



Tuomas Virtanen

Toteutuneen lämmitysenergian kulutuksen muutos kerrostaloissa siirryttäessä kaukolämmöstä maalämpöön

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

1.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Tuomas Virtanen
Otsikko:	Toteutuneen lämmitysenergian kulutuksen muutos kerrostaloissa siirryttäessä kaukolämmöstä maalämpöön
Sivumäärä:	59 sivua + 8 liitettä
Aika:	1.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Pasi Partonen Maajohtaja Keijo Leppävuori

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia toteutuneen lämmitysenergian kulutuksen muutosta kerrostaloissa siirryttäessä kaukolämmöstä maalämpöön. Tehdyn kirjallisuuskatsauksen mukaan toteutunutta energiankulutuksen muutosta ei ole vielä tutkittu. Ennustemallien perusteella voidaan arvioida, että vuonna 2030 noin 14 000 kerrostaloa lämpenisi maalämmöllä. Tämä tarkoittaa kohteiden lukumäärän yli nelinkertaistumista nykyisestä.

Tutkimusmenetelmänä työssä on kvantitatiivinen tutkimus. Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä valittiin siksi, että se mahdollistaa numeeristen ja tilastollisten tietojen keräämisen ja analysoinnin laajalta joukolta. Havaintoaineiston keruumenetelmäksi valittiin kyselytutkimus, sillä julkista dataa kiinteistöjen energiankulutuksista ei ole saatavilla. Tutkimukseen saatiin lähtötiedot 18 kohteesta, jotka sijaitsevat Etelä-Suomessa.

Tutkimuksen päätulokset osoittavat, että kiinteistöjen maalämpöön siirtyminen laskee ostoenergiankulutuksen noin kolmasosaan. Tutkittavissa kohteissa energiankulutus on laskenut keskimäärin 64 prosenttia, kun mediaani on 65 prosenttia. Tehdyn hiilijalanjälkilaskennan mukaan mediaani kohteen kiinteistön energiankäytön hiilidioksidipäästöt laskisivat 50 vuoden tarkastelujakson aikana 46 %. Elinkaarilaskennan tulokset kertovat, että taloudelliset indikaattorit olisivat myönteisiä.

Opinnäytetyön tuloksia tullaan hyödyntämään osana työnantajaedustajan lisäarvo- palveluiden kehittämistä. Opinnäytetyössä tuotettujen havaintojen avulla muotoillaan työnantajaedustajalle uusia palvelukokonaisuuksia, joiden avulla kiinteistöjen arvoa tullaan lisäämään. Työn arvioidaan tuovan merkittävästi lisää kassavirtoja työnantajaedustajalle. Työni tukee Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategian linjauksia. Välillisesti työn seurauksena kiinteistöjen hiilijalanjälki pienenee, kiinteistöjen arvo nousee ja energiatehokkuus paranee.

Avainsanat: lämmitysenergia, CO₂, hiilidioksidipäästöt, maalämpö, toteutunut kulutus, taloyhtiö, sähkö, kaukolämpö, elinkaari

Abstract

Author: Tuomas Virtanen
Title: Change in Actual Heating Energy Consumption in Blocks of Flats after Transition from District Heating to Geothermal Heating
Number of Pages: 59 pages + 8 appendices
Date: 1 May 2024

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: Electrical Engineering
Supervisors: Pasi Partonen, Senior Lecturer
Keijo Leppävuori, Country Manager

The thesis aimed at studying change in actual heating energy consumption in apartment buildings when transitioning from district heating to geothermal heat. This was done with quantitative method. Data was collected with a survey whose baseline data were obtained from 18 buildings located in Southern Finland.

No studies were found in the change in actual energy consumption. A forecasting model indicated that the number of buildings heated with geothermal energy would more than quadruple by 2030. The survey showed that switching to geothermal heating reduces the energy consumption of buildings to about one third. According to the carbon footprint calculation carried out, the median building's carbon dioxide emissions from energy consumption would fall by 46 % over 50 years. The life cycle calculation indicated that the economic indicators would be positive.

The results of the final year project will be used to develop value-added services for the commissioning company, and to formulate service packages to increase the value of the real estate. The project is expected to generate significant additional cash flows. Furthermore the project supports the long-term strategy for renovation in Finland reducing the carbon footprint and increasing the value of real estate, and improving energy efficiency.

Keywords: heating energy, CO₂, geothermal heat, actual consumption, housing association, electricity, district heating, life cycle

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen rakenne ja rajaukset	3
3	Tutkimusmenetelmä	4
4	Tutkimuskohteisiin vaikuttavat lainsäädännöt	6
5	Eri lämmitysmuodoista asuinkiinteistöissä	8
5.1	Nykytilanne kerrostaloissa	8
5.2	Kaukolämpö	9
5.3	Maalämpö	11
5.4	Ennuste maalämpöjärjestelmien määrän lisääntymisestä	13
6	Lähtötiedot	19
6.1	Tutkimuksen kohteena olevat rakennukset	19
6.2	Kulutustietojen normeeraus	20
6.3	Normitetut energiankulutukset kiinteistöissä	22
7	Energiankulutuksen muutoksen analysointi	25
8	Valitun kohteen hiilidioksidilaskenta	29
9	Erään kohteen elinkaarilaskenta	39
10	Herkkyysanalyysin laatiminen	48
11	Tulosten tarkastelu ja loppupäätelmät	52
12	Yhteenveto	55
	Lähteet	58

Liitteet

Liite 1: Kiinteistöjen lähtötiedot

Liite 2: Kulutustietojen normeeraus

Liite 3: Lämmitystarveluvut

Liite 4: Kyselytutkimuksen saatekirje

Liite 5: Kyselytutkimus, kuluttajat

Liite 6: R- koodikatkelma

Liite 7: Laadittu elinkaarilaskelma

Liite 8: Elinkaarilaskennan laskukaavat

Lyhenteet

boxplot:	Box & Whisker, eli ruutu- ja janakaavio. Kutsutaan myös nimillä, laatikko- ja viivakaavio tai laatikko- ja viiksikaavio.
CO ₂ :	Hiilidioksidi. Hiilestä ja hapesta koostuva kemiallinen yhdiste.
COP:	Lämpökerroin. Kertoo, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöä verrattuna sen käyttämään sähköenergiaan
EKP:	Euroopan keskuspankki
EN:	Europäische Norm. Eurooppalainen standardi.
E-luku:	Energiatehokkuuden vertailuluku
ETS:	Eksponentiaalinen tasoitusmalli
EU:	Euroopan unioni
GDPR:	General Data Protection Regulation, EUn yleinen tietosuoja-asetus.
GHG:	Maailmanlaajuinen standardi hiilijalanjäljen laskentaan ja päästöjen yhdenmukaiseen raportointiin.
kWh:	Kilowattitunti. Energian mittayksikkö.
MLP:	Maalämpöpumppu
MWh:	Megawattitunti.
PILP:	Poistoilmalämpöpumppu
R:	R- ohjelmointikieli ja ohjelmointiympäristö tilastolliseen laskentaan.

- R² -arvo: Tilastollinen mittari
- ROI: Return on Investment, Sijoitetun pääoman tuotto
- RT-kortti: Rakennustieto Oy:n julkaisema kortistomuotoinen tietokokoelma
- S17: Lämmitystarvelukuna käytetään yleisimmin S17-lukua, joka kuva-
taa vuorokauden keskilämpötilan ja sisälämpötilan +17 °C:n välistä
eroa.
- SULPU: Suomen lämpöpumppuyhdistys ry
- YM: Ympäristöministeriö
- WEM: With Existing Measures. Vaikutusarvio, jossa analyysit pohjautuivat
kahden skenaarion vertailuun.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää toteutuneen lämmitysenergian kulutuksen muutosta kerrostaloissa siirryttäessä kaukolämmöstä maalämpöön. Maalämpöjärjestelmässä hyödynnetään maaperään varautunutta aurinkoenergiaa ilmaisenergiana, jolloin energialaitokselta hankittava ostoenergian määrä kiinteistössä vähenee. Asumisen osuus energian loppukäytöstä on keskimäärin 20 prosenttia. Tilojen lämmitys vie noin kaksi kolmasosaa asumisen energiasta Suomessa. Energiatehokkuudella on siis suora yhteys ilmastoja lämmittäviin hiilidioksidipäästöihin. Rakennuksen energiatehokkuus vähentää käyttökustannuksia ja toimii lisäksi tehokkaana keinona hillitä kustannusten nousua, erityisesti energian hinnan noustessa. Tutkimuksen kohteeksi valittiin asuinkerrostalot, koska kerrostaloasuntoja on tilastokeskuksen mukaan 47 prosenttia kaikista asunnoista Suomessa. Noin kolmasosa suomalaisista asuu kerrostaloissa, jolloin lämmitysjärjestelmien energian kulutus vaikuttaa merkittävän joukon asumiskustannuksiin. Kansantaloudellisesti on edullista, että näiden kiinteistöjen energiatehokkuus on hyvällä tasolla. [1.]

Aiheesta on tehty erilaisia laskureita, joilla voidaan arvioida energiakulutuksen muutosta ja maalämmöstä saatavaan ilmaisenergiaa, mutta tehdyn kirjallisuuskatsauksen mukaan toteutunutta energiakulutuksen muutosta ei ole vielä tutkittu valtakunnallisesti tai ainakaan julkista tietoa ei ole saatavilla. Kansainvälisiä tieteellisiä julkaisuja ja tutkimuksia aiheesta etsittiin tietokannoista kuten PubMed, Google Scholar ja Scopus. Kansainvälisissä tutkimuksissa aihepiiriä lähestytään tarkastelemalla erityyppisten rakennusten energiankulutusta, hiilidioksidipäästöjä tai muita tekijöitä. Lisäksi tutkimuksissa on tarkasteltu erilaisia käytäntöjä ja strategioita, joita on käytetty maalämpöön siirtymisessä ja niiden onnistumista. Kansainvälisissä tutkimuksissa toteutunutta ostettavan lämmitysenergiankulutusta ei ole tutkittu tilastollisin menetelmin.

Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategiassa määritellään kustannustehokkaat toimenpiteet, joiden avulla nykyiset rakennukset saadaan erittäin

energiatehokkaiksi ja vähähiiliseksi vuoteen 2050 mennessä [2.]. Tämän vuoksi onkin oleellista tutkia lämmitysenergian kulutuksen muutosta siirryttäessä kaukolämmöstä maalämpöön. Maalämpöjärjestelmien käyttöönotto vaikuttaa merkittävästi rakennusten energiatehokkuuteen ja siten vähentää energian kokonaiskulutusta. Tämä on tärkeää erityisesti, kun huomioidaan yhteiskunnan laajemmat tavoitteet, kuten vähähiilisyys ja energiatehokkuus. Kuluttajalle merkittävin asia on pienemmät käyttökustannukset, joihin siirtyminen kaukolämmöstä maalämpöön voi vaikuttaa suoraan. Energiatehokkaampi järjestelmä pienentää rakennuksen ylläpitokustannuksia ja tekee siirtymisestä taloudellisesti houkuttelevan vaihtoehdon. Tämä on merkittävää pitkällä aikavälillä, kun energian hinta vaihtelee.

Opinnäytetyö määrittelee tutkimukseen liittyvät rajaukset luvussa 2. Käytettävä tutkimusmenetelmä esitetään luvussa 3. Lisäksi luvussa 4 avataan tutkimuskohteisiin vaikuttavaa lainsäädäntöä. Luvussa 5 eritellään kerrostaloissa käytettävät yleiset eri lämmitysmuodot, kerrotaan nykytilanteesta ja esitetään ennuste maalämpöjärjestelmien kehityksestä. Tutkittavien kohteiden lähtötiedot esitetään luvussa 6. Luvussa 7 analysoidaan energiankulutuksen muutoksia. Valitun kohteen hiilidioksidipäästöjen muutoksia lasketaan luvussa 8. Luvussa 9 lasketaan erään kohteen elinkaarilaskenta. Laskettua elinkaarilaskentaa tarkastellaan herkkyyksianalyysin avulla luvussa 10.

2 Tutkimuksen rakenne ja rajaukset

Tutkimuksessa hyödynnetään kiinteistöistä saatuja energiankulutustietoja. Kiinteistöihin kohdistuvia varsinaisia tarkastuskäyntejä ei suoritettu. Mikäli maalämpöjärjestelmän energiankulutusta ei ole mitaroitu erikseen, on tutkimus tehty oletuksella, jonka mukaan lisääntynyt sähköenergiankulutus johtuu ainoastaan maalämpöjärjestelmän energiankulutuksesta.

Tutkimuksen ulkopuolelle rajataan seuraavat kokonaisuudet:

- Aukkaiden kulutustottumusten muutokset
- Mahdolliset rakenteiden energiatehokkuuden parannukset urakan yhteydessä
- Sähköjärjestelmiin tehdyt muutokset lämmitystavan muutoksen jälkeen, kuten aurinkosähköjärjestelmän asentaminen taikka sähköautojen lataaminen
- Lisäksi kaikissa tutkittavissa kohteissa ei lämpimän käyttöveden kulutusta ole mitattu erikseen. Näissä kohteissa lämpimän käyttöveden osuuden on arvioitu olevan 40 % kokonaisvedenkulutuksesta.

Opinnäytetyön sisältö on rajattu edellä mainitulla tavalla, koska ei ole tarkoituksen mukaista tehdä tarkempaa analyysia muista lämmitysenergiankulutuksen muutokseen vaikuttavista asioista.

Tutkittavia kohteita on useita, ja näiden pohjalta on tehty pelkistetty laskelma ostolämmitysenergiankulutuksen muutoksesta, jota voidaan hyödyntää ensivaiheen arvioinnissa tulevissa lämmitystavan muutoksissa.

3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä työssä on määrällinen tutkimus (kvantitatiivinen tutkimus). Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä valittiin siksi, että se mahdollistaa numeeristen ja tilastollisten tietojen keräämisen ja analysoinnin laajalta joukolta. Tällainen lähestymistapa on hyödyllinen, kun halutaan saada yleistettäviä tuloksia. Havaintoaineiston keruumenetelmäksi valittiin kyselytutkimus, sillä julkista dataa kiinteistöjen energiakulutuksista ei ole saatavilla. Kyselytutkimus antaa mahdollisuuden kerätä tietoa suoraan kohteilta itseltään. Se myös mahdollistaa tietojen keräämisen monipuolisesti erilaisilta sidosryhmiltä, mikä johtaa kattavampiin ja monipuolisempiin tuloksiin. Koska julkista dataa kiinteistöjen energiakulutuksista ei ole, vaihtoehtoiset menetelmät, kuten esimerkiksi retrospektiiviset tutkimukset eivät ole mahdollisia.

Havaintoaineiston keruumenetelmänä toimivat haastattelut, sähköpostitse lähetetyt kyselyt isännöitsijöille sekä kuluttajille laadittu kyselytutkimus. Isännöitsijöiltä kysyttiin kiinteistöihin liittyviä lähtötietoja ja lämmitystavan muutokseen liittyviä asioita tarkemmin. Kuluttajille suunnattu kyselytutkimus toteutettiin Google Forms -kyselylomakkeella ja julkaistiin sosiaalisen median kanavissa LinkedInissä sekä Facebookin maalämpöjärjestelmien keskusteluryhmissä. Tässä kyselytutkimuksessa selvitettiin ainoastaan energiankulutustietoja kohteista. Lisäksi aineistoa pyydettiin alan urakoitsijoilta ja energia-alan järjestöiltä. Heiltä aineistoa ei tähän tutkimukseen saatu. Kyselytutkimus ei ole sama asia kuin määrällinen tutkimus, mutta kvantitatiivisessa tutkimuksessa usein käytetään kyselytutkimusta tutkimusaineiston keräämiseen [3.]. Aineistoa kerättiin joulukuun 2023 ja helmikuun 2024 välisenä aikana. Laaditut kyselytutkimuslomakkeet ja niiden saatekirje on esitetty liitteissä 3 ja 4.

Tutkimuksessa hyödynnetään pääosin isännöitsijöiltä ja työnantajaedustajan energiansäästöprojekteista saatuja energiankulutustietoja kohteista. Näiden kohteiden pohjalta työssä tutkitaan, mikä on ollut todennettu ja kulutusnormitettu lämmitysenergiankulutuksen muutos. Lisäksi lasketaan mikä on ollut toi-

menpiteen aiheuttama muutos mediaanikohteen hiilidioksidipäästöihin ja laske-
taan erään kohteen elinkaarilaskelma ja esitetään siihen laaditun herkkyystar-
kastelun tulokset.

Vaikkakin useita maalämpöhankkeita on tälläkin hetkellä käynnissä, näistä koh-
teista ei ole saatavilla julkista materiaalia. Tämä on ollut suurena haasteena tie-
donkeruussa. Lämmitystavan muutoksen jälkeen, kiinteistöstä pitää saada aina-
kin yhden täyden kalenterivuoden kulutustiedot, jotta kulutuksien vertailu olisi
mielekkästä.

4 Tutkimuskohteisiin vaikuttavat lainsäädännöt

Teoreettisena taustana työssäni toimii kestävä kehitys ja ympäristövaikutukset, jota on käyty viime vuosina Suomen lisäksi niin koko EU:n alueella kuin maailmanlaajuisestikin. Työ tutkii ympäristövaikutusten arviointia lämmitysjärjestelmien vaihdoksen yhteydessä. Tämä viitekehys auttaa ymmärtämään tutkimuksen laajempia vaikutuksia ympäristöön. [4.]

Energiatehokkuussäädökset perustuvat EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiiviin, joka tuli voimaan vuonna 2010, ja sen vuonna 2018 voimaan tulleen muutokseen. Joulukuussa 2021 komissio julkisti ehdotuksensa rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muuttamisesta osana laajaa 55-ilmastopakettia. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin lopullinen muotoilu on vielä avoinna. Kun direktiivi on hyväksytty, jäsenmaat sisällyttävät sen velvoitteet kansalliseen lainsäädäntöönsä. Direktiivissä määritellään toimeenpano-aika, joka on yleensä noin 1,5–2 vuotta.

