

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KIINTEISTÖJEN HIILINEUTRAALIUDEN ARVIOIMINEN

TEKIJÄ/T Vili Yli-Kauppila

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Vili Yli-Kaupila			
Työn nimi Kiinteistöjen hiilineutraaliuden arvioiminen			
Päiväys	25.3.2024	Sivumäärä/Liitteet	32/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) ISS Palvelut Oy			
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kiinteistöjen hiilineutraaliuden arvioimista ja miten energiatehokkuus vaikuttaa hiilineutraaliuteen. Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikuttivat asian ajankohtaisuus sekä henkilökohtainen kiinnostus aihepiiriä kohtaan. Kyseinen opinnäytetyö on toteutettu toimeksiantajana toimineelle ISS Palvelut Oy:lle. Tavoitteena oli tehdä toimeksiantajalle aihepiiriin johdattava yleisluontoinen selvitys, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa yrityksen toiminnan kehittämisessä.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä käytettiin kuvailevaa kirjallisuuskatsausta, joka pohjautui kahden tutkimuskysymyksen: Ensiksi oli tarkoitus tutkia soveltuvaa menetelmää kiinteistöjen hiilineutraaliuden arvioimiseen. Toiseksi oli tarkoitus tutkia, miten energiatehokkuus edistää kiinteistöjen hiilineutraaliuden tavoittelua. Tutkimus toteutettiin internetistä löytyvien aineistojen sekä perinteisen kirjallisuuden pohjalta. Valitun tutkimusaineiston avulla löydettiin ratkaisu opinnäytetyön tutkimusongelmiin. Työn teoreettinen viitekehys on muodostettu erilaisia luotettavia lähteitä käyttäen katsauksen tueksi.</p> <p>Työn tuloksina tutkimusaineistoista löydettiin kiinteistöjen hiilineutraaliuden arviointimenetelmäksi Ympäristöministeriön Vähähiilisyiden arviointimenetelmä, jonka tukena toimii Euroopan komission Level(s)-kehikko ja kestävä rakentamisen standardit. Arviointimenetelmän tueksi tutkimusaineistoista erottui laskentaohjelmisto One Click LCA, jota voidaan käyttää kiinteistöjen hiilineutraaliuden elinkaarilaskennassa. Tutkimusaineistojen perusteella voidaan todeta, että kiinteistöjen hiilineutraaliuden tavoittelussa energiatehokkuuden parantaminen on yksi potentiaalinen vaihtoehto. Työssä listattiin tutkimusaineistojen perusteella erilaisia energiatehokkaita toimenpide-ehdotuksia hiilineutraaliuden tavoittelemisen tueksi.</p>			
Avainsanat Hiilineutraalius, energiatehokkuus, hiilijalanjälki, rakennusautomaatiojärjestelmät			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Vili Yli-Kaupila	
Title of Thesis Assessing and Measuring the Carbon Neutrality of Buildings	
Date 25 March 2024	Pages/Appendices 32/1
Client Organisation /Partners ISS Facility Services	
<p>The purpose of the thesis was to investigate how to assess the carbon neutrality of buildings and how energy efficiency contributes to carbon neutrality. The choice of the topic was influenced by the topicality of the issue and personal interest in the subject. The thesis commissioned by ISS Facility Services. The aim was to make a general report for the client which can be used in the future to develop the company's operations.</p> <p>The research method used in this thesis was a literature review based on two research questions. The first one was to find a suitable method for assessing the carbon neutrality of buildings. The second was to investigate how energy efficiency contributes to achieving carbon neutrality in real estate. The study was carried out on the basis of data available on the Internet and traditional literature. The selected research material was used to find a solution to the thesis research problems. The theoretical framework of the thesis was developed using a variety of reliable sources to support the review.</p> <p>As a result of this work the Low Carbon Assessment Methodology of the Ministry of Environment supported by the Level(s) Framework of the European Commission and the Sustainable Construction Standards was identified as a method for assessing the carbon neutrality of buildings. To support the assessment methodology the One Click LCA calculation software which can be used for life-cycle carbon neutrality calculations for buildings stood out from the study data. Based on the research data it can be concluded that energy efficiency improvements are a potential option in the pursuit of carbon neutrality in buildings. Based on the research data in the study a range of energy-efficient measures to support the pursuit of carbon neutrality were listed.</p>	
Keywords carbon neutrality, energy efficiency, carbon footprint, building management system	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Toimeksiantajan esittely	5
1.2	Työn rajaaminen.....	5
2	ENERGIATEHOKKUUS	6
2.1	Aiheeseen liittyvä lainsäädäntö	6
2.2	Kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmä energiatehokkuuden tukena	7
2.3	Hiilineutraalius	8
2.4	Hiilijalanjälki	9
3	TALOTEKNISET JÄRJESTELMÄT	10
3.1	Ilmanvaihto	10
3.2	Lämmitys	11
3.3	Jäähdytys	12
3.4	Erillispisteet ja valaistus.....	12
3.5	Aikaohjelmat.....	12
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN	13
4.1	Narratiivinen kirjallisuuskatsaus	13
4.2	Tutkimuskysymysten asettelu	13
4.3	Kirjallisuuskatsauksen prosessin ja ajankäytön suunnittelu.....	14
4.4	Tutkimusaineiston kerääminen ja valinta	15
4.5	Aineiston analyysi	19
5	KIRJALLISUUSKATSAUS	20
5.1	Ensimmäinen tutkimusongelma.....	20
5.2	Toinen tutkimusongelma	22
5.3	Tutkimusaineistojen tietoaukot, puutteet ja eroavaisuudet	25
6	POHDINTA.....	26
6.1	Tavoitteiden toteutuminen.....	26
6.2	Luotettavuus ja eettisyys	26
6.3	Tulokset	28
6.4	Jatkotutkimuksen aiheet.....	29
	LÄHTEET	30
	LIITE 1: OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETYT TUTKIMUSAINIESTOT.....	33

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on toteutettu ISS Palvelut Oy:lle, joka toimii tämän opinnäytetyön toimeksiantajana. Työskentelen itse toimeksiantajan palveluksessa, joten tämän opinnäytetyön toteuttaminen toimeksiantajalle oli minulle luonnollinen valinta. Oma työni toimeksiantajan yrityksessä linkittyy vahvasti opinnäytetyöni aiheeseen, jonka vuoksi aihe herätti minussa kiinnostusta. Olemassa olevien kiinteistöjen energiatehokkuus ja hiilijalanjälki on noussut viime vuosina vahvasti esille. Tähän on vaikuttanut omalta osaltaan Euroopan komission 55-ilmastopaketti ja Suomen tavoite olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteisiin pääsemiseksi on keskityttävä uudisrakentamisen lisäksi myös jo olemassa olevien kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiseen ja vähähiilisuuden tavoittelemiseen. Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä kuvaileva eli narratiivinen kirjallisuuskatsaus. Työn aiheena on kiinteistöjen hiilineutraaliuden arvioiminen ja energiatehokkuuden vaikutus siihen. Opinnäytetyön tavoitteena on narratiivisella kirjallisuuskatsauksella luoda esiselvitystyylinen kokonaisuus siitä, miten kiinteistöjen hiilineutraaliutta voidaan arvioida ja laskea. Tästä opinnäytetyöstä syntyvät tulokset ovat suunnattu työn toimeksiantajan tarpeisiin. Valmiin lopputuloksen on tarkoitus toimia aiheeseen johdattavana tietoperustana ja lähteenä mahdollisia aihealueen jatkotutkimuksia varten tai mahdollisesti tulevaisuudessa tehtävään kiinteistöjen hiilineutraaliuden laskentaan toimeksiantajan yrityksessä.

1.1 Toimeksiantajan esittely

ISS on maailman johtava kiinteistö- ja toimitilapalveluyritys. Yrityksen tavoitteena on kehittää asiakkaan liiketoimintaa tekemällä heidän ympäristöistänsä toimivia, viihtyisiä ja tuottavia. (ISS, 2024) Tämä opinnäytetyö toteutetaan ISS Hubille, joka toimii osana ISS teknisiä palveluita. ISS Hub on Kuopiossa sijaitseva energia- ja olosuhdehallintakeskus. Hubin yksi keskeisin työ on kiinteistöjen kuukausittainen rakennusautomaatiojärjestelmien toiminnan tarkastelu etäyhteyden avulla. Tästä tarkastelusta tehdään tekninen raportti, joka sisältää usein kiinteistöjen hiilineutraaliuden edistämiseen liittyviä havaintoja asiakkaille.

1.2 Työn rajaaminen

Kiinteistöjen hiilineutraaliuden ollessa laaja-alainen käsite on tästä työstä jouduttu rajaamaan tiettyjä aihealueita pois. Näitä asioita on rajattu tarkoituksella, ettei opinnäytetyö lähde kasvamaan tarpeettoman suureksi ja lukijan ymmärryksen selkeyttämiseksi rajaaminen helpottaa opinnäytetyön ymmärtämistä sekä aiheeseen syventymistä. Tästä työstä on rajattu pois hiilikädenjälki, päästökompensaatiot, vähähiilisuuden laskentaan liittyvät laskentakaavat sekä tässä työssä ei käsitellä rakennusalan hiilineutraalius tavoitteita. Työ keskittyy kiinteistöjen hiilineutraaliuteen, mutta paremman ymmärryksen saavuttamiseksi on tässä työssä mainittu joitain rakennusalan hiilineutraaliuteen liittyviä käsitteitä.

2 ENERGIATEHOKKUUS

Energiatehokkuuden määritelmänä voidaan pitää energian tehokasta käyttöä ja kasvihuonepäästöjen pienentämistä kustannustehokkaasti. Määritelmä on yksinkertainen, vaikka monesti energiatehokkuuden toteuttaminen on haastavaa ja vaativaa laskentatyötä. Energiatehokkuutta parantaessa on olennaista pohtia mitä sen parantamiseksi on järkevää tehdä. Olemassa olevat laskentatyökalut pystyvät suorittamaan energiatehokkuuteen liittyviä laskutoimituksia, mutta työkalun käyttäjän on ymmärrettävä mitä tuloksia laskennasta halutaan. On myös ymmärrettävä kohteesta saatujen raporttien sisältö ja toteuttaa ilmenneet korjausehdotukset. Lisäksi on tutkittava mahdollisten korjauksien vaikutuksia energian kulutukseen, sisäilmaston muutoksiin, käyttäjien kokemuksiin ja palautteeseen. (Myyryläinen 2019, 35) Energiatehokkuuden parantamisella on usein monia positiivisia vaikutuksia. Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna energian tehokkaalla hyödyntämisellä voidaan säästää säästöjä kiinteistöjen käyttökustannuksissa. Lisäksi energiatehokkuudella voidaan vaikuttaa asumismukavuuteen, esimerkiksi säätelämällä huoneiston lämmitystä ilmaston lämpötilavaihteluiden mukaisesti. (Ympäristöministeriö, julkaisuaika tuntematon) Rakennusten energiatehokkuudessa keskeisiä elementtejä ovat rakennuksen seinien, katon, alapohjan ja ikkunoiden lämmöneristyskyky ja tiiviys. Näistä voidaan lyhyemmin käyttää myös nimitystä rakennuksen vaippa. Lisäksi energiatehokkuuden keskeisiä elementtejä ovat myös ilmanvaihdon toiminta-aika, mitoitus ja lämmöntalteenotto sekä sähkötehokkuus, jäähdytys ja säädön tarkkuus. Sähkötehokkuudella tarkoitetaan muun muassa valaistusta, ilmanvaihtokoneita ja eri pumppuja. Tavoiteltaessa parempaa energiatehokkuutta on kaikkiin näihin osa-alueisiin satsattava. Yksittäisen osa-alueen vaikutus saattaa muuten jäädä liian pieneksi rakennusten energiatehokkuuden parantamisessa. (Härkönen ym. 2015, 50.)

