamuotona. Toisaalta alkuinvestointi on suurempi kuin kaukolämmössä, energiakaivot vaativat tilaa kiinteistön maa-alueesta ja kunnan luvan, joka toisaalta on hyvin muodollinen, kunhan energiakaivojen poraamiseen vaaditut ehdot täyttyvät. Ehtoja voivat olla poraamisen estävät pohjavesialueet, maan alaiset haitat, kuten tunnelit ja voimalinjat tai liian pienet varoetäisyydet naapurikiinteistön rajaan, taloihin tai rakenteisiin. Erilaiset hybridilämmitysmuodot ovat varteenotettava vaihtoehto niissä tapauksissa, kun maalämmöllä ei pystytä kattamaan koko rakennuksen energiantarvetta, energiakaivojen poraaminen ei ole mahdollista tai rakennuksessa on saatavilla erilaisia hukkalämmönlähteitä, joita voidaan hyödyntää lämpöpumpuilla lämmöksi ja jäähdytykseksi. Jos taas rakennuksessa on ympärivuotista jäähdytyksen tarvetta, voidaan energiankierrätyslämpöpumppu valjastaa tuottamaan sekä jäähdytystä, että lämmitystä rakennuksen tarpeisiin.

Tarkasteltaessa alueellisesti erilaisten taloteknisten toimenpiteiden kannattavuutta ja hiilidioksidipäästöjä päästään parempaan kuvaan siitä, mikä on kannattavin tapa alentaa ostoenergiakustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä. Jotta kiinteistönomistajille saataisiin karkealla tasolla kustannustehokkaasti tietoa potentiaalisimmista energiatehokkuustoimenpiteistä, tulee esivalintaprosessin olla mahdollisimman suoraviivainen, jotta isokin kiinteistöjoukko voitaisiin käsitellä määriteltyjen lähtötietojen perusteella. Jotta esivalinta olisi mahdollisimman suoraviivainen ja kustannustehokas työmäärältään, joudutaan tiettyjä esivalinta-arvoja yleistämään ja olettamaan, eikä esivalinta ole sellaisenaan toimimaan investointipäätöksen pohjana. Esivalinnan tarkoituksena onkin antaa karkeaa tietoa ja poistaa potentiaaliltaan heikoimmat energiatehokkuustoimenpiteet kohteen osalta, jotta myöhemmin tarkemmassa hankesuunnittelussa ei käytettäisi resursseja heikon ja kustannustehottoman energiatehokkuustoimenpiteen simuloimiseen ja laskentaan. Hankesuunnitteluvaiheen on tarkoitus toimia

tarkentavana analyysinä energiatehokkuustoimenpiteille, jonka perusteella voidaan ehdottaa investointia.

Alueellinen tarkastelu antaaakin energianhintojen, siirtohintojen ja päästöjen suuren hajonnan seurauksena huomattavasti tarkemman kuvan siitä, mikä energiatehokkuustoimenpidettä kannattaisi edistää. Lisäksi geologinen sijainti maan sisällä vaikuttaa sekä maasta, että ilmasta kerättävän energian määrään.

7 Toimistorakennuksen taloteknisten energiatehokkuustoimenpiteiden valinnat alueellisesti

Rakennusten suomessa käyttämä energia vastaa noin 40 prosenttia koko energian loppukäytöstä. Lisäksi noin 30 prosenttia suomen kasvihuonepäästöistä syntyy tuottaessa rakennusten energiaa. (Mattinen et al. 2016) Voidaankin todeta, että rakentamisella ja korjausrakentamisella on hyvin keskeinen merkitys energiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen.

Tässä työssä tarkastellaan lämmitysenergian kulutusta ja suositeltavien taloteknisten toimenpiteiden kannattavuuksia tyyppitoimistorakennusten kautta alueellisesti eri mitoitusäävyöhykkeillä. Lisäksi työssä tarkastellaan eri alueiden energiayhtiöiden energian- ja perusmaksujen hintatasoa ja hintasuhdetta, sekä päästötasoja suhteessa toisiinsa.

Työn tavoitteena on luoda käsitys eri alueiden ostoenergiakustannusten ja päästötasojen avulla kannattavia energiatehokkuustoimenpiteitä neljän eri kulutustason omaavalle tyyppirakennukselle. Energiatehokkuustoimenpiteiden tavoitteena alentaa rakennusten ostoenergiämäärää, hiilidioksidipäästöjä ja löytää kustannustehokkaimmat toimenpiteet alueellisesti.

7.1 Toimistorakennuksen lämmitysenergian tarpeen ja huipputehontarpeen määrittäminen ja simulointi

Rakennusten energiankulutuksien ja huipputehon määrittämiseen käytettiin Granlund Oy:n kehittämää varhaisen vaiheen energiantarve-simulointityökalua, joka mallintaa Granlundin aikaisemmin kehittämää RIUSKA-energiasimulointiohjelmistolla suoritettuja satoja erityyppisten rakennusten energiasimulointeja pohjatietonaan. Simulointityökalulla voidaan simuloida erilaisia rakennus- tai käyttötarkoitustyyppisiä, muokata kerrosaloja, tilavuuksia, eri alueiden ilmastotietoja, rakenteiden U-arvoja ($W/(K \cdot m^2)$) ja rakennuksen kuormituksia. Tässä työssä käytettiin jokaiseen tyyppirakennukseen samoja rakenteellisia ja kuormituksen liittyviä lähtötietoja, ainoastaan rakennuksen kerrosalaa, tilavuutta ja ilmastotietoja muutettiin, jotta saavutettaisiin neljän eri kulutustason omaavan rakennuksen osalta käsitys energiankulutuksista eri säävyöhykkeillä.

7.1.1 Tyyppirakennuksen simuloinnin lähtötiedot

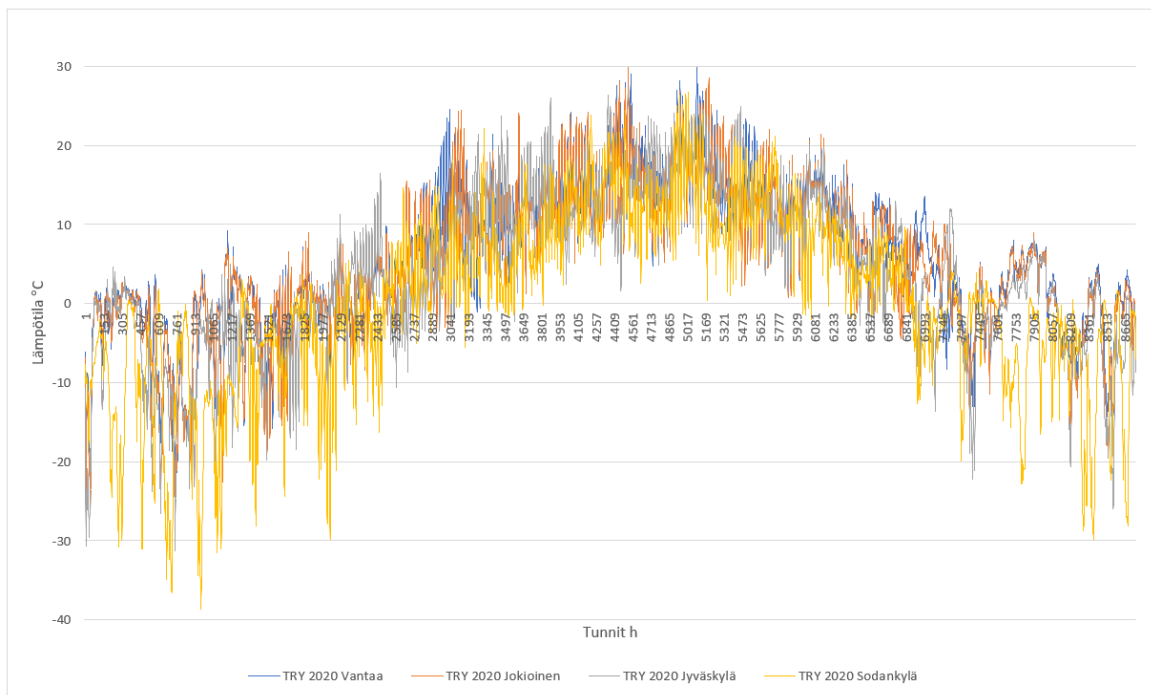
Tyyppirakennusten lähtötiedot mukailevat vanhaa D3-rakentamismääräystä, mutta ottavat huomioon toimistorakennuksen ajankohdalle tyypilliset yksityiskohdat huomioon, kuten rakennuksen kuoren U-arvon ($W/(K \cdot m^2)$), ikkuna-seinäpinta-alasuhteen ja jäähdytetyn alueen osuus kokonaisalasta. Rakentamismääräys D3 käsittelee rakennusten energiatehokkuutta ja antaa ohjearvoja ja laskentasääntöjä muun muassa lämpöhäviöiden selvittämiseen, erilaisiin sisäisiin lämpökuormiin, käyttöveteen ja ilmanvaihtoon. Kuorman ja käytön osalta simuloinnissa käytetään keskiarvoja. Rakennusvuosi ja kerrosmäärä pysyvät muuttumattomina jokaisen simuloinnin osalta. Taulukosta 1 voimme tarkastella lähtötietoja neljän eri tyyppirakennuksen osalta. Simuloitavat tyyppirakennukset ovat 500 MWh/a, 1000 MWh/a, 2000 MWh/a ja 3000 MWh/a lämmitysenergiankulutuksilla olevat rakennukset.

Taulukko 1. Tyyppirakennusten lähtöarvot energiasimuloinnissa.

| Parametri | Arvo | Arvo | Arvo | Arvo |
|--|---|---|---|---|
| Tyyppirakennus, lämmitysenergiankulutus vuodessa MWh/a | 500 MWh/a | 1000 MWh/a | 2000 MWh/a | 3000 MWh/a |
| Ilmasto | Vantaa TRY2020, Jokioinen TRY2020, Jyväskylä TRY2020, Sodankylä TRY2020 | Vantaa TRY2020, Jokioinen TRY2020, Jyväskylä TRY2020, Sodankylä TRY2020 | Vantaa TRY2020, Jokioinen TRY2020, Jyväskylä TRY2020, Sodankylä TRY2020 | Vantaa TRY2020, Jokioinen TRY2020, Jyväskylä TRY2020, Sodankylä TRY2020 |
| Kerrosala m ² | 3900 | 8200 | 16500 | 26200 |
| Kerroskorkeus m | 3,63 | 3,63 | 3,63 | 3,63 |
| Rakennustyyppi | Toimistorakennukset | Toimistorakennukset | Toimistorakennukset | Toimistorakennukset |
| Rakennustilavuus m ³ | 14200 | 29800 | 59900 | 95200 |
| Valmistumisvuosi | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| Kerrosten lukumäärä | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Rakennuksen ulkokuoren U-arvo, keskiarvo ($W/(K \cdot m^2)$) | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| Ikkunoiden suhde seinäalaan | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Ikkunoiden U-arvo, keskiarvo ($W/(K \cdot m^2)$) | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Jäähdytyksen osuus kerrosalasta | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Ilmastointi, keskiarvo dm ³ /m ² /s | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| Jäähdytyksen pohjakuorma W/m ² | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ihmisiä, keskiarvo 1/m ² | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Valaistuksen kuorma, keskiarvo W/m ² | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| Laitekuorma, keskiarvo W/m ² | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| Lämmityksen asetusraja °C | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Jäähdytyksen asetusraja °C | 27 | 27 | 27 | 27 |

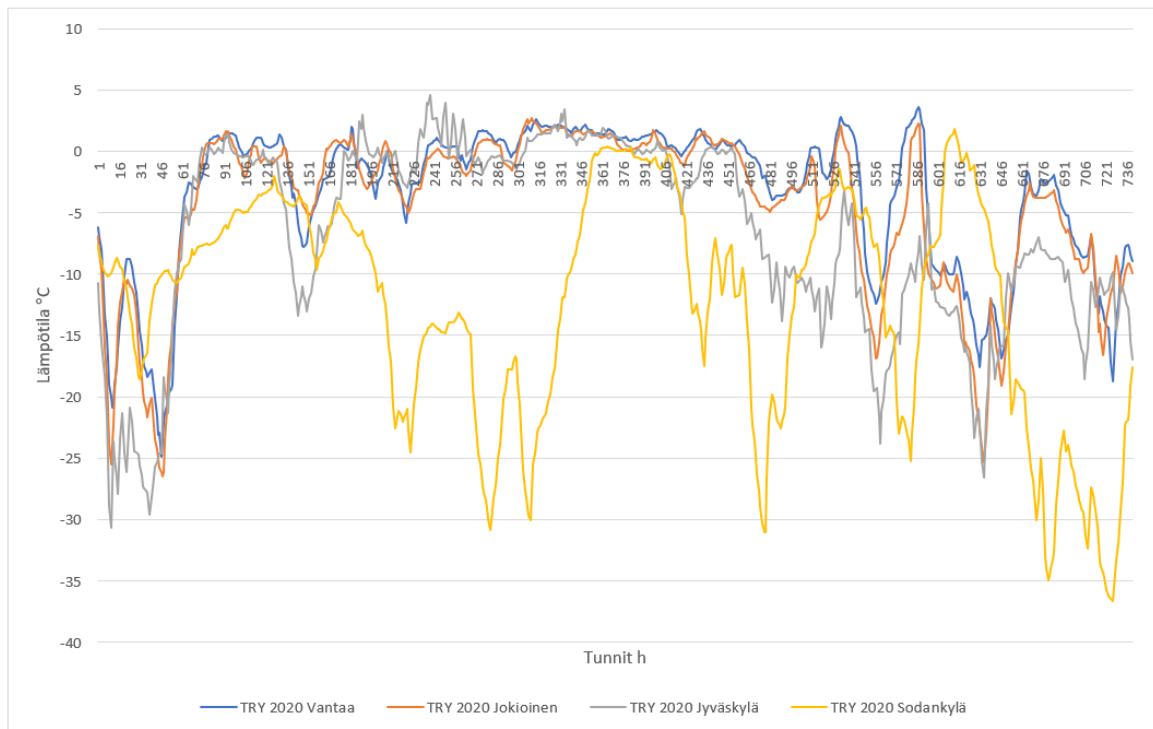
7.1.2 TRY 2020 testivuodet

Tyyppirakennusten simuloinnit suoritettiin TRY 2020 testivuotena, neljällä eri mitoituslämpötilasäävyöhykkeellä. Mitoituslämpötilat ovat Vantaalla -26 °C, Jokioisissa -29 °C, Jyväskylässä -32 °C ja Sodankylässä -38 °C. Näiden paikkakuntien osalta simulointien tuloksia skaalattiin neljälle eri mitoitusäävyöhykkeelle. Vuositasolla tarkasteltaessa säävyöhykkeiden ja paikkakuntien tuntitasoisia lämpötilatietoja voidaan kesäkaudella havaita lämpötilaerot olevan muutaman asteen eroilla. Lämmityskaudella lämpötiloissa voidaan nähdä selkeämpää hajontaa ja talvikuukausina esimerkiksi Sodankylän lämpötilan vaihtelut erottuvat selkeästi muista kaupungeista, jonka voimme havaita kuvasta 13.