Kansallisten säädösten odotetaan tulevan voimaan arviolta vuoden 2026 alkupuolella. Linjaukset siinä ovat kuitenkin samansuuntaisia kuin aiemmin. Direktiivin tavoitteena on varmistaa, että rakennusten lämmitys-, ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmät ovat energiatehokkaita todellisissa käyttöolosuhteissa. Lisäksi direktiivi antaa jäsenvaltioille mahdollisuuden toteuttaa toimenpiteitä, jotka liittyvät lämmönkehittimien vaihtamiseen, muiden lämmitysjärjestelmien muutokseen tai yhdistettyjen tilojen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien muutokseen. Direktiivin mukaan tulee varmistaa, että käyttäjät saavat neuvoja ratkaisusta kyseisten järjestelmien tehokkuuden ja mitoituksen arvioimiseksi. [5.]

Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategiassa hahmotellaan tehokkaat keinot, joiden avulla olemassa oleva rakennuskanta muokataan erittäin energiatehokkaaksi ja vähähiiliseksi vuoteen 2050 mennessä. Strategia sisältää kattavan kuvauksen Suomen rakennuskannasta, asettaa energiatehokkuudelle

tavoitteet, esittelee kustannustehokkaat korjaustoimenpiteet ja niiden rahoituksen, sekä esittelee politiikkatoimet, joiden avulla edistetään rakennusten muuttamista energiatehokkaiksi ja lämmitysjärjestelmien osalta vähähiilisiksi.

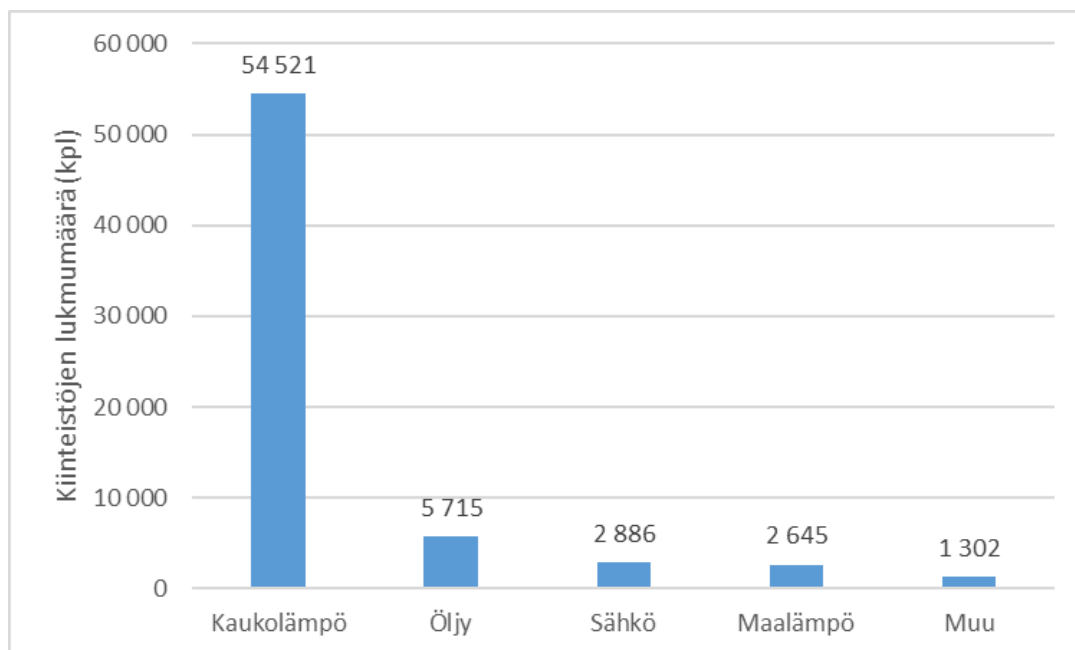
5 Eri lämmitysmuodoista asuinkiinteistöissä

Usein kiinteistöissä hyödynnetään eri lämmitysmuotojen kombinaatiota. Tässä kappaleessa kerrotaan lyhyesti opinnäytetyössä esiintyvät lämmitystavat kaukolämpö ja maalämpö. Yhteistä niille on se, että lämpö jaetaan vesikiertoista patterijärjestelmää tai lattialämmitystä hyödyntäen. Vesikiertoinen lattialämmitys mahdollistaa lämmönlähteen kohtalaisen helpon vaihtamisen. Lämpöpumppujärjestelmät toimivat yleensä matalilla lämpötiloilla verrattuna perinteisiin lämmitysmuotoihin. Vesikiertoisen lattialämmityksen avulla hyödynnetään tätä matalalämpöistä maalämpöä tehokkaasti.

Kirjoitushetkellä energian hinta, erityisesti sähkön hinta, on ollut tavanomaista korkeammalla tasolla, mikä on korostanut lämmitysmuotojen entistä keskeisempää roolia kiinteistökaupassa.

5.1 Nykytilanne kerrostaloissa

Vaikkakin maalämpö kiinnostaa nyt kerrostaloyhtiötä ja siitä keskustellaan yhtiökokouksissa, on tilanne tällä hetkellä se, että suurin osa kerrostaloyhtiöistä lämpiää kaukolämmöllä. Kuvasta 1 nähdään lämmitystapojen jakaantuminen kerrostaloissa. Kuvaaja on tehty Tilastokeskuksen aineiston pohjalta. [6.]



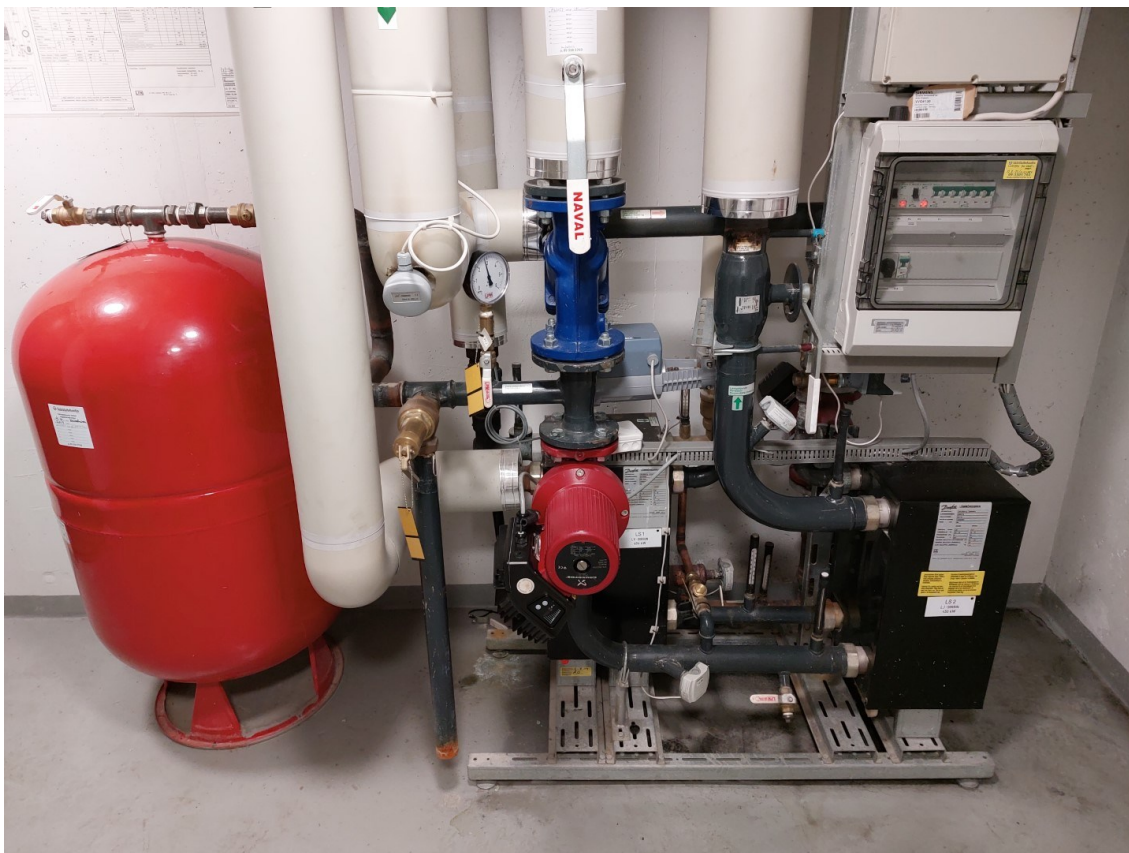
Kuva 1. Kerrostalojen lämmitysmuoto vuonna 2023.

Vuonna 2023 alle 5 % Suomen kerrostaloista lämpeni maalämmöllä (2 645 kohdetta). Kuluva vuosi ei tule oleellisesti muuttamaan prosentuaalista jakaumaa lämmitystapojen kesken. Suomen lämpöpumppuyhdistys (Sulpu) arvioi, että vuonna 2024 noin 300–500 kerrostaloyhtiötä siirtyy maalämpöön. Tällä hetkellä maalämmöllä lämpiää Sulpun mukaan noin 2 000...3 000 kerrostaloa. [7.]

5.2 Kaukolämpö

Suomessa kaukolämpö on laajasti käytetty lämmitysmuoto. Kaukolämpö on tyypillisesti suurten asuinkekkittymien lämmönlähde. Kaukolämpöjärjestelmässä lämpö siirretään asiakkaille kaksiputkista verkostoa pitkin. Menoputkessa virtaa kuumennettu vesi lämpölaitokselta asiakkaalle, ja paluuputkessa puolestaan lämmön luovuttanut vesi palautuu laitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Asiakkaat hyödyntävät kaukolämpövettä kiinteistössä sijaitsevassa lämmönjakokeskuksessa, jossa sijaitsee erillinen lämmönsiirrin (kuva 2) tilojen lämmitystä ja

lämmintä käyttövetä varten. Tämä järjestelmä tarjoaa luotettavan lämmönlähteen asuinkiinteistöille. [8.]



Kuva 2. Kaukolämmön alajakokeskus kerrostalon lämmönjakohuoneessa.

Kaukolämpö on usein ekologisesti kestävä ja käytännöllinen vaihtoehto, joka edistää kestävää energiakäyttöä Suomessa. Yleensä kaukolämpö tuotetaan tuotantolaitoksissa, yhteistuotantona sähkön kanssa tai ainoastaan lämpönä. Polttoaineina käytetään paikkakunta- ja tuotantolaitoskohtaisesti muun muassa puuta tai muuta biomassaa, kivihiiltä, maakaasua, turvetta, jätettä tai öljyä. Polttoaineen valinnassa otetaan huomioon toimitusvarmuus, kokonaistaloudellisuus ja ympäristövaikutukset. Hiilineutraalin lämmöntuotannon tavoittelussa fossiilisten polttoaineiden osuus on laskenut alle puoleen viimeisen kymmenen vuoden aikana. Kaukolämmön tuotannossa yli 60 % on päästötöntä tuotantoa. Useissa kunnissa kaukolämpö tuotetaan kokonaan kotimaisilla polttoaineilla, mikä tukee myös paikallistaloutta. [8.]

5.3 Maalämpö

Maalämpö on uusiutuva energiamuoto, joka hyödyntää maan sisällä säilynyttä aurinkoenergiaa lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Tämä energiamuoto perustuu maaperän kykyyn varastoida aurinkoenergiaa ja luovuttaa sitä hitaasti ympäröivään tilaan. Maalämpö on uusiutuvaa energiaa. Jotta maalämpöä voidaan hyödyntää, maahan porataan energiakaivoja tai noin metrin syvyyteen maahan kaivetaan lämmönkeruuputkisto. Maalämpöjärjestelmät ovat yleensä tehokkaita, ympäristöystävällisiä ja taloudellisesti houkuttelevia. [9.] Maalämpölaitteistoa on esitetty kuvassa 3.

Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset jakautuvat neljään pääkomponenttiin:

- maalämpölaitteistoon (kuten lämpöpumppu ja varaajat)
- lämpökaivon poraukseen
- asennustöihin ja liittämiseen lämmönjakoverkoston
- tarvittaessa vanhojen lämmityslaitteiden purkutöihin.



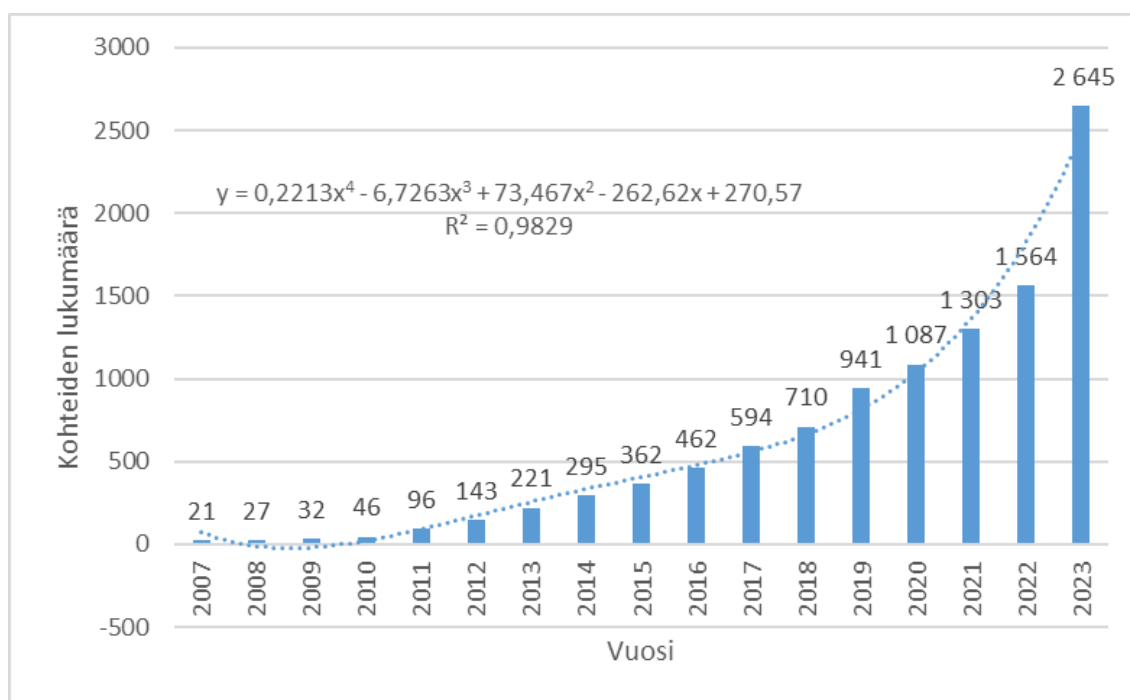
Kuva 3. Lämpöpumppuja lämmönjakohuoneessa.

Tyypillisesti maalämpökaivon poraus muodostaa suurimman osan kustannuksista. Poraussyvyyden, eli käytännössä peruskallion syvyyden, mukaan määräytyvä hinta vaikuttaa siihen, kuinka syvälle porausta tarvitaan tontin maanpinnasta. Kustannuksiin vaikuttaa myös teräsputken tarve maakerroksen päällä, mikä lisää toteutuksen hintaa. [9.]

5.4 Ennuste maalämpöjärjestelmien määrän lisääntymisestä

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että tällä vuosikymmenellä ei ole yritetty ennustaa maalämpöjärjestelmien yleistymistä. Tässä luvussa laaditaan ennuste maalämpöjärjestelmien määrän lisääntymisestä kerrostaloissa.

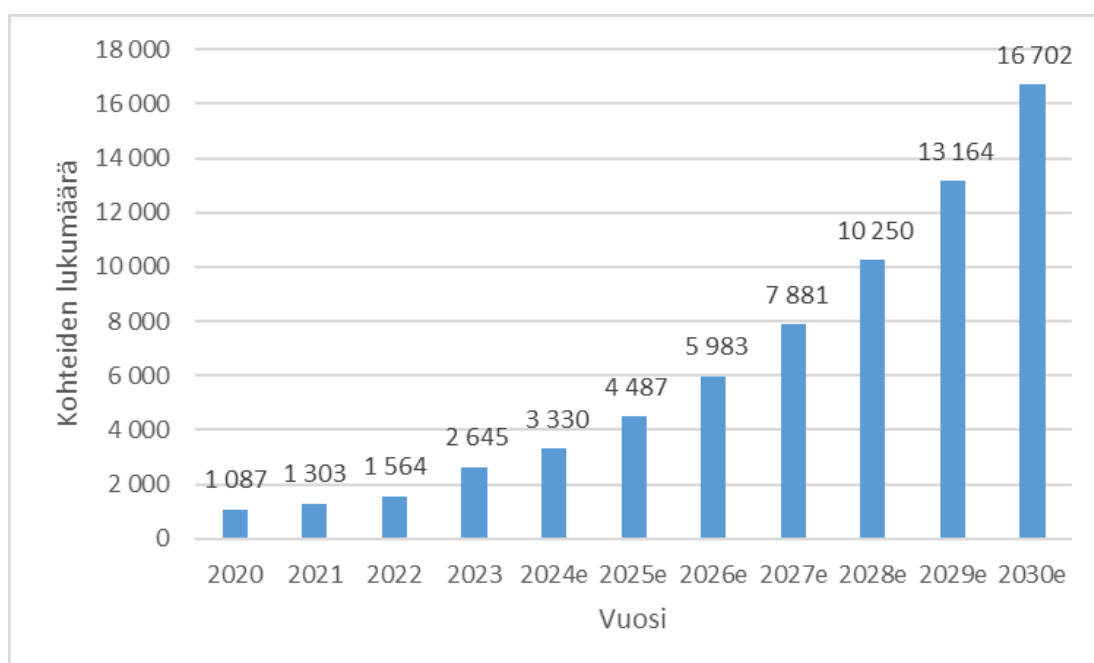
Edellisten tietojen pohjalta laadittiin ennuste maalämpöjärjestelmien kasvupotentiaalista vuoteen 2030 asti. Kuvassa 4 on esitetty maalämmöllä lämpenevien kerrostalojen lukumäärät vuodesta 2007 vuoteen 2023 asti ja tietojen pohjalta tehty sovite. Vuonna 2023 on tapahtunut merkittävä kasvua, jota ei ole aikaisemmin nähty.