2.1 Aiheeseen liittyvä lainsäädäntö

Energiatehokkuutta koskevat säädökset pohjautuvat EU:n energiatehokkuusdirektiiviin. Lainsäädännön tavoitteena on edistää rakennusten energiatehokkuutta, kasvattaa uusiutuvaa energiaa sekä vähentää energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä. Direktiivin tarkoituksena on laskea hiilidioksidipäästöjä vaikuttamalla rakennusten energiatehokkuuteen sitä parantamalla. 2018 voimaan astunut muutos direktiiviin mahdollistaa kustannustehokkaita peruskorjauksia ja lisää teknologian käyttöä rakennuksissa. Direktiivin tavoitteena on vähähiilinen rakennuskanta sekä ilmastomuutoksen hillintä. Euroopan unionin jäsenmaat ovat jo Kioton sopimuksessa sitoutuneet rajoittamaan kasvihuonekaasupäästöjen lisääntymistä 1990-luvun tasosta kahdeksalla prosentilla 2008–2012 mennessä. Tässä samaisessa Kioton sopimuksessa Suomen osaksi asetettiin tavoitteeksi kasvihuonekaasupäästöjen osalta vuoden 1990 taso. Kyseinen säännös vaikuttaa uudis- sekä korjausrakentamiseen asettaen raamit rakennusten energiatehokkuuden vähimmäistasolle. Sovellettaessa direktiiviä kansallisella tasolla on otettava kuitenkin huomioon kulloisessakin maassa vallitsevat ilmasto-olosuhteet sekä sisäilmaston vaatimukset ja kustannustehokkuus. Valitettavasti energiankulutus kasvaa koko ajan ja EU:ssa rakennusten osuus on noin 40 % kokonaisenergiankulutuksesta. Rakennusten osalta energiaa kuluu eniten lämmitykseen, jäähdytykseen, lämpimään käyttöveteen ja valaistukseen. Euroopan komissio on tehnyt ehdotuksen 15.12.2021 rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muokkaamisesta. Tämä ehdotus kuuluu osaksi EU:n laajaa ja kattavaa 55-ilmastopakettia. Ehdotuk-

seen sisältyy vanhojen energiatehokkuustoimien optimointia sekä uusien toimenpiteiden muodostamista. Toteutuessaan ehdotus vaikuttaisi merkittävästi myös Suomeen. EU:n neuvosto sekä parlamentti antoivat keväällä 2023 komission ehdotukseen omat näkökantansa kolmikantaneuvotteluissa (Motiva 2023). Tällä hetkellä edellä mainitut toimielimet ovat päässeet alustavasti sopimukseen energiatehokkuusdirektiiviin tehtävistä uudistuksista. Suomi on ollut aktiivisesti mukana direktiivin päivityksiä koskevissa neuvotteluissa ja tuonut vahvasti esille rakennuskannan energiatehokkuuden parantamisen ympäristö- ja terveyshyötyjä. Alustavien tietojen mukaan neuvotteluissa olisi päätetty primäärienergian käytön vähentämisestä asuinrakennuksissa sekä korjaamalla rakennusten energiatehokkuutta. Direktiivi etenee viralliseen hyväksyntään vuoden 2024 alkupuolella. (Valtioneuvosto 2023; Green Building Council Finland ry 2023)

Kansainvälinen Pariisin ilmastopöytäkirja on luonteeltaan oikeudellisesti sitova sopimus ilmastonmuutoksesta. Sopimuksen tavoitteena on maapallon keskilämpötilan nousun pitäminen alle kahdessa asteessa verrattuna esiteolliseen aikaan. Tavoitteena on myös tavoitella toimia, joilla keskilämpötilan nousu saataisiin pidettyä alle 1,5 asteessa. Sopimus on tehty 12.12.2015 ja se on astunut voimaan 4.11.2016. Sopimuksella halutaan laskea globaaleja kasvihuonekaasupäästöjä mahdollisimman nopeasti. Päästöt ja niiden sitovat nielut on tarkoituksena saada tasapainoon tämän vuosisadan jälkipuolella. Sopimuksen toteuttamisen puolesta kaikilta osapuolilta odotetaan merkittäviä toimia tavoitteeseen pääsemiseksi. Näitä toimia ovat päästöjen supistaminen, ilmastonmuutokseen mukautuminen, ilmatorahoitukseen kasvattaminen, teknologioiden jalostaminen, toimintavalmiuden lujittaminen ja läpinäkyvyyden kasvattaminen. Sopimus ei sisällä määrällisiä päästövähennysvelvoitteita. Osapuolet ovat sitoutuneet sopimuksessa huolehtimaan itse omista kansallisista päästötavoitteista (Ympäristöministeriö, julkaisuaika tuntematon). Pariisin ilmastopöytäkirjaan ovat sitoutuneet EU sekä kaikki siihen kuuluvat jäsenmaat. Kaikki osapuolet ovat allekirjoittaneet ja ratifioineet sopimuksen. Pariisin ilmastopöytäkirjan mukaan EU tulee olemaan maailman ensimmäinen ilmastoneutraali talous ja yhteiskunta 2050 mennessä. (Eurooppa-neuvosto, julkaisuaika tuntematon)

Energiatehokkuusdirektiivin säännökset lisätään rakentamismääräyskokoelmaan, joka löytyy maankäyttö- rakennuslaista (132/1999) ja ne koskevat sekä uudis- että korjausrakentamista. Lainsäädäntö asettaa myös vaatimuksia teknisien järjestelmien energiatehokkuudelle. Esimerkiksi Ympäristöministeriön asetuksessa 718/2020 käsitellään rakennusten automaatio- ja ohjausjärjestelmien energiatehokkuuteen liittyviä vaatimuksia. (Ympäristöministeriö, julkaisuaika tuntematon)

2.2 Kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmä energiatehokkuuden tukena

RAU-järjestelmän eli rakennusautomaatiojärjestelmän tarkoituksena on rakennuksen olosuhteiden hallinta, ohjaus ja viihtyvyys. Tavanomaisesti kyseisellä järjestelmällä hallitaan lämmitystä (H), ilmanvaihtoa (V) ja ilmastointia (AC), tästä käytetään yleensä lyhennettä HVAC. Nykyään RAU-järjestelmään on integroitu myös valaistukseen ja turvallisuuteen liittyviä ohjauksia. (Tiilikainen 2023)

Rakennusautomaatiojärjestelmä sisältää kolme eri hierarkiatasoa. Nämä tasot ovat nimeltään automaatio-, kenttä- sekä valvonta- ja hallintotaso. Kaikki hierarkiatasot koostuvat oman tasonsa laitteista. Automaatiotasolla CPU-ohjaus eli prosessoriohjattu äly käsittelee kenttätasolta tulevan datan valvonta-alakeskuksissa. Tähän CPU käyttää kentällä sijaitsevia antureita, jotka keräävät tietoa sekä

ohjaa prosesseja kentältä saatavan informaation perusteella. Prosessoriohjaus toteuttaa loogiset toiminnot ja siitä käytetään usein nimitystä logiikka. CPU saa kentältä prosessinohjaukseen tarvittavan datan I/O liitäntöjen avulla. I/O liitännöistä käytetään nimitystä digital input ja output sekä analog input ja output. Jokainen kentällä sijaitseva mittaus ja ohjaus tarvitsee yhden tulon ja yhden lähdön eli valvonta-alakeskuksissa voi olla kymmenistä I/O liitynnöistä satoihin liityntöihin. Kenttätasolla taas puhutaan kenttälaitteista, jotka ovat sijoitettu eripuolille rakennusta erilaisiin prosesseihin. Pääsääntöisesti kenttälaitteet voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, antureihin, lähettämiin ja toimilaitteisiin. Anturit ja lähettimet tuovat tiedon kentältä RAU-järjestelmään ja toimilaitteiden avulla voidaan ohjata prosessia kentältä saadun tiedon perusteella. Valvonta- ja hallintotasolla on itse automaatiojärjestelmän käyttöliittymä. Nykypäivän käyttöliittymän ei tarvitse enää sijaita fyysisesti valvomon tietokoneella, vaan se voidaan liittää pilvivalvomoon. Valvomoa voidaan käyttää internet yhteydellä selaimella tai sovelluksella. (Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne ja laitteet, Rakennusautomaatiojärjestelmät julkaisuaika tuntematon)

2.3 Hiilineutraalius

Hiilineutraalius on tila, jossa hiilidioksidipäästöjä syntyy vain sen verran kuin niitä pystytään sitomaan ilmakehästä hiilinieluihin. Tavoiteltaessa nollapäästöjä olisi siis pystyttävä sitomaan kaikki tuotetut hiilidioksidipäästöt hiilinieluihin. Nämä hiilinielut pystyvät kiinnittämään hiilidioksidipäästöjä enemmän kuin päästämään niitä ilmakehään. Maailman ensisijaisia hiilinieluja on maaperä, metsät ja meret. On arvioitu, että ne itsessään sitovat 9,5–11 gigatonnia hiilidioksidia joka vuosi. Vertailukohtana vuonna 2020 maapallon hiilidioksidipäästöt olivat 36 gigatonnin luokkaa. Tällä hetkellä maailmassa ei ole pystytty keksimään keinoa, jolla voitaisiin rajoittaa ilmakehän hiilipitoisuutta tarpeeksi ilmaston lämpenemisen estämiseksi. Ilmastoneutraaliuden takaamiseksi tärkeimpiä toimia on alentaa syntyviä hiilidioksidipäästöjä. (Euroopan parlamentti, 2019) Tavoiteltaessa päästöjen vähentämistä ja hiilineutraaliuden edistämistä voidaan päästöjä kompensoida. Tämä tarkoittaa yhden sektorin muodostamien päästöjen pienentämistä muualla. Tätä voidaan toteuttaa uusiutuvien energialähteiden, energiatehokkuuden tai joidenkin muiden vähähiilisten teknologioiden investoinneilla. Euroopan unionilla on tavoitteena hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. Tavoite on hyväksytty EU:n ilmastolaissa. (Euroopan parlamentti, 2019) Arvioitaessa kiinteistöjen hiilineutraaliutta määritetään se kiinteistön koko elinkaaren ajalle. Elinkaaren vaiheita ovat kiinteistön rakentaminen, saneeraus, käyttö sekä huoltaminen ja kompensatiotoimet. Rakennuksesta voidaan käyttää termiä hiilineutraali, kun sen hiilijalanjälki on arvioitu olevan nolla. Kiinteistöjen lämmitys on suurin päästöjen aiheuttaja. Tämän takia lämmitysenergian tuotannossa suositaan uusiutuvia energianmuotoja fossiilisten polttoaineiden sijasta. Näin voidaan vaikuttaa hiilijalanjäljen muodostumiseen huomattavasti. Esimerkiksi kaukolämmön korvaaminen maalämmöllä ja aurinkoenergialla voidaan vaikuttaa kiinteistön hiilijalanjälkeen alentavasti. Huomion arvoista on tarkkailla jatkuvasti kiinteistön energiankulutusta lämmön, sähkön ja veden osalta. (Arvonosturi, 2021)

2.4 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kertoo rajattavissa olevan asian, kuten ihmisen, tuotteen tai palvelun aiheuttaman ilmastokuorman. Toisin sanoen se kertoo kasvihuonekaasujen määrän kohteen elinkaaren ajalta. Hiilijalanjäljen yksikkö on hiilidioksidiekvivalentti (CO₂ekv). (Hiilineutraaliksi, 2022) Ylikulutuspäivä tarkoittaa laskennallisesti sitä päivää, milloin ihmisen ekologinen jalanjälki on suurempi kuin maapallon oma biokapasiteetti. Maapallon biokapasiteetilla tarkoitetaan maapallon kykyä tuottaa uusiutuvia luonnonvaroja sekä kykyä käsitellä fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Maapallon vuosittaiset luonnonvarat riittävät laskennallisesti noin seitsemäksi kuukaudeksi. Eniten tähän vaikuttavat liikenne sekä energian- ja ruoan tuotanto. (WWF, julkaisuaika tuntematon) Rakennusten hiilijalanjälki syntyy kolmesta eri tekijästä. Nämä tekijät ovat rakennuksen energiatehokkuus, rakennuksen käyttämän tuotetun energian kasvihuonekaasupäästöistä ja rakennusmateriaalien hiilijalanjäljestä. Suurin osa rakennuksen hiilijalanjäljestä syntyy energiankulutuksesta, koska usein energia tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Tämän takia energiankulutus on potentiaalisiin vaihtoehtoihin hiilijalanjäljen pienentämiseksi. (Ahola, Riina & Liljeström, Kimmo, ARA 2018, 4) Suomalaisten kulutustottumukset kasvavat koko ajan ja sadassa vuodessa kulutuksemme on kasvanut yli kymmenkertaisesti. Suomalaisen hiilijalanjälki henkilöä kohden on noin 10,5 t/CO₂e ja globaalisti on katsottu kestävän tason olevan 1000 t/CO₂e luokkaa. Vastattaessa ilmastokriisiin on hiilijalanjälkeä pienennettävä huomattavasti nykyisestä. Ajatellessamme keinoja hiilijalanjäljen pienentämiseksi ympäristön näkökulmasta on tärkeää pohtia, miten energiaa käytetään esimerkiksi lämmityksessä ja käytöveden käytössä. (Sitra, 2018)

3 TALOTEKNISET JÄRJESTELMÄT

LVIA-järjestelmien ja sähkötekniikan osalta suunnittelu- ja toteutustavat ovat muuttuneet suuresti energiatehokkuusvaatimusten kiristymisen takia. Kiinteistöjen energiansäästö on omalta osaltaan johtanut erilaisiin säätötavoitteisiin, prosessien käyttötilanteiden muuttamiseen sekä säätö- ja ohjausmahdollisuuksien jakamiseen pienempiin kulutusyksiköihin. Rakennusautomaatiojärjestelmän on selviydyttävä mahdollisimman nopeasti erilaisista vika- ja häiriötilanteista. Sopivalla instrumentoinnilla, ohjelmistoilla sekä pätevöityneen järjestelmäkäyttäjän avulla voi rakennuksen energiatehokkuusinvestoinneista saada parhaimman hyödyn irti. Investointien keskeisiä tavoitteita ovat muun muassa prosessien säätöjen ja ohjauksien toteutus suunnitelmien mukaisesti, taloteknisten toimintojen mittauksien ja hälytyksien valvonta sekä myös käyttäjälle että ylläpitäjälle yksiselitteinen käyttöliittymä. Rakennusautomaatiolla on kolme erilaista roolia rakennusten energiatehokkuudessa. Nämä ovat energiatehokkuuden optimointi prosessien oikein suunnittelulla, prosessien valvonta ja hälytys virhetilanteissa sekä informaation tuottaminen rakennuksen toiminnan ymmärtämisessä ja kehittämisessä. On tärkeää ymmärtää, että rakennuksen kulutus voi kasvaa suuresti, jos prosessit eivät toimi suunnitellusti. Liike- ja toimistorakennuksissa sekä julkisen sektorin rakennuksissa ilmanvaihdon toiminta-aika lämmityskaudella sekä lämmöntalteenotto ovat olennaisia seikkoja energiankulutuksessa. Rakennusautomaatioon voidaan ohjelmoida hälytyksiä esimerkiksi lämmöntalteenoton poikkeavaan toimintaan tai jos ilmanvaihtokone toimii toiminta-ajan ulkopuolella. (Härkönen ym. 2015, 49, 51–52.)