Kuva 13. TRY 2020 testivuoden tuntigraafi.

Kun TRY2020 säätietoja tarkastelee kuukausitasolla, on eroavaisuuksia nähtävissä huomattavasti selkeämmin. Kuten kuvasta 14 voimme havaita, Sodankylän alue erottuu selkeästi muista kaupungeista. Jyväskylän säätiedot eroavat jonkin verran Vantaasta ja Jokioisista ja lämpötilavaihteluiden määrä kasvaa selvästi pohjoisempaan suomeen, mutta Vantaa ja Jokioinen noudattelevat säätiedoiltaan hyvin pitkälti toisiaan.

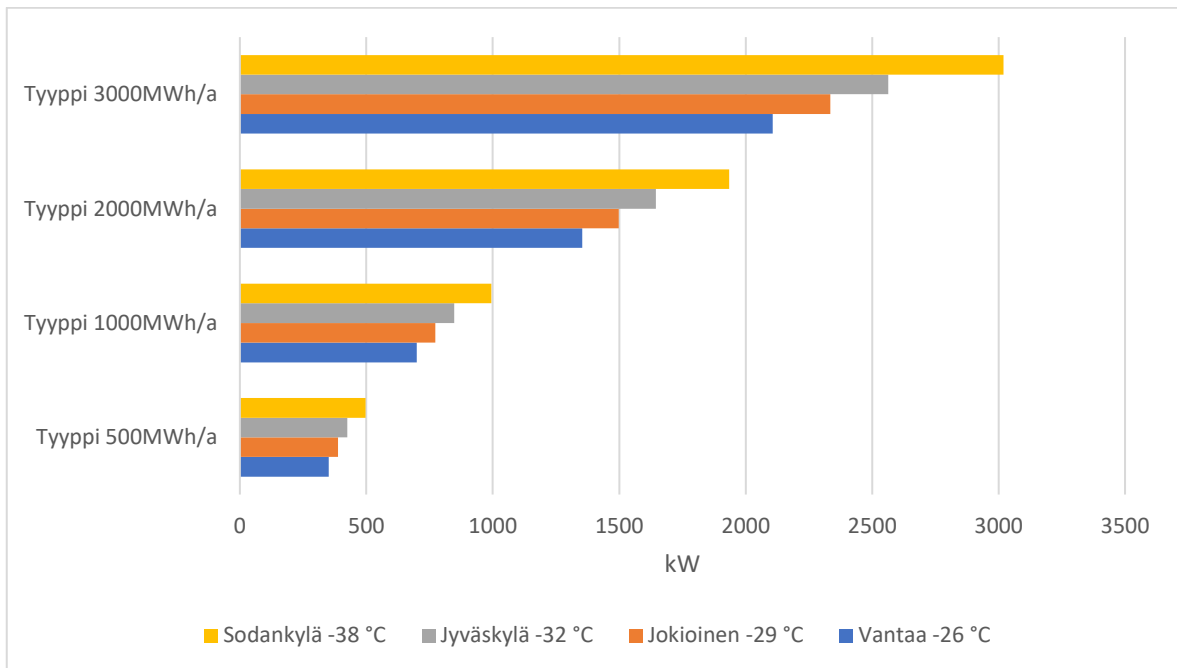


Kuva 14. TRY 2020 testivuodet tammikuussa.

7.1.3 Tehontarpeen määrittäminen

Tyypirakennuksien osalta saatiin RakM D5-mukaiset lämmitystehontarpeet neljällä eri kulutusprofiililla, neljällä eri mitoitussävyöhykkeellä. Lämmitystehontarpeen laskenta otti huomioon rakennuksen tilalämmityksen tarvitseman tehon sekä ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden tarvitseman tehon. Käyttöveden lämmitystehontarve jätettiin tehontarpeen määrittämisen ulkopuolelle.

Kuvasta 15 voimmekin tarkastella eri mitoitussävyöhykkeiden ja mitoitustilapötilojen vaikutusta tyypirakennusten lämmitystehontarpeiden määrään. Huomionarvoista on, että 3000 MWh/a tyypirakennuksen osalta lämmitystehontarpeiden eroksi muodostui lähes 900 kW. Suurin lämmitystehon lisäys tapahtuu ilmanvaihdon lämmityspattereiden tarvitseman lämpötehon takia. Sodankylän mitoitustilapötilan ero Vantaaseen on 12 °C astetta, jolloin ilmanvaihtopatterin tarvitsema teho kasvaa merkittävästi.

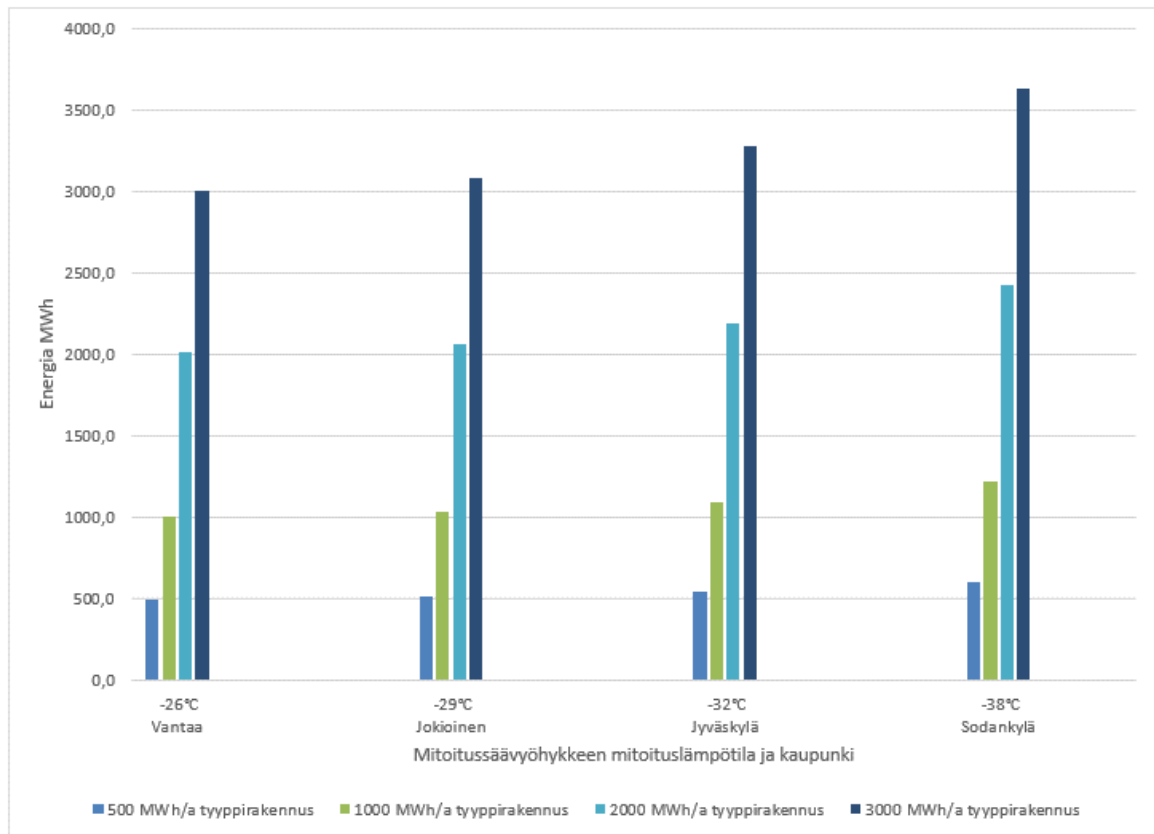


Kuva 15. Tyyppirakennusten huipputehontarpeet.

Lämmitystehontarpeet ovat saatu laskennallisesti ja myöhemmässä vaiheessa todellinen lämmitystehontarve ja rakennuksen vaatima energiankulutus saadaan tarkemmin selville energiamittaroinnin ja kulutuksenseurannan avulla. Näin ollen rakennukselle saadaan määriteltä tarkempi ja oikea tilausvesivirran määrä tai tarvittava tehomaksu.

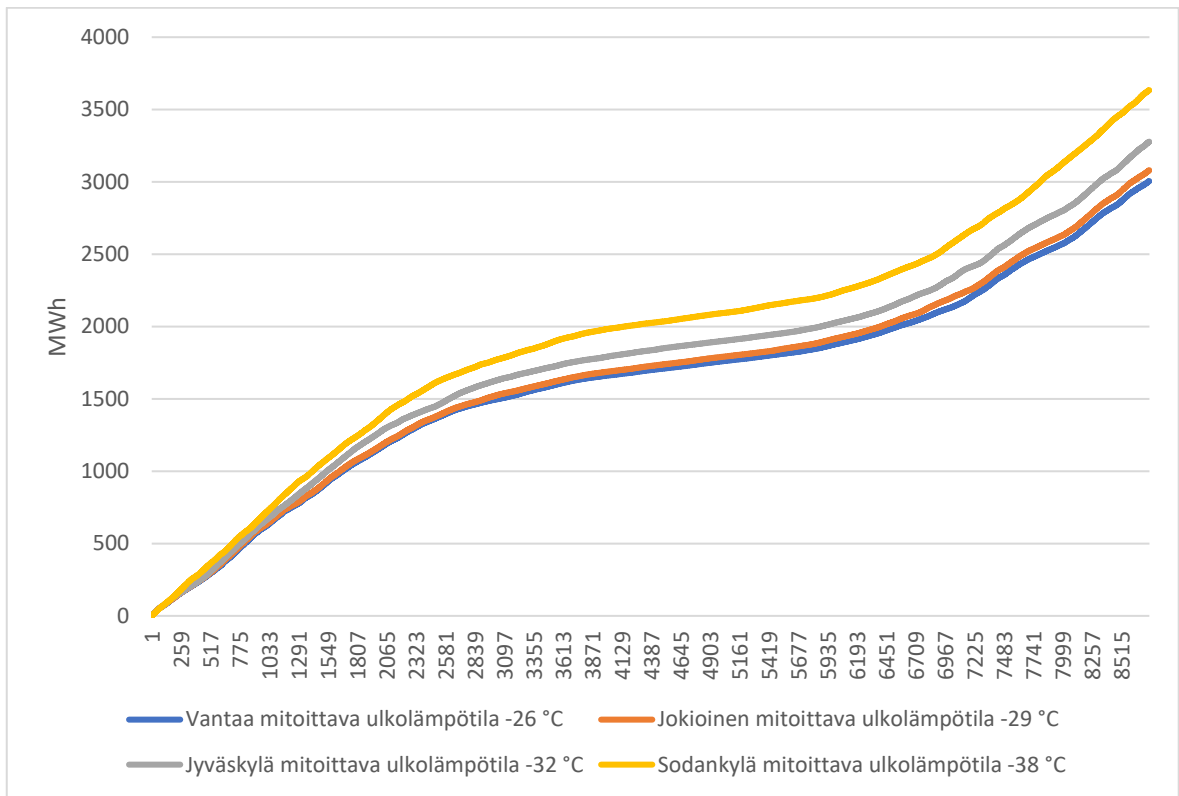
7.1.4 Tyyppirakennusten energiasimulointien tulokset

Neljälle eri lämmitysenergian kulutustasoiselle tyyppirakennukselle suoritettiin lämpö-, sähkö- ja jäähdytysnäytöt neljällä eri mitoituksella, Vantaa TRY2020, Jokioinen TRY2020, Jyväskylä TRY2020 ja Sodankylä TRY2020 testivuoden ilmaston mukaisesti. Tuloksina saatiin vuoden 2020 tuntitasoiset kulutustiedot lähtötietomäärittelyiden perusteella. Lisäksi kaukolämmön kustannustietoja varten simulointi antoi tuloksena maksimitehon, jonka perusteella monessa tapauksessa kaukolämmön perusmaksuus määräytyy. Kuvasta 16 voimme tarkastella neljän eri tyyppirakennuksen lämpöenergiatarpeen simulointien tuloksia neljällä eri mitoitussäävyöhykkeellä.



Kuva 16. Neljän eri kulutustason tyypirakennuksen lämmitysenergian kulutus neljällä eri mitoitussäävyöhykkeellä.