Kuva 4. Maalämpö kerrostaloissa 2007–2023.

Ennuste on tehty hyödyntäen Excelin trendiviiva-menetelmää. Trendiviiva kuvaa numeeristen tietojen trendiä tai suuntausta ja auttaa havainnollistamaan mahdollisia säännönmukaisuuksia tietojen välillä. Trendiviivan avulla voi ennustaa tulevia arvoja tai tunnistaa pitkän aikavälin suuntauksia. Parhaiten aineistoa kuvaa polynomisen sovitetrendi. Yllä olevasta kuvasta voidaan havaita, että vuo-

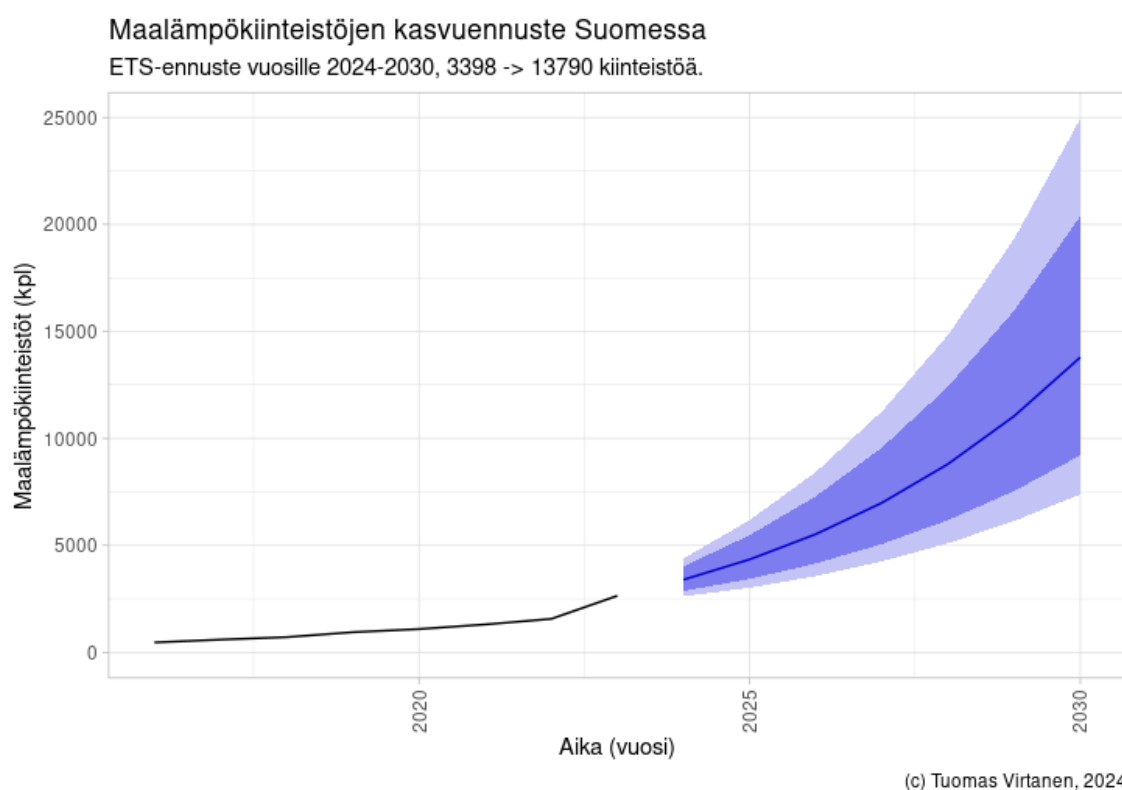
sina 2021–2022 on ennuste yli toteutuneen ja vuonna 2023 ollaan jäämässä jälkeeseen toteutuneesta. R^2 -arvo on yleisesti käytetty tilastollisen regressioanalyysin mittari. R^2 -arvo osoittaa, kuinka suuri osuus riippuvaisen muuttujan vaihtelusta voidaan selittää riippumattomilla muuttujilla mallissa. Mitä lähempänä R^2 -arvo on arvoa yksi, sitä paremmin malli kykenee selittämään riippuvaisen muuttujan vaihtelua. Kyseisessä sovitteessa R^2 - arvo on 0,9828. Täten malli selittää erittäin hyvin riippuvaisen muuttujan vaihtelun ja on hyödyllinen ennustettaessa muuttujan käyttäytymistä. Kuvassa 5 on esitetty sovite maalämpöjärjestelmien yleistymistä vuoteen 2030 asti.



Kuva 5. Maalämpöjärjestelmät kerrostaloissa, tehty sovite.

Edellä laaditun soviteen mukaan maalämpö lämmittäisi noin 16 700 kerrostaloa vuonna 2030. Eräät ennustemallit ottavat paremmin huomioon ilmiön viimeaikaisista kiihtyvyyttä. Tutkittaessa muutosta lukusarjan viimeisille vuosille pitää antaa enemmän painoarvoa kuin lukusarjan ensimmäisille vuosille. Tehdyn soviteen lisäksi tulevaisuutta arvioitiin ennustemallilla. Laskenta ja kuvaajat on tehty R- ohjelmointikielellä.

Tässä ilmiöstä on tehty havaintoja vuoden välein, eli ei tarvitse ottaa huomioon havaintotaajuuksia kuukausi-viikkotasolla. Vuositason teollisuuden ilmiöiden ennustamisessa yksinkertainen eksponentiaalinen tasoitusmalli (ETS) on toiminut hyvin. Tasoitusmenetelmä käyttää aiempien havaintojen painotettuja keskiarvoja pienentäen eksponentiaalisesti painokertoimia, kun havainnot vanhenevat. Malli huomioi erityisesti ilmiön trendin ja kausiluontoisuuden viimeaikaista kehitystä, joka monesti on olennaisempaa kuin vanhemmat muutokset. [10.] Kuvassa 6 esitetään laadittu maalämpökiinteistöjen kasvuennuste.



Kuva 6. Laadittu ETS-ennuste.

Kuvaajassa esitetään ennustevalit 80 % ja 95 %. Ennusteen keskipiste on tummalla viivalla ennustevalien keskellä. Tummemman sinisellä on merkitty kuvaajaan 80 %:n ennustevali. Vastaavasti vaalean sinisellä on merkitty 95 %:n ennustevali.

Kuvaajasta voidaan havaita, että historiallisen datan korkeus on selkeästi matalampi, kuin ennusteen korkeus. Tämä tarkoittaa, että ilmiö kasvoi 16 vuodessa

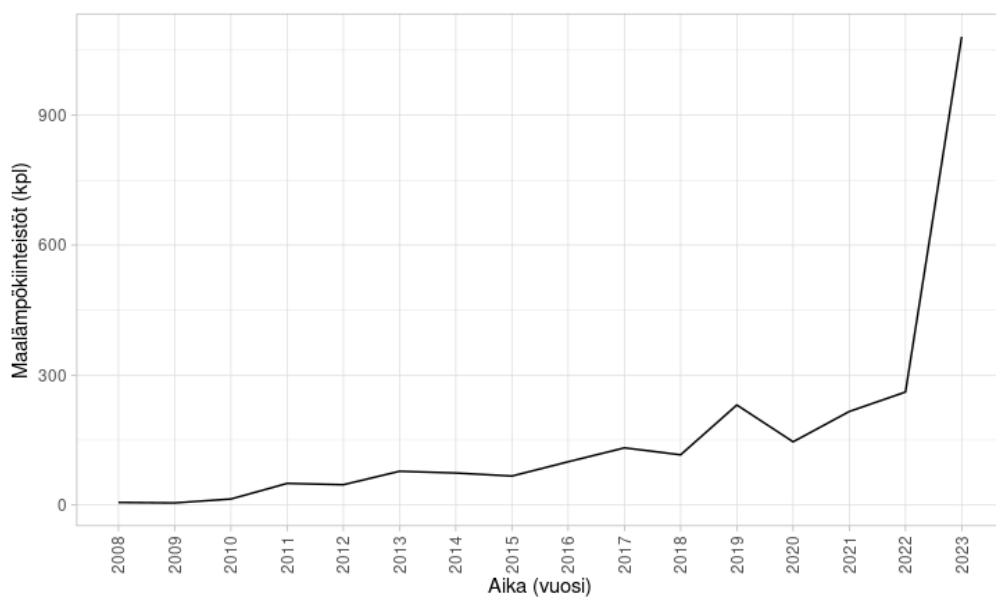
nykyiseen tilaansa ja yli nelinkertaistuu seuraavan kuuden vuoden aikana. Lisäksi kuvaajasta voidaan havaita, että ennustemallin alalaita on hieman suurempi kuin yläennusteväli. Tämä oletettavasti johtuu koronavuodesta 2020, joka sisältää suuren nousun ja laskun sekä vuoden 2023 kovasta kasvusta.

Eksponenttimalli antaa viimeaikaiselle tiedolle enemmän painoarvoa kuin tehty polynomi sovite. Ennusten laatua tarkkaillessa voidaan huomata, että ennustevälit ovat hyvin lähellä keskipistettä muutaman vuoden ennustehorisontin aikana. Ilmiö on hyvin ennustettavissa muutaman vuoden päähän. Tämän jälkeen hajontaa alkaa tapahtua. Kuvassa 7 esitetään taulukointi ETS-ennusteesta ja polynomisovitteesta ja niiden erotus. Kuvaajassa esitetään ilmiön vuosimuutosta.

Vuosi	Maalämpök inteistöt	ETS						Erotus	
		Sovite	Ennuste	Alaennustevali80	Ylaennustevali80	Alaennustevali95	Ylaennustevali95	Sovite - ETS	
2007	21								
2008	27								
2009	32								
2010	46								
2011	96								
2012	143								
2013	221								
2014	295								
2015	362								
2016	462								
2017	594								
2018	710								
2019	941								
2020	1 087								
2021	1 303								
2022	1 564								
2023	2 645								
2024		3 330	3 398	2 866	4 019	2 616	4 389	-	68
2025		4 487	4 343	3 428	5 477	3 018	6 181		144
2026		5 983	5 523	4 155	7 291	3 564	8 424		460
2027		7 881	6 989	5 062	9 567	4 252	11 260		892
2028		10 250	8 805	6 179	12 417	5 100	14 837		1 445
2029		13 164	11 043	7 544	15 972	6 135	19 329		2 122
2030		16 702	13 790	9 205	20 385	7 389	24 942		2 912

Maalämpökiinteistöjen lukumäärän vuosimuutos

Huomattava kasvu vuonna 2023.



Data: stat.fi, kuvaaja: Tuomas Virtanen, 2024

Kuva 7. Ennusteen ja sovitteen tulokset.

Sovitteen ja ennustemallin tulokset ovat melko lähellä toisiaan. Sovitteen luvut ovat ennustemallin 80 %:n ennustevälin sisällä. Puhtaasti historiaan perustuvassa pitkän horisontin aikasarjaennusteessa ei kannata olla liian optimistinen ja tulevaisuuden epävarmuus tulee tiedostaa. Sarjan suurimpien muutosten voi

odottaa vaikeuttavan tarkan ennusteen muodostamista. ETS-mallin painottaessa lähihistoriaa, tulisi pohtia jatkuuko vuoden 2023 huomattava muutos myös jatkossa. Alan resurssit huomioiden, voidaan tätä pitää mahdollisena toteutmana.

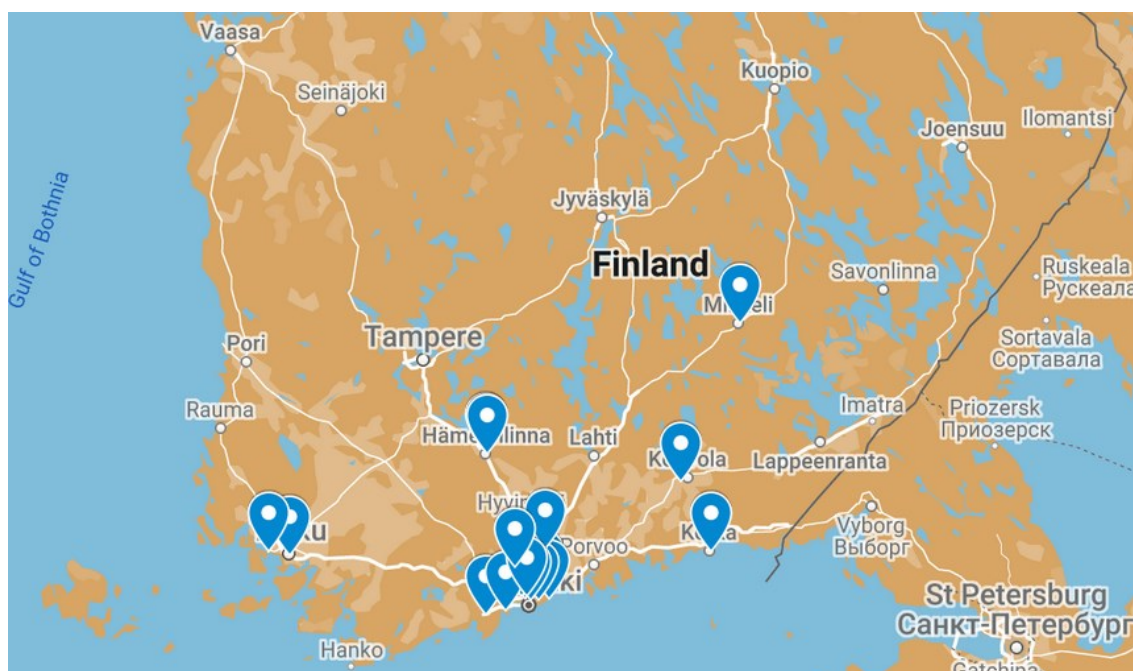
Laaditun ETS-ennustemallin tuloksia tarkastellen voidaan arvioida, että konservatiivisesti pyöristäen noin 14 000 kerrostaloa lämpenisi maalämmöllä vuonna 2030. Vuoteen 2030 mennessä kohteiden lukumäärä kasvaa 11 355 kpl nykyisestä, prosentuaalinen muutos 429 %.

6 Lähtötiedot

Tutkimuksen keskeisiä muuttujia ovat kiinteistön sijainti sekä energian- ja vedenkulutustiedot. Tutkimuksessa analysoidaan vaikutuksia ja merkitystä tehdyn tutkimuksen kontekstissa. Kohteissa lämmitystavan muutos on tehty vuosien 2016–2022 välisenä aikana.

6.1 Tutkimuksen kohteena olevat rakennukset

Tutkimuksen kohteena olevat rakennukset ovat vaihtelevan ikäisiä ja kokoisia kerrostaloyhtiöitä, jotka sijaitsevat pääosin Etelä-Suomessa. Kiinteistöjen sijainnit on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kiinteistöjen sijainnit kartalla. [11.]

Tähän tutkimukseen saatiin lähtötietoja 24 kohteesta. Osa saaduista tiedoista olivat puutteellisia tai tietoja ei voitu hyödyntää laskennassa. Näin ollen toteutuneen lämmitysenergian kulutuksen muutos analysoitiin 18 kohteen lähtötietojen mukaan. Kohdetiedot on esitetty liitteessä 1. Kohteet nro 9–14 on saatu netissä tehdystä kyselytutkimuksesta. Kohteet nro 5 ja 7 ovat työnantajaedustajan

suunnittelukohteita. Kohteen nro 18 lähtötiedot on saatu taloyhtiön edustajalta sähköpostitse. Muiden kohteiden tiedot on saatu isännöitsijöiltä.

Otannan edustavuuden laskeminen perustuu otoksen koon suhteuttamiseen koko populaation kokoon. Tutkimuksen otoksen suhteellinen osuus lasketaan kaavan 1 mukaan:

$$Otosprosentti = \left(\frac{\text{Otoksen koko}}{\text{Populaation koko}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Tutkittavia kohteita oli 18 kappaletta ja Suomessa on tilastotietojen mukaan kirjoitushetkellä 1 564 kerrostaloa, jotka lämpenevät maalämmöllä. Otos edustaa prosenttia (1,2 %) kaikista suomalaisista kerrostaloista, jotka lämpenevät maalämmöllä. Otoksen suhteellinen koko populaatioon nähden on melko pieni, mikä vaikuttaa otannan edustavuuteen.

6.2 Kulutustietojen normeeraus

Energiankulutuksen seuranta on tärkeä osa energiatehokkuuden optimointia. Kulutuksen normitus tarjoaa standardipohjaisen vertailun, mikä helpottaa energiankulutuksen systemaattista seuranta. Erityisesti lämmitysenergian kulutuksen normeeraus on olennainen työkalu rakennusten energiatehokkuuden arvioinnissa. Normitettu kulutus mahdollistaa vertailukelpoisen analyysin eri rakennusten välillä huomioimatta niiden sijaintia tai eri ajankohtien lämpötilaeroja. Tämä auttaa paitsi havaitsemaan mahdolliset energiankulutuksen poikkeamat myös suunnittelemaan tehokkaampia energiaratkaisuja ja parantamaan yleistä energiatehokkuutta.

Lämmitystarveluvun avulla normeeraamme toteutuneita lämmitysenergian kuluksia saavuttaaksemme kaksi tärkeää tavoitetta:

- vertailla saman rakennuksen lämmitysenergiankulutusta eri kuukausien ja vuosien välillä

- vertailla eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten energiankulutusta.

Lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen havaintoon, että lämmityksen energiankulutus korreloi sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen kanssa. Tämä mahdollistaa vertailun eri ajankohtien ja sijaintien välillä ottaen huomioon lämpötilaerojen vaikutuksen. [12.]

Tässä työssä käytetyt lämmitysenergiankulutuksen normitukseen käytettävät kuntakohtaiset kertoimet on kerätty Ilmatieteenlaitokselta. Vertailupaikkakuntien normaalivuoden eli vertailukauden 1991–2020 lämmitystarveluvut on saatu myös Ilmatieteenlaitoksen sivuilta. Tiedot on esitetty liitteessä 3.

Jotta tulokset ovat vertailukelpoisia, vertailtiin saman rakennuksen lämmitysenergian kulutusta eri ajankohtina vuositasolla ennen ja jälkeen lämmitystavan vaihtamisen. [13.]

Saman rakennuksen energiankulutuksen vertailu eri ajankohtina on laskettu kaavalla (kaava 2).

$$Q_{norm} = \frac{S_n \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämmin \text{ käyttövesi}} \quad (2)$$

Kaavassa Q_{norm} on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$Q_{toteutunut}$ rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

$Q_{lämmin \text{ käyttövesi}}$ käyttöveden lämmittämisen vaatima energia.

$S_n \text{ vpkunta}$ normaalivuoden tai -kuukauden (1991–2020) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$ toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

Normitus kohdistuu ainoastaan rakennuksen lämmitykseen käytettyyn energiaan. On huomioitava, että käyttöveden lämmittämiseen liittyvä osuus ei ole suoraan verrannollinen ulkolämpötilaan. Siksi tämä osuus erotetaan normeerattavasta lämmitysenergian kulutuksesta, jotta voimme tarkasti arvioida ja vertailla pelkästään lämmitykseen liittyvää energiankulutusta eri konteksteissa. Tämä on tärkeää, jotta voimme tarkastella ja vertailla pelkästään rakennuksen lämmitykseen liittyvää energiankulutusta ilman käyttöveden lämmittämisen vaikutusta. [14.]

6.3 Normitetut energiankulutukset kiinteistöissä

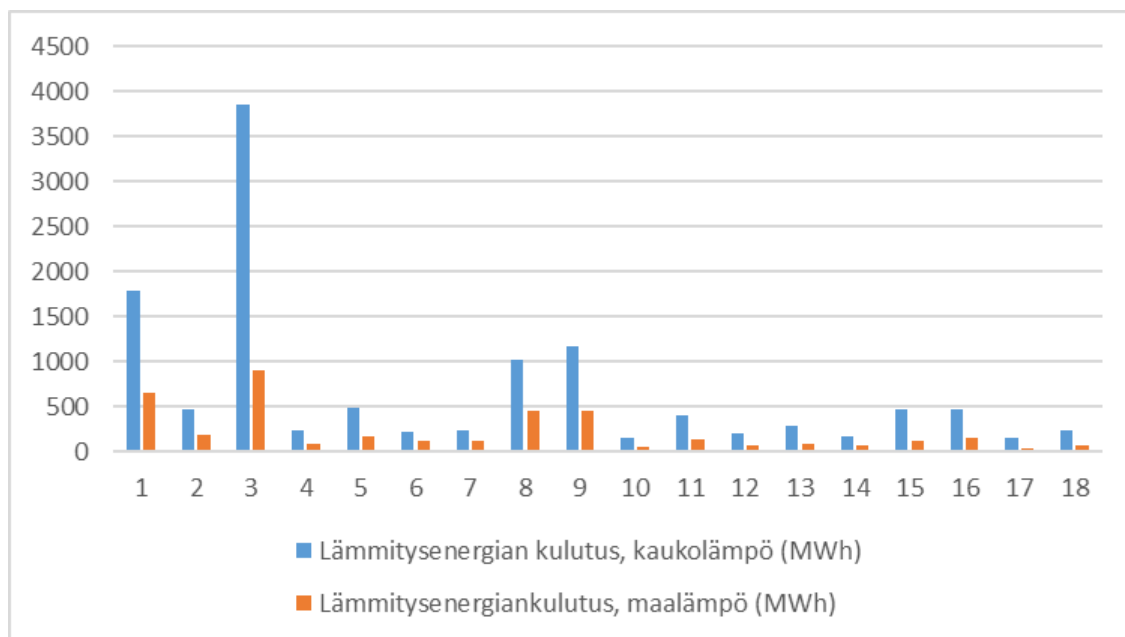
Toteutuneet tutkittavien kohteiden energiankulutukset esitetään taulukossa 1. Ostetun kaukolämmön kulutustietona on käytetty viimeistä kokonaista kalenterivuotta, kun kiinteistön on ollut kaukolämmössä. Maalämmön sähköenergiankulutustietona on käytetty alamittauksesta saatua vuosikulutusta. Mikäli maalämmön energiankulutusta ei ole mitattuna, on laskenta tehty olettamalla, että kiinteistösähkökulutuksen nousu on johtunut maalämmöstä. Liitteessä 2 esitetään kulutustietojen normeerauksen laskenta. Siinä esitetään lisäksi, minkä vuoden kulutustietoja on käytetty laskennassa.

Taulukossa 1 on esitetty normitettu kaukolämmön kulutus ennen lämmitystavan vaihtamista ja maalämpöjärjestelmän energiankulutus lämmitystavan vaihtamisen jälkeen.

Taulukko 1. Normitetut energiankulutustiedot

Kohde nro	Sijaintipaikkakunta	Ostettu kaukolämpöenergia (MWh)	Lämmitykseen käytetty sähköenergiankulutus, maalämpö (MWh)
1	Helsinki	1778	656
2	Helsinki	476	182
3	Helsinki	3860	948
4	Kirkkonummi	238	91
5	Helsinki	483	173
6	Kouvola	213	125
7	Espoo	235	122
8	Espoo	1020	466
9	Turku	1174	455
10	Kotka	145	49
11	Helsinki	405	130
12	Mikkeli	194	61
13	Järvenpää	287	85
14	Helsinki	176	67
15	Hämeenlinna	470	121
16	Naantali	469	154
17	Hämeenlinna	143	39
18	Nurmijärvi	243	69

Kuvassa 9 on esitetty normitetut lämmitysenergiankulutukset kaukolämmössä ja maalämmössä kohteittain. Kulutustiedot on normeerattu luvussa 6.2 esitetyllä kaavalla.



Kuva 9. Lämmitysenergian kulutuksen muutos tutkimuskohteissa.

7 Energiankulutuksen muutoksen analysointi

Analyysimenetelmä valitaan siten, että se antaa tietoa siitä, mitä ollaan tutkimaan. Opinnäytetyössä on tavoitteena saada tietoa yhden muuttujan riippuvuudesta, eli tässä tapauksessa ostoenergiankulutuksen muutoksesta. Koska tavoitteena on saada tietoa yhden muuttujan jakaumasta, esitetään siitä sijaintia kuvaavat tunnusluvut, moodi, keskiarvo ja mediaani. [3.] Laskenta ja kuvaajat on tehty R- ohjelmointikielellä. Koodikatkelma on esitetty liitteessä 6.

Opinnäytetyössä esitetään, mikä on ollut ostoenergian kulutuksen muutos megawattitunteina (MWh) ja prosentuaalinen lämmityksen ostoenergian kulutuksen muutos lämmitystavan muutoksella (taulukko 2).

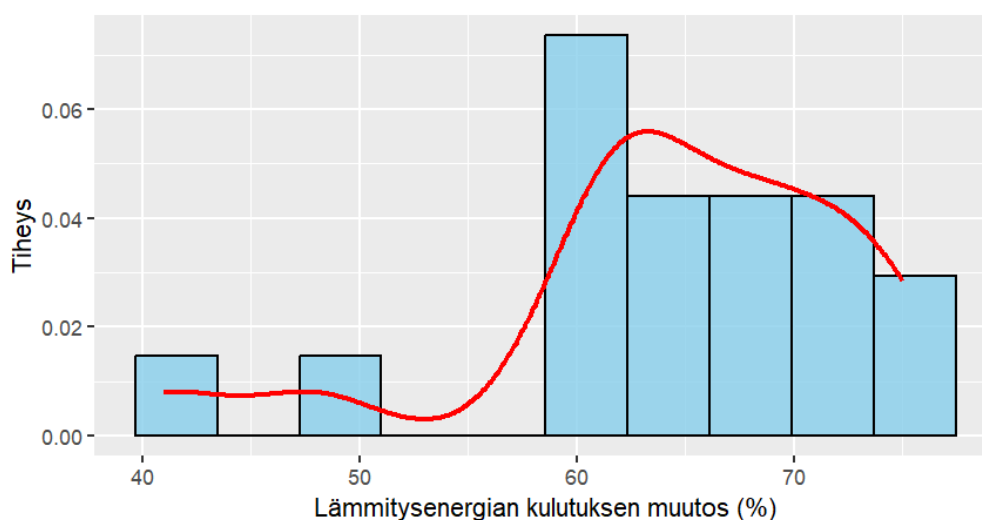
Taulukko 2. Ostettavan lämmitysenergian energiansäästö.

Kohde nro	Ostoenergian kulutuksen muutos (MWh)	Ostoenergian kulutuksen muutos (%)
1	-1123	-63
2	-294	-62
3	-2912	-75
4	-147	-62
5	-310	-64
6	-88	-41
7	-113	-48
8	-661	-59
9	-718	-61
10	-96	-66
11	-275	-68
12	-133	-69
13	-201	-70
14	-109	-62

Kohde nro	Ostoenergian kulutuksen muutos (MWh)	Ostoenergian kulutuksen muutos (%)
15	-349	-74
16	-316	-67
17	-107	-73
18	-174	-72

Keskiarvolla kuvataan havaintoarvojen keskimääräistä suuruutta. Lämmitysenergian kulutus laski keskimäärin 64 % tutkittavissa kohteissa vaihteluvälillä 41–75 %. Keskihajonta on 9, eli havaintoarvot poikkeavat keskiarvosta noin 9 yksikköä. Tässä se voi merkitä sitä, että havaintoarvot hajoavat melko laajasti keskiarvon ympärillä.

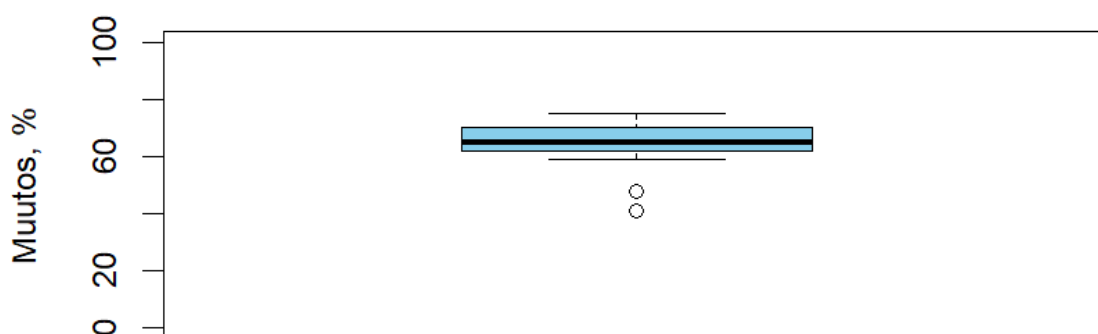
Keskiarvo on herkkä poikkeaville havainnoille, joita tutkittavien kohteiden aineistossa voidaan havaita. Keskiarvo ei anna tässä tapauksessa tarkkaa kuvaa jakaumasta, koska aineistossa esiintyy kolme suurta arvoa ja monta pientä arvoa, mikä aiheuttaa vinoumaa vasemmalle päin. Kuvassa 10 esitetään lämmitysenergian kulutuksen muutoksen jakauma ja tiivistetty jakauma (punaisella viivalla), josta voi havaita vinouman vasemmalle.



Kuva 10. Lämmitysenergian kulutuksen muutoksen jakauma.

Aineistossa havaittiin suurta vaihtelua kulutuksen prosentuaalisessa vähentymisessä erityisesti tietyissä pienempien energiankulutuksen kohteissa.

Aineistossa havaittiin vinoumaa, joten keskiarvoa paremmin muutosta kuvaa mediaaniluku. Aineiston mediaani on 65 %. Heikoimmin suoriutuneessa kvartiilissa muutos oli 62 % ja yläkvartiilissa 70 %. Aineisto ei ole symmetrinen, koska ala- ja yläkvartiili eivät ole yhtä kaukana mediaanista. Tätä dataa on visualisoitu kuvassa 11.

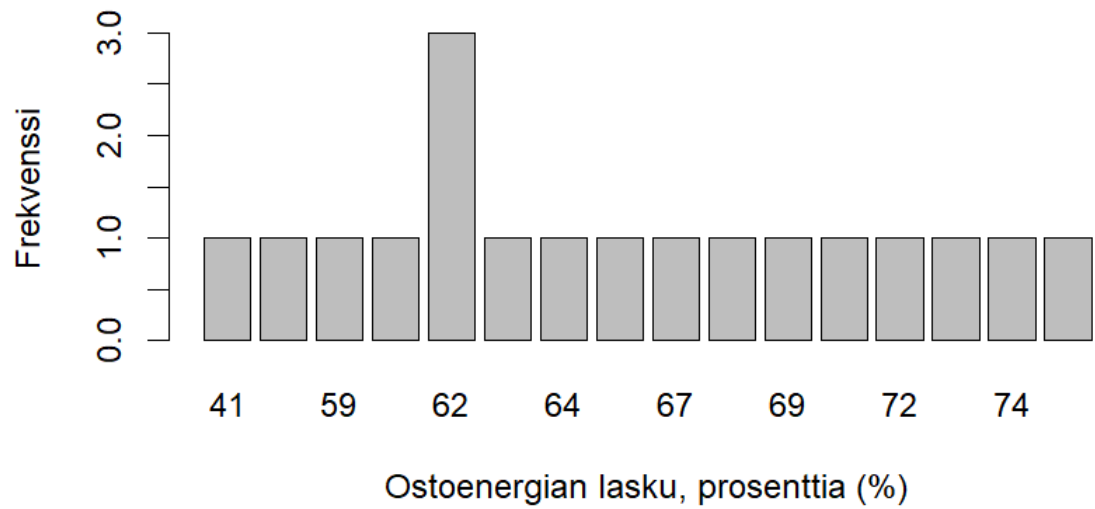


Kuva 11. Viiksikaavio.

Viiksikaavio (boxplot) on epäselvä, koska datasarjassa on vähän pisteitä. Kuvaajasta voidaan kuitenkin havaita, että datasta 50 % liikkuu 60–65 prosentin välillä. Pari havaintoa alapuolella näyttää poikkeavuudet, jossa ostoenergian lasku on ollut alle 50 % ja yliviiksi paljastaa muutaman paremmin ostoenergian kulutusta laskeneen kiinteistön.

Moodi on keskiluku, joka soveltuu parhaiten nominaaliasteikon muuttujille.

Moodi on se luokka, jossa havainto esiintyy useimmin (kuva 12). Moodiin eivät vaikuta äärimmäiset havainnot.



Kuva 12. Aineiston jakauma.

Moodi on -62 %, koska se esiintyy useimmin, eli neljä kertaa. Moodin avulla voi keskiarvoa paremmin päätellä keskeisen ryhmän. Prosenttimuutokset eivät ole kovinkaan soveltuvia tähän käyttötarkoitukseen. Koska prosenttiluvut ovat pyöristettyjä lukuja, ne eivät ole luokkia.

8 Valitun kohteen hiilidioksidilaskenta

Energiatehokkuusdirektiivi asettanee tavoitteeksi asumisen päästöttömyyden vuonna 2050. Tässä luvussa käsitellään, miten valitun taloyhtiön päästöt muuttuivat lämmitystavan vaihtamisella.

Olemassa olevan rakennuksen osalta suurimmat päästöt syntyvät

- lämmityksestä
- sähkönkulutuksesta
- vedenkulutuksesta.

Käytännössä taloyhtiön ostoenergian käytön hiilidioksidipäästöt saadaan kertomalla kohteen eri energiamuodot päästökertoimilla. Olemassa oleville kiinteistöille ei ole olemassa standardoitua laskentatapaa päästöille. Kattavan tarkastelun avulla taloyhtiö voi kehittää strategioita hiilijalanjäljen pienentämiseksi ja kestävämmän toiminnan edistämiseksi.

Hiilidioksidipäästölaskennan voi suorittaa usealla eri tavalla. Se voidaan laskea esimerkiksi käyttämällä

- paikallisia päästökertoimia
- laskemalla GHG protokolla avulla
- käyttämällä rakennuksen vähähiilisyyden arviointi menetelmää.

Käyttämällä paikallisia päästökertoimia päästökertoimet saadaan

- energialaitoksien kautta
- päästölaskuripalvelun kautta

Hiilidioksidilaskennan voi suorittaa GHG-protokolan avulla. Siinä ns. Scope 2 -laskennalla peilataan käytönaikaisia, ostoenergiasta koituvia päästöjä, kuten sähkön, lämmön, mahdollisen jäähdytyksen ja vedenkulutuksen päästöjä. [15.] Vuokrataloyhtiöt käyttävät tätä laskentatapaa.

Laskennan on voinut suorittaa lisäksi ympäristöministeriön ohjeen mukaan. Kyseisen julkaisun nimi on Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. Julkaisussa esitetään ensimmäinen versio menetelmästä, jota käytetään rakennusten vähähiilisyys arvioinnissa Suomessa. Menetelmä perustuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään ja EN-standardien määrittämiin. Menetelmä on suunniteltu arvioimaan uudisrakennusten ja suurten korjaushankkeiden hiilijalanjälkeä ja hiilikädenjälkeä testausjaksolla, joka on alkanut vuonna 2019. [16.]