3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tarkoituksena on tuoda ulkoilmasta rakennukseen ilmaa, jolla saataisiin sisäilmasta terveellistä ja viihtyisää. Ilmanvaihto voidaan jakaa painovoimaiseen ilmanvaihtoon tai koneelliseen ilmanvaihtoon. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa toiminta perustuu lämpötilaeron ja tuulen vaikutukseen. Koneellisessa ilmanvaihdossa ilmanvaihto saadaan aikaan tulo- ja poistoilmapuhaltimilla. Ilmanvaihtokoneesta, johon on lisätty kostutus- tai jäähdytystoiminto, käytetään nimitystä ilmastointi. (Motiva 2023)

Puhuttaessa ilmastointijärjestelmästä tarkoitetaan kokonaisuutta, johon kuuluvat tulo- ja poistoilmakone, tulo- ja poistoilmakanavisto sekä huoneyksiköt. Tällä kokonaisuudella voidaan hallita sisäilman lämpötilaa. Ilmastointi sopii hyvin yllämmön poistamiseen tiloista, joihin syntyy lämpöä valaistuksesta, erilaisista laitteista, ihmisistä ja auringon säteilylämmöstä. (Korkkala 2016, 55–56)

Ilmanvaihtojärjestelmä saattaa myös sisältää lämmöntalteenoton. Tämän tyyliässä ilmanvaihtokoneessa ulkoilmasta otettu raitis tuloilma ohjataan tuloilmapuhaltimella lämmöntalteenoton läpi huoneistoon. Huoneistosta poistuva poistoilma kulkeutuu lämmön talteenoton läpi poistokanavaa pitkin ja poistuu ulos jäteilmaksi. Nykypäivänä lämmöntalteenottolaitteet ovat tehokkaita, mutta pakkaskeleillä joudutaan tuloilmaa lämmittämään. Tähän tarkoitukseen soveltuu sähkötoiminen tai vesikiertoinen jälkilämmityspatteri. (Suomäki & Vepsäläinen 2023, 80, 83) Lämmön talteen ottamista varten on taas olemassa risti- ja vastavirta toimintoilla olevia malleja. Näiden ohjauksen toiminta perustuu

ilman ohjaamiseen lämmöntalteenoton läpi tai sen ohi säätöpeltien avulla. Yleensä ohitus- ja talteenottokanavaa säädettäviä peltejä liikutetaan yhtä paljon. Peltien liikuttaminen tapahtuu portaattomasti. Lämmöntalteenotto voi myös huurtua kylmän ulkoilman ja lämpimän poistoilman virratessa lämmön talteenoton sisällä. Liian kauan kestävä huurtuminen voi tukkia lämmön talteenottokennon, jolloin lämmön talteenotosta ei ole hyötyä. Huurtumista voidaan ehkäistä sulatusohjauksella, jossa kenno sulatetaan ja näin ollen se saadaan takaisin käyttöön. Risti- ja vastavirta lämmön talteenottojen lisäksi on olemassa myös regeneratiivisesti ja rekuperatiivisesti toimivia lämmön talteenottolaitteistoja. Risti- ja vastavirta lämmön talteenottojen lisäksi on olemassa myös regeneratiivisesti ja rekuperatiivisesti toimivia lämmön talteenottolaitteistoja. Regeneratiivisessa lämmön talteenotossa poistoilma siirtyy tuloilmaan lämmön talteenotto kennon avulla, joka pyörii roottorin avulla akselinsa ympäri. Pyörivän lämmön talteenoton hyötysuhde on 80–90 % luokkaa ja sen pyörimisnopeus on yleensä 0,5–10 kierrosta minuutissa. Kuitenkin paras hyötysuhde saadaan kierroksien ollessa 0,5–2,5 kierrosta minuutissa. Rekuperatiivisen lämmön talteenoton toiminta perustuu tulo- ja poistoilman kanaviin laitetuista pattereista ja putkistosta. Rekuperatiivinen lämmön talteenotto vaatii myös pumppun kuljettamaan putkistossa olevaa vesi-glykolinestettä. Tämän lämmön talteenotto tyyppin hyötysuhde on parhaimmillaan 50–60 % tasolla. (Suomäki & Vepsäläinen 2023, 89–91)

3.2 Lämmitys

Kaukolämpö on lämmitysmuoto, jossa lämminvesi lämmitetään voimalaitoksessa. Kaukolämpövesi johdetaan putkistoa pitkin energiantuottajalta kiinteistön lämmönjakokeskukseen. Lämminvesi sisältää energiaa, joka hyödynnetään lämmönsiirtimissä kiinteistön käyttövesi-, ilmanvaihto-, patteri sekä lattialämmitysverkostoissa lämpöenergiana. Nämä verkostot kuuluvat kiinteistön lämmitysverkostoihin. Kaukolämpövesi palaa putkistoa pitkin takaisin energiantuottajalle. Toisin sanoen lämmönsiirrin siirtää lämpöenergiaa kaukolämpövedestä lämmitysverkostoihin. Kaukolämmön lämmönsiirtotekniikat ovat kehittyneet vuosikymmenien aikana, joten kaukolämmöstä saadaan parempi lämmitysteho kuin aikaisemmin (Korkkala 2019, 73). Lämmönvaihtimen tehokkuutta voidaan kuvata rekuperaatioasteella. Toisin sanoen tällä kuvataan, kuinka paljon lämpöä voidaan saada talteen teoreettisesta maksimiarvosta. Lämmönvaihtimen energiatehokkuus on sitä parempi mitä korkeampi kylmän ja kuumen lämpötilavirran lämpötilamuutos on. Lämmönvaihtimen energiatehokkuudelle voi olla kuitenkin rajoitteena sitä ympäröivä prosessi. Esimerkiksi lämmönsiirtokerroin laskee, jos virtausnopeutta joudutaan laskemaan. Myös painehäviöt sekä lämmönsiirtopintojen likaantuminen huonontavat vaihtimen energiatehokkuutta. (Motiva julkaisuaika tuntematon, 4)

Suomessa yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Nykypäivänä yli puolet kaukolämmön tuotannosta on jo ilmastoneutraalia. Toimintalämpötilojen pienentämisellä voidaan edistää kaukolämmön energiatehokkuutta. Kaukolämpöveden mitoitustilaa on pienennetty ympäristöministeriön säädöksen mitoitettavan ulkolämpötilan mukaan 115 celsiusasteesta 90 celsiusasteeseen. Vaaditun kaukolämmön lämpötilan ollessa matala mahdollistaa se polttoon perustumattomien ja hajautettujen tuotantomuotojen käyttämisen kaukolämmön tuotannossa. (Motiva 2023)

3.3 Jäähdytys

Ilmanvaihtokoneessa jäähdytysjärjestelmän toiminnan tavoite on tuloilmakoneen tuloilman jäähdyttäminen määrättyyn asetusarvoon korkean ulkolämpötilan takia. Yleensä jäähdytys toteutetaan tuloilma kanavaan asennetulla jäähdytyspatterilla. Suomessa hallitsevien olosuhteiden takia jäähdytyslaitteet ovat yleensä käytössä vain kesäkaudella. Jäähdytyslaitteita voidaan käyttää myös kostealla ulkoilmalla huoneilman kuivatukseen. Kuivatusjärjestelmässä ilma jäähtyy ja kuivuu virratessaan kylmän jäähdytyspatterin ohitse. Jäähdytyspatterin tehollisen pintalämpötilan ollessa alhainen ja mitä viileämpään lämpötilaan ilma saadaan jäähdytettyä, sitä paremmin ilma kuivuu. Yleensä tämän jälkeen tuloilma joudutaan lämmittämään erillisellä lämmityspatterilla, ettei huoneilman lämpötila laske liian alhaiseksi. Tiloissa, joissa joudutaan käyttämään kuivatusta jäähdytystoiminnolla, toiminto on yleensä käytössä ympäri vuoden. Tämän vuoksi jäähdytystä joudutaan käyttämään myös viileinä kuukausina ja se kuluttaa paljon sähköenergiaa, laitteistoa ja rahaa. Edistyneessä jäähdytyskuivausjärjestelmässä voidaan hyödyntää vapaajäähdytystä. Laitteiston kompressori voidaan kytkeä vapaajäähdytyskäytössä pois päältä ja hyödyntää kylmää ulkoilmaa erilaisten lämmönsiirtimien avulla. (Korkkala 2016, 215–216)

3.4 Erillispisteet ja valaistus

Luukan (2021,11) mukaan erillispisteitä ovat sähköiset valojen ohjaukset tai hälytykset. Valaistusta automatisoidaan sen energiankulutuksen optimoinnin takia. Valaistuksen ohjaukset voidaan toteuttaa erilaisilla tavoilla, kuten liiketunnistimilla, aikaohjelmilla tai valoisuus antureilla.

Noin 10 % kiinteistöjen sähkönkäytöstä muodostuu valaistuksen käytöstä. Luku voi olla paljon isompi, riippuen kiinteistön tyypistä. Esimerkiksi koulut ja sairaalat voivat kuluttaa huomattavasti enemmän sähköä valaistuksessa, koska valoja käytetään vuorokauden ympäri. Valaistuksessa energiankulutukseen vaikuttaa valaisimien ohjaustekniikka, sijoittelu sekä itse valaisin tyyppi ja poltin. (Motiva 2022) Valaistuksen energiankulutusta voidaan vähentää lyhentämällä valojen aikaohjelmaa eli aikaa, kuinka kauan valot ovat vuorokaudesta päällä. Lisäksi hehkulamppujen korvaaminen ledlampuilla pienentää sähkönkäytön kulutusta ja lisää valaisimien elinkaarta. Jos aikaohjelma ohjausta ei ole saatavilla, voidaan valaistusta ohjata myös läsnäolotunnistimilla. On kuitenkin muistettava, että on olemassa valaistusstandardit ja viranomaismääräykset. Nämä ovat perusta valaistuksen minimivaatimuksille. (Motiva 2022)

3.5 Aikaohjelmat

Toimiva ja pelkistetty keino talotekniikan ohjaamiseen on käyttää aikaohjelmia. Aikaohjelmilla voidaan ohjata kiinteistön laitteita vastaamaan tilojen käyttöä. Nykypäivänä rakennusautomaatiojärjestelmät mahdollistavat useiden aikaohjelmien käytön yksinkertaisesti ja vaivattomasti. Ne saadaan säädettyä minuutin tarkkuudella vuosikalenteria hyväksi käyttäen. Vuosikalenterin avulla voidaan asettaa poikkeusaikaohjelmat etukäteen tietyille päiville. Kannattaa myös huomioida esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden eri nopeuksien käyttömahdollisuudet aikaohjelmissa. Tilojen käyttöasteen ollessa matala, voidaan aikaohjelmalla rajoittaa laitteen tehoa pienemmäksi. Kiinteistöille määriteltävät aikaohjelmat ovat yksi tuloksellisista tavoista lisätä energiatehokkuutta. (Härkönen ym. 2015, 226–227.)

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Tässä osiossa kerrotaan kirjallisuuskatsauksen toteuttamisesta ja mikä narratiivinen kirjallisuuskatsaus on sekä mitkä ovat tämän opinnäytteen tutkimuskysymykset. Kysymysten avulla käsitellään tutkimuksen tutkimusongelmia. Tutkimuksessa tuodaan ilmi kirjallisuuskatsaus prosessina sekä käsitellään tutkimuksen toteutuksen eri vaiheita. Osiossa tuodaan esille iteratiivisen prosessin malli ja miten se auttoi kirjallisuuskatsauksen toteuttamisessa. Lisäksi kerrotaan, miten tutkimusaineiston hakuprosessi suoritettiin ja millä kriteereillä tutkittavat tutkimusaineistot valittiin. Viimeiseksi käsitellään tutkimusaineiston analyysiä sisältöanalyysi menetelmää käyttäen.