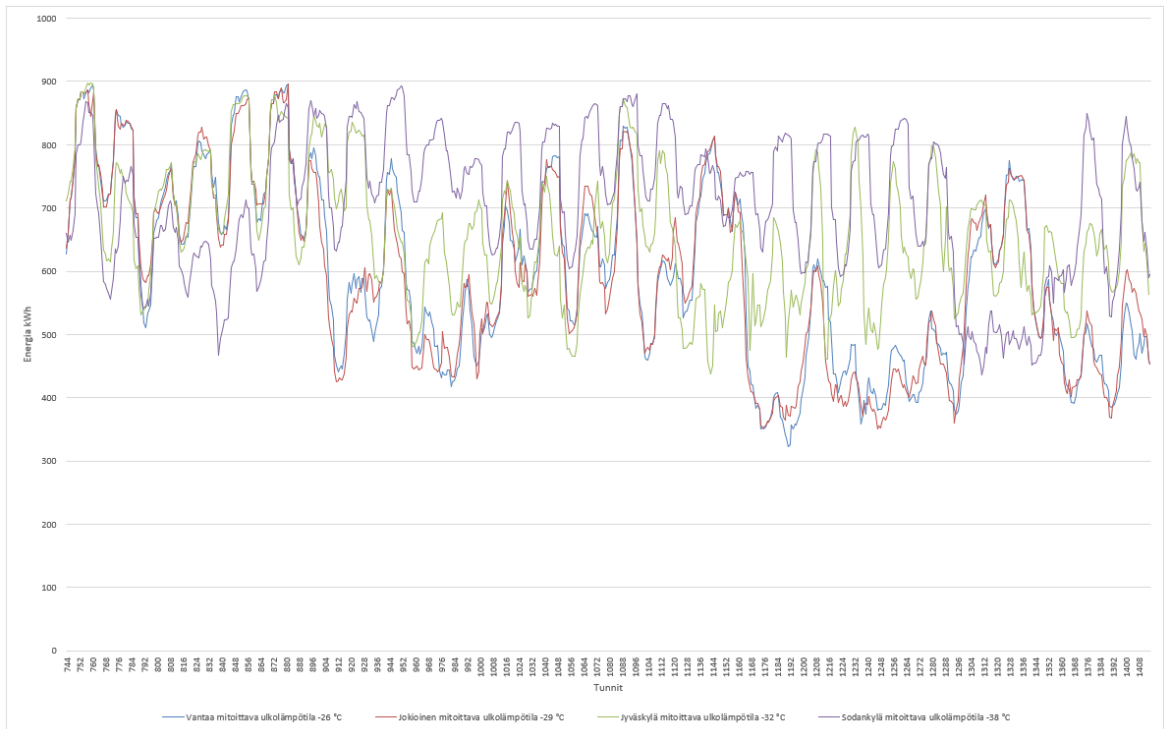
Tyypirakennusten 500 MWh/a, 1000 MWh/a, 2000 MWh/a ja 3000 MWh/a kulutusprofiilit ovat hyvin samankaltaisia. Lämmityskauden, syyskuusta toukokuuhun, tarkasteltaessa 3000 MWh/a vuosikulutuksella olevan tyypirakennuksen lämmitysenergiankulutuksia neljällä eri mitoitussäävyöhykkeellä TRY2020 testivuotena, alueellisten lämmitysenergiankulutusten erot voidaan havaita selkeämmin. Jokaisessa tyypirakennustapauksessa kesäajan, kesäkuusta elokuuhun, lämpöenergiankulutus laskee alhaisimmalle tasolle, koska lämmitysenergiaa kuluu lähinnä käyttöveden lämmittämiseen. Lämmityskaudella onkin havaittavissa suurimmat lämmitysenergian kulutusten eroavaisuudet. Kuvasta 17 voimme tarkastella 3000 MWh/a tyypirakennuksen lämmitysenergiankulutuksia TRY2020 testivuotena neljällä eri mitoitussäävyöhykkeellä.



Kuva 17. 3000 MWh/a tyyppirakennuksen kumulatiivinen lämpöenergian kulutus TRY2020 testivuotena neljällä eri mitoitusäävyöhykkeellä.

500 MWh/a tyyppirakennuksen osalta TRY2020 Vantaan ja TRY2020 Sodankylän välinen lämmitysenergian kulutuksen ero on noin 107 MWh/a, kun taas 3000 MWh/a tyyppirakennuksen TRY2020 Vantaan ja TRY2020 Sodankylä välinen lämmitysenergiankulutuksen ero kasvaa noin 629 MWh/a tasolle.

Tarkasteltaessa kuvasta 18 lämmitysenergiankulutuksia TRY2020 testivuotena tarkemmin helmikuun osalta, voidaan havaita selkeästi eri säävyöhykkeiden ilmaston vaikutukset lämmitysenergiankulutuksiin. Siirryttäessä Vantaan säävyöhykkeeltä kohti Sodankylän säävyöhykettä, ilmaston kylmeneminen ja lämpötilojen vaihtelut lisääntyvät merkittävästi. Esimerkiksi keskiarvoltaan kylmimmässä kaupungissa Sodankylässä helmikuun alkupuolella ja loppupuolella sää on ollut leudompi verrattuna muuhun suomeen, josta johtuu muita vertailukaupunkeja alhaisempi energiankulutus. Toisaalta helmikuun kahtena keskimmäisenä viikkona energiankulutus on ollut lähes poikkeuksetta suurinta vertailukaupunkeihin verrattuna.

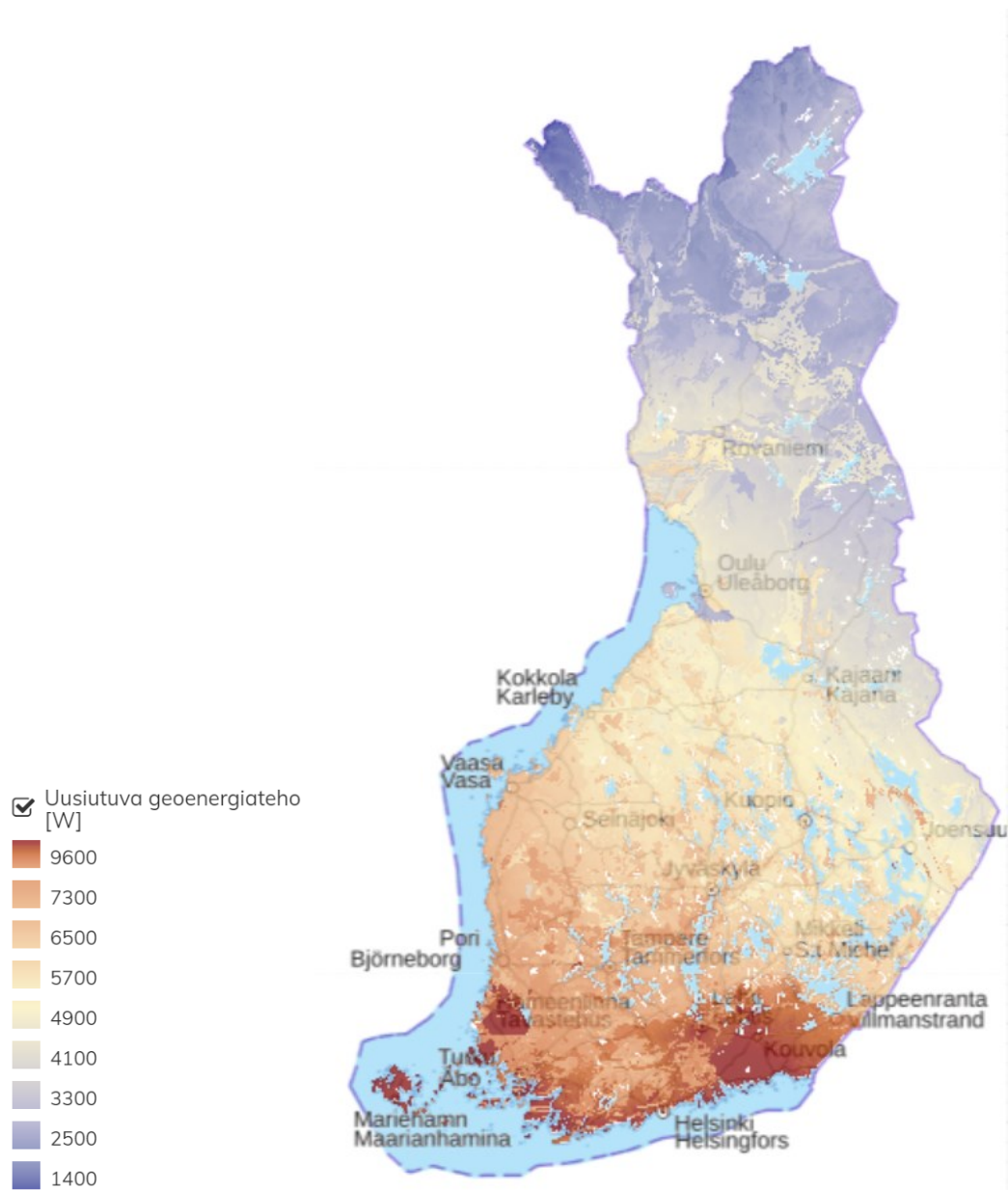


Kuva 18. 3000 MWh/a tyyppirakennuksen lämmitysenergiankulutus TRY2020 testivuoden helmikuussa neljällä eri mitoitussäävyöhykkeellä.

7.2 Geoenergiapotentiaali Suomessa

Vaikka Suomi sijaitsee geologisesti pohjoisella maanpuoliskolla, maaperään on varastoitunut merkittävä määrä puhdasta lämpöenergiaa. Viimeisten kartoitusten perusteella ylipäätään 300 metriin on varastoitunutta energiaa noin tuhat kertaisesti verrattuna Suomen energiatuotantoon. Maalämpöpumpputeknologian kehitys, lämmitysjärjestelmän investointikustannuksen taso ja toisaalta jatkuvasti kohonneet lämmitysaineiden hinnat ja kaukolämmön hinta ovat saaneet asiakkaat tarkastelemaan ja vertailemaan rakennuksiensa lämmitysjärjestelmiä. Tämä on yksi osasy sille, miksi maalämpöpumppujen kysyntä on kasvanut merkittävästi viime vuosina.

Vaikka geoenergiapotentiaalin teho laskee siirryttäessä yhä pohjoisempaan osaan suomessa, on maalämpöjärjestelmien käyttö yleistynyt myös pohjoisemmassa suomessa. Kuvasta 19 voimmekin tarkastella uusiutuvan geoenergiatehon määriä sidottuna Suomen kartastoon.



Kuva 19. Suomen geenergiapotentialin uusiutuva geenergiateho. (Geologian tutkimuskeskus, 2023)

7.3 Kaukolämmön hinta alueellisesti

Kaukolämmön kokonaishintaan vaikuttaa niin perusmaksun osuus kuin energiamaksun osuus. Koska kaukolämmön kokonaishinta vaihtelee alueittain merkittävästi, tulisi vaihtoehdoisen lämmitysjärjestelmän kannattavuustarkastelussa käyttää alueellisia hintoja niin perusmaksun kuin energiamaksun osalta. Kaukolämmön keskimääräisen hinnan käyttäminen kannattavuustarkastelussa aiheuttaa vääristystä alueen mukaan joko ollen todellista tasoa

kalliimpi tai toisaalta edullisempi. Siksi onkin ehdottoman tärkeää tarkastella kannattavuuslaskelmaa alueellisen kokonaishinnan perusteella.

7.3.1 Perusmaksun osuuden laskenta

Kaukolämmön perusmaksun laskennan esimerkkinä on otettu kahden eri kaukolämpötoimitajan, Turku Energian ja Vantaan Energian, perusmaksun laskenta. Kuten voimme taulukosta 2 ja taulukosta 3 tarkastella, molemmat kaukolämpötoimittajat käyttävät perusmaksun osuuden laskennassa määrittämiään kertoimia, perusosaa ja kaukolämpötehoa, jonka perusteella perusmaksun suuruus määrittyy. Lisäksi Turku Energia käyttää rakennuskustannusindeksin kerrointa, jolla kustannuksia suhteutetaan perusvuoden hintatasoon.

Taulukko 2. Turku Energian kaukolämmön perusmaksun laskenta. (mukaillen Turku Energia, 2023)

TURKU ENERGIA (Alv 0%)

| Teho P (kW) * | Perusmaksun laskenta Turku Energia | Peruste P (kW) | Laskenta esimerkkiteholla | Perusmaksu (€/vuosi) |
|---------------|------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------|
| 0-15 | $n * 362,752$ | 10 | $1,2 * 362,752 =$ | 435,30 |
| 15-65 | $n * P * 30,6072$ | 50 | $1,2 * 50 * 30,6072 =$ | 1836,43 |
| 65-165 | $n * (P * 27,2064 + 221,052)$ | 150 | $1,2 * (150 * 27,2064 + 221,052) =$ | 5162,41 |
| 165-650 | $n * (P * 13,6032 + 2465,58)$ | 300 | $1,2 * (300 * 13,6032 + 2465,58) =$ | 7855,85 |
| 650- | $n * (P * 6,8016 + 6886,62)$ | 700 | $1,2 * (700 * 6,8016 + 6886,62) =$ | 13977,29 |

* Sopimusteho P (kW) määrittää tehomaksun suuruuden

$n = 1.3.2018$ alkaen tarkistusindeksinä on Tilastokeskuksen laskema Rakennuskustannusindeksi RKI 01.03.2023 alkaen tehomaksulaskelman kerroin $n = 1,20$

Taulukko 3. Vantaan Energian kaukolämmön perusmaksun laskenta. (mukaillen Vantaan Energia, 2023)

VANTAAN ENERGIA (Alv 0%) Tarkkalämpö

| Teho P (kW) * | Perusmaksun laskenta | Vakio-osa € | Muuttuva osa (€/kW) | Peruste (kW) | Laskenta esimerkkiteholla | Perusmaksu (€/vuosi) |
|---------------|------------------------------------|-------------|---------------------|--------------|--------------------------------|----------------------|
| 10-29 | Vakio-osa + Muuttuva osa * Peruste | 0 € | 57 € | 10 | $0 + (57 * 10) =$ | 570 |
| 30-99 | Vakio-osa + Muuttuva osa * Peruste | 49,05 € | 55,32 € | 50 | $49,05 + (55,32 * 50) =$ | 2815,05 |
| 100-249 | Vakio-osa + Muuttuva osa * Peruste | 1 575,05 € | 40,06 € | 150 | $1575,05 + (40,06 * 150) =$ | 7584,05 |
| 250-699 | Vakio-osa + Muuttuva osa * Peruste | 6 139,45 € | 21,80 € | 300 | $6139,45 + (21,80 * 300) =$ | 12679,45 |
| 700- | Vakio-osa + Muuttuva osa * Peruste | 12 434,20 € | 12,81 € | 700 | $12434,20 + (12,81 * 700) =$ | 21401,2 |