Valitun kohteen energian hiilijalanjälki lasketaan Suomen ympäristökeskuksen rakentamisen päästötietokanta (CO2data.fi) -verkkopalvelun koostetuilla arviolla energiamuotojen keskiarvoisen päästökertoimen kehityksestä. Niissä on huomioitu, että arviointijakson aikana energian päästöjen odotetaan laskevan Suomen energia- ja ilmastostrategian toimenpiteiden mukaisesti. Laskennassa käytetyt oletukset sähkön ja kaukolämmön hankinnasta perustuvat Teknologian tutkimuskeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen laatiman pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys-hanketta koskevaan perusskenaarioon (ns. WEM-skenaario). [17.]

Tämän työn hiilijalanjälkivertailussa käytetään hyödynjakomenetelmällä koostettua energiaskenaariota. Työssä haluttiin selvittää lämmitystavan vaihtamisesta tulleita pidemmän ajanjakson muutoksia kohteen hiilidioksidipäästöihin. Laskennassa haluttiin selvittää kiinteistön lämmityksen ja sähköenergian kokonaisenergiankulutuksen vaikutus hiilidioksidipäästöihin. Huoneistosähkön kulutustietoja ei ollut käytettävissä, joten ne on laskettu E-luku laskennan mukaan. [18.] Tarkasteluajanjaksoksi valittiin 50 vuotta.

Laskentaan valittiin tutkittavien kohteiden mediaania lähellä oleva kohde nro 5, joka energian kulutukseltaan edustaa tämän aineiston keskikokoa. Lämmitysenergian kulutustietoina on käytetty toteutuneita kaukolämmön ja maalämmön sähköenergian kulutustietoja. Laskennan lähtötiedot on esitetty alla taulukoissa 3 ja 4.

Taulukko 3. Lämmitysjärjestelmien energiankulutus esimerkkikohteessa.

Lämmitys		Energiankulutus
Kaukolämpö	$Q_{\text{kaukolämpö}}$	452 MWh
Maalämpö	W_{MLP}	167 MWh

Lämmitettynä nettoalana käytetään rakennuksen kerrosalaa. Märkätilojen pintaalaksi määritettiin 10 % kerrosalasta. Märkätiloissa on vesikiertoinen lämmitys. Lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhde ja lämmönjakelujärjestelmien apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutukset on laskettu energiatehokkuuden laskentaohjeen kaavojen mukaisesti taulukossa 4 [18.].

Taulukko 4. Lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhde ja lämmönjakelujärjestelmien apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus.

Suure		Yksikkö	Energiatehokkuuden laskentaohje
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	0,9	-	taulukko 6.1
$\eta_{\text{lämmitys,märkätilat}}$	0,85	-	taulukko 6.1
e_{tilat}	2	kWh/m ² a	taulukko 6.1
$e_{\text{märkätilat}}$	0,5	kWh/m ² a	taulukko 6.1

Suure		Yksikkö	Energiatehokkuuden laskenta-ohje
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	0,9	-	taulukko 6.1
A_{netto}	3 368	m ²	Lämmitetty nettopinta-ala
$A_{\text{märkätilat}}$	337	m ²	Märkätilojen osuus nettopinta-alasta

Taulukossa 4 $\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$ on lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde

$\eta_{\text{lämmitys,märkätilat}}$ on märkätilojen lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde

e_{tilat} on lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus

$e_{\text{märkätilat}}$ on kylpyhuoneen sähköisen lattialämmityksen sähköenergian ominaiskulutus

A_{netto} on rakennuksen lämmitetty nettopinta-ala

$A_{\text{märkätilat}}$ on märkätilojen osuus nettopinta-alasta

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergian tarve lasketaan Energiatehokkuus asetuksen 11. momentin rakennuksen vakioidun käytön mukaan. Ilmanvaihdon puhaltimien ja apulaitteiden sähköenergian tarve lasketaan energiatehokkuuden laskentaohjeen avulla. Laskentatapa ja tulos esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Kuluttajalaitteiden, valaistuksen, ilmanvaihdon puhaltimien ja apulaitteiden sähköenergian tarve.

Suure		yksikkö	Laskentatapa
$W_{\text{valaistus}}$	26 553	kWh/a	Energiatehokkuusasetus: 11 § Rakennuksen vakioitu käyttö
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	70 809	kWh/a	Energiatehokkuusasetus: 11 § Rakennuksen vakioitu käyttö
W_{tilat}	6 231	kWh/a	Energiatehokkuuden laskentaohje: kaava 6.19
$W_{\text{tuotto,apu}}$	212	kWh/a	Energiatehokkuuden laskentaohje: kaava 7.4
W_{IV}	26 553	kWh/a	Energiatehokkuuden laskentaohje: kaava 8.1
$W_{\text{LKV,pumppu}}$	562	kWh/a	Energiatehokkuuden laskentaohje: kaava 6.7

Kaukolämmössä sähköenergiankulutus on yllä olevan taulukon yhteenlaskun tulos. Maalämpötalossa laskennasta jätetään pois kaukolämmön apulaitteiden $W_{\text{tuotto,apu}}$ energiankulutus pois.

Täten kuluttajalaitteiden, valaistuksen, ilmanvaihdon puhaltimien ja apulaitteiden sähköenergian tarve kaukolämmössä ja maalämmössä hieman vaihtelee. Taulukossa 6 on esitetty yhteenlaskettu sähkön energiatarve lämmitystavan mukaisesti.

Taulukko 6. Kuluttajalaitteiden, valaistuksen, ilmanvaihdon puhaltimien ja apulaitteiden sähköenergian tarve.

Sähköenergian tarve		
ΣW_{KL}	130 920	kWh/a
ΣW_{MLP}	130 708	kWh/a

Lämmitysjärjestelmien energiankulutukseen lasketaan yhteen lämmitykseen käytetty lämmitysenergian ja yllä lasketut sähköenergiantarpeet. Tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Yhteenlasketut energiankulutukset.

Kaukolämpö	$Q_{\text{kaukolämpö}}$	582 920	kWh/a
Maalämpö	W_{MLP}	297 708	kWh/a

Lämmitysjärjestelmien energiankulutukset on laskettu Energiatohokkuuden laskentaohjeen kaavojen 7.1 (kaukolämpö) ja 7.4–7.8 (maalämpö) mukaan.

Rakennuksen energiankäytön hiilijalanjälki lasketaan kertomalla energiankulutukset kunkin energiamuodon CO₂-päästökertoimella ja summaamalla nämä luvut. Energiamuotojen CO₂-päästökertoimet (g CO₂/kWh) esitetään taulukossa 8.

Taulukko 8. Energiamuotojen CO₂-päästökertoimet (g CO₂/kWh).

Energiamuoto	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Sähkö	153	89	59	45	34	22
Kaukolämpö	147	114	82	54	29	21
Fossiiliset polttoaineet	306	306	306	306	306	306
Uusiutuva	0	0	0	0	0	0

Energiakulutuksen hiilijalanjälki 50 vuodelle, eli vuosille 2021–2071, lasketaan huomioimalla edellisen taulukon päästökertoimet eri lämmitysmuodoille ja ottamalla yllä lasketut kuluttajalaitteiden, valaistuksen, ilmanvaihdon puhaltimien ja apulaitteiden sähköenergian tarve huomioon ($W_{\text{KL}}/W_{\text{MLP}}$). Taulukossa 9 esitetään energiakulutuksen hiilijalanjälki vuosille 2021–2071 kaukolämmössä.

Taulukko 9. Energiakulutuksen hiilijalanjälki (kg CO₂) vuosille 2021–2071, kaukolämpö.

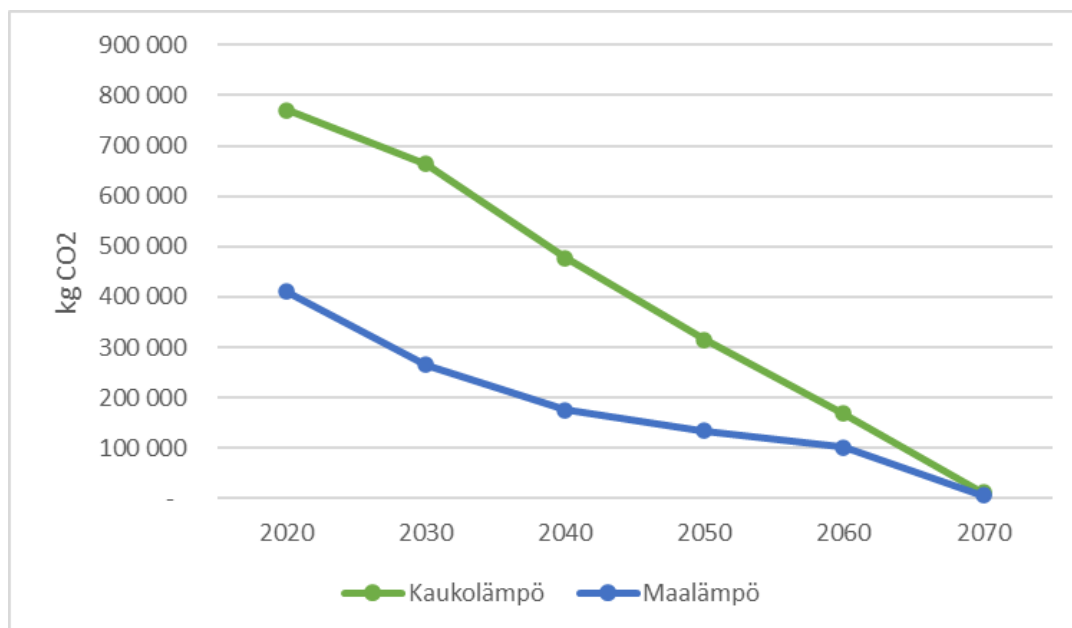
Vuodet	2021– 2029	2030– 2039	2040– 2049	2050– 2059	2060– 2069	2070– 2071
Kauko- lämpö	771 204	664 529	477 995	314 777	169 047	12 241
W _{KL}	180 277	116 519	77 243	58 914	44 513	2 880

Vastaavasti taulukossa 10 esitetään energiakulutuksen hiilijalanjälki vuosille 2021–2071 maalämmössä.

Taulukko 10. Energiakulutuksen hiilijalanjälki (kg CO₂) vuosille 2021–2071, maalämpö.

Vuodet	2021– 2029	2030– 2039	2040– 2049	2050– 2059	2060– 2069	2070– 2071
Maa- lämpö	409 944	264 960	175 648	133 969	101 221	6 550
W _{MPL}	179 985	116 330	77 118	58 819	44 441	2 876

Kuvassa 13 esitetään kiinteistön hiilijalanjälki vuosina 2021–2071.



Kuva 13. Hiilijalanjälki tarkastelujakson 2021–2071 aikana.

Taulukossa 11 esitetään yhteenlasketut energiakulutuksen hiilidioksidipäästöt vuosille 2021–2071 kaukolämmössä ja maalämmössä.

Taulukko 11. Yhteenlasketut energiakulutuksen hiilidioksidipäästöt 2021–2071.

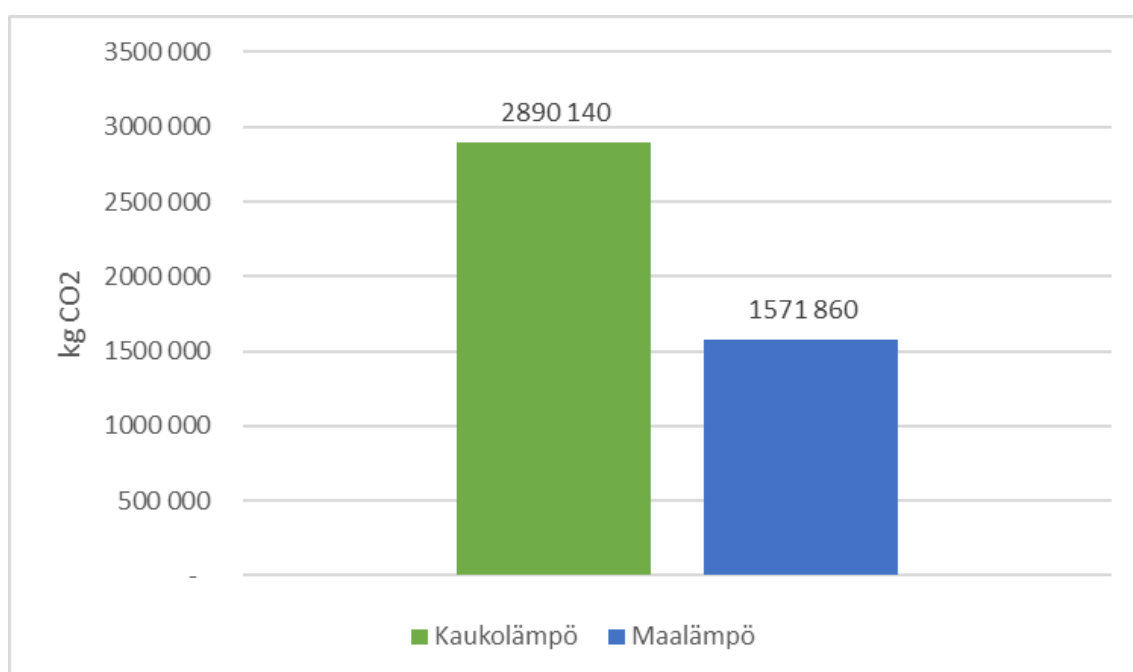
Hiilidioksidipäästöt	Σ	
Kaukolämpö	2 409 793	kg CO ₂
W _{KL}	480 347	kg CO ₂
Maalämpö	1 092 291	kg CO ₂
W _{MPL}	479 568	kg CO ₂

Laskemalla taulukon 11 tiedot yhteen saadaan rakennuksen energiankäytön hiilijalanjälki 50 vuoden aikana. Ne on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Rakennuksen energiankäytön hiilijalanjälki.

	kg CO ₂	kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ² a
Kaukolämpö	2 890 140	858	17,16
Maalämpö	1 571 860	467	9,33

Tehdyn laskennan mukaan kiinteistön hiilidioksidipäästöt maalämmössä ovat 1 318 280 kgCO₂ pienemmät kuin kaukolämmössä tarkastelujakson aikana. Taulukon 12 tietojen perusteella on laadittu kuvaaja, joka esittää rakennuksen energiankäytön hiilijalanjäljen 50 vuoden aikana (kuva 14).



Kuva 14. Rakennuksen energiankäytön hiilijalanjälki 50 vuoden aikana.

Tehdyn laskennan mukaan rakennuksen energiankäytön hiilidioksidipäästöt laskevat tarkastelujakson aikana 46 %.

Laskennan tuloksia vertailtiin tuloksiin, joita laskennasta olisi saatu ympäristöministeriön ohjeen rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän taulukkoarvojen mukaan. Kyseisen julkaisun taulukkoarvot ovat vuodelta 2019. Laskennan

lopputulos muuttuisi 12 prosenttiyksikköä paremmaksi (46 % verrattuna 58 %:iin). Tämän vuoksi laskennassa tuleekin käyttää ajantasaisimpia CO₂- arvoja.

9 Erään kohteen elinkaarilaskenta

Elinkaarilaskenta on tärkeä työkalu energiansäästöhankeissa useista syistä. Elinkaarilaskenta auttaa arvioimaan investoinnin kustannustehokkuutta ajan kuluessa. Se ottaa huomioon hankkeen alkuperäisen investoinnin kustannukset, käyttökustannukset ja mahdolliset säästöt energiankulutuksessa. Elinkaarilaskenta tarjoaa päätöksentekijöille objektiivisen vertailun eri energiansäästötoimenpiteiden välillä. Sen avulla voidaankin selvittää, mikä vaihtoehto tarjoaa parhaan tuoton sijoitetulle pääomalle. Elinkaarilaskennan avulla pystytään hahmottamaan pitkän aikavälin suunnitelmia ja ennustamaan mahdollisia tulevia kustannuksia ja säästöjä. Lisäksi laskennalla otetaan haltuun erilaisia riskitekijöitä, kuten energian hintavaihteluita. Sillä voidaan siksi tunnistaa ja hallita riskejä, jotka saattavat vaikuttaa hankkeen kannattavuuteen tulevaisuudessa. [19.]

Elinkaarilaskennan kohteeksi valittiin eräs tutkimuksen kiinteistöistä. Kohde valikoitui elinkaarilaskentaan, koska se sijaitsee tutkimusjoukon yläkvartiilissa. Elinkaarilaskelmasta haluttiin tuoda esille, kuinka paljon taloyhtiö voi parhaimmillaan säästää energiakustannuksissa. Laskennan lähtötiedot on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Laskennan lähtötiedot.

Sähkön hinta	115	€/MWh
Kaukolämmön hinta	91	€/MWh
Tarkastelujakso	20	vuotta
Reaalinen laskentakorko (i)	4,3	%
Kaukolämmön reaalinen hinnan nousu	2	%
Sähkön hinnan reaalinen nousu	2	%
Kaukolämmön lämmitys-energiankulutus	239	MWh/a
Inflaatio (f)	2	%
Eskalaatio (f _e)	2	%

Sähkön myyntihintana käytettiin vuoden 2023 sähkön keskihintaa 56,5 €/MWh. Sähkön siirtohintana on alueellisen verkkoyhtiön vuoden 2024 hinnaston mukainen siirtohintana, johon on lisätty sähkövero. Kaukolämmön hintana on käytetty alueen lämpölaitoksen vuoden 2024 energiamaksua. Kaukolämmön perusmaksu on lisätty taulukkoon 14 kaukolämmön kokonaisvuosikustannuksiin. Eskalaatio tarkoittaa energian hinnan inflaatiota. Inflaatioksi määriteltiin 2 %, koska EKP katsoo, että hintavakauden ylläpitäminen onnistuu parhaiten, kun keskipitkän aikavälin tavoitteena on kahden prosentin inflaativauhti. Reaalinen laskentakorko on laskennassa 4,3 %, koska se oli Suomen Pankin laskelmien mukaan uusien taloyhtiölainojen keskimääräinen korko vuonna 2023.