4.1 Narratiivinen kirjallisuuskatsaus

Narratiivinen kirjallisuuskatsaus tai toisin sanoen kuvaileva kirjallisuuskatsaus on yksi perinteisistä kirjallisuuskatsauksen menetelmistä. Yleensä sitä käytetään, kun tutkimuksen tarkoituksena on etsiä vastausta siihen, mitä tutkittavasta ilmiöstä jo tiedetään. Narratiivinen kirjallisuuskatsaus vastaa kysymykseen tutkittavan ilmiön keskeisistä käsitteistä ja niiden välisistä suhteista. Sen avulla voidaan myös kuvailla tutkimusten asetelmia ja teorioita. Kuvailevalla kirjallisuuskatsauksella voidaan tehdä tutkittavasta aiheesta tiivistelmä tai kokonaan uusi kokonaisnäkemys aiemmin tehtyjen tutkimusten perusteella. Kyseisellä menetelmällä voidaan lisäksi koostaa epäyhtenäistä tietoa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen päämääränä on tutkittavan ilmiön ymmärtäminen ja sen kuvaileminen perustellusti ja loogisesti. Tarkoituksena on, että tutkijan tuntemus tutkimusaiheesta laajenee kehämäisesti luettaessa analysoitavia tutkimusaineistoja. Narratiivinen kirjallisuuskatsaus myös mahdollistaa tutkimuskysymysten tarkentamisen prosessin aikana. (Vilka 2023. luku 1.2.1) Salmisen (2023, 8) mukaan narratiivisessa kirjallisuuskatsauksessa tutkimusaineisto ei välttämättä ole käynyt laajaa systemaattista seulontaa. Siitä huolimatta tällä menetelmällä voidaan saavuttaa johtopäätelmiä, jotka ovat katsauksen mukaisia synteesejä tai yhdistelmiä.

Tutkimukseen valittiin narratiivinen kirjallisuuskatsaus tutkimuksen menetelmäksi, koska kyseisessä tutkimuksessa käsitellään kiinteistöjen hiilineutraaliutta, joka ei ole yksiselitteinen tai yksinkertainen asia. Kirjallisuuskatsauksella voidaan antaa selkeä kuvaus aiheesta ja tiivistää aiemmin tehtyjä tutkimuksia, artikkeleita sekä tietoa kirjallisuuden osalta. Kyseisen menetelmän avulla voidaan tutkia aikaisempaa tietoa aiheesta ja tuoda työssä lukijalle aiheen käsitteet selvästi esille yhtenä kokonaisuutena.

4.2 Tutkimuskysymysten asettelu

Tutkimuksen toteuttamista varten on määritettävä tutkimuskysymys tai tutkimuskysymykset. Ilman määriteltyä tutkimuskysymystä ei voida suorittaa tutkimusaineiston hakuprosessia tai määrittää hakusanoja ja kriteereitä kirjallisuuskatsaukseen. Tutkimuskysymyksiin vastaaminen ei ole tutkimuksen ainut päämäärä, vaan kysymyksiä on tarkoitus käyttää koko kirjallisuuskatsauksen aikana tehtyjen päätöksien ja lopputuleman perustana. Tutkimuskysymyksillä voidaan heijastaa katsauksen teoriassa, käsitteissä, kontekstissa ja tutkimuksen kohteena olevia asioita. Tutkimuskysymyksiä voidaan muun muassa käyttää seuraavissa sovellutuksissa katsauksen aikana:

1. Tutkimusten tunnistamisvaiheessa (luku 4.4)
2. Tutkimuksessa käytettävien tai pois jätettävien tutkimusaineistojen valinnassa
3. Valikoitujen tutkimusaineistojen laadun arvioinnissa
4. Analyysin ohjaamisessa

Tutkimuskysymystä tai kysymyksiä mietittäessä tärkein ominaispiirre on, että tutkimuskysymyksiin ei voi vastata yksinkertaisesti ”kyllä” tai ”ei”. Seuraavassa taulukossa (taulukko 1.) on hyviä näkökantoja tutkimuskysymysten määrittelyyn. (Vilkka 2023, luku 2.1.1)

TAULUKKO 1. Ohjeita tutkimuskysymysten määrittelyyn (mukaillen Vilkka 2023)

Tutkimuskysymys ei saa olla liian laaja tai suppea
Tutkimuskysymys ei saa perustua olettamuksiin
Tutkimuskysymys on yksiselitteisesti ja selkeästi ilmaistu
Tutkimuskysymys sisältää vähintään hakutermin

Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen ollessa luonteeltaan yleiskuvaava, tutkimukseen valittiin kaksi tutkimuskysymystä. Nämä tutkimuskysymykset ohjaavat koko kirjallisuuskatsausprosessia. Kysymykset ovat seuraavat:

1. Millä menetelmällä voidaan arvioida kiinteistöjen hiilineutraaliutta?
2. Miten energiatehokkuus edistää kiinteistöjen hiilineutraaliuden tavoittelua?

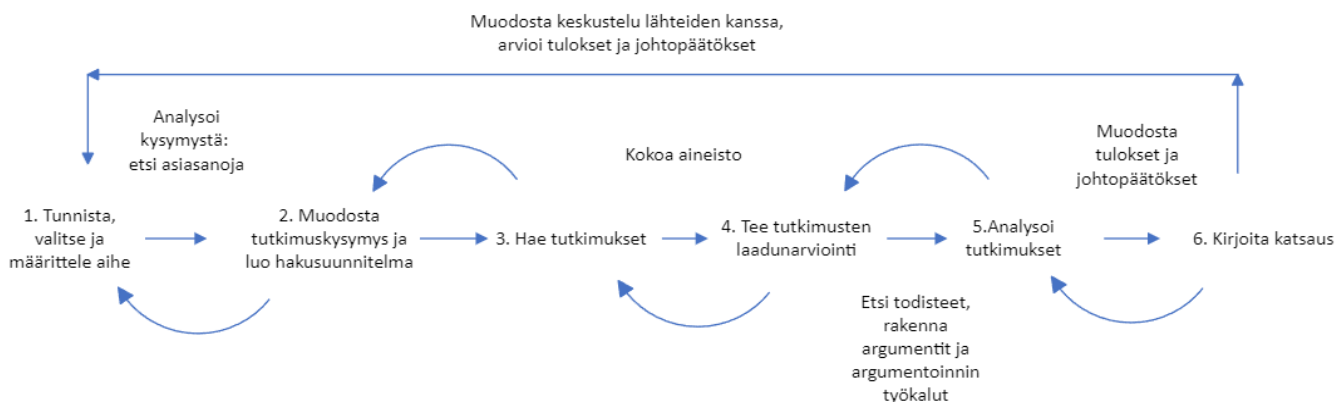
Yleensä kirjallisuuskatsauksissa riippumatta katsaustyyppistä tai katsauksen tekijän koulutustasosta tutkimuskysymyksiä on yksi tai kaksi. Useasti tutkimuskysymyksiä on kuitenkin määritelty useita, koska yleensä muuten ajatellaan, että katsauksesta tulee liian suppea. (Vilkka 2023, luku 2.1.1)

4.3 Kirjallisuuskatsauksen prosessin ja ajankäytön suunnittelu

Kirjallisuuskatsaus voi olla haastava, mutta tutkijaa palkitseva menetelmä. Yleensä katsauksella saadaan aikaan selkeä käsitys aihepiiristä, tutkimuksen tietoaukoista tai pystytään käsittämään ja erottamaan puutteita sekä ongelmia. (Vilkka 2023, luku 1.1.3) Kirjallisuuskatsauksen hahmottamiseen voi apuna käyttää iteratiivisen prosessin mallia. Prosessi sisältää kuusi eri vaihetta. Vaiheet ovat:

1. Tunnista, valitse ja määrittele aihe
2. Muodosta tutkimuskysymykset ja luo hakusuunnitelma
3. Hae tutkimukset
4. Tee tutkimusten laadunarviointi
5. Analysoi tutkimukset
6. Kirjoita kirjallisuuskatsaus

Iteratiivisesta prosessista on hyötyä narratiivisen kirjallisuuskatsauksen menetelmän käsittämisessä ja toteuttamisessa. On kuitenkin tärkeää ymmärtää kirjallisuuskatsauksen vaiheiden merkitys. Vaiheet seuraavat toisiaan ja ne on tehtävä huolellisesti ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. (Vilka 2023, luku 1.5)



KUVA 1. Iteratiivinen prosessi. (mukaillen Vilka 2023)

Tutkimuksessa käytettiin kirjallisuuskatsauksen tekemiseen iteratiivisen prosessin mallia, koska sen avulla toteutus on yksinkertaisemmin ymmärrettävissä. Iteratiivinen prosessi ohjaa kirjallisuuskatsauksessa työn tekijää menemään työssä eteenpäin, mutta myös mahdollistaa vaiheiden uudelleen arvioinnin ja tarvittaessa ottamaan askeleen taaksepäin.

Tutkimus toteutettiin noudattamalla iteratiivista prosessia (kuva 1). Tutkimuksen aiheen valinnassa toimeksiantaja tarjosi eri vaihtoehtoja ja näiden vaihtoehtojen perusteella päädyttiin valitsemaan kyseinen aihe, koska se liittyy työhön, jota toimeksiantajan yrityksessä tehdään. Seuraavaksi valittiin tutkimuskysymykset ja näiden kysymyksiä pohjalta ryhdyttiin etsimään tutkimusaineistoja, jotka vastaavat tutkimuskysymyksiin. Tutkimusaineistojen hakuprosessi sekä aineistojen laadunarviointi ja analysointi on kerrottu luvuissa 4.4 ja 4.5. Viimeiseksi kirjallisuuskatsauksen kirjoittaminen on kerrottu luvussa viisi. Kirjallisuuskatsausta tehdessä on hyvä huomioida, että työn tarkoitus ja tavoitteet osattaisiin suunnitella siten, että kirjallisuuskatsaus itsessään ja siihen liittyvä tiedonhaku vastaavat saatavilla olevia resursseja. (Vilka 2023, luku 2.1.3).

4.4 Tutkimusaineiston kerääminen ja valinta

Tutkimuskysymysten muodostamisen jälkeen suoritettiin tutkimusaineistojen haku eri tietokannoista. Aineiston hakuprosessissa hyödynnettiin Boolean-logiikkaa, jota on käytettävä tutkimusaineiston hakukoneissa yhdistäen ja tiivistäen haku-ehdot. Tämän menetelmän avulla voidaan tietokantoja käytettäessä rajata hakua ja se auttaa paremmin vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Boolean-logiikka toimii OR-, AND- ja NOT-operaattorien avulla. OR-operaattorilla voidaan yhdistellä termejä, AND-operaattorilla voidaan ottaa hakuun mukaan hakusanojen tutkimukset ja NOT-operaattori ei ota tutkimuksia huomioon hakuprosessissa. (Vilka 2023, luku 2.1.2) Tutkimuksessa toteutettu aineistojen hakuprosessi on esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 2). Tässä selviää prosessissa käytetyt tietokannat, hakusanat, hakutulosten rajaaminen, haun tulokset ja aineistot sekä se, mitkä aineistot on valittu otsikon perusteella jatkoon. Esimerkiksi tietokannasta Google Scholar on käytetty yhtenä rajaamisen kriteerinä julkaisuvuotta. Google Scholar hakee pääsääntöisesti opinnäytteitä, joten tutkimusaineistoja haettaessa supistettiin julkaisuvuosi neljään viimeisimpään vuoteen. Tästäkin huolimatta

Google Scholar tarjosi suuren määrän hakutuloksia. Vastaavasti tietokannassa Tiede ja tutkimus jouduttiin laajentamaan julkaisuvuotta, vaikka haussa käytettiin samoja hakusanoja kuin Google Scholar tietokannassa. Finna tietokantaa käyttäessä suoritettiin kaksi eri hakua, joista toisessa rajattiin Theseuksen pois opinnäytteiden välttämiseksi. Lopulta hyväksyttiin taulukossa kaksi (taulukko 2) esitettyjen tietojen ja rajausten perusteella yksitoista lähdeä tutkimusaineistoon.

TAULUKKO 2. Tutkimusaineiston hakeminen tietokannoista.

Tietokannat	Hakusanat	Rajaukset	Tulokset	Hyväksytty otsikon perusteella
Google Scholar	"energiatehokkuus OR* hiilijalanjälki OR* hiilineutraalius"	2020–2024, Ilmainen, Opinnäyte	652	6
Tiede ja tutkimus	"energiatehokkuus OR* hiilijalanjälki OR* hiilineutraalius"	2015–2024, Tutkimuslaitos, Tekniikan ala, ilmainen	19	2
Finna.fi	"energiatehokkuus OR* hiilijalanjälki OR* hiilineutraalius AND* rakennukset", "energiatehokkuus OR* hiilineutraalius NOT* Theseus, rakennukset OR* kiinteistöt"	2021–2024, Opinnäyte, Tutkimusjulkaisu ja raportti, lehti/artikkeli, verkossa saatavilla, 2014–2023, ilmainen	28, 13	1, 2

Seuraavaksi analysoitiin tietokannasta löydettyjä aineistoja tunnistamisvaiheella, jonka tarkoitus on hahmotella, mitkä aineistot sisällytetään tutkimukseen ja mitkä suljetaan pois. Olennaisinta tässä vaiheessa on perustella, miksi aineisto on valittu tai jätetty pois kirjallisuuskatsauksesta. Yleensä tässä vaiheessa aineistoja tarkastellaan pelkän otsikon ja tiivistelmän perusteella. Aineiston valintakriteereinä toimivat muun muassa tutkimuskysymys, aineiston ikä ja missä kontekstissa aineisto on tehty. (Vilka 2023, luku 2.2.1) Taulukossa kolme (taulukko 3) on esitelty aineistot, mitkä on valittu kirjallisuuskatsauksen lähdeaineistoiksi Boolean-logiikan hakumenetelmällä. Aineistojen hyväksymisen kriteereinä käytettiin pääosin, miten aineistot vastaavat tutkimusongelmaan ja niiden julkaisuvuotta. Julkaisuvuoden kohdalla käytettiin tuoreimpia saatavilla olevia tutkimuksia. Tutkimukseen hyväksyt-

tiin kuitenkin yksi internet artikkeli, jonka julkaisuvuosi on tuntematon. Tähän vaikutti artikkelin sisältö ja muista tutkimukseen hyväksytyistä aineistoista löytyi yhdistäviä asiayhteyksiä kyseiseen artikkeliin.