Koska kaukolämmön perusmaksun osuus määräytyy monessa tapauksessa mitattuun tietoon, käytettiin työssä laskennan pohjana Energiateollisuus ry:n K15 mukaista suositusta vesivirran suu suuruuden määrittämiseksi.

$$V = \frac{\Phi}{c_p * \rho * (t_{et} - t_{ep})} \quad (1)$$

V = Tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirta [dm^3/s]

Φ = Sopimusteho [kW]

C_p = Veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg °C]

ρ = Veden tiheys [kg/dm^3]

t_{et} = Kaukolämpöveden tulolämpötila [°C]

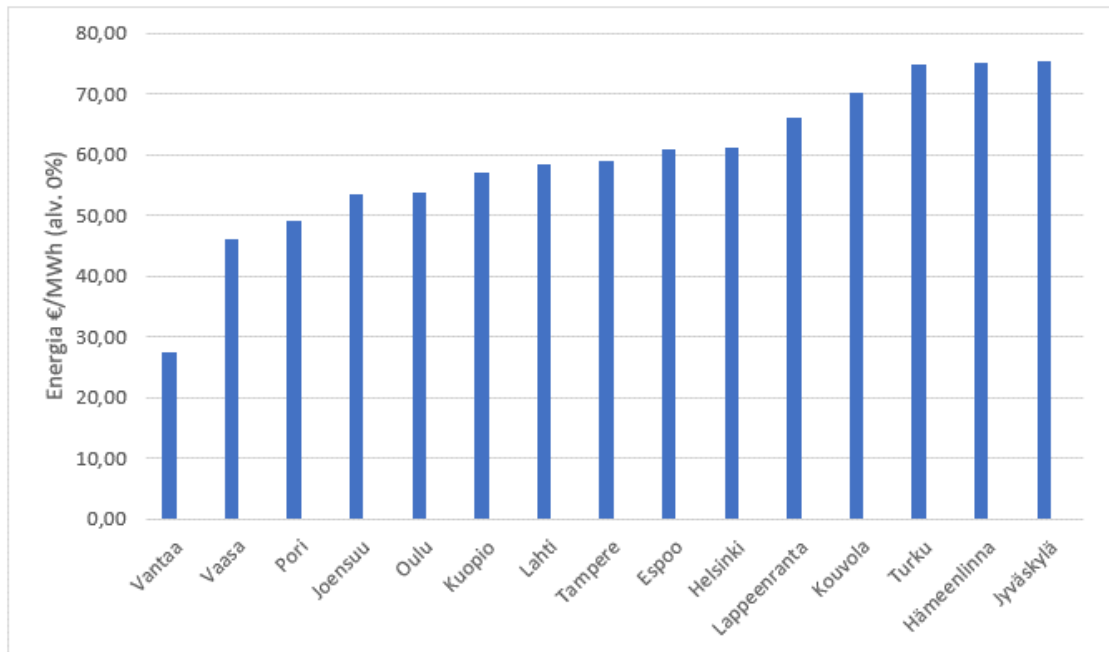
t_{ep} = Kaukolämpöveden paluulämpötila [°C]

Kiinteään vesivirtamaksuun, eli kaukolämmön perusmaksuun, sopimusvesivirtaan, vaikuttaakin kiinteistön lämmitystehontarve ja lämmönjakotapa.

7.3.2 Kaukolämmön energiahinnat alueellisesti

Suomen Energiateollisuus ry on kerää tietoa kaukolämmön energiahinnoista ja tyyppirakennusten teho- ja liittymismaksuista. Energiateollisuus ry:n keräämistä tilastotoista selviää sekä kiinteät vuosittaiset energiamaksut sekä kausituoteperusteiset energiamaksut, jotka siis eroavat vuosihinnoittelumallista siten, että kuukausimaksut määräytyvät eri kausien hinnoittelun mukaisesti. Jaotteluna käytetään useassa tapauksessa talvi-, kevät-, kesä- ja syyshinnoittelumallia, joiden kuukausittainen energiahinta vaihtelee ollen korkeimmillaan talvikaudella ja alimmillaan kesäkaudella.

Kuten kuvasta 20 voimme todeta, valituista kaupungeista Vantaalla on halvin energiamaksu ja Jyväskylässä kallein. Halvimman ja kalleimman välinen hintaero on 48,06 € ja prosentuaalisesti Jyväskylä on Vantaata noin 175 % kalliimpi energiamaksuiltaan. Hinnat ovat ilmoitettu keskihintoina.

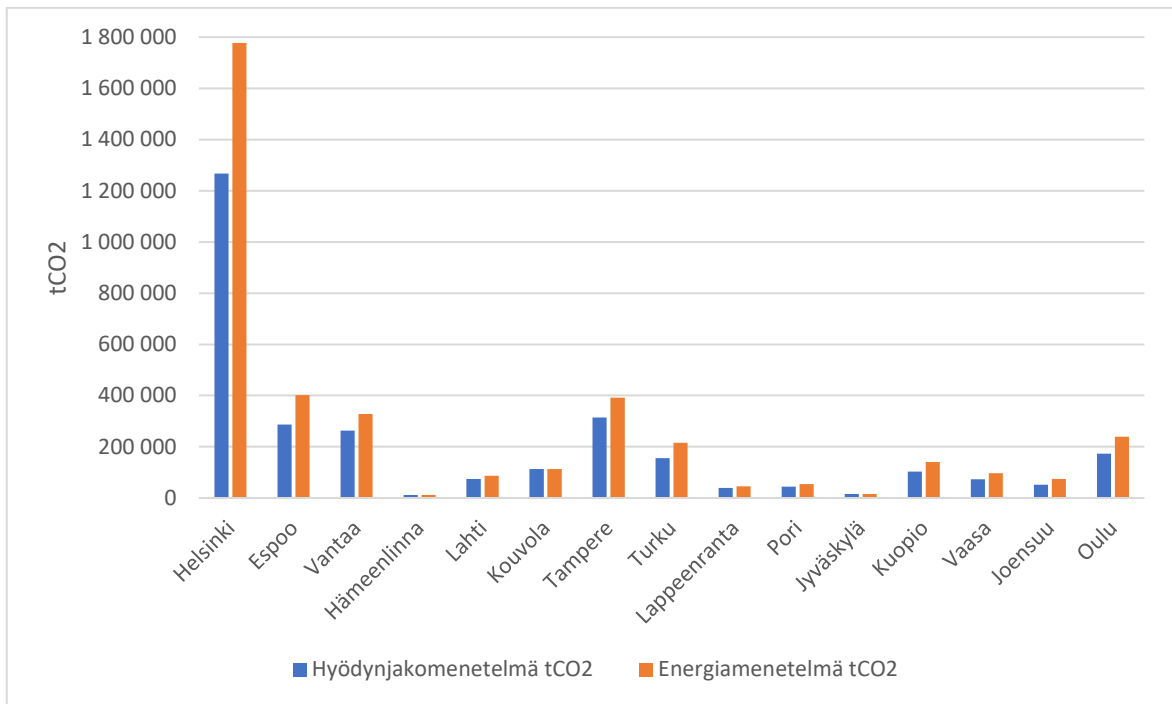


Kuva 20. Kaukolämmön energian hinta alueellisesti vuonna 2022.

7.4 Kaukolämmön päästöt alueellisesti

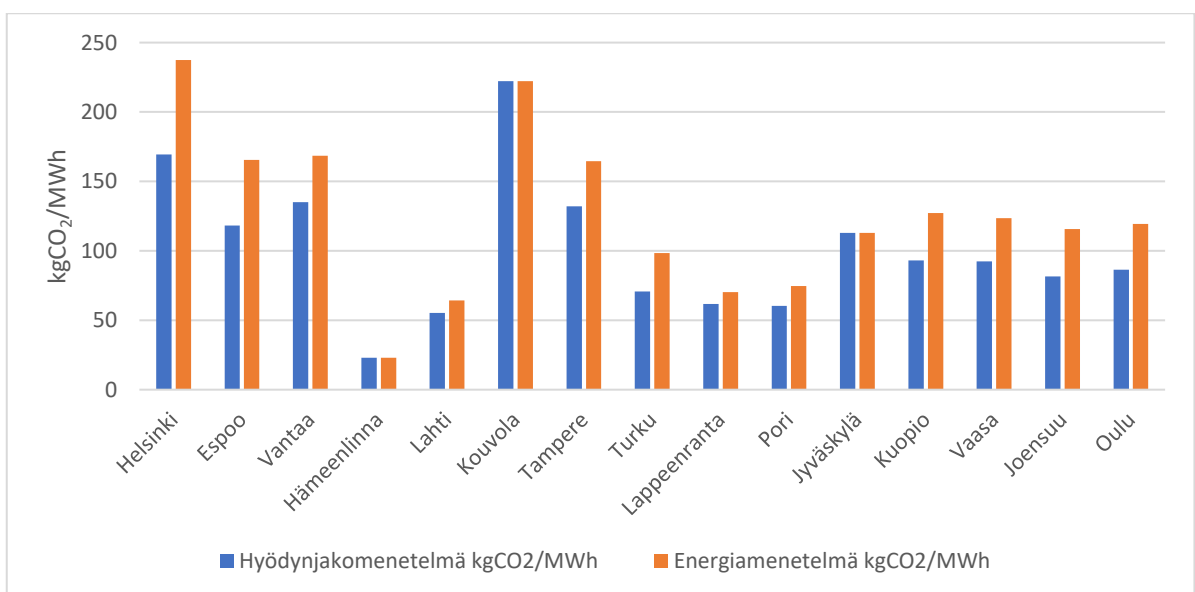
Kaupunkien kaukolämmöntuotannon kokonaispäästöt vaihtelevat voimakkaasti suhteessa kaupungin kokoon, olemassa oleviin voimalaitos- ja energiantuotantotyyppisiin ja käytettyihin energianlähteisiin. Suuret kaupungit tuottavat luonnollisesti suurempia kokonaispäästöjä kuin pienemmät kaupungit.

Kuvasta 21 voimme tarkastella kaukolämmön päästölaskurin tuloksia valikoitujen kaupunkien suurimpien energiayhtiöiden osalta hyödynjakomenetelmällä ja energiamenetelmällä. Huomionarvoista on, että energiamenetelmällä lasketut tulokset ovat päästöiltään korkeampia kuin hyödynjakomenetelmällä saadut tulokset.



Kuva 21. Kaupunkien hiilidioksidipäästöt vuonna 2021. (mukaillen Paikallisvoima ry, 2023)

Kuvasta 22 voimme tarkastella kaupunkien päästökertoimia alueellisesti. Kolmen viimeisen tilastovuoden (2019–2021) keskiarvo energiamenetelmällä on 158 kg CO₂/MWh.

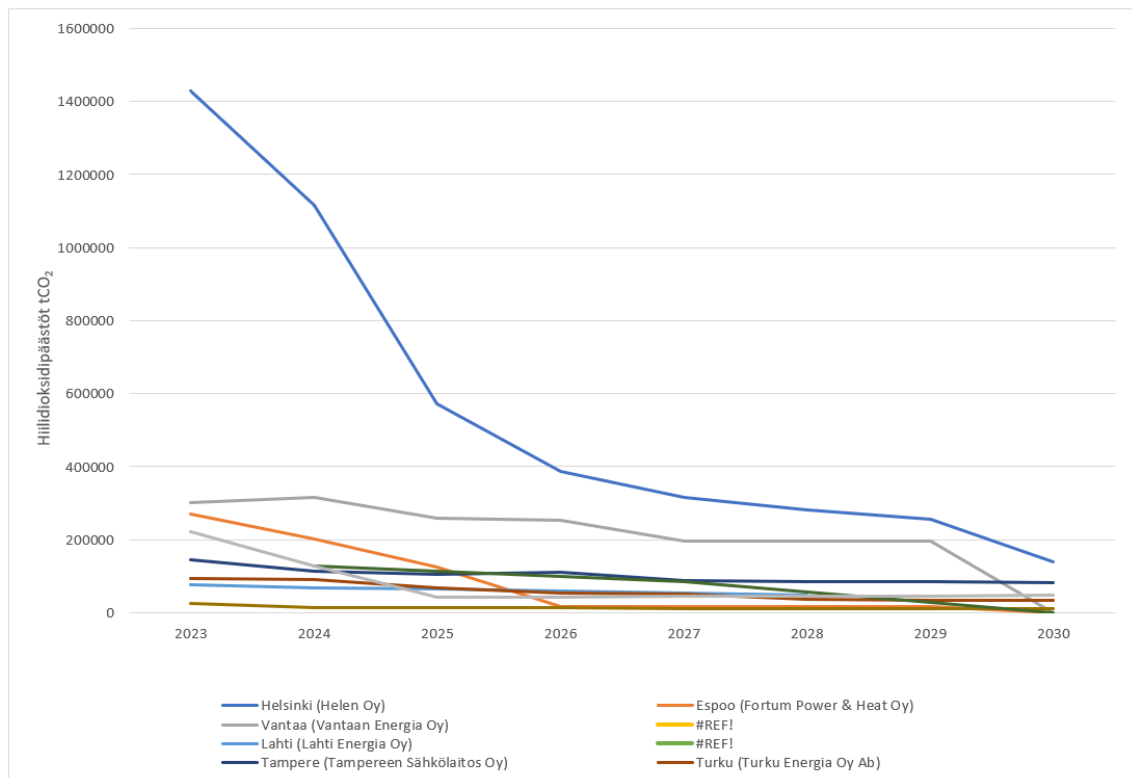


Kuva 22. Valittujen kaupunkien päästökertoimet vuonna 2021. (mukaillen Paikallisvoima ry, 2023)