Investointilaskentamenetelmiä hyödyntäen laskettiin hankkeen nettonykyarvo, sisäinen korko, annuiteetti, hankkeen takaisinmaksuaika, hankkeen korollinen takaisinmaksuaika sekä investoinnin tuottoaste eli ROI. Seuraavat laskennat on suoritettu RT-kortin RT 04-10843 Investointilaskelmat kaavoja hyödyntäen. RT-kortisto on suomalaisen Rakennustieto Oy:n julkaisema kortistomuotoinen tietokokoelma. Kaavat on esitetty liitteessä 8.

Sisäinen korko laskettiin hyödyntämällä Excelin Solver (Ratkaisin) apuohjelmaa nollakohtan etsimiseen. Sisäinen korko on se korkokanta, jolla investoinnin nykyarvo on nolla. Toisin sanoen investoinnin tuotot ovat yhtä suuret kuin sen kustannukset. Laskennassa oletetaan, että tuotot kertyvät kunkin vuoden lopussa. Diskonttokorko (a_y) ja diskonttokerroin (a_n) ovat käsitteitä, jotka liittyvät rahavirtojen diskonttaukseen tulevaisuudesta nykyhetkeen. Taulukossa 14 esitetään investointilaskennan laskennan lähtötiedot ja laskennan tulokset.

Taulukko 14. Investointilaskennan lähtötiedot ja tulokset.

Investointi (I)	130 000	€
Tarkasteluaika (n)	20	vuotta
Vuosittaiset tuotot (T)	16 543	€/vuosi
Jäännösarvo	0	eur
Laskentakorko (i)	4,3	%
Diskonttokorko (a_y)	0,43	%
Diskonttokerroin (a_n)	13,24	-
Nettonykyarvo (NA)	88 969	€
Sisäinen korko i	11,2	%
Annuiteettimenetelmä ($C_n = 1/A_n$)	6 722	€
Yksinkertainen TMA	7,9	a
Korollinen TMA	9,8	a
ROI (Investoinnin tuottoaste)	15	%

Nettonykyarvo lasketaan diskonttaamalla investoinnista saadut tuotot ja kulut nykyarvoon ja vähentämällä siitä alkuperäinen investointisumma (kaava 2). Positiivinen nettonykyarvo (88 969 eur) osoittaa, että investointi tuottaa enemmän rahaa kuin mitä siihen on alun perin sijoitettu. Investointi on kannattava ja tuottava pitkällä aikavälillä.

Investoinnin sisäinen korko on 11,2 %, mikä tarkoittaa, että investointi tuottaa 11,2 %:n tuoton sijoitetulle pääomalle. Investointi tarjoaa täten hyvän tuoton sijoitetulle pääomalle.

Annuiteettimenetelmässä lasketaan diskonttokertoimen (A_n) käänteisluku ($1/A_n$). Tästä saamme vuotuisen maksuerän (C_n), joka vastaa investoinnin tuottoja tai kuluja diskontattuna nykyarvoon. Vuotuinen maksuerä on 6 722 euroa. Vuotuinen maksuerä auttaa arvioimaan investoinnin kannattavuutta.

Investoinnin takaisinmaksuaika on noin 8 vuotta ja huomioitaessa korkoympäristö hieman alle 10 vuotta. Tätä voidaan pitää energiansäästöprojektille riittävänä takaisinmaksuaika vaateena. Investoinnin tuottoaste (ROI) ilmaisee suhteellisen tuoton suhteessa alkuperäiseen sijoitukseen, joka on laskelmassa 15 %. Investointi on täten kannattava ja tarjoaa kohtuullisen tuoton sijoitetulle pääomalle, koska sen nettonykyarvo on positiivinen ja tuottoaste sekä sisäinen korko ovat hyväksyttävällä tasolla.

Elinkaarilaskenta tehtiin maalämmön lisäksi tilanteeseen, jossa kiinteistöön olisi asennettu poistoilmalämpöpumppu (PILP) maalämmön sijasta. Investointikustannukset, energiakustannukset ja arvioidut huoltokustannukset on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Vertailulaskennan lähtötietoja.

MLP investointi	130 000	€
MLP sähkön kulutus	68	MWh/a
MLP huoltokustannukset	1 300	€/vuosi
Kaukolämpökeskuksen uusiminen	25 000	€
Kaukolämpö huoltokustannukset	250	€/vuosi
PILP investointi	60 000	€
PILP kaukolämmön kulutus	179	MWh/a
PILP sähkön kulutus	2	MWh/a
PILP huoltokustannukset	300	€/vuosi

Järjestelmien vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi arvioitiin 0,5–1 % järjestelmän investointihinnasta. Kaukolämmön alajakokeskuksen tekninen käyttöikä on 25–30 vuotta RT- kortin mukaan. [20]. Nykyinen alajakokeskus oli jo teknisen käyttöikänsä loppupäässä, joten laskennassa otettiin asia huomioon arvioimalla alajakokeskuksen uusimiskustannuksen hinta. Maalämpöpumpun investointikustannuksena on käytetty pyöristettyä toteutunutta investointikustannusta.

Vaihtoehtojen vuosittaiset energiakustannukset esitetään taulukossa 16. Kaikissa taulukoissa on esitetty kustannusten verolliset (alv 24 %) hinnat.

Taulukko 16. Vuosittaiset energiakustannukset.

	Kaukolämpö	Maalämpö	PILP
$Q_{\text{kaukolämpö}}$ (kWh/a)	239 000	0	179 000
$W_{\text{sähkö}}$ (kWh/a)	1 000	68 000	2 000
$K_{\text{lämpö}}$ (eur,a)	24 249	-	18 789
$K_{\text{sähkö}}$ (eur,a)	115	7 820	230
$\Sigma K_{\text{energia}}$ (eur,a)	24 364	7 820	19 019

Annetuilla lähtöarvoilla laskennan reaalkoroksi tuli 2,255 %. Energianhinnan reaalkorko on sama, joten energian hinnan reaalinen kehitys on 0 %. Diskonttaustekijä yksittäiselle toimenpiteelle on 0,640. Diskonttaustekijät jaksottaisille toimenpiteille huolto ja energia ovat 15,956.

Kustannusten nykyarvo (NA) lasketaan kaavalla 3:

$$NA = a_{n,energia} \cdot \sum K_{energia} + a_{n,huolto} \cdot K_{huolto} + a_{n,y} \cdot J + I \quad (3)$$

Kaavassa NA on nettonykyarvo

$A_{n,energia}$ on energiakustannusten diskonttaustekijä

$K_{energia}$ on vuotuinen energiakustannus

$A_{n,huolto}$ on huoltokustannusten diskonttaustekijä

K_{huolto} on vuotuinen huoltokustannus

$a_{n,y}$ on tulevien maksujen diskonttaustekijä

J on jäännösarvo

I on investointi

Jäännösarvoa ei huomioida tässä laskelmassa, koska taloteknisillä investoinneilla on harvoin jäännösarvoa. Yleensä jäännösarvo ilmenee vain silloin, kun investointikohteen voi myydä jälkimarkkinoilla. Sen sijaan purku- ja kierrätyskustannukset voivat vaihdella eri laskentavaihtoehdoilla. [21.]

Tarkasteluajanjaksolle (20 vuotta) lasketut diskontatut energia- ja huoltokustannukset ja kustannusten nykyarvo esitetään taulukossa 17.

Taulukko 17. Energia- ja huoltokustannukset ja kustannusten nykyarvot.

	Kaukolämpö	Maalämpö	PILP
$a_{n,\text{kaukolämpö}} \times K_{\text{lämpö}} (\text{€})$	386 923	0	299 801
$a_{n,\text{sähkö}} \times K_{\text{sähkö}} (\text{€})$	1 835	124 778	3 670
$a_{n,\text{huolto}} \times K_{\text{huolto}}$	3 989	20 743	4 787
NA, Kustannusten nykyarvo (€)	417 747	275 521	368 259

Taulukosta voidaan havaita, että 20 vuoden tarkastelujaksolla maalämpö tulee kiinteistölle 142 226 euroa halvemmaksi kuin kaukolämmössä pysyminen. Poistoilmalämpöpumpun asentaminen kaukolämmön rinnalle olisi laskenut kustannuksia 49 488 euroa.

Kuvassa 15 esitetään vertailutapauksen eli kaukolämmön vuotuiset kassavirrat ja tuottojen nykyarvot.

Vuosi	Investointi = I (€)	Vuotuiset nimelliset energiakulut = $K_{\text{energia},a} \cdot (1+f_e)^n$ (€)	Vuotuiset nimelliset kulut = $K_{\text{huolto},a} \cdot (1+f)^n$ (€)	Nimellinen nettokassavirta (CF = cash flow) (€)	Diskonttaustekijä nimelliskorolla $a_y = 1/(1+i)^n$	Vuosittaisten nimellisten kustannusten / tuottojen nykyarvo (DCF = (discounted cash flow) (€)	Kumulatiivinen nimellinen diskontattu kassavirta, DCF (€)
0	25 000			25 000	1,0000	25 000	25 000
1		24 851	4 069	28 920	0,9588	27 728	52 728
2		25 348	4 150	29 499	0,9192	27 116	79 844
3		25 855	4 233	30 088	0,8813	26 518	106 363
4		26 372	4 318	30 690	0,8450	25 934	132 296
5		26 900	4 404	31 304	0,8102	25 362	157 658
6		27 438	4 492	31 930	0,7768	24 802	182 460
7		27 987	4 582	32 569	0,7447	24 256	206 716
8		28 546	4 674	33 220	0,7140	23 721	230 437
9		29 117	4 767	33 885	0,6846	23 198	253 634
10		29 700	4 863	34 562	0,6564	22 686	276 320
11		30 294	4 960	35 253	0,6293	22 186	298 506
12		30 899	5 059	35 959	0,6034	21 697	320 203
13		31 517	5 160	36 678	0,5785	21 218	341 421
14		32 148	5 263	37 411	0,5547	20 750	362 171
15		32 791	5 369	38 159	0,5318	20 293	382 463
16		33 447	5 476	38 923	0,5099	19 845	402 309
17		34 115	5 586	39 701	0,4888	19 408	421 716
18		34 798	5 697	40 495	0,4687	18 980	440 696
19		35 494	5 811	41 305	0,4494	18 561	459 257
20		36 204	5 928	42 131	0,4308	18 152	477 408

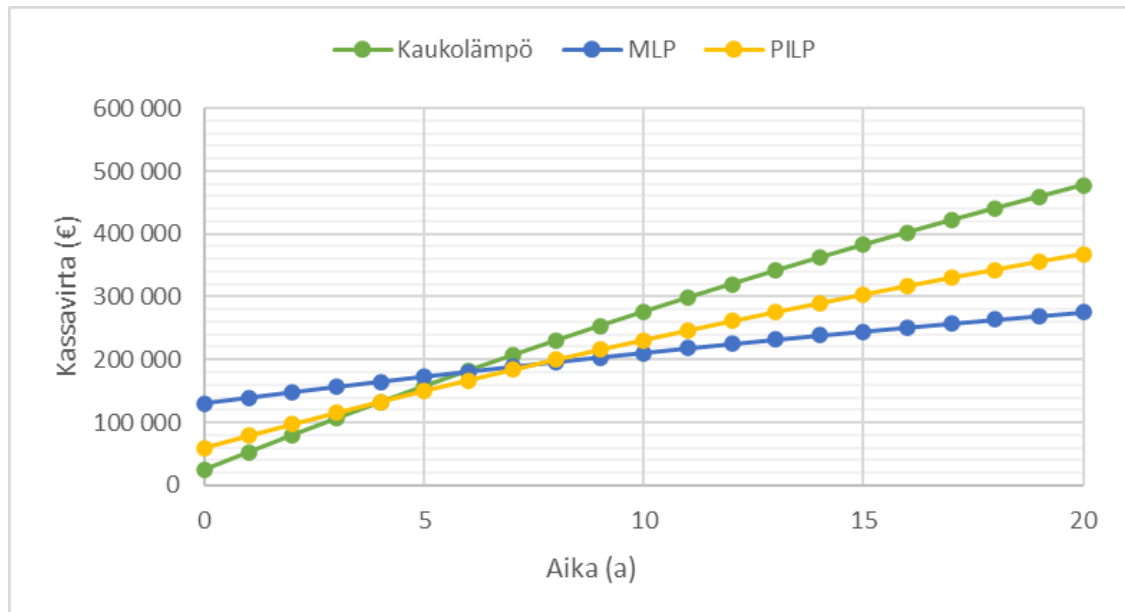
Kuva 15. Kaukolämmön kassavirrat.

Vastaavalla tavalla laskettiin myös poistoilmalämpöpumpun kassavirrat. Tätä laskentaa ei esitä tässä taulukkomuodossa, mutta tiedot on lisätty myöhemmin esitettävään kuvaajaan. Kuvassa 16 esitetään maalämmön vuotuiset kassavirrat ja tuottojen nykyarvot.

Vuosi	Investointi = I (€)	Vuotuiset nimelliset energiakulut = $K_{\text{energia},a} \cdot (1+f_e)^n$ (€)	Vuotuiset nimelliset kulut = $K_{\text{huolto},a} \cdot (1+f)^n$ (€)	Nimellinen nettokassavirta (CF = cash flow) (€)	Diskonttaustekijä nimelliskorolla a_y $= 1/(1+i)^n$	Vuosittaisten nimellisten kustannusten / tuottojen nykyarvo (DCF = (discounted cash flow) (€)	Kumulatiivinen nimellinen diskontattu kassavirta, DCF (€)
0	130 000			130 000	1,0000	130 000	130 000
1		7 976	1 326	9 302	0,9588	8 919	138 919
2		8 136	1 353	9 488	0,9192	8 722	147 641
3		8 299	1 380	9 678	0,8813	8 530	156 171
4		8 465	1 407	9 872	0,8450	8 342	164 513
5		8 634	1 435	10 069	0,8102	8 158	172 671
6		8 807	1 464	10 271	0,7768	7 978	180 648
7		8 983	1 493	10 476	0,7447	7 802	188 450
8		9 162	1 523	10 686	0,7140	7 630	196 080
9		9 346	1 554	10 899	0,6846	7 462	203 542
10		9 533	1 585	11 117	0,6564	7 297	210 839
11		9 723	1 616	11 340	0,6293	7 136	217 976
12		9 918	1 649	11 566	0,6034	6 979	224 954
13		10 116	1 682	11 798	0,5785	6 825	231 779
14		10 318	1 715	12 034	0,5547	6 674	238 454
15		10 525	1 750	12 274	0,5318	6 527	244 981
16		10 735	1 785	12 520	0,5099	6 383	251 364
17		10 950	1 820	12 770	0,4888	6 243	257 607
18		11 169	1 857	13 026	0,4687	6 105	263 712
19		11 392	1 894	13 286	0,4494	5 970	269 682
20		11 620	1 932	13 552	0,4308	5 839	275 521

Kuva 16. Maalämmön kassavirrat.

Taulukoiden laatimisen avulla pystyttiin laatimaan toimenpiteistä kuvaaja, jossa esitetään eri vaihtoehtojen kassavirrat 20 vuoden ajanjakson aikana. Kuvaaja on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Kustannusten nykyarvo.

Kuvaajasta voidaan havaita, että vaikka maalämpöön siirtymisellä on eniten kustannuksia investoinnin päätöshetkellä, tulee se kyseiselle taloyhtiölle 20 vuoden aikajänteellä halvimmaksiksi vaihtoehdoksi. Kriittinen piste on noin kuuden vuoden kohdalla.

10 Herkkyysanalyysin laatiminen

Investointipäätös suuntautuu aina tulevaisuuteen, mikä tuo mukanaan epävarmuutta. Todennäköisyys sille, että kaikki investoinnin taustalla olevat oletukset toteutuvat, on pieni, vaikkakin jokainen yksittäinen tekijä osattaisiinkin arvioida kohtuullisen tarkasti. Herkkyystarkastelu on tärkeä työkalu taloudellisessa suunnittelussa ja päätöksenteossa. Se auttaa ymmärtämään, miten muutokset vaikuttavat lopputulokseen. Laskennan lähtöarvot ovat usein epätarkkoja, mikä korostaa tarvetta tarkastella tuloksia herkkyystarkasteluiden avulla. Tämä tarkoittaa yhden tekijän muuttamista kerrallaan pitämällä muut tekijät vakiona, jotta voidaan arvioida niiden vaikutusta tuloksiin. [21.]

Taulukossa 18 esitetään herkkyystarkastelu lähtötiedot maalämmölle. Lähtötiedot ovat samat, kuin luvun 9 laskennassa käytetyt.

Taulukko 18. Herkkyystarkastelun lähtötiedot.

Hankintameno	I	130 000	eur
Laskentajakson pituus	n	25	vuotta
Vuotuiset nettotuotot	T	16 500	eur
Jäännösarvo	J	0	eur
Korkoprosentti	i	4,3	%

Herkkyystarkastelu suoritettiin eri tapauksille:

1. hankintahinnan muutoksille -20 %, -10 %, +10 % ja +20 % vertailuarvosta
2. eri laskentajakson pituuksille 10–20 vuotta
3. laskentakoroille 1 %, 2 %, 3 % ja 5 %
4. nettotuotoille -20 %, -10 %, +10 % ja +20 % vertailuarvosta.

Alla on esitetty yhteenvedet saaduista tuloksista. Kuvassa 17 on esitetty laskenta hankintamenon muutoksilla -20 %, -10 %, +10 % ja +20 % vertailuvuodesta.