TAULUKKO 3. Aineiston tunnistamisvaihe.

Aineiston nimi	Tekstilaji	Miksi hyväksytty/hylätty	Julkaisu- vuosi	Tietokanta
A. Rakenteellinen energiatehokkuus avuksi ilmastopäästöjen vähentämiseen	Opas	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisuvuosi	2022	Tiede ja tutkimus
B. Rakennusten tietomallit tukemaan vähähii- listä rakentamista	Internet artikkeli	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini	Tuntematon	Tiede ja tutkimus
C. Energiatehokkuuden rooli liikerakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä	Opinnäyte, Diplomityö	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymykseeni, julkaisuvuosi	2023	Google Scholar
D. Päästölaskenta ja hiilineutraalius rakennusliikkeessä	Opinnäyte, Diplomityö	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisuvuosi	2023	Google Scholar
E. Heinolan kaupungin rakennusten muuntaminen hiilineutraalimmiksi	Opinnäyte, Insinööri (AMK)	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisuvuosi	2023	Google Scholar
Tavoitteena hiilineutraalius	Opinnäyte, Ylempi ammattikorkeakoulu (YAMK)	Hylätty, ei vastannut tutkimuskysymyksiini	2023	Google Scholar
F. Vuokrataloikiinteistöjen käytönaikainen hiilijalanjälki – mittarointi ja vaikutuskeinot	Opinnäyte, Insinööri (YAMK)	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisuvuosi	2021	Google Scholar
Eurotalous Suomen Pan- kin ajankohtaisia artikkeleita taloudesta	Analyysi	Hylätty, ei vastannut tutkimuskysymyksiini, aineiston konteksti ei ollut soveltuva	2023	Finna.fi

Energiamurroksen ennakoitavat vaikutukset 2030: Rakennusten energiatehokkuus	Tutkimus	Hylätty, ei vastannut tutkimuskysymyksiini, julkaisu vuosi	2017	Finna.fi
Korjausrakentamisen energiatehokkuusmää- räysten aluetaloudelliset vaikutukset	Tutkimus	Hylätty, ei vastannut tutkimuskysymyksiini, aineiston konteksti ei ollut soveltuva, julkaisu vuosi	2015	Finna.fi

Tutkimusaineistoja haettiin kirjallisuuskatsaukseen myös vapaan haun menetelmällä (taulukko 4). Hakuun käytettiin googlen hakukonetta ja toimeksiantajan kirjallisuuskokoelmaa. Tässä haussa käytettiin myös kriteerinä, miten aineiston otsikko ja johdanto tai tiivistelmä vastaavat tutkimuskysymyksiin. Googlen hakukoneessa käytettiin Googlen tarkennettu haku -toimintoa. Haussa käytettiin hakusanoina energiatehokkuus, hiilijalanjälki, kiinteistöt ja tutkimukset. Hausta rajattiin Theseus pois, koska tutkimukseen ei haluttu enempää opinnäytteitä. Lopuksi tutkimukset kategorioitiin aakkosjärjestykseen.

TAULUKKO 4. Vapaan haun aineisto.

Aineiston nimi	Tekstilaji	Miksi hyväksytty/hylätty	Julkaisu- vuosi	Lähde
G. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto	Kirja	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisu vuosi	2019	Toimeksiantajan kirjallisuuskokoelma
Ilmastopaneeli hiilineutraalisuuden tavoittelu – mitä se on missäkin yhteydessä	Asiantuntijaraportti	Hylätty, konteksti ei vastannut tutkimuskysymyksiini, julkaisu vuosi	2014	Googlen hakukone, tarkennettu haku
H. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä	Asiantuntijaraportti	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisu vuosi	2019	Googlen hakukone, tarkennettu haku
I. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilakohhteessa	Asiantuntijaraportti	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisu vuosi	2018	Googlen hakukone, tarkennettu haku
J. Hiilineutraali Helsingin Yliopisto 2030 Tiekartta	Tiekartta	Hyväksytty, vastaa tutkimuskysymyksiini, julkaisu vuosi	2023	Googlen hakukone, tarkennettu haku

4.5 Aineiston analyysi

Sisältöanalyysi on menetelmä kirjallisuuskatsauksissa. Menetelmän käyttämisen kannalta ei ole merkitystä tutkitaanko määrällisiä tai laadullisia tutkimuksia. Kirjallisuuskatsaukseen valitaan vain tutkimuksen näkökulmasta tarpeellisia tutkimuksia. Tämän vuoksi analyysissä on tutkimuskysymyksiä kannalta oleellinen aineisto, jolla voidaan vastata tutkimuskysymykseen. Sisältöanalyysin menetelmällisyyden avulla voidaan tietoa jäsentää ja tiivistää erilaisten taulukoiden ja kuvien avulla analyysin tueksi. Itse sisältöanalyysi muodostuu kolmesta eri vaiheesta. Vaiheita ovat analyysin valmistelu, organisointi ja raportointi. Valmisteluvaiheen tarkoitus on järjestellä aineisto sellaiseen muotoon, että aineistoa voidaan tutkia. Tähän voi käyttää tunnistamis- tai seulontavaihetta. Organisointivaiheessa toteutetaan induktiivinen analyysi. Tämän vaiheen tarkoituksena on aineiston ja tutkimuskysymysten osalta päästä tuloksiin ja johtopäätöksiin. Viimeisessä eli raportointivaiheessa on analyysi ja tulokset tunnistettava ja selkeytettävä siten, että kirjallisuuskatsaus on toistettavissa (Vilka 2023, luku 3.1).

Sisältöanalyysin tekeminen aloitettiin valmistelemalla tutkimusaineisto. Tähän käytettiin valmisteluvaiheeseen luvussa 4.4 mainittua tunnistamisvaihetta. Tällä tunnistamisvaiheella pystyttiin seulomaan aineistoja tutkimuskysymyksiä avulla sekä aineiston iän ja kontekstin perusteella. Nämä kriteerit on tuotu esille taulukoissa (taulukko 2 ja taulukko 3). Induktiivista analyysiä eli organisointi vaihetta lähdettiin toteuttamaan puhtaasti tutkimuskysymyksiä pohjalta. Analyysin apuna käytettiin apukysymyksiä, joilla johdettiin sisältöanalyysiä eteenpäin. Näiden apukysymysten avulla pystyttiin jäsentämään tutkimusaineistoja ja luomaan niistä asiakokonaisuus eli synteesi. Käytetyt kysymykset on esitetty alla (taulukko 5). Viimeinen vaihe eli raportointi on esitetty työn seuraavassa osiossa luvussa viisi.

TAULUKKO 5. Sisältöanalyysin apukysymykset. (mukaihen Vilka 2023)

1) Mitä yhteistä tutkimusaineistoissa on verrattuna tutkittavaan ilmiöön?
2) Onko tutkimusaineistojen näkökannoissa eroavaisuuksia tai vastakkain asetteluja?
3) Mistä tutkimusaineistojen näkökantojen eroavaisuudet tai vastakkain asettelut johtuvat?
4) Mitä tutkimusaineistot käsittelevät tutkimuskysymyksiesi alasta hyvin?
5) Mitä tutkimusaineistot käsittelevät tutkimuskysymyksiesi alasta puutteellisesti tai jättävät käsittelemättä?
6) Mitä tutkimusaineistot voisivat käsitellä lisää, että tutkittavan ilmiön voisi ymmärtää paremmin?
7) Onko tutkimusaineistoissa löydettävissä toistuvia teemoja tai aiheita tutkittavasta ilmiöstä?

5 KIRJALLISUUSKATSAUS

Tämä opinnäytetyö on kohdennettu toimeksiantajan tarpeisiin, jotka on esitelty johdanto osiossa. Kirjallisuuskatsaus tullaan julkaisemaan opinnäytetöiden tietokannassa Theseuksessa ja sisäisesti toimeksiantajan yrityksessä. Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää kirjallisuuskatsauksen avulla vastaus tutkimuskysymyksiin ja rakentaa aihepiiristä yleiskattava kuvaus sen pohjalta, mitä aiheesta jo tiedetään. Tutkimuskysymyksiä käsitellään tässä kappaleessa erillisten alaotsikoiden avulla. Tässä opinnäytetyössä käytetyt tutkimusaineistot löytyvät liitteestä yksi (liite 1).

5.1 Ensimmäinen tutkimusongelma

Tähän opinnäytetyöhön valikoitui kaksi erillistä tutkimuskysymystä eli tässä työssä on kaksi tutkittavaa ilmiötä. Tässä alaotsikossa käsitellään tutkimusongelmaa:

1. Millä menetelmällä voidaan arvioida kiinteistöjen hiilineutraaliutta?

Tutkimusaineistoja lähdettiin analysoimaan aiemmin esitettyjen (taulukko 5) apukysymysten avulla. Alla olevassa taulukossa (taulukko 6) on lueteltuna tutkimusaineistot, mitkä käsittelevät tätä tutkittavaa ilmiötä. Aineistoja analysoitaessa on tärkeää ymmärtää hiilineutraalius käsitteenä, joka on kerrottu luvussa 2.3.

TAULUKKO 6. Aineistot, mitkä käsittelevät ensimmäistä tutkimuskysymystä.

A. Rakenteellinen energiatehokkuus avuksi ilmastopäästöjen vähentämiseen - vähähiilisyysoapas
B. Rakennusten tietomallit tukemaan vähähiilistä rakentamista
C. Energiatehokkuuden rooli liikerakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä
D. Päästölaskenta ja hiilineutraalius rakennusliikkeessä
E. Heinolan kaupungin rakennusten muuntaminen hiilineutraalimmiksi
F. Vuokratalokiinteistöjen käytönaikainen hiilijalanjälki – mittarointi ja vaikutuskeinot
H. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä
I. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokoh- teessa

Kyseisistä tutkimusaineistoista löytyy samankaltaisuuksia, kun niitä verrataan tutkittavaan ilmiöön. Yhteisenä tekijänä aineistoista nousee esille Ympäristöministeriön laatima rakennusten vähähiilisyden arviointimenetelmä sekä vähähiilisyteen tarkoitettu laskentaohjelmisto. Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmä (2019, 11) pohjautuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään ja kestävän rakentamisen standardeihin. Arviointimenetelmällä on tarkoitus pienentää kiinteistöjen elinkaaren aikaisia päästöjä ekosunnittelua hyödyntämällä. Menetelmä on tarkoitettu tehtäväksi yhdessä kiinteistön energiatehokkuuden arvioinnin kanssa. Sunilan (2021, 8) suorittamasta tutki-

muksesta käy selkeästi ilmi, että tätä vähähiilisyiden arviointimenetelmää käytetään koko rakennuksen elinkaaren ajalla. Menetelmässä elinkaari jaetaan erilaisiin moduuleihin, jotka ovat selkeästi eritelty kiinteistöjen elinkaaren ajalle. Myös Ahola & Liljeström (2018, 8–9) esittävät tutkimuksessaan elinkaaren eri vaiheet moduuleina. Linebaugh (2023, 23) tuo tutkimuksessaan hyvänä näkökulmana esille, että vähähiilisyiden arviointimenetelmän käyttäminen auttaa standardien sekä Suomen omien hiilineutraalius tavoitteiden seurannassa. Vähähiilisyiden arviointimenetelmän etuina on, että sitä voidaan soveltaa myös jo olemassa oleviin rakennuksiin sekä uudis- ja korjausrakentamiseen. Tutkimusaineistoissa nousee esille myös laskentaohjelmisto One Click LCA. LCA eli life-cycle assesment on laskentamenetelmä, jota käytetään rakennusten vähähiilisyiden arvioimiseen. Tähän menetelmään perustuen on olemassa kaupalliseen käyttöön tarkoitettu One Click LCA laskentaohjelmisto. One Click LCA soveltuu kiinteistöjen vähähiilisyiden arviointiin etenkin elinkaaren alkuvaiheessa. Johtopäätöksenä tutkimuksesta voidaan kuitenkin todeta, että vaikka ohjelmistoa on hyvä käyttää elinkaaren alkuvaiheessa, on ohjelmalla luotu data käytettävissä ja hyödynnettävissä myös elinkaaren aikana. Hyvärin (2023, 57) tutkimusaineiston mukaan yritykset käyttävät jo tätä One Click LCA ohjelmaa. Etuina siinä on automaattisesti päivittyvät päästökertoimet ja sen sisältämät muut tiedot.