7.5 Kaukolämmön päästöjen alueellinen kehitys tulevaisuudessa

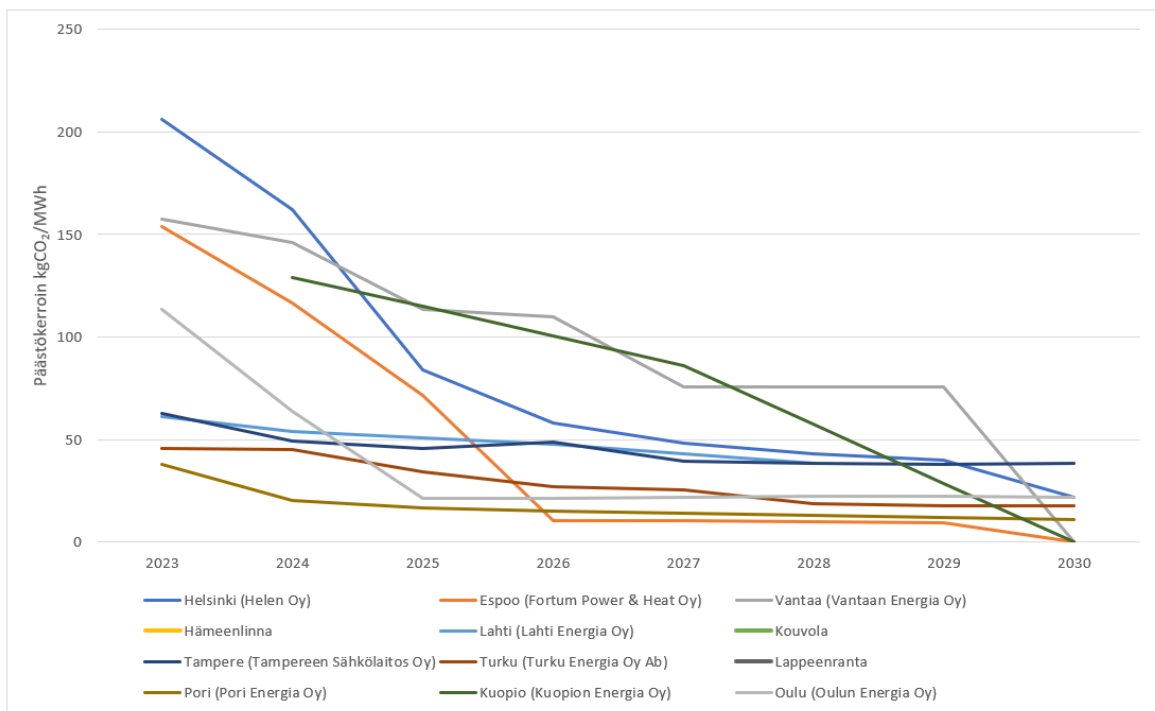
Paikallisvoima ry:n ja suomalaisten kaukolämpöyhtiöiden yhteishankkeen tuloksena on asiakkailta mahdollisuus tarkastella eri energiayhtiöiden hiilidioksidipäästötietoja, päästöker-toimia sekä tulevaisuuden päästökehitystä. Lisäksi laskurissa on mahdollisuus tarkastella käytettyjen energialähteiden tuotantojakaumaa viisi vuotta taaksepäin, tämänhetkistä tilan-etta, sekä tulevaisuuteen tähtäävää jakaumaa.

Tarkasteltavien kaupunkien osalta ainoastaan Hämeenlinnan, Kouvolan, Lappeenrannan, Jy-väskylän, Vaasan ja Joensuun osalta tulevaisuuden päästökehitystietoja ei ollut saatavilla kaukolämmön päästölaskurissa. Kaupunkien väestöluku ei ole suoraan verrannollinen hiili-dioksidipäästöjen määrään vaan moni muu asia kuten energialähteet ja tuotantomuodot vai-kuttavat kaupunkien päästötasoon. Kuvasta 23 voimme tarkastella energiayhtiöiden ilmoit-tamien tietojen perusteella kaukolämmön päästöjen kehitystä energiamenetelmällä tulevai-suudessa.



Kuva 23. Kaukolämmöntuotannon päästöjen arvioitu kehitys energiamenetelmällä 2023–2030. (Mukaillen Paikallisvoima ry, 2023)

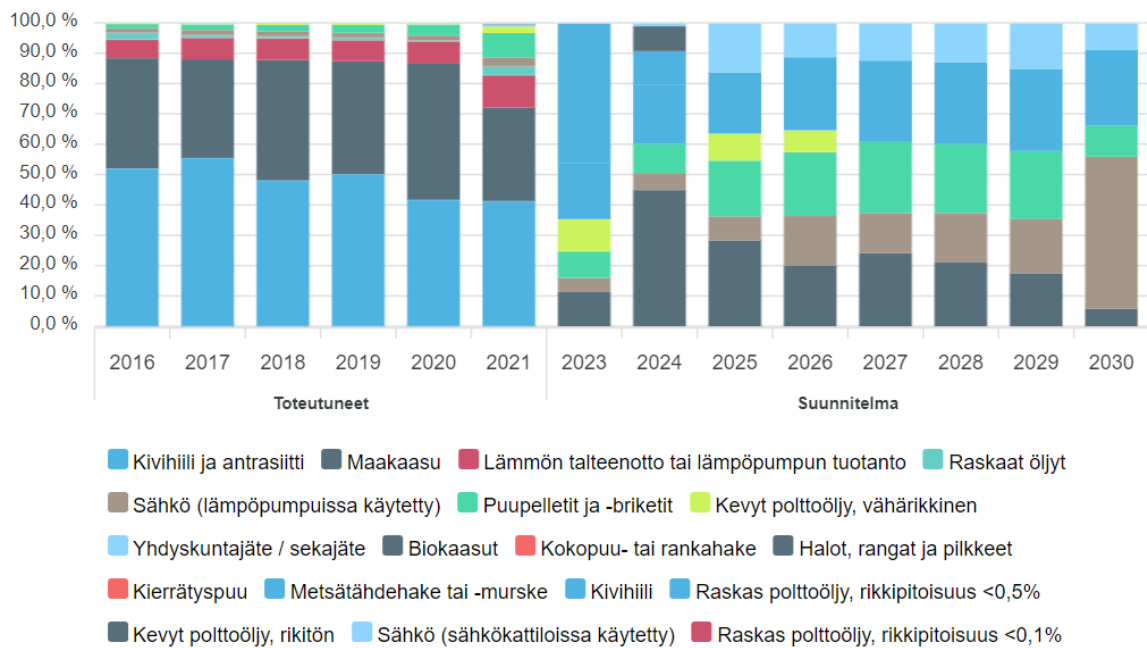
Yksi tapa tarkastella energiayhtiöiden hiilidioksidipäästöjä on päästökerroin. Päästökertoimen suure kgCO_2/MWh kertoo hiilidioksidikilogrammaa suhteessa tuotettuun megawattituntiin energiaa. Päästökerroin kuvaakin hyvin asiakasnäkökulmasta sitä, kuinka paljon energiankäyttö on aiheuttanut päästöjä kohteen kuluttaman energian perusteella. Oman osatoenergian päästökerointiedon saa omalta energiayhtiöltään, koska energiayhtiöillä on erilaisia energiatuotepaketteja, joiden päästökertoimet voivat vaihdella tuotantotavan mukaan. Kuvasta 24 voimme tarkastella päästökertoimien arvioitua kehitystä vuosien 2023–2030 välisenä aikana alueellisesti.



Kuva 24. Kaukolämmön päästökertoimen kehitys vuosina 2023–2030. (Mukaillen Paikallisvoima ry, 2023)

Vuonna 2023, suomen kaupungeista Helsinki aiheuttaa suurimmat hiilidioksidipäästöt, mutta kaupungin päästökerroin on myös valituista kaupungeista suurin. Tämän takia Helsingin tulevaisuuden tuotantojakaumaa onkin hyvä tarkastella tulevaisuuden valossa. Paikallisvoima ry:n tuottamaan kaukolämpölaskuriin on sijoitettu myös tulevien vuosien osalta tuotantojakauman kehitys aina vuoteen 2030 saakka. Tarkasteltaessa tuotantojakauman kehitystä on huomionarvoista, että fossiilisia ja paljon hiilipäästöjä aiheuttavista

energianlähteistä kuten kivihiili ja maakaasu tullaan vähentämään asteittain ja vuonna 2030 jo merkittävä osuus lämmöntuotannosta tapahtuu lämpöpumpputeknologialla. Kuvasta 25 voimmekin tarkastella Helsingin energian osalta tuotantojakauman mahdollista kehitystä vuosien 2023–2030 välisenä aikana, josta on selkeästi havaittavissa fossiilisten polttoaineiden väheneminen ja lämmityksen tuotannon sähköistämisen.



Kuva 25. Helsingin Energia Oy:n kaukolämmön tuotantojakauma 2016–2030. (Paikallisvoima ry, 2023)

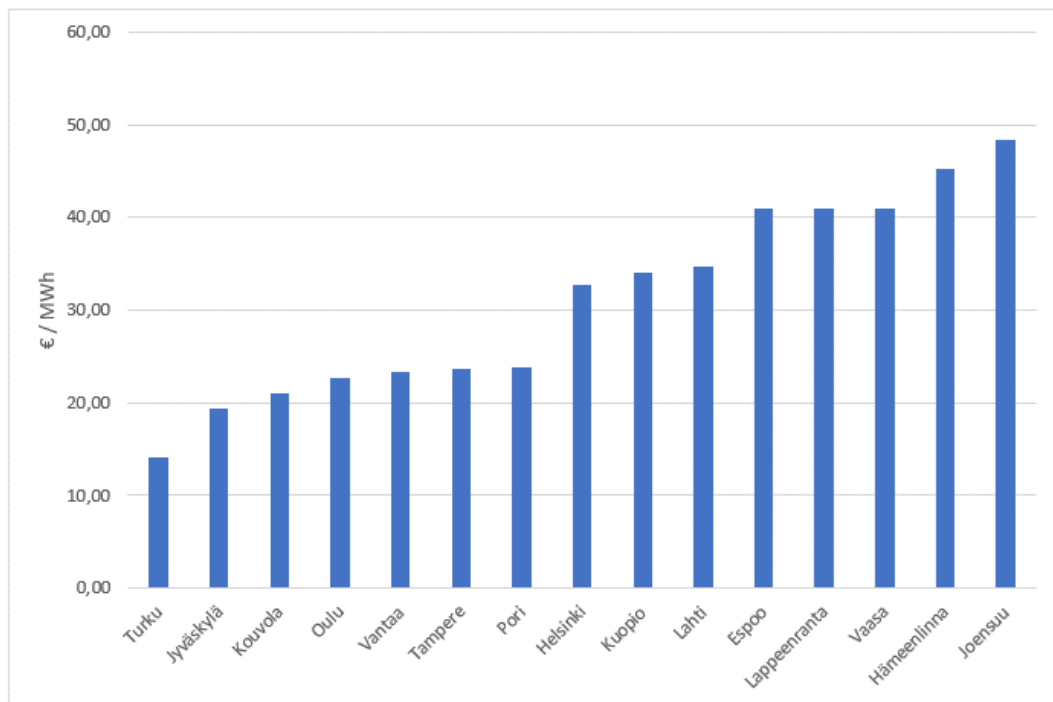
Kuten Moradpoor et al. (2022) tulevat tulokseen tarkastellessaan skenaarioissaan biomassalaitosten hiilidioksidipäästöjä verrattuna lämpöpumpputeknologiaan ja sähkökattilaan, voidaan tulosten perusteella nähdä lämpöpumppujärjestelmien ja sähkökattiloiden käytön vähentävän merkittävästi hiilidioksidipäästöjä. Nykytiedon valossa olisikin järkevämpää harkita lämpöpumppuinvestointeihin painottamista ja toisaalta vähentää biomassan käyttöä ja hakkuita, jolloin myös positiivisia hiilinieluja pääsee syntymään, jotka ovat kuitenkin merkittävässä roolissa hiilineutraaliustavoitteiden kanssa.

7.6 Sähkön siirron hinta alueellisesti

Kuten kaukolämpöenergian osalta myös sähkönsiirtohinnat vaihtelevat voimakkaasti alueittain. Sähkönsiirrolle löytyy useita eri tuotteita, johtuen erilaisista tehosiirtovaatimuksista. Sähkönsiirron osalta tarkasteluun otettiin niin kutsuttu yleissähkönsiirto.

Sähkön siirtohinnoissa on merkittäviä eroja alueellisesti, mutta myös perusmaksujen osalta erot ovat myös merkittäviä. Valittujen kaupunkien osalta halvin siirtohintana on Turussa, jossa siirtohintana on 14,10 €/MWh, kun taas kallein siirto on Joensuussa ollen 48,41 €/MWh. Osaltaan hintaeroa selitetään maaseutujen pitkien etäisyyksien takia, jolloin maksajia per johtokilometri on huomattavasti vähemmän kuin kaupungeissa. Toisaalta monissa kaupungeissa sähköjohdot on ehditty suojata maan alle, jolloin investoinnit ylläpitoon ovat suhteessa pienemmät.

Kuvasta 26 voimmekin tarkastella valittujen kaupunkien osalta yleissähkönsiirron hintoja €/MWh tasolla. Halvimman ja kalleimman siirron eroksi muodostuu 34,31 €/MWh ja kallein hinta on halvinta hintaa prosentuaalisesti 243 % kalliimpi.