Tapaus		1	1	1	1
Hankintameno	I	104 000	117 000	143 000	156 000
Laskentajakson pituus	n	25	25	25	25
Vuotuisetnettotuotot	T	16 500	16 500	16 500	16 500
Jäännösarvo	J	0	0	0	0
Korkoprosentti	i	4 %	4 %	4 %	4 %
Korkotekijä	1+i	1,04	1,04	1,04	1,04
Jaksollisten suorituksen diskonttaustekijä	a_n	15,14	15,14	15,14	15,14
Tuottojen nykyarvo	NA_{tuotot}	249782	249782	249782	249782
Yksittäisen suorituksen diskonttaustekijä	a_y	0,35	0,35	0,35	0,35
Jäännösarvon nykyarvo	$NA_{jäännösarvo}$	0	0	0	0
Investoinnin nykyarvo	NA	145 782	132 782	106 782	93 782

Kuva 17. Hankintamenon muutokset.

Investoinnin nykyarvo on jokaisessa kohdassa positiivinen. Suurimmillaan muuttujan arvolla hankintameno -20 %.

Kuvassa 18 on esitetty laskenta eri laskentajakson pituuksilla 10, 15, 20, 25 vuotta.

Tapaus		2	2	2	2
Hankintameno	I	130 000	130 000	130 000	130 000
Laskentajakson pituus	n	10	15	20	25
Vuotuisetnettotuotot	T	16 500	16 500	16 500	16 500
Jäännösarvo	J	0	0	0	0
Korkoprosentti	i	4 %	4 %	4 %	4 %
Korkotekijä	1+i	1,04	1,04	1,04	1,04
Jaksollisten suorituksen diskonttaustekijä	a_n	7,99	10,89	13,24	15,14
Tuottojen nykyarvo	NA_{tuotot}	131853	179664	218399	249782
Yksittäisen suorituksen diskonttaustekijä	a_y	0,66	0,53	0,43	0,35
Jäännösarvon nykyarvo	$NA_{jäännösarvo}$	0	0	0	0
Investoinnin nykyarvo	NA	1 853	49 664	88 399	119 782

Kuva 18. Laskentajakson pituuden muutoksien vaikutus nykyarvoon.

Investoinnin nykyarvo on jokaisessa kohdassa positiivinen. Investoinnin nykyarvo on korkein, kun laskentajakson pituus on 25 vuotta.

Kuvassa 19 on esitetty laskenta laskentakoroille 1 %, 2 %, 3 % ja 5 %.

Tapaus		3	3	3	3
Hankintameno	I	130 000	130 000	130 000	130 000
Laskentajakson pituus	n	25	25	25	25
Vuotuisetnettotuotot	T	16 500	16 500	16 500	16 500
Jäännösarvo	J	0	0	0	0
Korkoprosentti	i	1 %	2 %	3 %	5 %
Korkotekijä	$1+i$	1,01	1,02	1,03	1,05
Jaksollisten suorituksen diskonttaustekijä	a_n	22,02	19,52	17,41	14,09
Tuottojen nykyarvo	NA_{tuotot}	363382	322137	287317	232550
Yksittäisen suorituksen diskonttaustekijä	a_y	0,78	0,61	0,48	0,30
Jäännösarvon nykyarvo	$NA_{jäännösarvo}$	0	0	0	0
Investoinnin nykyarvo	NA	233 382	192 137	157 317	102 550

Kuva 19. Koron muutoksien vaikutus nykyarvoon.

Investoinnin nykyarvo on jokaisessa kohdassa positiivinen. Investoinnin nykyarvo on suurin, kun korkoprosentti on 1 %.

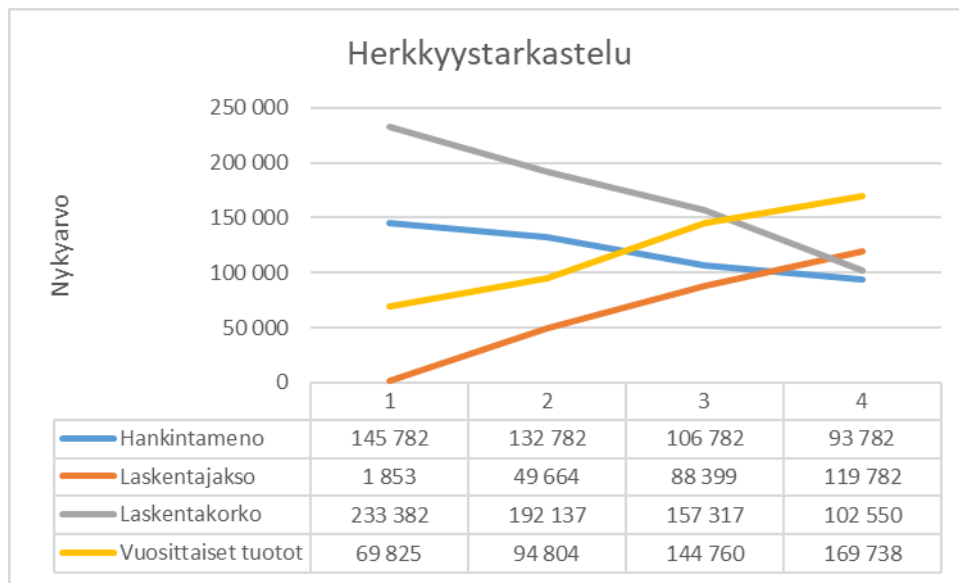
Kuvassa 20 on esitetty laskenta nettotuotoille -20 %, -10 %, +10 %, +20 % vertailuarvosta.

Tapaus		4	4	4	4
Hankintameno	I	130 000	130 000	130 000	130 000
Laskentajakson pituus	n	25	25	25	25
Vuotuisetnettotuotot	T	13 200	14 850	18 150	19 800
Jäännösarvo	J	0	0	0	0
Korkoprosentti	i	4 %	4 %	4 %	4 %
Korkotekijä	$1+i$	1,04	1,04	1,04	1,04
Jaksollisten suorituksen diskonttaustekijä	a_n	15,14	15,14	15,14	15,14
Tuottojen nykyarvo	NA_{tuotot}	199825	224804	274760	299738
Yksittäisen suorituksen diskonttaustekijä	a_y	0,35	0,35	0,35	0,35
Jäännösarvon nykyarvo	$NA_{jäännösarvo}$	0	0	0	0
Investoinnin nykyarvo	NA	69 825	94 804	144 760	169 738

Kuva 20. Nettotuoton muutoksien vaikutus nykyarvoon.

Investoinnin nykyarvo on jokaisessa kohdassa positiivinen. Investoinnin nykyarvo on suurin, kun muuttujan nettotuotot arvo on +20 %.

Vertailukohtana olevilla alkuarvoilla investointi on kaikissa tapauksissa kannattavuusrajan yläpuolella, koska jokaisessa laskennassa investoinnin nykyarvo on positiivinen. Kuvaajan avulla (kuva 21) voidaan arvioida, miten kunkin muuttujan muutos vaikuttaa nykyarvoon.



Kuva 21. Herkkyystarkastelun kuvaaja.

Tuloksista voidaan havaita, että investointilaskelmissa lopputulos voi muuttua merkittävästi, jos samanaikaisesti muutetaan useita muuttujia. Tämä korostaa laskelmien laatijan vastuuta ja tarvetta huolellisuuteen. Kuvaajasta ilmenee, että nykyarvo reagoi herkimmin laskentajakson ja laskentakoron muutoksiin. Vähiten herkkä se on hankintamenon muutoksille.

11 Tulosten tarkastelu ja loppupäätelmät

Kun tarkastellaan tehdyn ETS-ennustemallin ja sovitteen keskiarvoa, voidaan arvioida, että vuonna 2030 noin 14 000 kerrostaloa siirtyy lämmityksessään maalämmön käyttöön. Vuoteen 2030 mennessä kohteiden lukumäärä yli nelinkertaistuu nykyisestä. Viimeaikaisten muutosten ennustaminen voi olla haasteellista johtuen koronaviruspandemiasta ja Ukrainan sodasta. Ne ovat monimutkaisia ja epävarmuutta aiheuttavia globaaleja tekijöitä, jotka vaikuttavat ennustemallien tuloksiin monin tavoin. Toimitusketjujen häiriöt ja logistiset ongelmat vaikuttivat teknologian toimituksiin ja asennuksiin. Sota Euroopassa aiheuttaa energiamarkkinoiden epävakautta ja hintojen volatiliiteettia.

Analyysimenetelmien vertailu keskiarvon ja mediaanin kesken tarjosivat erilaisia näkökulmia muutoksen arvioimiseen. Keskiarvo osoitti lämmitysenergian kulutuksen laskeneen tutkituissa kohteissa keskimäärin 64 %. Vaihteluväli on 41–75 %, mikä kuvastaa merkittävää vaihtelua kohteiden välillä.

Aineistossa havaittiin poikkeamia, jotka vaikuttivat keskiarvon herkkyyteen. Vinouma aineistossa vaikutti keskiarvon tarkkuuteen. Mediaani (65 %) tarjoaa tarkemman kuvan muutoksen jakaumasta, erityisesti huomioimalla suurimman arvon vaikutuksen. Heikoimmin suoriutuneessa kvartiilissa lämmitysenergian kulutus laski 62 % ja yläkvartiilissa 70 %. Aineisto ei ole symmetrinen, mikä viittaa epätasaiseen muutoksen jakautumiseen. Analyysin luotettavuutta tarkasteltiin käyttämällä R-ohjelmointikieltä ja esittämällä tulokset taulukoiden ja kuvaajien avulla. Tutkimuksen otos edustaa prosenttia kaikista suomalaisista kerrostaloista, jotka lämpenevät maalämmöllä. Otoksen suhteellinen koko populaatioon nähden on melko pieni, mikä vaikuttaa otannan edustavuuteen.

Tutkimusaineistoa tarkastelemalla voidaan havaita, että lämmitystavan muutos maalämpöjärjestelmiin on tehty suurimpaan osaan kohteista viime vuosina, ja näin ollen maalämpöjärjestelmät ovat olleet käytössä kiinteistöissä hyvin lyhyen

aikaa käytössä verrattuna järjestelmän keskimääräiseen tekniseen käyttöikään, joka on RT-kortin mukaan noin 25–30 vuotta lämpöpumppulaitteen osalta. [20.] Täten aineistossa eivät vielä näy mahdolliset ongelmat, joita voi esiintyä esimerkiksi energiakentän mitoituksessa.

Opinnäytetyössä saadut tulokset osoittavat selkeän trendin ostoenergian kulutuksen laskussa. Aineistossa havaittiin vinoumaa, joten keskiarvoa paremmin muutosta kuvaa lämmitystavan muutoksen keskiluku eli mediaaniluku. Tutkimuksen mukaan ostettavan lämmitysenergian kulutus laskee 65 %.

Laskettu keskiarvo ja mediaani ovat lähellä useassa kirjallisuuslähteessä mainittua maalämpöpumpun COP-keskiarvoa 3. Lämpökerroin kertoo, kuinka paljon maalämpöpumppu tuottaa lämpöä verrattuna sen käyttämään sähköenergiaan.

Syy siihen, miksi osassa kohteissa säästö jäi pieneksi ja COP kerroin asettui kahteen tai huonommaksi, ei selvinnyt. Oletuksen mukaan tämä voi johtua huonosti suunnitellusta tai huonosti asennetusta järjestelmästä, tai laitteistojen säädöt on jäänyt tarkistamatta tai optimoimatta. Asian selvittäminen vaatisi jatkotutkimuksia.

Tehdyn hiilijalanjälkilaskennan mukaan kohteen kiinteistön energiankäytön hiilidioksidipäästöt laskevat 50 vuoden tarkastelujakson aikana 1 318 tCO₂ (46 %). Investointilaskennan mukaan taloudelliset indikaattorit, kuten ROI, nettonykyarvo sekä suora ja korollinen takaisinmaksuaika ovat myönteisiä. Elinkaarilaskelman mukaan maalämpöön siirtymisellä on eniten kustannuksia investoinnin päätöshetkellä. Se tulee silti kyseiselle taloyhtiölle 20 vuoden aikajänteellä halvimmaksi vaihtoehdoksi taloudelliset käsitteet huomioiden.

Herkkyysanalyysissä kaikilla alkuarvoilla tehty investointi on kaikissa tapauksissa kannattavuusrajan yläpuolella. Kaikissa analyyseissä laskennassa investoinnin nykyarvo on positiivinen. Positiivinen investoinnin nykyarvo kaikissa tilanteissa osoittaa, että investoinnin tuotot ylittävät sen kustannukset. Se tekee

maalämpöön siirtymisestä houkuttelevan sijoitusmahdollisuuden. Investointi säilyy kannattavana ja tuottavana erilaisissa skenaarioissa ja muuttuvissa olosuhteissa.

Opinnäytetyön ei ole tarkoitus tehdä yleistyksiä, vaan tilannetta kuvataan saatujen vastauksien perusteella. Tämä tarkoittaa, että tutkimuksen tuloksia tulkitaan ja analysoidaan otoksen perusteella, eikä niitä voida suoraan yleistää koko populaatioon.

12 Yhteenveto

Aiemmin työssäni olen tarkastellut erilaisia tekijöitä, jotka kaikki vaikuttavat lämmitystavan muutokseen ja toimivat käynnistävinä voimina siirryttäessä perinteisemmästä lämmitysmenetelmästä maalämpöjärjestelmiin. Edellisissä luvuissa on käsitelty ne osa-alueet, jotka toimivat muuttujina toteutetussa tutkimuksessa, jossa analysoidaan niiden vaikutuksia ja merkitystä tehdyn tutkimuksen kontekstissa.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin tietoa siitä, mikä on ollut ostettavan lämmitysenergian kulutuksen muutos lämmitystavan muutoksella. Opinnäytetyön tavoite on auttaa ymmärtämään, miten siirtyminen maalämpöön vaikuttaa energiatehokkuuteen, kiinteistön hiilijalanjälkeen ja energiakustannuksiin.

Työssäni tutkin lämmitysenergian kulutuksen muutosta ulkoisten tietolähteiden avulla. Kävin läpi suppean kirjallisuuskatsauksen energiansäästöön jo olemassa oleviin rakennuksiin liittyvästä lainsäädännöstä, suosituksista ja asetuksista aina Euroopan unionin tasolta kansalliseen lainsäädäntöön asti. Kirjallisuuskatsauksessani tarkastelin pintapuolisesti maalämpöä sekä energiansäästöä käsitteenä. Työssäni laadin ennustemalleja maalämpöjärjestelmien kehityksestä. Laskin mediaanikohteen hiilidioksidipäästöjen vähenemän ja laadin erään kohteen elinkaarilaskelman ja siihen herkkyystarkastelun.

Aiheen rajaukset olivat tehty tiukasti. Tutkimiskohteita oli vaikea löytää, koska niistä ei ole olemassa julkista dataa. Käytettävää materiaalia tutkimuksessa oli niukasti, ja työssäni luotettavien lähteiden löytäminen aiheutti mahdollisesti suurimman haasteen. Tutkimuksen jatkaminen laajentamalla otantaa on tärkeää, jotta saataisiin parempi kuva energiankulutuksen muutoksesta. Tämä edistää tulosten yleistettävyyttä.

Opinnäytetyöprosessin aikana toimin eettisten ohjeiden mukaisesti [22]. Työni tein avoimesti ja totuudenmukaisesti. Tutkimuksessa kerätyt tiedot käsiteltiin luottamuksellisesti ja osallistujien yksityisyys suojattiin asianmukaisesti. Kerroin avoimesti muille yhteistyötahoille opinnäytetyön tavoitteista ja tarkoituksesta.

Kerätyt tiedot on käsitelty ja säilytetty turvallisesti ja luottamuksellisesti, noudattaen asianmukaisia tietosuojakäytäntöjä. Raportoin tutkimuksen tulokset avoimesti ja läpinäkyvästi, jotta tutkimuksen tulokset voidaan arvioida ja toistaa tarvittaessa. En käyttänyt epäluotettavia lähteitä tai plagioinut tekstiä. Työssä käytetty lähdekirjallisuus ja muut lähteet ovat olleet luotettavia ja ajankohtaisia. Käytettyyn materiaaliin on asianmukaisesti viitattu ja se on lähteistetty hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti. Työssäni olen pyrkinyt edistämään avointa ja läpinäkyvää tiedonvaihtoa koko tutkimusprosessin ajan.

Työssäni ilmeni mielenkiintoisia asioita, joita voidaan tutkia jatkossa. Tarkastelua voisi syventää ja selvittämällä tekijöitä, jotka selittävät suurta vaihtelua lämmitysenergian kulutuksen muutoksessa. Jatkotutkimus voisi keskittyä myös lämmitysjärjestelmien optimointiin ja järjestelmien maapiirien mitoitukseen. Voisi lisäksi tutkia millaisia säätöjä tai muutoksia maalämpöjärjestelmiin voitaisiin tehdä, jotta energiatehokkuus paranisi.

Opin opinnäytetyöni aikana tilastollisten menetelmien käyttämistä ja niiden tulkitsemista. Lisäksi syvensin osaamistani R-ohjelmointikielen käyttämisestä. R-kielillä pystyy muutamalla rivillä suorittamaan tehtäviä, jotka vaatisivat taulukkolaskentaohjelmassa enemmän aikaa. Lisäksi R-kielessä on useita valmiita laskentapaketteja, jotka auttavat yksittäisien lukujen taulukoinnin sijaan tilastomallien kautta ymmärtämään monimutkaista ilmiötä.

Oman näkemykseni mukaan opinnäytetyölläni on ymmärryksen lisääntymiseen myönteinen vaikutus, ja sitä voidaan hyödyntää työnantajaedustajan projekteissa, joten katson saavuttaneeni tavoitteen tältä osin. Tätä kehitystä pitää nyt jatkaa erillisen kehitysprojektin muodossa työnantajaedustajan kanssa.