Tutkimusaineistoissa keskenään ei ollut laajoja eroavaisuuksia liittyen vähähiilisyiden arviointimenetelmään. Laskentaohjelmiston käytöstä ei löytynyt niin sanotusti erilaista näkökantaa vaan Sunilan (2021, 13) tutkimustyössä oli käytetty Green Building Council Finlandin laskentaohjetta. Näin ollen esimerkiksi One Click LCA laskentamenetelmän tuloksia ei voida verrata Green Building Council Finlandin laskentaohjeeseen. Tämä perustuu Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmän (2019, 12) mukaiseen ohjeeseen, jonka mukaan eri työkaluilla tehdyt arvioinnit eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmän (2019, 12) mukaan on arviointityökaluna käytettävä ympäristöministeriön omaan arviointiin soveltuva taulukko tai muuta soveltuva työkalua. Näin ollen vähähiilisyiden arviointia voidaan tehdä erilaisilla soveltuvilla työkaluilla, mutta on muistettava, etteivät ne ole vertailukelpoisia keskenään. Tässä tutkimuksessa tultiin päätelmään, jossa arviointi tai laskentatyökalujen käytön eroavaisuudet johtuvat siitä, mihin käyttäjä on itse mieltynyt tai mikä ohjelmisto on saatavilla. Hyvärin (2023, 69) tutkimuksessa tulee ilmi, että hänen tutkimuksensa toimeksiantaja käyttää One Click LCA ohjelmaa hankkeiden elinkaarilaskennassa. Etuina ohjelman käytössä on ohjelmaan saatavilla oleva lisäosa, jolla voidaan muuntaa elinkaarilaskennan tulokset GHG-protokollan mukaisiksi. Johtopäätelmänä voidaan sanoa, että käytettävästä ohjelmistosta riippumatta oikein käytetyllä ohjelmassa voidaan saada luotettavia ja vertailukelpoisia tuloksia päästölaskennassa. Edellä esitetyt (taulukko 6) tutkimusaineistot käsittelevät kattavasti vähähiilisyiden arviointimenetelmää ja sen käyttökohteita. Niissä tulevat selvästi esille Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmä ja miten Euroopan komission Level(s) -kehikko ja kestävä rakentamisen standardit ohjaavat arviointia. Esimerkiksi diplomityössään Hyväri (2023, 25) kertoo selkeästi, mistä eri vaiheista elinkaarilaskennan vaiheet muodostuvat. Nämä vaiheet voidaan jakaa erilaisiin moduuleihin, joita ovat rakennuksen valmistus-, rakentamis- ja käyttövaihe. Lisäksi tähän kuuluu rakennuksen elinkaaren päättyminen. Jokainen vaihe jakautuu pienempiin osa-alueisiin, jotka on myös tuotu selvästi esille. Tätä tukee myös Sunilan (2021, 8) ja Lindgrenin (2023, 38) esittämät elinkaaren vaiheiden jakaminen moduuleihin. Moduuleita käyttäessä on oltava tarkkana,

minkä tahon moduulia käyttää. Esimerkiksi standardin EN 15978 ja Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmän käyttämissä moduuleissa on eroavaisuuksia.

5.2 Toinen tutkimusongelma

Tässä osiossa käsitellään toista tutkimukseen valikoitua tutkimusongelmaa. Työn toinen tutkimuskysymys on:

2. Miten energiatehokkuus edistää kiinteistöjen hiilineutraaliuden tavoittelua?

Toisen tutkimuskysymyksen kohdalla tutkimusten analyysiä tutkittiin apukysymysten avulla (taulukko 5) samalla tavalla, kuten ensimmäisen tutkimusongelman kohdalla. Alla olevaan taulukkoon on lueteltu ne tutkimusaineistot, mitkä käsittelevät kyseistä tutkittavana olevaa ilmiötä (taulukko 7).

TAULUKKO 7. Aineistot, mitkä käsittelevät toista tutkimuskysymystäni.

A. Rakenteellinen energiatehokkuus avuksi ilmastopäästöjen vähentämiseen - vähähiilisyysoapas
C. Energiatehokkuuden rooli liikerakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä
E. Heinolan kaupungin rakennusten muuntaminen hiilineutraalimmiksi
F. Vuokratalokiinteistöjen käytönaikainen hiilijalanjälki – mittarointi ja vaikutuskeinot
G. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto
I. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohdeissa
J. Hiilineutraali Helsingin Yliopisto 2030 Tiekartta

Tutkimusaineistoista (taulukko 7) ei selvästi nouse esille esimerkiksi yhtä tai kahta yhdistävää tekijää, vaan aineistoista löytyy useita yhtäläisyyksiä verrattuna tutkittavaan ilmiöön. Tutkimusaineistoissa on keskenään samankaltaisia ehdotuksia kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiselle ja hiilijalanjäljen pienentämiselle. Esimerkiksi Myyryläinen (2019, 35–36) tuo kirjassaan esille, että rakennusten energiatehokkuutta kannattaa ensimmäiseksi ryhtyä parantamaan käyttöteknisillä toimenpiteillä. Kirjassaan Myyryläinen on listannut nämä toimenpiteet selvästi. Kyseiset toimenpiteet on esitelty alla (taulukko 8).

TAULUKKO 8. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen käyttötekniset toimenpiteet.

A. Huonelämpötilojen optimointi
B. Energian hyödyntäminen käytöstä, lämpöhäviöistä sekä auringosta
C. Ilmanvaihdon oikeaoppinen käyttäminen
D. Vuotoilman minimoiminen
E. Lämpimän käyttöveden käytön optimointi

F. Valaistuksen oikeanlainen käyttäminen ja energiatehokkaiden lamppujen valinta
--

Edellä esitetyillä toimilla (taulukko 8) pystytään vähentämään kiinteistöjen hiilijalanjälkeä ja hiilijalanjäljen pienentäminen on askel kohti vähähiilisyyttä. Esimerkiksi Vainio ym. (2022, 18) kertoo tutkimusaineistossaan, että huonelämpötilan pudottaminen yhdellä asteella säästää energiaa lämmityskaudella viisi prosenttia. Energiansäästö on yksi keino energiatehokkuuden parantamiseen, joka vastaavasti pienentää hiilijalanjälkeä. Myös uusiutuvien energianlähteiden käyttäminen on ollut pitkään yksi energiatehokkuutta parantava toimenpide. Uusiutuvan energian käyttö minimoi hiilijalanjäljen syntymistä, koska esimerkiksi aurinkosähkö ei tarvitse energiantuotantoon fossiilisia polttoaineita. Helsingin Yliopisto (2023, 11) on omassa tiekartassaan tuonut esille, että yliopistokiinteistöissä tuotettiin aurinkosähköllä 2021 jo prosentin verran sähköä kokonaiskulutuksesta. Tavoitteena tulevaisuutta varten Helsingin Yliopisto aikoo toteuttaa lisää aurinkovoimaloita. Sunilan (2023, 27–28) tutkimuksen mukaan energiamuotojen hiilijalanjäljen vähentämiseksi kannattaa pohtia fossiilivapaiden uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Esimerkiksi maalämpöpumppu omana järjestelmänään tai erilliset kaukolämmön kanssa toteutetut hybridijärjestelmien sovellutukset ovat varteenotettava vaihtoehto. Lämmitysjärjestelmistä Lindgren (2023, 87) kertoo tutkimuksessaan, että jos maalämpöpumpun asentaminen on mahdollista vaikuttaa se suuresti kiinteistön hiilijalanjälkeen tavoiteltaessa vähähiilisyyttä. Ahola & Liljeström (2018, 54) mukaan kaukolämmön korvaavaksi lämmitysjärjestelmäksi yksi potentiaalinen vaihtoehto on maalämpö. Täten tutkimusaineistojen perusteella voidaan tulla siihen tulokseen, että energiatehokkailta käyttötekniisillä toimenpiteillä voidaan edistää hiilineutraaliuden tavoittelua kiinteistöissä.

Tutkimuksen toisen tutkimusongelman kohdalla ei tutkimusaineistoista löytynyt merkittäviä eroavaisuuksia tai vastakkain asetteluja. Näkökantojen eroavaisuuksia on kuitenkin havaittavissa siinä määrin, käsitteleeke tutkimusaineisto rakentamista tai rakennuksen elinkaaren alkupuoliskoa vai tarkasteltiinko aineistossa jo olemassa olevan kiinteistön energiatehokkuuden parantamista. Nämä eroavaisuudet selittyvät pitkälti sillä, mikä on aineiston alkuperäinen tarkoitus ja mitä sillä halutaan saavuttaa. Esimerkiksi Helsingin Yliopiston tiekartta, Myyryläisen kirja Rakennusten elinkaari, energia ja kunto sekä Vainion ym. Vähähiilisyysoapas käsittelevät tutkittavaa aihealuetta laaja-alaisesti. Vertailukohtana esimerkiksi Lindgren ja Linebaugh käsittelevät tutkimuksissaan aihealuetta yksityiskohtaisemmalla otteella. Tutkimusaineistojen aihealueen käsittelyssä esimerkiksi Ahola & Liljeströmin (2018, 2) tutkimuksen tiivistelmästä selviää, että heidän tutkimuksessaan käsiteltiin kiinteistön hiilijalanjälkeä sen elinkaaren aikana. Heidän tutkimuksessaan keskityttiin muun muassa kiinteistön rakenteiden u-arvoon eli lämmönläpäisykertoimeen, ilmanvaihtoon ja lämmitysmuotoon. Myös Sunila (2021, 2) kertoo suoraan tutkimuksensa tiivistelmässä, että tutkimuksen tarkoituksena on tutkia käytönaikaisen hiilijalanjäljen pienentämistä. Muutkin tutkimusaineistot seuraavat Sunilan sekä Aholan & Liljeströmin tapaan käytönaikaisen hiilijalanjäljen pienentämistä. Vainio ym. kertovat tutkimuksessaan Vähähiilisyysoapas case-kohteiden muodossa, miten hiilijalanjäljen pienentäminen on otettu huomioon jo rakennuksen valmistamisen vaiheessa.

Taulukon seitsemän (taulukko 7) tutkimukset käsittelevät laaja-alaisesti ja monesta eri näkökulmasta tutkimusongelman aihealuetta. Tutkimusaineistojen perusteella pystytään huomioimaan, miten monia erilaisia tapoja hiilijalanjäljen pienentämiseksi energiatehokkuutta parantamalla löytyy erilaisissa sovellutuksissa. Seuraavassa taulukossa on tutkimusaineistojen perusteella koottu energiatehokkaita toimenpide-ehdotuksia, jotka voivat alentaa kiinteistöjen hiilijalanjälkeä (taulukko 9).

TAULUKKO 9. Energiatehokkaat toimenpide-ehdotukset kiinteistöjen hiilijalanjäljen pienentämisessä.

Lähteen nimi	Lähteen sivu	Toimenpide-ehdotus
A. Rakenteellinen energiatehokkuus avuksi ilmasto- päästöjen vähentämiseen - vähähiilisyyssopas	Sivu 30.	Energiankulutuksen vähentäminen rakenteellisilla parannuksilla.
C. Energiatehokkuuden rooli liikerakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä	Sivu 91. Sivu 93	Lämmitysenergian hiilijalanjäljen pienentäminen ikkunoiden teknistä ominaisuutta parantamalla. Rakennuksen energiankulutuksen vähentäminen päästövähennystoimena.
E. Heinolan kaupungin rakennusten muuntaminen hiilineutraalimmiksi	Sivu 24.	Ilmanvaihdon optimointi ja lämmöntalteenoton käyttäminen ilmanvaihdossa.
F. Vuokratalokiinteistöjen käytönaikainen hiilijalanjälki – mittarointi ja vaikutuskei- not	Sivu 52. Sivu 53.	Lämmitysverkoston tasapainotus. Hukkalämmön talteenotto. Rakennusautomaation hyödyntäminen. Eristystason parantaminen. Rakennuksen ulkovaipan eristäminen. Ikkunoiden uusiminen.
I. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohteessa	Sivu 45. Sivu 46. Sivu 47. Sivu 54.	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyödyntäminen. Putkien ja putkivarusteiden eristäminen. Valaistuksen ohjaus liike- tai aikaohjauksella. Rakennuksen ilmatii- veyden varmistaminen. Kaukolämmön vähentäminen tai korvaaminen.
J. Hiilineutraali Helsingin Yliopisto 2030 Tiekartta	Sivu 27. Sivu 29.	Maalämpöjärjestelmään siirtyminen. Öljylämmityk- sestä luopuminen. Hiilineutraali ostosähkö.

Peilattaessa tutkimuskysymystä työn teoreettiseen viitekehykseen voidaan tutkimusaineistojen pe- rusteella huomata, että kiinteistöjen käytönaikaista energiatehokkuutta voidaan parantaa muun mu- assa ainakin ilmanvaihdon, lämmityksen ja valaistuksen osalta. Lisäksi rakennusten vedenkäytöllä ja ulkovaipan tiiveydellä on suuri merkitys. Aholan ja Liljeströmin (2018, 41) mukaan rakennusten hiili- jalanjäljen pienentämisen kannalta energiatehokkuuden parantaminen on potentiaalisin vaihtoehto

tavoiteltaessa kiinteistöjen vähähiilisyttä. Tutkimusaineistoista esille nousee teemana energiatehokkuuden parantaminen. Näitä teemoja tukee taulukossa yhdeksän (taulukko 9) esitetyt toimenpide-ehdotukset. Esimerkiksi Helsingin Yliopiston (2023, 25–35) on esitelty erilaisia päästövähennystoimia. Nämä toimet liittyvät energiatehokkuuden parantamiseen kiinteistöissä. Linebaughin (2023, 24) tutkimuksessa rakennusten hiilineutraaliuden tavoittelussa yhtenä teemana on talotekniikan optimointi, joka on myös energiatehokas toimenpide. Voidaan siis todeta, että kiinteistöjen hiilineutraaliuden tavoitteluun on monta vaihtoehtoa kiinteistön elinkaaren aikana, mutta energiatehokkaat toimenpide-ehdotukset ovat yksi kustannustehokas toimenpide. Näitä toimenpiteitä voidaan tehdä elinkaaren alku-, keski- tai loppuvaiheilla.