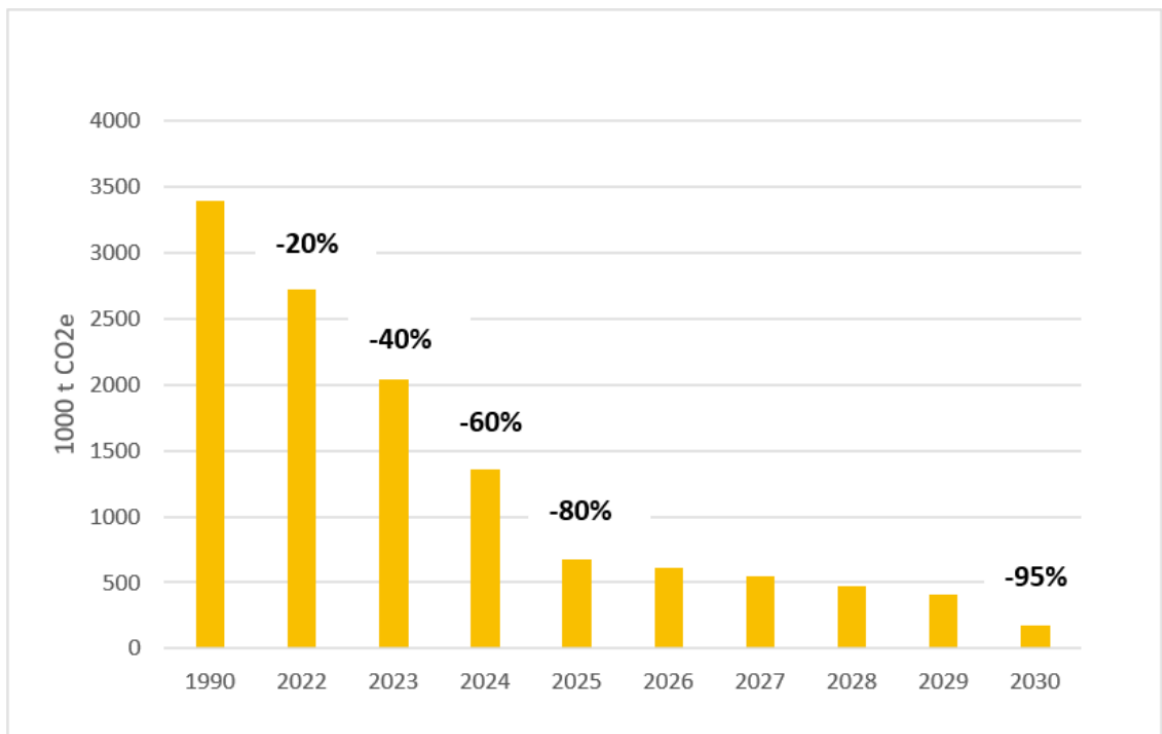
Kuva 26. Sähkön siirtohinnot alueellisesti vuonna 2023.

7.7 Investoinnit puhtaampaan energiantuotantoon nyt ja tulevaisuudessa

Tarkkaa tietoa energiayhtiöiden investointiohjelmista ei ole saatavilla, mutta monet yhtiöt kertovat tiedotteissaan investoinneistaan hiilivapaampaan energiantuotantoon. Investointien yhteismäärä tulee olemaan merkittävä seuraavien vuosien aikana, jotta suunniteltuihin hiilipäästöjen vähennyksiin päästäisiin. Luonnollisesti investointeihin kohdistuvat kulut tullaan kattamaan energiayhtiöiden asiakkailta, jolloin voidaan pohtia esimerkiksi kaukolämmön hintakehitystä tulevien vuosien osalta.

Helen on kertonut, että vuoteen 2025 mennessä sähköntuotantokapasiteetti yhteistuotantolaitoksista tulee vähenemään lähes 400 MW sekä yhteistuotantolaitosten lämmöntuotantokapasiteettia noin 890 MW. Vuosien 2021–2025 välisenä aikana Helen tulee rakentamaan korvaavaa kapasiteettia yhteensä noin 2000 MW, josta polttamattoman tuotannon osuus tulee olemaan noin 80 %. (Helen, 2022b)

Kuten voimme kuvasta 27 tarkastella, Helenin päästövähennystavoitteet kokonaispäästöjen osalta ovat merkittäviä vertailuvuoteen 1990 suhteutettuna.



Kuva 27. Helen kokonaispäästövähennystavoite vuoteen 2030 mennessä. (Helen, 2022a)

Helen on myös ilmoittanut investoineensa vuosien 2021–2022 välisenä aikana yli 200 miljoonaa euroa lämmöntuotannon kehittämiseen ja seuraavien vuosien aikana Helen on sitoutunut investoimaan yli 650 miljoonaa euroa sähköntuotannon kehittämiseen. Jos uutta tehoakapasiteettia rakennetaan yhteensä noin 2000 MW vuosien 2021–2025 välisenä aikana ja investoinnit tulevat olemaan kyseisellä aikajaksolla noin 850 miljoonaa euroa, voidaan ajatella investointien olevan noin 0,425 miljoonaa euroa jokaista MW:a kohden. (Helen, 2022a)

7.8 Kaukolämmön ja sähkönsiirron suhde alueellisesti osana investointipotentiaalia

Yksi tapa tarkastella energiainvestointipotentiaalia on vertailla alueellisesti kaukolämmön kokonaishintoja sähkönsiirron hintaa vasten. Lease Green Oy käsitteli aihetta ja sen lähestymistapaa kiinteistösijoittamisen seminaarissa vuonna 2022. Esiin nousi muun muassa ajatus siitä, kuinka merkittävä tekijä kaukolämmön kokonaishinnan ja sähkönsiirron suhde kaupunkikohtaisesti on selvitettäessä mahdollisia suuren potentiaalin omaavia alueita lämpöpumpputekniikalla toteutettaville energiainvestoinneille. (Lease Green Oy, 2022) Sähköenergian myynti on avoinna kilpailulle, mutta sähköverkkojen siirtohinnot ovat säänneltyjä ja siirtohintojen välillä löytyy merkittäviä aluekohtaisia eroja kuten kaukolämmön kokonaishintojenkin osalta.

Lämpöpumppuhankkeissa lähtökohtaisesti on tarkoitus korvata ja sähköistää olemassa olevaa lämmitysenergiamuotoa, olkoon se esimerkiksi kaukolämpö, öljy tai kaasu. Toisaalta ostosähkön yksikköhinta €/MWh on lähes poikkeuksetta kaukolämpöenergiaa korkeampi, mutta lämpöpumpun hyötysuhteen ansiosta ostotoenergian määrä hyötysuhteen osalle, esimerkiksi COP-4 (Coefficient Of Performance) hyötysuhteella toimiva järjestelmä pudottaa ostotoenergian määrän neljäsosaan. (Lease Green Oy, 2022)

Tarkasteltaessa taulukosta 4 tilastokeskuksen muodostaman 600 MWh/a kaukolämmönkulutuksen omaavan tyyppirakennuksen kautta valittujen kaupunkien hintasuhdetta, voidaan huomata, että välttämättä korkea kaukolämmön hinta ei tarkoita suurta energiainvestointipotentiaalia vaan mahdollinen korkea sähkön siirtohintaa laskee investointipotentiaalin arvoa.

Hintasuhde-tarkastelu onkin yksi tärkeä menetelmä muiden joukossa löytämään kannattavia investointikohteita. Kaukolämmön ja sähkönsiirron hintasuhde-menetelmä antaa vahvan signaalin eri alueiden ja kaupunkien osalta, onko energiainvestoinnin lähtökohtainen

kannattavuus lämpö- ja sähköenergiasuhteen osalta järkevä. Toki investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa moni muukin seikka, kuten kiinteistön ja rakennuksen luonne, urakan alueellinen kustannustaso ja investoinnin tekninen elinkaari.

Taulukko 4. Kaukolämmön kokonaishinnan ja sähkön yleissiirron hintasuhde valituissa kaupungeissa vuonna 2022.

| Kaupunki | Energiamaksun kaushinnoittelu | 80 asuntoa 230kW 600MWh | | | | Sähkön siirtomaksu €/MWh (Alv.24%) | Hintasuhde: kaukolämpö / sähkönsiirto |
|--------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------------------|--|
| | | Energiamaksu €/MWh | Tehomaksu €/MWh | Kokonaishinta (energia+tehomaksu) | | | |
| | | | | €/MWh | €/kk/asunto | | |
| Turku | x | 95,54 | 13,76 | 109,30 | 68 | 17,48 | 6,3 |
| Jyväskylä | | 93,55 | 16,68 | 110,23 | 69 | 23,93 | 4,6 |
| Kouvola | | 87,10 | 16,09 | 103,19 | 64 | 26,03 | 4,0 |
| Tampere | x | 73,67 | 13,22 | 86,89 | 54 | 29,26 | 3,0 |
| Helsinki | x | 100,55 | 16,91 | 117,46 | 73 | 40,67 | 2,9 |
| Vantaa | x | 38,60 | 44,07 | 82,67 | 52 | 29,02 | 2,8 |
| Pori | | 50,47 | 31,65 | 82,12 | 51 | 29,51 | 2,8 |
| Oulu | | 66,61 | 8,35 | 74,96 | 47 | 28,15 | 2,7 |
| Lahti | x | 75,29 | 17,71 | 93,00 | 58 | 43,03 | 2,2 |
| Hämeenlinna | | 93,02 | 20,42 | 113,44 | 71 | 56,17 | 2,0 |
| Kuopio | x | 65,07 | 17,36 | 82,43 | 52 | 42,28 | 1,9 |
| Espoo | x | 68,74 | 27,69 | 96,43 | 60 | 50,72 | 1,9 |
| Lappeenranta | | 82,00 | 11,58 | 93,58 | 58 | 50,72 | 1,8 |
| Joensuu | x | 73,49 | 21,87 | 95,36 | 60 | 60,03 | 1,6 |
| Vaasa | | 57,24 | 8,09 | 65,33 | 41 | 50,72 | 1,3 |

Hinnat sisältävät kaikki kaukolämpömaksuihin sisältyvät verot.

Kuten voimme taulukosta 4 havaita, parhaimman hintasuhteen omaava Turku näyttäytyy investointipotentiaaliltaan parhaalta, mutta vaikka toisaalta Vaasassa on kohtuullisen korkea sähkön siirtohinta, verrattuna muihin valittuihin kaupunkeihin, on sen investointipotentiaali hintasuhde-menetelmällä tarkasteltuna alhainen.

7.9 Lämpöpumppuvertailu-menetelmä lämpöpumppuhankkeiden esivalintojen vertailemiseksi

Granlund Oy on kehittänyt potentiaalisten lämpöpumppuhankkeiden esiselvitykseen soveltuvan prosessin ja työkalun, jonka perusteella kiinteistölle on mahdollista arvioida erilaisten lämpöpumppuhankkeiden kannattavuutta tietyin oletuksin. Työkalun tarkoitus on tuottaa määriteltujen lähtötietojen ja olettamuksien perusteella tietoa lämpöpumppuhankkeen mahdollisuudesta ja kustannustehokkuudesta, jonka perusteella voidaan suodattaa suurestakin kiinteistömassasta kannattavimmat hankkeet tarkempaan hankesuunnitteluun.

Esivalintatyökalun tuottamat tulokset eivät sellaisenaan sovellu investointipäätöksen tueksi vaan valituiden kohteiden osalta on suoritettava tarkempi hankesuunnitteluanalyysi, jonka perusteella voidaan ottaa paremmin huomioon kohteen erityispiirteet ja mahdolliset rajoitukset.

7.9.1 Lähtötietojen määrittäminen ja tausta

Tutkimustyön kirjoitushetkellä taloteknisten toimenpiteiden esivalintaohjelmiston kehitys on edennyt tilanteeseen, jossa esivalintaohjelmistolla on mahdollista vertailla maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun kannattavuuksia määritetyllä energiapeitolla täydellä teholla tai osateholla. Osa laskennan arvoista on yleistetty tai määritetty vakioksi, esimerkiksi kaukolämmön perusmaksutaso, lämpöpumppujärjestelmien investointitaso ja sähkön osalta esivalintaohjelmisto käyttää kokonaishintaa. Tulosten vertailu tapahtuu säästetyn kaukolämpöenergian ja kulutetun sähköenergian kautta. Esivalintaohjelman kehitystyö tulee keskittymään seuraavassa vaiheessa alueellisten perusmaksujen saamiseksi osaksi ohjelmistoa, sekä sähkön siirtohintojen huomioimisen osana laskentaa.

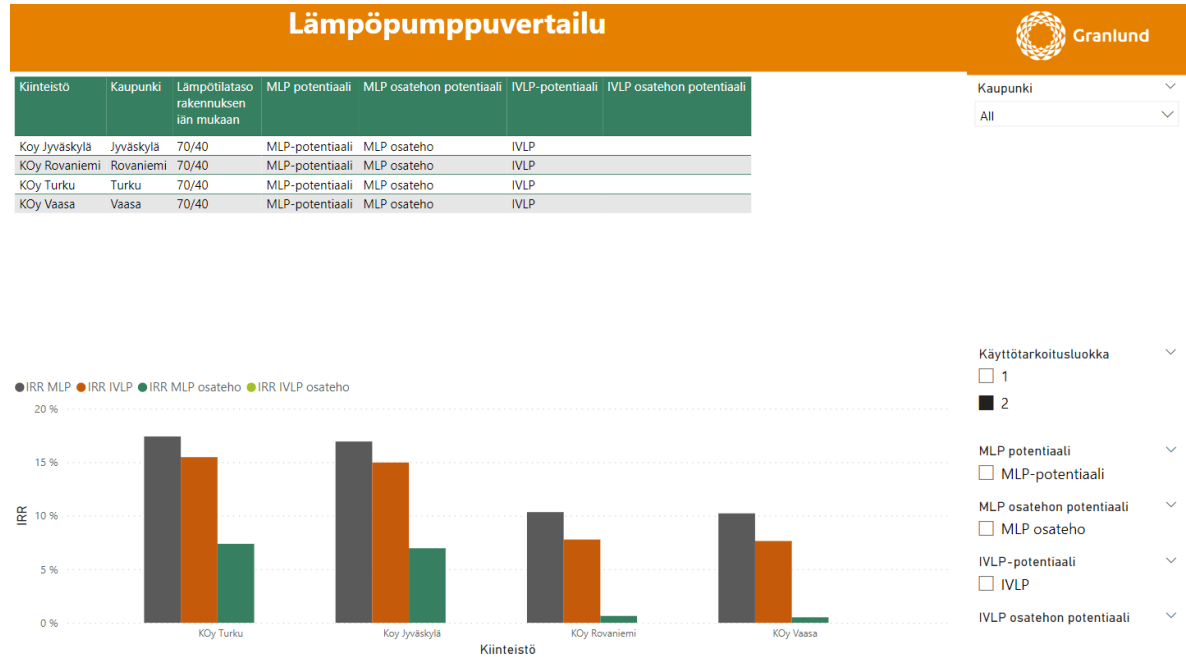
Kiinteistön lähtötiedot kerätään yhteen lähtötietolomakkeelle, johon on ohjelmoitu lämpöpumppujen osalta määritellyillä arvoilla laskenta. Laskenta ottaa huomioon eri mitoitusväyhykkeet ja alueelliset kaukolämmön energiahinnat. Saadut osatulokset visualisoidaan PowerBI-ohjelmistolla muotoon, jolla suuriakin kiinteistömassoja on mahdollista suodattaa käyttötarkoitukseluokan tai eri potentiaalien mukaan.