Opinnäytetyön ei ole tarkoitus tehdä yleistyksiä, vaan tilannetta kuvataan saatujen vastauksien perusteella. Työn onnistumista arvioidaan sen hyödynnettävyyden perusteella. Tavoitteena on toimia keskustelun avaajana kiinteistöalalla,

kun harkitaan siirtymistä maalämpöjärjestelmiin. Tutkimuksen onnistumista voidaan arvioida parhaiten, kun tiedetään, miten sen tulokset vaikuttavat käytännön sovelluksiin ja kuinka hyvin ne vastaavat alan tarpeisiin ja odotuksiin.

Lähteet

- 1 Asumisen energiankulutus. 2021. Verkkoaineisto. Helsinki. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen_2020_2021-12-16_fi.pdf>. Luettu 28.2.2022.
- 2 Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia. 2020. Verkkoaineisto. Helsinki. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/korjausrakentamisen-strategia>>. Luettu 11.4.2022.
- 3 Vilkka, Hanna. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- 4 Rakentaminen ja maankäyttö. Rakennusten energia-tehokkuus. 2022. Verkkoaineisto. Helsinki. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>>. Luettu 11.4.2022.
- 5 Europa.eu: Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutos (2018/44/EU). 2018. Verkkoaineisto. EU. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=FI>>. Luettu 8.9.2022.
- 6 116i -- Rakennukset maakunnittain käyttötarkoituksen ja lämmitysaineen mukaan. Tilastokeskus. 2023. Verkkoaineisto. <https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__rakke/stat-fin_rakke_pxt_116i.px/>. Luettu 27.3.2024.
- 7 Hirvonen, Jussi. 2023. Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. Sähköpostihaastattelu 4.1.2023.
- 8 Kaukolämpö ja kaukojäähdytys. Energiateollisuus.2023. Verkkoaineisto <<https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>>. Luettu 14.1.2024.
- 9 Tamminen, Eemil. 2020. Kauko- ja maalämpöjärjestelmien vertailu uudisasuinkerrostalossa. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 10 Virtanen, Markus. 2023. Yrittäjä, Datarion tmi, Hausjärvi. Keskustelu 25.12.2023.
- 11 Google Maps. 2024. Alphabet Inc. Opinnäytetyön tutkimuksen kohteena olevat rakennukset kartalla. 28.02.2024.

- 12 Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Helsinki. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>>. Luettu 2.1.2024.
- 13 Kulutuksen normitus. 2023. Verkkoaineisto. Helsinki. Motiva. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus>. Luettu 6.12.2023.
- 14 Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Helsinki. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi>. Luettu 2.1.2024.
- 15 Sotos, Mary. 2023. GHC Protocol Scope 2 Guidance. World Resources Institute.
- 16 Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Helsinki. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisuuden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 15.8.2023.
- 17 Co2data.fi- palvelu. Suomen ympäristökeskus. Rakentamisen päästötietokanta. <<https://co2data.fi/rakentaminen/>>. Luettu 23.3.2024.
- 18 Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017. Helsinki. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf/277c79e7-2a12-5052-ba33-cb2e2c8709ab/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammit>. Luettu 13.3.2024.
- 19 Suomala, Petri. 2011. Laskentatoimi johtamisen tukena. Helsinki: Edita.
- 20 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. RT 18-10922. Rakennustieto.
- 21 Yrjölä, Jukka. 2020. Investointilaskelmat. Opetusministeriö. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 22 Alhorinne, Jussi. Forsman, Kati. Hovila, Elina. Kankkunen, Antti. Lyly, Taru. Näyhö, Marjo-Riitta. Salminen, Päivi. Savola, Tea. Temmes, Jenni. 2023. Insinööriytohjeet. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu.

Kiinteistöjen lähtötiedot

Alla olevassa kuvassa on esitetty tutkimuksen kohteena olleiden kiinteistöjen saadut lähtötiedot. Siinä esitetään kiinteistöjen sijaintipaikkakunta sekä energian- ja vedenkulutustiedot. Tiedot mistä kiinteistö voitaisiin yksilöidä on jätetty pois tästä taulukosta (GDPR).

#	Paikkakunta	Kaukolämmön kulutus (MWh)							Sähkön kulutus (MWh)							Veden kulutus (m3)							
		2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	Helsinki				1 464							149		789					12 823		11 746		
2	Helsinki				399							95	280	188					4 904	4 917	4 622		
3	Helsinki					3 752	3 715						50	74	910					11 901	10 843	10 227	
4	Kirkkonummi	231	185*										85	94	89	1 777						2 026	
5	Helsinki	476	469	452	418				30	29			25	34	201	2 957	2 820	2 820			2 663	2 788	
6	Kouvola			213	186	240	205				8	6	8	7	119			1 045	1 168	1 136	1 136	1 100	
7	Espoo			217		234	228							27	118			2 616	2 616	2 616	2 374	2 092	
8	Espoo			1 020	985	182					97				444			10 675	11 280			10 552	
9	Turku				999							268		447						8 397		5 638	
10	Kotka			140								5			50			3 000				3 000	
11	Helsinki					410									137			11 500				11 600	
12	Mikkeli						190						4		60					2 000	2 000	2 000	2 000
13	Järvenpää		280											85			1 990					1 990	
14	Helsinki	171													66	2 202						2 176	
15	Hämeenlinna	415							33	176	158	135	159	168	149	2 712	2 335	2 345	2 438	2 315	2 054	1 839	
16	Naantali	466	455						34						152	2 340						2 340	
17	Hämeenlinna	143							8	14	46	42	55	42	45	660	685	610	491	468	372	342	
18	Klaukkala	239								92	87	75	82	66	68	1 752	1 464	1 568	1 431	1 285	1 268	1 311	

Kuva 1. Kiinteistöt ja niiden energiankulutustiedot.

Normeeratut kulutustiedot

Alla olevassa kuvassa on esitetty tutkimuksen kohteena olleiden kohteiden normeeratut energiankulutukset. Siinä esitetään lisäksi minkä vuoden kulutustietoja on käytetty laskennassa.

Kohde nro	E, KL	kaukolämmön normeeraus, vuosi	paikkakunta	SN vp kunta	Stoteutunut, kunta	Qnorm, KL		E, MLP	Maalämmön normeeraus, vuosi	Stotenut, kunta	Qnorm, MLP		Vesi, KL	Qkv, KL	Vesi, MLP	Qkv, MLP
1	1 464	2020	Helsinki	3 689	2 906	1 778		640	2022	3 541	656		12 823	297	11 746	273
2	399	2020	Helsinki	3 689	2 906	476		185	2021	3 831	182		4 904	114	4 622	107
3	3 715	2022	Helsinki	3 689	3 541	3 860		910	2023	3 493	948		10 843	252	10 227	237
4	231	2017	Knummi	3 689	3 549	238		89	2023	3 493	91		1 777	41	2 026	47
5	452	2019	Helsinki	3 689	3 419	483		167	2023	3 493	173		2 820	65	2 788	65
6	205	2022	Kouvola	4 238	4 039	213		119	2023	3 980	125		1 136	26	1 100	26
7	228	2022	Espoo	3 689	3 541	235		118	2023	3 493	122		2 374	55	2 092	49
8	1 020	2019	Espoo	3 895	3 419	1 128		444	2023	3 493	466		10 675	248	10 552	245
9	999	2020	Turku	3 871	3 180	1 174		447	2022	3 772	455		8 397	195	5 638	131
10	140	2019	Kotka	3 895	3 629	145		50	2023	3 765	49		3 000	70	3 000	70
11	410	2021	Helsinki	3 689	3 831	405		137	2023	3 493	130		11 600	269	11 500	267
12	190	2022	Mikkeli	4 303	4 191	194		60	2023	4 120	61		2 000	46	2 000	46
13	280	2018	Järvenpää	3 895	3 789	287		85	2022	3 860	85		1 990	46	1 990	46
14	171	2017	Helsinki	3 689	3 549	176		66	2023	3 493	67		2 202	51	2 176	50
15	415	2015	H:linna	4 238	3 662	470		116	2023	3 980	121		2 712	63	1 839	43
16	455	2018	Naantali	3 871	3 737	469		152	2023	3 823	154		2 340	54	2 340	54
17	143	2017	H:linna	4 238	4 144	146		37	2023	3 980	39		660	15	342	8
18	239	2016	Nurmijärvi	3 895	3 817	243		68	2023	3 765	69		1752	41	1311	30

Kuva 2. Kiinteistöt ja niiden normeeratut energiankulutustiedot.

Lämmitystarveluvut

Kuvassa on esitetty lämmitysenergiankulutuksen normitukseen käytettävät kun-
takohtaiset kertoimet sekä vertailupaikkakuntien normaalivuoden eli vertailukau-
den 1991–2020 lämmitystarveluvut.

Lämmitystarveluvut 1991-2020	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	567	545	534	392	207	26	2	11	107	309	414	516	3630
Vantaa	659	617	570	363	139	10	2	10	124	346	470	585	3895
Helsinki	624	588	549	371	148	7	1	5	97	313	437	549	3689
Pori	648	603	567	381	176	24	4	16	144	354	474	585	3976
Turku	641	597	562	372	160	16	2	10	128	342	466	575	3871
Pirkkala	698	649	598	392	172	24	5	23	166	382	501	623	4233
Lahti	707	654	600	387	157	19	4	21	168	386	504	631	4238
Lappeenranta	731	667	609	394	162	18	4	17	155	387	517	642	4303
Jyväskylä	755	694	634	429	200	35	12	38	204	416	537	668	4622
Vaasa	678	634	602	419	215	27	5	24	170	381	504	617	4276
Kuopio	778	714	640	435	193	25	8	21	168	400	542	683	4607
Joensuu	793	724	651	446	206	34	10	32	188	416	557	698	4755
Kajaani	823	753	683	472	247	52	16	57	222	441	582	727	5075
Oulu	780	712	661	461	249	42	7	38	199	427	561	697	4834
Sodankylä	914	822	748	533	331	96	44	110	291	526	684	825	5924
Ivalo	897	807	745	542	360	137	66	127	293	522	685	815	5996

Kuva 1. Lämmitystarveluvut 1991–2020.

Kyselytutkimuksen saatekirje

Hyvä lukija!

Opiskelen Metropolia ammattikorkeakoulussa talotekniikan ylempää ammattikorkeakoulututkintoa. Teen opinnäytetyötäni yhteistyössä Metropolia University of Applied Sciences ja Raksystems Suomi Insinööritoimiston kanssa.

Tutkimuksen tavoitteena on saada tietoa toteutuneesta lämmitysenergian kulutuksen muutoksessa kerrostaloissa siirryttäessä maalämpöön. Tutkimuksen tavoitteena on syventää ymmärrystä siitä, miten maalämmöllä on vaikutettu kerrostalojen lämmitysenergian kulutukseen verrattuna perinteiseen kaukolämpöön. Aihetta ei ole vielä tutkittu Suomessa.

Vastauksenne käsitellään luottamuksellisesti. Tutkimuksen tuloksista Teitä ei voi tunnistaa vastaajiksi. Tutkimusaineisto kerätään ainoastaan tutkimukseen, johon tämä saate liittyy.

Vastaamiseen menee aikaa noin 5 minuuttia. Osallistuaksesi kyselyyn tarvitset kiinteistösi energian ja vedenkulutustietoja käyttöösi. Tutkimuksessa kerätään sähköenergian ja veden kulutustietoja ennen ja lämmitystavan vaihtamisen jälkeen sekä kaukolämmön kulutus ennen toimenpidettä. Kulutustiedot tarvitaan yhdeltä kalenterivuodelta. Kiinteistön sijaintipaikkakuntatieto tarvitaan kulutustietojen normitusta varten, jotta energiankulutustiedot ovat vertailukelpoisia keskenään.

Tutkimuksen tulokset eivät ainoastaan palvele akateemista maailmaa, vaan myös tarjoavat käytännön näkökulmia alan ammattilaisille, päätöksentekijöille ja ympäristötietoisille kansalaisille.

Tutkimukseni valmistuu kesäkuussa 2024. Tämän jälkeen opinnäytetyöhön ja sen tuloksin voi tutustua theseus.fi tietokannassa. Tutkimusta koskeviin kysymyksiinne vastaan sähköpostitse osoitteessa tuomas.virtanen@metropolia.fi

Liity mukaan tähän tärkeään tutkimukseen jakamalla oma tietämyksesi ja auta rakentamaan kestävämpää tulevaisuutta energiankäytössä! Osallistu kyselyyn ja levitä tietoa verkostossasi. Kiitos tuestasi ja panoksestasi!

Kyselytutkimus, kuluttajat

Kuvankaappaus Google Forms kyselytutkimuksesta.

Missä kunnassa kiinteistö sijaitsee? *

Your answer

Minä vuonna lämmitystapa on muutettu maalämpöön?

Choose

Kaukolämmön kulutus? *
MWh/vuosi, miltä vuodelta kulutustieto on?
Esim:
100 MWh, 2020

Your answer

Sähköenergian kulutus ennen toimenpidettä *
kWh/vuosi, miltä vuodelta kulutustieto on?

Your answer

Sähköenergian kulutus maalämmössä *
kWh/vuosi, miltä vuodelta kulutustieto on?

Your answer

Veden kulutus *
m³/vuosi, miltä vuodelta kulutustieto on?

Your answer

Veden kulutus toimenpiteen jälkeen
m³/vuosi, miltä vuodelta kulutustieto on?

Your answer

R- koodi

Opinnäytetyötä varten tehty ohjelmakoodikatkelma.

```
# Aineisto
data <- c(63, 62, 75, 62, 64, 41, 48, 59, 61, 66, 68, 69, 70, 62, 74, 67, 73)

# tehdään taulukko
data
View(data)

# kuvaile raakadataa
summary(data)

# paristot mukaan
library(forecast)
options(scipen = 999)

# Keskiarvo
mean_data <- mean(data)
cat("Keskiarvo:", mean_data, "\n")

# Mediaani
median_data <- median(data)
cat("Mediaani:", median_data, "\n")

# Yläkvartaali
upper_quartile <- quantile(data, 0.75)
cat("Yläkvartaali:", upper_quartile, "\n")

# Alakvartaali
lower_quartile <- quantile(data, 0.25)
cat("Alakvartaali:", lower_quartile, "\n")

# Moodi
mode_data <- function(x) {
  ux <- unique(x)
  ux[which.max(tabulate(match(x, ux)))]
}
mode_value <- mode_data(data)
cat("Moodi:", mode_value, "\n")

# Keskihajonta
sd_data <- sd(data)
cat("Keskihajonta:", sd_data, "\n")

# Piirrä kuvaaja
plot(data, type = "o", ylim = c(0, 100), ylab = "Muutos, %", xlab = "Indeksi",
main = "Muutosprosentti")

# Luodaan viiksikaavio (boxplot)
boxplot(data, ylim = c(0, 100), ylab = "Muutos, %", xlab = "1", main =
"Viiksikaavio", col = "skyblue")

# Ladataan ggplot2-paketti
if (!requireNamespace("ggplot2", quietly = TRUE)) {
  install.packages("ggplot2")
}
library(ggplot2)

# Luodaa frame, jossa sarakkeet x ja y
df <- data.frame(x = 1:length(data), y = data)
```

Elinkaarilaskelma

Laadittu elinkaarilaskelma.

	Kaukolämpö	MLP	PILP	
I	25 000	130 000	60 000	€
Q _{lämpö}	239 000	0	179 000	kWh/a
W _{sähkö}	1 000	68 000	2 000	kWh/a
K _{huolto}	250	1 300	300	€/a
J	0	0	0	€
n	20	20	20	a
i	4,3 %	4,3 %	4,3 %	%
f (inflaatio)	2 %	2 %	2 %	%
f _e (eskalaatio)	2 %	2 %	2 %	%
H _{lämpö}	9,1	9,1	9,1	snt/kWh
H _{sähkö}	11,5	11,5	11,5	snt/kWh
K _{lämpö}	24 249	-	18 789	€/a
K _{sähkö}	115	7 820	230	€/a
ΣK _{energia}	24 364	7 820	19 019	€/a
r (reaalikorko)	2,255 %	2,255 %	2,255 %	
r _e (reaalikorko, energia)	2,255 %	2,255 %	2,255 %	
e _r (energian reaalin kehitys)	0,000 %	0,000 %	0,000 %	
a _{y20}	0,640	0,640	0,640	
a _{n,huolto}	15,956	15,956	15,956	
a _{n,energia}	15,956	15,956	15,956	
a _{n,energia} × K _{lämpö}	386923	0	299802	
a _{n,sähkö} × K _{sähkö}	1835	124778	3670	
a _{n,huolto} × K _{huolto}	3989	20743	4787	
a _y × J	0,00	0,00	0,00	
Kustannusten nykyarvo	417 747	275 521	368 259	€

Kustannusten nykyarvo pitoajalle lasketaan kaavalla 1:

$$Kustannusten\ nykyarvo = a_{n,energia} \cdot \sum K_{energia} + a_{n,huolto} \cdot K_{huolto} + a_{n,y} + I(1)$$

Elinkaarilaskennan laskukaavat

Takaisinmaksuaika (TMA) lasketaan kaavalla 1:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investointikustannus}}{\text{Vuotuinen säästö}} \quad (1)$$

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 2:

$$\text{Korollinen TMA} = \frac{\ln \frac{T}{T-i}}{\ln(1+i)} \quad (2)$$

Diskonttokorko (a_y) lasketaan kaavalla 3:

$$\text{Diskonttokorko} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Diskonttokerroin (a_n) lasketaan kaavalla 4:

$$\text{Diskonttokerroin} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} \quad (4)$$

Annuiteettimetelmä (C_n) lasketaan kaavalla 5:

$$C_n = \frac{1}{A_n} \quad (5)$$

Sijoitetun pääoman tuotto (ROI) lasketaan kaavalla 6:

$$ROI = \frac{\text{Nettotuotot}}{\text{Sijoitettu pääoma}} \quad (6)$$

Kaavoissa I on investointikustannus

T on vuotuiset tuotot

i on laskentakorko

n on tarkastelu-aika vuosina