5.3 Tutkimusaineistojen tietoaукот, puutteet ja eroavaisuudet

Tässä kappaleessa käsitellään havaittuja tietoaуккоja, puutteita ja eroavaisuuksia liittyen tutkimusongelmiin. Tutkimuksessa havaittiin tutkimusaineistoista, että rakennusautomaation hyödyntäminen energiatehokkuuden parantamisen työkaluna jää puutteelliseksi. Rakennusautomaatio on rakennusten talotekniikan ylläpidon ja optimoinnin kannalta yksi tärkeimmistä työkaluista. Linebaughin (2023, 24) mukaan rakennusten energiatehokkuuden optimointi voi alentaa rakennusten aiheuttamaa hiilijalanjälkeä. Tähän rakennusautomaatiojärjestelmä on hyvä työkalu. Automaation ollessa ajan tasalla voidaan suoritettujen energiatehokkaiden toimenpiteiden vaikutusten valvontaa tarkastella käyttöliittymästä ja historiadatasta trendien avulla. Tutkimusaineistoissa myös jäähdytysjärjestelmien osuus jää suppeaksi. Rakennusten jäähdytysjärjestelmät ovat energiankulutuksen optimoinnin kannalta myös yksi huomion arvoinen tekijä energiankulutuksessa. Esimerkiksi vapaajäähdytyksen käyttö on yksi energiansäästötoimenpide, jolla voidaan alentaa rakennuksen energiankulutusta. Vapaajäähdytyksellä voidaan minimoida koneellisen jäähdytyksen tarvetta. Aholan ja Liljeströmin (2018, 42) mukaan on esimerkiksi arvioitu, että jäähdytyksen tarve asuinrakennuksissa kasvaa jopa 19 % vuoteen 2030. Tämän väitteen vuoksi voidaan pitää rakennusten jäähdytysjärjestelmiä yhtenä potentiaalisena vaihtoehtona energiatehokkuuden kannalta. Tutkimuksessa tutkittiin myös yleisellä tasolla, miten työssä käytetyt tutkimusaineistot erosivat toisistaan. Ensimmäiseksi tutkittiin käytettyjä lähteitä lähdeluettelon avulla. Suppeammassa aineistoissa lähteiden määrä ei ollut kovin suuri. Osassa aineistoissa ei ollut lainkaan liitetiedostoja missä olisi voitu havainnollistaa esimerkiksi saavutettuja tuloksia. Tutkimusaineistoista erottui myös selvästi opinnäytteet. Näistä pystyi huomaamaan, miten tutkinnon taso vaikutti sisällön laatuun ja toteutukseen. Esimerkiksi yhdessä aineistossa pohdinta osio jäi pintapuoliseksi ja sitä olisi voinut laajentaa oleellisesti. Opinnäytteissä huomasi myös, miten välittu tutkimusmenetelmä näkyi tutkimuksen sisällössä. Vaikka tässä opinnäytetyössä ei oteta kantaa itse kiinteistöjen vähähiilisyden laskentaan, mainitaan silti, että esimerkiksi Lindgrenin tutkimuksessa LCA laskentamenetelmän sisältö jäi suppeaksi. Lindgren (2023, 49) mainitsee tutkimuksessaan esimerkiksi, että One Click LCA-ohjelmistolla voidaan tehdä tarkempaa hiilijalanjälkiarviota, sillä edellytyksellä, että tarkempaa tietoa on saatavilla. Lindgren olisi voinut avata tarkemmin, miten tarkkaa tieto on ja mistä se koostuu.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön viimeisen osion tarkoituksena on koota työstä yhteenvedo ja pohdinta. Tämä osio alkaa tarkastelemalla työn taustoja ja sitä, miten opinnäytetyölle asetetut tavoitteet toteutuivat ja miksi kirjallisuuskatsaus menetelmän valittiin tutkimukseen. Tässä osiossa myös käsitellään tutkimuksen tuloksia ja sitä saatiinko tutkimuskysymyksiin vastaus. Lisäksi pohditaan myös tutkimuksen aikaista työskentelyä ja arvioidaan opinnäytetyön lopputuloksia sekä ammatillista kasvua. Pohdinnassa kerrotaan myös missä asioissa onnistuttiin ja mitkä tekijät siihen vaikuttivat. Lopuksi käsitellään työn luotettavuutta ja eettisyyttä sekä pohditaan mahdollisia jatkotutkimuksia aiheesta.

6.1 Tavoitteiden toteutuminen

Opinnäytetyön aihe on saatu toimeksiantajalta ja alkuperäisen aihe-ehdotuksen mukaan tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia, miten energia- ja olosuhdehallintakeskuksen vaikuttavuutta voidaan mitata kiinteistöjen energiankulutuksessa ja hiilineutraaliuden arvioimisessa. Alkuperäisen suunnitelman mukaan työssä oli ajateltu käytettäväksi laadullista menetelmää tutkimushaastatteluna. Tätä mieltä oltiin vielä teoreettisen viitekehyksen valmistumiseen asti. Toimeksiantajan kanssa pohdittiin kuitenkin laadullisen menetelmän soveltuvuutta aiheeseen. Pidetyin palaverin jälkeen tultiin lopputulokseen, että laadullisen menetelmän avulla ei välttämättä saataisi yksiselitteistä ja ymmärrettävää vastausta tutkimuksen tutkimusongelmiin. Kyselyyn osallistuvan kohderyhmän valitseminen olisi ollut haastavaa ottaen huomioon, että kyselyyn osallistuvalla kohderyhmällä olisi täytynyt olla riittävä tekninen tietopohja aiheesta. Tämän perusteella harkittiin tutkimusmenetelmän uudelleen valitsemista. Lopulta päädyttiin toteuttamaan tutkimus kirjallisuuskatsauksena, koska tieto tutkimuskysymyksiin oli jo olemassa saatavilla olevista tutkimusaineistoissa. Näin ollen työn aihepiiri rajautui kiinteistöjen hiilineutraaliuden arvioimisen mahdollisuuksiin ja energiatehokkuuden osuuteen hiilineutraaliuden tavoittelussa. Näitä aiheita tutkittiin teoriapohjalta kirjallisuuskatsaus menetelmän avulla. Tutkimukseen valittiin kaksi tutkimuskysymystä, koska kahden kysymyksen avulla saatiin luotua aihepiiristä selkeämpi kokonaisuus ja työssä käsiteltäviin tutkimusongelmiin pystyttiin perehtymään tarkemmin. Kirjallisuuskatsausta varten tutkittiin useita tutkimusaineistoja ja näistä valikoitui tutkimuskysymysten kannalta tärkeimmät tutkimukset. Tutkimusaineistojen perusteella voitiin muodostaa selkeämpi käsitys aihepiiristä. Ymmärrys aiheesta kasvoi prosessin edetessä ja tutkimusaineistojen perusteella saatiin vastaus tutkimuskysymyksiin.

6.2 Luotettavuus ja eettisyys

Luotettavuuden arvioinnin kannalta opinnäytetöille on yhteistä, että työn kokonaisuuden täytyisi olla luotettava. Opinnäytetöiden luotettavuuden yhteinen piirre on, että prosessi ei anna epäluotettavia tuloksia tai kehittämisehdotuksia. (Vilka 2021, luku kokonaisluotettavuus) Luotettavuuden arviointia suoritettiin arvioimalla työssä käytettyjä tutkimusaineistoja. Arviointia on suoritettu taulukossa kymmenen (taulukko 10). Tässä taulukossa vastataan opinnäytetyön tutkimusaineistojen arviointiin otsikon avulla. Ensimmäisenä on aineiston tarkoitus ja tavoite. Saako tutkimusaineistosta selville aineiston tarkoituksen ja tavoitteen? Toiseksi onko aineiston tulokset esitetty selkeästi? Viimeiseksi soveltuuko aineisto omaan opinnäytetyöhöni? Kriteerit arvioinnille ovat "kyllä", "osittain" ja "ei".

TAULUKKO 10. Tutkimusaineistojen arviointi (mukaillen Vilka 2023)

Aineisto Arviointi: (K=kyllä, O=osittain, E=ei)	Aineiston tarkoitus ja tavoite	Aineiston tulokset on esitetty	Aineiston soveltuvuus omaan tutkimukseeni
A. Vainio ym. 2022	K	K	K
B. Lavikka & Kiviniemi julkaisuaika tuntematon	K	K	O
C. Lindgren 2023	K	K	K
D. Hyväri 2023	K	K	K
E. Linebaugh 2023	K	K	O
F. Sunila 2021	K	K	K
G. Myyryläinen 2019	K	K	O
H. Ympäristöministeriö 2019	K	K	O
I. Ahola & Liljeström 2018	K	K	K
J. Helsingin Yliopisto 2030	K	K	O

Tuloksista voidaan todeta, että suurin osa tutkimusaineistoista sai arvioinnista ”kyllä”. Mukaan mahtui myös muutamia ”osittain” arvioita. Arvosana ”osittain” ei kuitenkaan tässä tapauksessa tarkoita, että tutkimusaineisto olisi jollain muotoa huonompi tai ala-arvoisempi kuin ”kyllä” vastauksen saanut tutkimus. Suurimmaksi osaksi voidaan todeta, että tässä opinnäytetyössä käytetyt tutkimusaineistot soveltuvat työhön ja edistivät tutkimusta tutkimuskysymyksiin liittyen sekä käytettyjen tutkimusaineistojen perusteella saatiin tutkimuskysymyksiin vastaus. Yksikään työssä käytetyistä tutkimuksista ei saanut arviointia ”ei”.

Vilkan mukaan (2023, luku 3.2.1) ulkoisilla tekijöillä voidaan arvioida valittujen tutkimusten tarkoituksenmukaisuutta. Tutkimuksessa tarkasteltiin tutkimusaineistojen aihetta tiivistelmän ja otsikon perusteella, tutkimuksen soveltuvuutta kirjallisuuskatsauksen tutkimuskohteen kanssa ja verrattiin alkuperäistutkimusten tarkoitusta tunnistamis- tai seulontavaiheen kriteereihin. Työssä on toteutettu tutkimusaineistojen arviointia Vilkan ohjeiden mukaisesti. Aineistojen valinnassa on toteutettu tunnistamisvaihetta sekä arvioitu tutkimuksia tiivistelmän ja otsikon perusteella. Tätä ulkoisten tekijöiden arviointia on suoritettu luvussa 4.4 sanallisesti sekä taulukon kolme (taulukko 3) avulla.

Kirjallisuuskatsauksessa tutkija noudattaa hyvän tieteellisen käytännön periaatteita kollegoiden, tutkimuskohteen, rahoittajien, toimeksiantajan ja yleisön kannalta. Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisessa hyödynnetään soveltuvia tiedonhankinta- ja tutkimusmenetelmiä, jotka pohjautuvat oman alan tieteelliseen kirjallisuuteen ja muihin tietolähteisiin, havaintoihin ja analyysiin. Kirjallisuuskatsauksen tekstituotoksen tarkoituksena on todistaa, että tutkija ymmärtää katsaukseen valitun tutkimusmenetelmän ja menetelmän mukaisesti toteutetun tiedonhankinnan, analyysin ja johdonmukaiset tulokset. Kirjallisuuskatsauksessa painotetaan erityisesti rehellistä ja suoraa toimintaa toisten tekemiä

tutkimuksia kohtaan, koska kirjallisuuskatsausta varten tutkitaan toisten tuottamia tutkimuksia. Tutkijan tulee olla arvosteleva, kohtelias ja myönteinen arvioidessa ja analysoidessa tutkimuksia. Tutkimusaineiston hakuprosessissa kehitetään eettistä tutkimustapaa taulukoimalla tutkimukset. Lähdeviitteitä taas käytetään aina kun tekstin sisältö vaatii ja raportoitaessa kerrotaan tutkimusaineistojen tiedot kunnioittavasti ja todenmukaisesti. Kirjallisuuskatsauksen toimeksiantaja tai rahoittaja on aina tuotava selkeästi esille. (Vilkkä 2023, luku 3.2.1) Näiden ohjeiden mukaan kirjallisuuskatsauksen eettinen toiminta on saavutettavissa. Tutkimuksessa noudatettiin tätä ohjeistusta työn aikana ja se toteutettiin näiden eettisten ohjeiden mukaan.