Tarkasteltavaksi tyyppirakennukseksi valikoitui 2000MWh kaukolämpöä kuluttava rakennus. Tyyppirakennus sijoitettiin neljälle eri mitoituslämpötilan väyhykkeelle valittuihin kaukunkeihin. Tyyppirakennuksen kaukolämmönkulutus, kaukolämpöteho, sähkönkulutus ja sähkön huipputeho on jokaisessa eri kaupungissa sijaitsevan tyyppirakennuksen osalta sama.

7.9.2 Alueellisen lämpöpumppuinvestointivertailun tulokset

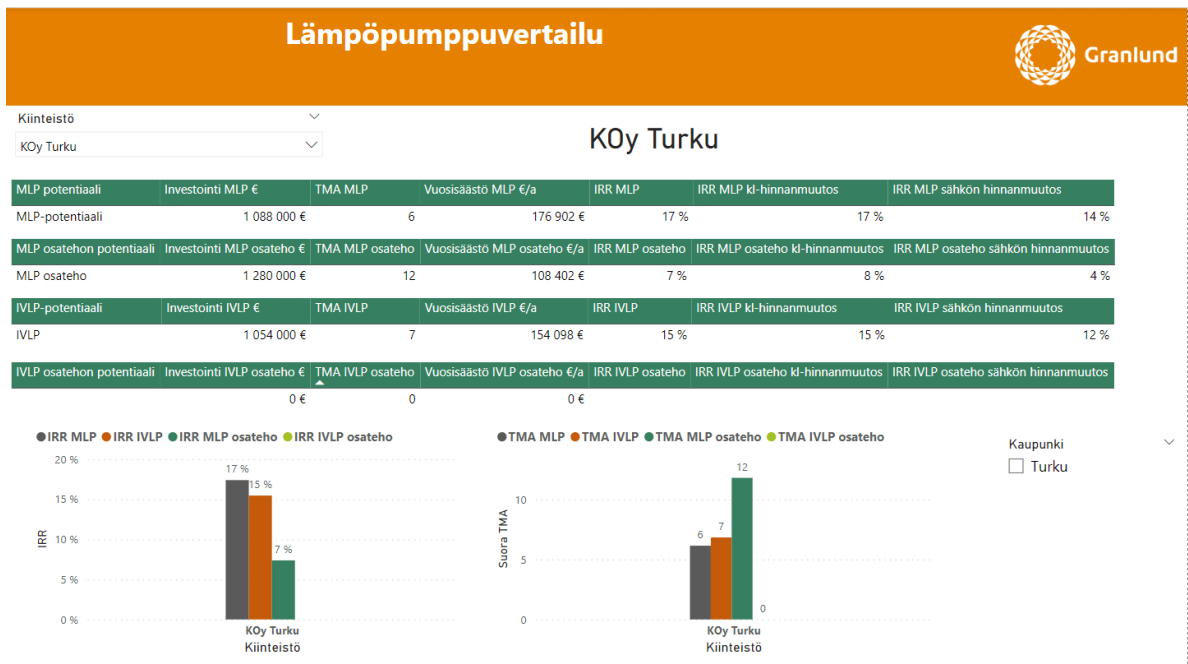
Esivalintaohjelmiston suorittaman laskennan perusteella saatuja tuloksia voidaan vertailla ja visualisoida koko kiinteistömassan osalta tai tarkemmin yhden kohteen osalta. Kiinteistömassa osalta tulokset visualisoidaan sisäisen korkokannan mukaisesti, jolloin suurenkin

kiinteistömäärän järjestäminen voidaan esittää mahdollisimman selkeällä tavalla. Esivalintaohjelmistolla saatuja tuloksia voidaan tarkastella visualisoituna kuvasta 28.



Kuva 28. Esivalintaohjelmiston kiinteistömäärän lämpöpumppuverailu käyttöluokkaperusteisesti.

Lisäksi kohdekohtaisessa tarkastelussa on mahdollisuus tarkastella suuren energiapitoisuuden ja osatehoisen järjestelmän takaisinmaksuaikojen. Kohdekohtaisessa visualisoinnissa on mahdollisuus tarkastella kohteen osalta muun muassa investoinnin määrää, takaisinmaksuaikaa, vuosikohtaisia säästöjä ja sisäistä korkokantaa. Kuvasta 29 voimme tarkastella esivalintaohjelmistolla saatuja tuloksia kohdekohtaisesta visualisoinnista Turun kaupungin osalta.



Kuva 29. Esivalintaohjelmiston lämpöpumppuvertilu kohdekohtaisesti.

Pelkästään kaukolämmön energiamaksuperusteen mukaan tarkasteltuna, alueellinen tarkastelu antaa merkittäviä eroja investointien kannattavuuksissa. Tarkasteltaessa tyyppirakennuksia 85 % energiapeitolla sisäisen korkokannan (IRR) mukaisesti, voidaan huomata merkittäviä sisäisen korkokannan eroja. Turun ja Jyväskylän korkeampi kaukolämpöenergi hinta vaikuttaa sekä maalämpöpumpun, että ilma-vesilämpöpumpun osalta noin 7 % sisäisen korkokannan mukaiseen tarkasteluun verrattuna matalamman kaukolämpöenergi hinnan Rovaniemeen ja Vaasaan. Osatehoisen maalämmön sisäinen korkokanta laskee Turun ja Jyväskylän osalta tasolle 7 % ja Rovaniemen ja Vaasan osalta tasolle 1 %. Ilma-vesilämpöpumpun osateho on todettu kannattamattomaksi ja siksi tuloksia ei esitellä tuloksissa. Näin kannattamattomat investoinnit voidaan rajata tarkastelun ulkopuolelle ja eivät esiinny positiivisten potentiaalien joukossa. Investointikustannuksien osalta tarkastelu ei ota huomioon kaupunkikohtaisia rakentamisen kustannuseroja, vaan investointikustannus perustuu määriteltyyn €/MWh-perusteiseen arvioon.

Tarkasteltaessa kaukolämmönkulutuksen vähenemän mukaista hiilidioksidipäästövähene mää alueellisesti, voidaan päästöjen osalta huomata alueellisia eroja. Päästökaupan mukai sen keskiarvohinnan kautta tarkasteltuna Rovaniemellä päästään pienimpään päästökauppa arvoon ja toisaalta Vaasassa suurimpaan 20-vuoden tarkastelujaksoa käytettäessä.

Päästökauppahinnan mukaisella arvonmuodostuksella voidaan tarkastella päästöjen arvoa suhteessa energiayhtiöiden maksamiin päästökauppahintoihin. Tutkimuksessa päästökauppahinnan arvonmuodostusta tarkastellaan 20-vuoden aikajaksolla, kuten investointien kannattavuuksia. Kuten taulukosta 5 voimme tarkastella, vaikutus päästökaupanmukaiseen arvoon 20-vuoden tarkastelujaksolla, päästökerroin aiheuttaa valittujen kaupunkien osalta noin 7300 € hajonnan.

Taulukko 5. Tyyppirakennuksen kokonaispäästöt alueellisesti ja päästökauppahinnan mukainen arvo.

| Kaupunki | Päästökauppahinta ka 2022 €/tCO ₂ | Säästetty kaukolämpöenergia MWh/a | Kaukolämmön päästökerroin kgCO ₂ /MWh | Päästöt yhteensä tCO ₂ /MWh/a | Päästökauppahinnan mukainen arvo € / 20-vuotta |
|-----------|---|--------------------------------------|---|---|---|
| Turku | 80,10 € | 1700 | 98,50 | 167,45 | 13 412,75 € |
| Vaasa | 80,10 € | 1700 | 123,6 | 210,12 | 16 830,61 € |
| Jyväskylä | 80,10 € | 1700 | 113 | 192,10 | 15 387,21 € |
| Rovaniemi | 80,10 € | 1700 | 70 | 119,00 | 9 531,90 € |

8 Johtopäätökset

Tutkimuksen aihe syntyi tarpeesta saada tietoa energiatehokkuushankkeiden kannattavuudesta alueelliset ominaispiirteet huomioiden. Lisäksi haluttiin kehittää hankesuunnitteluvaihetta tehostavaa prosessia niin, että määritetyillä lähtötiedoilla voitaisiin rajata kannattamattomat hankkeet hankesuunnitteluvaiheesta pois, jotta hankesuunnittelun resurssit voidaan ohjata kustannustehokkaisiin hankkeisiin. Prosessin tarkoituksena on myös lisätä esisuunnitteluvaiheen kustannustehokkuutta.

Energiatehokkuushankkeiden hankesuunnitteluvaihe on tarkasteltavan kiinteistön syvempi analyysi, jonka perusteella on mahdollista tehdä investointipäätös. Osana hankesuunnittelu-prosessia on todettu, että monessa tapauksessa resursseja kuluu sellaisten energiatehokkuustoimenpiteiden tarkasteluun, jotka myöhemmässä vaiheessa osoittautuvat kannattamattomiksi, niin investointikustannuksiltaan kuin päästövähennemältään. Lisäksi alueellisen sijainnin, energianhintojen ja sähkön siirtohintojen on nähty vaikuttavan hankkeiden potentiaaliin. Esivalintaprosessin kehittäminen osana hankesuunnitteluprosessia nähtiin olevan tärkeä osa niin kustannustehokkuuden kuin muun liiketoiminnan kannalta.

Tutkimuksessa kerättyä tietoa ja esivalintaprosessin kehittämisen tuottamia tuloksia voidaan ottaa osaksi hankesuunnitteluprosessin esivalintavaihetta jatkokehitysvaiheiden ja laadunvarmistuksen jälkeen. Granlund Oy:ssä kehitettyä esivalintaohjelmistoa voidaan laajentaa ja skaalata palvelemaan yhä laajempia määriä toimenpidekokonaisuuksia, joiden potentiaali saadaan selville hankesuunnittelun esivalintavaiheen mukaiselle tarkkuustasolle. Esivalintaprosessi tulee helpottamaan myös suurempien kiinteistömassojen energiatehokkuustoimenpiteiden valintaa alueelliset erityispiirteet huomioiden.

Tämän diplomityön tavoite oli luoda käsitys ostoenergian ja hiilidioksidipäästöjen alueellisista vaikutuksista energiatehokkuustoimenpiteiden kannattavuuksista, pääpainona lämpöpumppuhankkeet. Tuloksena löydettiin yhteys potentiaalisten energiatehokkuustoimenpiteiden investointikustannusten ja alueellisten erityispiirteiden välille ja luotiin hankesuunnittelun esisuunnitteluvaihetta helpottava prosessi. Esivalintaprosessin kehittäminen jatkuu diplomityön valmistumisen jälkeen ja esivalintaprosessia sekä ohjelmistoa tullaan vertaisarvioimaan asiantuntijoiden toimesta ennen esivalintaohjelmiston kaupallista käyttöönottoa.

Prosessia tullaan myös pilotoimaan ennen varsinaista käyttöönottoa ja osana pilotointia testiryhmältä kerätään käyttökokemukseen liittyvä palaute, jonka perusteella suoritetaan tarvittavat kehitysvaiheet. Tutkimus saavutti sille asetetut tavoitteet ja tuloksena syntyi jatkokehityshanke esivalintaprosessin täydentämiseksi.

8.1 Jatkotutkimustarpeet

Tutkimusta kirjoitettaessa ja tiedon etsinnän ohessa on vastaan tullut erilaisia artikkeleja liittyen energiayhtiöiden tulevaisuuksien investointeihin. Lisätutkimus voisi kohdistua erilaisiin puhtaamman energian investointiskenaarioihin, joiden kustannusten vaikutusta energiahintaan tarkasteltaisiin kahdenkymmenen vuoden aikavälillä. Energiayhtiöiden on investoitava merkittävästi hiilineutraalimpaan tuotantoon, jotta asetetut hiilineutraaliustavoitteet tullaan saavuttamaan. Se tulee osaltaan alentamaan energiayhtiöiden tulosta, mutta toisaalta tulee varmasti vaikuttamaan asiakkaiden kaukolämmön ostoenergi hintaan. On myös energiayhtiöitä, joissa energiantuotanto on jo tällä hetkellä suhteellisen vähäpäästöistä ja joissa investointeja ei tarvitse tehdä niin merkittäviä määriä tulevaisuudessa. Tutkimuksessa tarkasteltaisiin vuosikohtaisesti kahdenkymmenen jakson aikana erilaisia hiilidioksidipäästökkenaarioita alueellisesti, jolloin saataisiin parempi ymmärrys siitä, kuinka korvaavat energiantuotantomuodot vertautuvat siinä tilanteessa esimerkiksi kaukolämpöenergiaan ja ostoenergian hinnan muutokset vaikuttavat investointikustannuksiin.

Esivalintaohjelmiston osalta jatkokehityksessä tullaan ottamaan kaukolämmön perusmaksun osuuden alueellinen laskenta mukaan perustietolomakkeelle. Lisäksi alueellinen päästötieto tullaan lisäämään esivalintatyökaluun, jotta päästövähennemän analysointi investointikustannuksen ohella toteutuu, eikä alueellista päästövähennemää tarvitse laskea erikseen. Lisäksi ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lisäämisen tai parantamisen ottava osatekijä on syytä tarkastella ja määritellä osana esivalintaohjelmiston kehitystyötä.

8.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksessa esitellyt luvut ovat suurelta osin tilastollista tietoa, joka on joko tilastokeskuksen keräämää ja tilastoimaa tietoa tai kaukolämpöyhtiöiden ilmoittamaa tietoa, joka on julkista ja perustuu todellisiin lukuihin. Saatuja lukuja on koottu, stilisoitu ja visualisoitu

todentamaan olemassa olevaa tietoa ymmärrettävämmässä muodossa. Lukuja ei ole millään tavalla muutettu ja laskennat perustuvat ohjeissa ja määräyksissä esiteltyihin kaavoihin.

Investointikustannusten osalta tutkimuksessa on yleistetty maalämmön, ilma-vesilämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun investointikustannus tietylle €/MWh tasolle. Hinnat perustuvat toteutuneiden hankkeiden ja saatujen tarjousten mukaiseen keskiarvoiseen hintaan. Investointikustannuksen tasot perustuvat tutkimuksen tekijän subjektiiviseen näkemykseen, jotka kuitenkin perustuvat olemassa oleviin lukuihin.

Laskentatulosten saamiseksi on käytetty Granlund Oy:n kehittämää esivalintaohjelmistoa, jossa on jouduttu joitain osatekijöitä yleistämään ja määrittelemään valmiiksi tietylle tasolle. Määritellyt arvot perustuvat kokemusperäiseen tietoon keskimääräisistä arvoista. Muuten laskennassa käytetään olemassa olevia energialaskennan periaatteita ja kaavoja, muun muassa suoran takaisinmaksuajan ja sisäisen korkokannan osalta.

9 Yhteenveto

Suomessa rakennukset kuluttavat merkittävän osan energian loppukäytöstä ja ylipäätänsä rakentamisella on tärkeä rooli osana energiankäytön ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Suomen kokonaisenergiankulutus on säilynyt kohtalaisen samalla tasolla viimeiset vuodet, pois lukien koronavuoden aiheuttaman aleneman. Fossiilisten energianlähteiden osuus on lähtenyt selvästi laskuun ja toisaalta uusiutuvien energialähteiden osuus on kasvanut. Suomen hiilidioksidipäästöt ovat laskeneet lähes poikkeuksetta aina vuodesta 2003 saakka, osaltaan hiilidioksidipäästöjen laskuun on vaikuttanut energiantuotannon siirtyminen yhä päästöttömämpiin tapoihin tuottaa energiaa. Kaukolämmön ja sähköntuotanto ovat pysyneet viimeiset vuodet lähes muuttumattomalla tasolla, mutta esimerkiksi kaukolämmön hinta ja alueellisten hintojen hajonta on kasvanut viimeisen kymmenen vuoden aikana, jonka lisäksi alueellisten sähkönsiirtojen hintojen nousua on tapahtunut. Tämä on lisännyt tarvetta tarkastella erilaisia taloteknisiä toimenpiteitä alueellisesta näkökulmasta, koska on huomattu kaupunkikohtaisia eroja investointien kustannustehokkuudelle ja hiilidioksidipäästövähentämälle. Lisäksi liiketoiminnan näkökulmasta on huomattu tarve saada esiselvitettyä kustannustehokkaasti energiatehokkuustoimenpiteitä, ennen toimenpiteiden siirtymistä tarkempaan hankesuunnitteluvaiheeseen.

Tutkimuksen kirjallisuusosiossa syvennyttiin tarkastelemaan Suomen energiantuotantoa, sen päästöjä, hintojen muodostumista ja tulevaisuutta, jonka perusteella saatiin luotua kuva siitä, miten energiatuotanto on kehittynyt viimeisien vuosien aikana nykyiseen tilaan ja minkälaisia kehityssuuntia tulevaisuudessa on odotettavissa. Tämän jälkeen luotiin käsitys siitä, kuinka Euroopan unioni ohjaa jäsenvaltioitaan kohti yhteisiä tavoitteita vähentää energiankulutusta ja toisaalta kasvihuonepäästöjä. Seuraavaksi siirryttiin tarkastelemaan Suomen energiatehokkuutta ja erilaisia ohjaavia mekanismeja edistää kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisia toimia, jolla Suomen olisi mahdollisuus päästä ilmastotavoitteisiinsa. Lopuksi pohdittiin erilaisten vaikuttavimpien taloteknisten toimenpiteiden vaikutusta positiivisesti rakennuksen energiankulutuksen vähentämiseen, mutta toisaalta omavaraisuuteen.

Tutkimuksessa syvennyttiin tarkastelemaan neljällä eri mitoitussäävyöhykkeellä, neljän eri tyyppirakennuksen energiankulutuksen ja tehontarpeiden kehittymistä geologisen sijainnin mukaan. Lisäksi koottiin tilastollista tietoa valittujen kaupunkien energiantuotannon

hiilidioksidipäästöistä, hinnoista ja pohdittiin tulevaisuudessa tehtävien investointien vaikutusta niin hiilidioksidipäästöihin kuin ostoenergiakustannuksiin.

Tavoitteena oli tarkastella taloteknisten toimenpiteiden esivalintaprosessia alueellisen tarkastelun kautta, jolloin alueellinen energiahintojen ja hiilidioksidipäästöjen ominaispiirteiden vaikutus voitaisiin huomioida potentiaalisia investointihankkeita valittaessa. Tutkimuksen tuloksena alueellisten energiahintojen välillä huomattiin merkittävä hajonta, niin kaukolämpöenergian kuin sähkönsiirtohintojen osalta. Lisäksi kaukolämmön alueelliset hiilidioksidipäästöt suhteessa tuotettuun energiamäärään todettiin vaihtelevan energiantoimittajan mukaan. Diplomityön aikana tilaajayrityksessä kehitettiin lämpöpumppujen esivalintaprosessia ja ohjelmistoa, jonka avulla pystyttiin todentamaan tutkimustyössä esiin tulleet havainnot suuresta energiahintojen ja hiilidioksidipäästöjen hajonnasta ja niiden vaikutuksesta investointihankkeisiin. Esivalintaprosessin todettiin tuottavan tietoa potentiaalisista lämpöpumppuhankkeista kustannustehokkaasti jopa suurelle kiinteistöportfoliolle. Esivalintaprosessin kehittäminen tulee jatkumaan diplomityön valmistumisen jälkeen ja prosessia tullaan laajentamaan muun muassa ilmanvaihdon lämmöntalteenottopotentiaalin selvittämiseen. Taloteknisten toimenpiteiden esivalintaprosessin on ennen kaikkea tuottaa kustannustehokkuutta ennen syvällisempää hankesuunnitteluvaihetta, jolloin prosessi tuottaa lisäarvoa niin tilaajayritykselle kuin yrityksen asiakkaille.

Lähteet

Alola, A.A. & Onifade, S.T. Energy innovations and pathway to carbon neutrality in Finland. Sustainable Energy Technologies and Assessments. Volume 52, Part D. 2022. 102272. ISSN 2213-1388.

AFRY Management Consulting. 2020. Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä. [verkkoaineisto]. [viitattu 27.6.2023]. Saatavilla osoitteessa: https://tem.fi/documents/1410877/176066306/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf?t=1693995295812

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. 2023. Energia-avustukset. [verkkoaineisto]. [viitattu 20.6.2023]. Saatavissa: https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus

Business Finland. 2023. Energiatuki. [verkkoaineisto]. [viitattu 20.6.2023]. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2023. [verkkoaineisto]. [viitattu 20.6.2023]. <https://www.ely-keskus.fi/oljylammituksen-vaihtajalle>

Ember. Carbon Price Tracker. [verkkoaineisto]. Hiilidioksidin päästökauppa hintatieto. [viitattu 3.6.2023]. Saatavissa: <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>

Energiamailma. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.6.2023]. Saatavissa: <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/>

Energiateollisuus. 2014. Suositus K15/2014, teho -ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. [verkkojulkaisu]. [viitattu 27.5.2023]. Saatavissa: https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf

Energiavirasto. 2023. [verkkoaineisto]. [päivitetty 15.6.2023]. [viitattu 26.05.2023]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-pientuotanto-kasvoi-voimakkaasti-vuonna-2022>

Energiavuosi 2022 kaukolämpö. [verkkoaineisto]. [päivitetty 26.1.2023]. [viitattu 22.05.2023]. Saatavissa: https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2022.pdf

Energiavuosi 2022 sähkö. [verkkoaineisto]. [päivitetty 12.1.2023]. [viitattu 22.05.2023]. Saatavissa: https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2022.pdf

Euroopan komissio. 2018. Energy efficiency targets. [verkkoaineisto]. [viitattu 10.6.2023]. Saatavissa: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-targets_fi.

Fortum. 2023. Avoin kaukolämpö. [verkkoaineisto]. [viitattu 22.06.2023]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo>

Geologian tutkimuskeskus. 2023. GTK Maankamara karttapalvelu. [verkkoaineisto]. [viitattu 09.10.2023]. Saatavissa: <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

Helen. 2022a. Hiilineutraali energiayhtiö 2030. [verkkoaineisto]. [päivitetty 09.12.2022]. [viitattu 22.09.2023]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2022/hiilineutraali-energia-yhtio-2030-80-paastovahenema-mahdollinen-jo-vuonna-2025>

Helen. 2022b. Päätöksiä lähivuosien investoinneista. [verkkoaineisto]. [päivitetty 02.12.2022]. [viitattu 22.09.2023]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2022/paatoksi%C3%A4-lahivuosien-investoinneista-helen-rakentaa-yli-2-000-mw-fossiilisen-energiantuotannon-korvaavaa-kapasiteettia>

Helen. 2018. Jättimäinen luolalämpövarasto toteutetaan Helsingin Mustikkamaalle. [verkkoaineisto]. [päivitetty 20.3.2023]. [viitattu 22.06.2023]. Saatavissa: https://www.helen.fi/uutiset/2018/mustikkamaa_toteutus

Hyvönen, J. Koivunen, T. Syri, S. Possible bottlenecks in clean energy transitions: Overview and modelled effects – Case Finland. *Journal of Cleaner Production*. Volume 410. 2023. 137317. ISSN 0959-6526

Kaukolämpö 2021 graafeina. [verkkoaineisto]. [päivitetty 16.6.2023]. [viitattu 25.5.2023]. Saatavissa: <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>

Korri, J. 2021. Kaukolämmön uudet hinnoittelumallit. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Energiatekniikan laitos. Lappeenranta. 120 s. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202103016163>

Lease Green Oy. 2022. Kiinteistösijoittaminen-seminaari. Powerpoint-diat (ei saatavana julkisesti). Lease Green Oy. [viitattu 04.10.2023]

M. Mattinen, J. Heljo ja M. Savolahti. 2016. Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015–2050. Suomen ympäristökeskuksenraportteja 35/2016. [viitattu 08.11.2023]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/9462a677-53a0-4726-8da2-2095957287ea>

Moradpoor, I. Syri, S. Hirvonen, J. Sustainable heating alternatives for 1960's and 1970's renovated apartment buildings. Cleaner Environmental Systems. Volume 6. 2022. 100087. ISSN 2666-7894.

Motiva a. [verkkoaineisto]. Energian kokonaiskulutus. [päivitetty 26.04.2023]. [viitattu 16.5.2023]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus

Motiva b. [verkkoaineisto]. Energiatuet. [päivitetty 5.8.2022]. [viitattu 16.6.2023]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/energiatuet>

Motiva c. [verkkoaineisto]. Energiatehokkuusdirektiivi. [päivitetty 17.6.2022]. [viitattu 17.6.2023]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/energiatehokkuusdirektiivi>

Motiva d. [verkkoaineisto]. CO2 päästökertoimet. [päivitetty 17.05.2023]. [viitattu 17.5.2023]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet

Motiva e. [verkkoaineisto]. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. [päivitetty 16.03.2023]. [viitattu 17.6.2023]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi

Motiva f. [verkkoaineisto]. ESCO-hankkeiden tuki. [päivitetty 25.05.2023]. [viitattu 22.6.2023]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tuetut_energiakatselmukset/katselmus-_ja_investointituet/esco-hankkeiden_tuki

- Motiva g. [verkkoaineisto]. Kaukolämmön hinta. [päivitetty 23.03.2022]. [viitattu 17.5.2023]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitys-jarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta
- Mäkelä V., Tuunanen J., 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin ammatti-korkeakoulu. 159 s. ISBN 978-951-588-4.
- Paiho, S. & Saastamoinen, H. How to develop district heating in Finland? Energy Policy. Volume 122. 2018. Pages 668–676. ISSN 0301-4215
- Paikallisvoima ry. [verkkoaineisto]. [päivitetty 2023]. [viitattu 19.5.2023]. Saatavissa: <https://www.klpaastolaskuri.fi/>
- Sitra. 2015. Hiilineutraalius kilpailutekijänä. [verkkoaineisto]. [päivitetty 10.4.2015]. [viitattu 19.6.2023]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/infograafi-hiilineutraalius-kilpailutekijana/>
- Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. 2023. [verkkoaineisto]. [päivitetty 16.01.2023]. [viitattu 08.11.2023]. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/lampopumppuja-myyntiin-viime-vuonna-lahes-200-000-kappaletta-kasvu-50/>
- Suomen ympäristökeskus. [verkkoaineisto]. [päivitetty 21.6.2022]. [viitattu 5.6.2023]. Saatavissa: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa>
- Tilastokeskus. [verkkoaineisto]. [päivitetty 14.12.2022]. [viitattu 5.5.2023]. Saatavissa: <https://stat.fi/julkaisu/cku4c03s803du0b05fxruenwl>
- Timonen, J. 2018. Kaukolämmön kysyntäjousto kaukolämpötoimijoiden näkökulmasta. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Energiatekniikan laitos. Lappeenranta. 79 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018110147061>.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. [verkkoaineisto]. [viitattu 19.6.2023]. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164321>