6.3 Tulokset

Tässä työssä esitetty teoreettinen viitekehys antaa selkeän kuvauksen aiheesta ja sen osa-alueista. Teoriaosuus toimii hyvänä johdantona aihealueeseen ja saavutettujen tuloksien ymmärtämiseen. Tutkimusaineistoista saa vastauksen tutkimuskysymyksiin kuvailevan kirjallisuuskatsauksen avulla tarpeeksi yksiselitteisesti. Ensimmäiseen tutkimusongelmaan saadaan vastaus Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmällä, millä voidaan arvioida kiinteistöjen hiilineutraaliutta. Arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään ja erilaisiin kestävän rakentamisen standardeihin. Tätä arviointimenetelmää voidaan hyödyntää kiinteistön koko elinkaaren aikana. Itse elinkaarimalli voidaan jakaa erilaisiin moduuleihin, jotka ovat jaettu kiinteistön koko elinkaaren ajalle. Tutkimusaineistojen perusteella arviointimenetelmään löytyy myös laskentamenetelmä, millä voidaan arvioida kiinteistöjen hiilineutraaliutta. Tällä laskentamenetelmällä voidaan yksiselitteisesti laskea ja arvioida kiinteistöjen hiilineutraaliutta koko elinkaarelle tai sen yksittäisille moduulien vaiheille. Menetelmä soveltuu olemassa oleviin kiinteistöihin sekä uudis- ja korjausrakentamiseen. Laskentamenetelmästä käytetään nimitystä life-cycle assessment ja tähän on olemassa erilaisia laskentaohjelmistoja. Tutkimusaineistoista nousi esille One Click LCA laskentaohjelmisto, joka on tarkoitettu vähähiilisyden laskentaan. Toiseen tutkimusongelmaan vastaus ei ole yksiselitteinen vaan monen eri tekijän summa. Tutkimusaineistoista löytyy yhtäläisyyksiä ja samankaltaisuuksia siihen, että kiinteistöjen energiatehokkuuden parantaminen pienentää hiilijalanjälkeä, joka on välttämätöntä hiilineutraaliuden tavoittelussa. Energiatehokkuuden parantamiseen ei ole vain yhtä ja oikeaa keinoa. Taulukkoon yhdeksän (taulukko 9) on koottu tutkimusaineistojen perusteella erilaisia energiatehokkuutta parantavia käyttökäytännöitä toimenpide-ehdotuksia. Nämä ehdotukset ovat vain yksi monista energiatehokkuutta parantavista tekijöistä. Voidaan siis todeta, että energiatehokkaat käyttökäytännöt toimenpiteet ovat askel kohti kiinteistöjen hiilineutraaliutta, mutta vain yhtenä tärkeänä tekijänä.

Yhteenvedona tuloksien osalta voidaan tutkimusaineistojen perusteella sanoa, että kiinteistöjen vähähiilisyden arviointia varten on perehdyttävä alan käsitteisiin, rakennusten elinkaarimalliin ja laskentaa varten on tunnistettava siihen soveltuva laskentaohjelmisto. Ympäristöministeriön mallinmuokaisessa Vähähiilisyden arvioinnissa tukena on Euroopan komission Level(s)-kehikko ja kestävän rakentamisen standardit. Tällä menetelmällä voidaan arvioida kiinteistöjen hiilineutraaliutta elinkaarenajalle tai yksittäisten moduulien vaiheille. Soveltuvaksi laskentaohjelmistoksi voidaan tutkimusaineistojen perusteella valita One Click LCA-ohjelmisto. Kiinteistöjen vähähiilisyden tavoittelemiseksi on tunnettava hiilineutraalius ja energiatehokkuus käsitteenä ja ymmärrettävä taloteknisten järjes-

telmien toiminta energiatehokkuuden parantamiseksi sekä hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Energiatehokkuutta parantavilla toimenpide-ehdotuksilla voidaan pienentää rakennusten hiilijalanjälkeä ja tavoitella kiinteistöjen hiilineutraaliutta. Tämän opinnäytetyön pohjalta toimeksiantaja voi lähteä tulevaisuudessa toteuttamaan mahdollisia kiinteistöjen vähähiilisyden arviointia ja ottaa huomioon energiatehokkaiden toimenpiteiden potentiaalin arviointia suorittaessa.

6.4 Jatkotutkimuksen aiheet

Tämän opinnäytetyön pohjalta tehtävän jatkotutkimuksen aiheena voisivat olla ne aiheeseen linkittyvät asiat, jotka jouduttiin käytössä olevien resurssien puitteissa rajaamaan tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Aiheena voisivat olla esimerkiksi päästökompensoinnin ja hiilikädenjäljen rooli kiinteistöjen hiilineutraaliudessa tai LCA laskentamenetelmän toteuttaminen case-tyyppisessä kohteessa, jossa laskennalla voitaisiin arvioida koko rakennuksen elinkaarta tai vain yksittäisen moduulin osuutta. Yhtenä mahdollisuutena voisi myös olla data-analytiikan tai tekoälyn hyödyntäminen kiinteistöjen energiatehokkuuden arvioimisessa. Näillä voitaisiin löytää korrelaatioita eri muuttujien välillä, jotka voivat olla ihmiselle liian monimutkaisia huomata. Toimeksiantajalla on jo mahdollinen jatkosuunnitelma toista opinnäytetyötä varten, joka pohjautuu tai vähintäänkin sivuaa tätä kyseistä työtä.

LÄHTEET

- Ahola, Riina & Liljeström, Kimmo. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilakohteessa. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2018. https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2022/08/Hiilijalanjaljen-pienentaminen-kustannustehokkaasti_2018.pdf. Viitattu 21.12.2023.
- Arvonosturi 2021. Mikä on hiilineutraali kiinteistö? Verkkajulkaisu. Julkaistu 10.02.2021. <https://www.arvonosturi.fi/mika-on-hiilineutraali-kiinteisto/>. Viitattu 14.1.2024.
- Energiatehokas lämmönsiirto, Motiva. Pdf-tiedosto. Julkaisuaika tuntematon. https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf. Viitattu 4.1.2024.
- Euroopan parlamentti 2019. Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? Verkkajulkaisu. Päivitetty 8.9.2022. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tarκοittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-menessa>. Viitattu 22.10.2023
- Eurooppa-neuvosto julkaisuaika tuntematon. Verkkajulkaisu. Päivitetty 3.1.2024. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/paris-agreement/>. Viitattu 3.1.2024.
- Green Building Council Finland ry 2023. Verkkajulkaisu. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi valmistunee alkuvuodesta. Julkaistu 15.12.2023. <https://figbc.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivi-valmistunee-alkuvuodesta>. Viitattu 3.1.2024.
- Hiilineutraaliksi 2022. Verkkajulkaisu. Mitä tarkoittaa hiilijalanjälki? Julkaistu 5.9.2022. <https://www.hiilineutraaliksi.fi/hiilineutraalius/mita-tarκοittaa-hiilijalanjalki/>. Viitattu 7.9.2023.
- Hiilineutraali Helsingin Yliopisto 2030. Tiekartta. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2023. https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2023-04/HY_Tiekartta_taustapaperi.pdf. Viitattu 10.2.2024.
- Hyväri, Fanni 2023. Päästölaskenta ja hiilineutraalius rakennusliikkeessä. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan DI-ohjelma. Tampereen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202309298555>. Viitattu 10.2.2024.
- Härkönen, Pentti, Mikkola, Juhana, Piikkilä, Veijo, Sahala, Antti, Sahlstén, Toivo, Sandström, Börje, Sirviö, Arto, Spangar, Tapani, Sulku, Jukka 2015. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Tietotekniset järjestelmät. 5 painos. Helsinki: Hansaprint Oy
- ISS 2024. Kiinteistöjen ylläpitopalvelut. Verkkajulkaisu. <https://www.isspalvelut.fi/kiinteiston-yllapitopalvelut>. Viitattu 14.2.2024.
- Korkkala, Tapio 2019. Lämmitys, Hoito ja huolto. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.
- Korkkala, Tapio 2016. Ilmastointi, Hoito ja huolto. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.
- Lindgren, Sanna 2023. Energiatehokkuuden rooli liikerakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä. Opinnäytetyö. Energiatekniikan diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231113146328>. Viitattu 10.2.2024.
- Linebaugh, Venla 2023. Heinolan kaupungin rakennusten muuntaminen hiilineutraalimmiksi. Opinnäytetyö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023120735108>. Viitattu 10.2.2024.

- Luukka, Oliver 2021. Fidelix-ohjelmistokirjastojen käyttö ja ohjeistus rakennusautomaatioympäristössä. Opinnäytetyö. Teknisten tieteiden kandidaatinohjelma. Tampereen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202109167125>. Viitattu 13.12.2023.
- Motiva 2023. Ilmanvaihto. Verkkajulkaisu. Päivitetty 17.1.2023. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/remontoi_ ja_ huolla/energiatehokas_sahkolammitus/ilmanvaihto. Viitattu 6.12.2023.
- Motiva 2023. Kaukolämpöä entistä puhtaammin ja energiatehokkaammin. Verkkajulkaisu. Päivitetty 3.1.2023. https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/kaukolampoa_entista_puhtaammin_ ja_ energiatehokkaammin.18301.news. Viitattu 4.12.2023.
- Motiva 2023. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Verkkajulkaisu. Päivitetty 16.3.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi. Viitattu 27.12.2023.
- Motiva 2022. Valaistus. Verkkajulkaisu. Päivitetty 13.1.2022. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/valaistus. Viitattu 13.12.2023.
- Myyryläinen, Jorma 2019. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rakenteellinen energiatehokkuus avuksi ilmastopäästöjen vähentämiseen. Vähähiilisyysopas. Pdf-tiedosto. Julkaistu 3.11.2022. https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/72920769/Vahahiilinen_rakentaminen_opas_01112022_web.pdf. Viitattu 10.2.2024
- Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne ja laitteet, Rakennusautomaatiojärjestelmät. Pdf-tiedosto. Julkaisuaika tuntematon. https://moodle.savonia.fi/pluginfile.php/2243170/mod_resource/content/2/Rakennusautomaatioj%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20rakenne%20ja%20laitteet.pdf. Viitattu 6.12.2023.
- Rakennustarkastusyhdistys RTY julkaisuaika tuntematon. Rakennusten tietomallit tukemaan vähähiilistä rakentamista. Verkkajulkaisu. <https://www.rakennustarkastusyhdistys.fi/rakennusten-tietomallit-tukemaan-vahahiilista-rakentamista/>. Viitattu 10.2.2024.
- Salminen, Ari 2023. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja joihinkin hallintotieteellisiin sovelluksiin. Opetusmateriaali. Vaasan Yliopisto. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-395-081-8>. Viitattu 26.1.2024.
- Sitra 2018. Kulutuksen hillintä vaatii vuoropuhelua ja tekoja. Verkkajulkaisu. Julkaistu 19.3.2018. <https://www.sitra.fi/blogit/kulutuksen-hillinta-vaatii-vuoropuhelua-ja-tekoja/>. Viitattu 23.12.2023.
- Sunila, Liisa 2021. Vuokratalokiinteistöjen käytönaikainen hiilijalanjälki – mittarointi ja vaikutuskeinot. Opinnäytetyö. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202104255669>. Viitattu 10.2.2024.
- Suomäki, Jorma & Vepsäläinen, Sami 2017. Talotekniikan automaatio -Käyttäjän opas. Hansaprint Oy
- Tiilikainen, Sami 2023. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Opetusmateriaali. Mikä automaatio? Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Valtioneuvosto 2023. Verkkajulkaisu. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivistä alustava sopu. Julkaistu 8.12.2023. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivistä-alustava-sopu>. Viitattu 3.1.2024.
- Valtioneuvosto. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>. Viitattu 10.2.2024.

Vilka, Hanna 2023. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. E-kirja. Helsinki: Art House Oy. Viitattu 13.1.2024.

Vilka, Hanna 2021. Näin onnistut opinnäytetyössä. E-kirja. Jyväskylä: PS-kustannus. Viitattu 4.2.2024.

WWF julkaisuaika tuntematon. Ylikulutus. Verkkajulkaisu. <https://wwf.fi/uhat/ylikulutus/>. Viitattu 23.12.2023.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Verkkajulkaisu. Pariisin ilmastopöytäkirja. <https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>. Viitattu 23.12.2023.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Verkkajulkaisu. Rakennusten energiatehokkuus. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>. Viitattu 27.12.2023.

LIITE 1: OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETYT TUTKIMUSAINEISTOT

LIITE 1. Opinnäytetyössä käytetyt tutkimusaineistot.

VTT. Rakenteellinen energiatehokkuus avuksi ilmastopäästöjen vähentämiseen – vähähiilisyysopas. Julkaistu 2022.
Rakennustarkastusyhdistys RTY. Rakennusten tietomallit tukemaan vähähiilistä rakentamista. Julkaisuaika tuntematon.
Lindgren Sanna. Energiatehokkuuden rooli liikerakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä. Julkaistu 2023.
Hyväri Fanni. Päästölaskenta ja hiilineutraalius rakennusliikkeessä. Julkaistu 2023.
Linebaugh Venla. Heinolan kaupungin rakennusten muuntaminen hiilineutraalimmiksi. Julkaistu 2023.
Sunila Liisa. Vuokratalokiinteistöjen käytönaikainen hiilijalanjälki – mittarointi ja vaikutuskeinot. Julkaistu 2021.
Myyryläinen Jorma. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto. Julkaistu 2019.
Ympäristöministeriö. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Julkaistu 2019.
Ahola Riina & Liljeström Kimmo. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohteessa. Julkaistu 2018.
Helsingin Yliopisto. Hiilineutraali Helsingin Yliopisto 2030 Tiekartta. Julkaistu 2023.