

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TOIMISTO- JA HUOLTO- RAKENNUKSEN ENERGIARATKAISUT

Opinnäytetyö

TEKIJÄ

Matti Mikkela

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Matti Mikkela	
Työn nimi Toimisto- ja huoltorakennuksen energiaratkaisut	
Päiväys 19.9.2022	Sivumäärä/Liitteet 40
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Puhas Oy	
Tiivistelmä Ilmastonmuutoksen hillitsemisen ja luonnonvarojen kestävämmän käytön myötä rakennusten energiatekniisiin ratkaisuihin on alettu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota. Viimeistään Venäjän hyökättyä Ukrainaan on eurooppalaisen energiatalouden perusperiaatteet ryttisseet liitoksissaan ja tulleet kyseenalaistetuksi. Tulevaisuuden energiantuotannon lähtökohtina tulevat olemaan ainakin omavaraisuus, uusiutuvuus ja kestävyys. Enää energian hinta yksin ei ole ainoa hankintapäätöksiin vaikuttava tekijä, vaan esimerkiksi energian alkuperä kiinnostaa aiempaa enemmän. Rakennusten energiajärjestelmien tarkastelu korostuu osana tätä muutosta. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, millä tavoin jätehuolto-yhtiö Puhas Oy:n suunnitteilla olevien toimisto- ja huoltorakennusten energiantekninen kokonaisratkaisu tulisi toteuttaa. Puhas Oy on opinnäytetyön tilaaja. Tarkasteluun valittiin kaksi ennakkoon soveltuvinta päälämmönlähdettä: kaukolämpö ja maalämpö. Lisäksi opinnäytetyössä selvitettiin aurinkojärjestelmän soveltuvuutta ja mitoituskohteeseen. Tarkastelu perustui kirjallisten lähteiden ohella rakennushankkeen tiedossa olevien yksityiskohtien avulla tehtyihin laskelmiin. Opinnäytetyön myötä suositeltavaksi päälämmönlähteeksi valikoitui täysteholle mitoitettu maalämpöjärjestelmä. Toimisto- ja huoltorakennusten suunnittelun keskeneräisyys tosin esti yksityiskohtaisten laskelmien ja suositusten tekemisen. Aurinkojärjestelmän osalta opinnäytetyössä päädyttiin suosittelemaan suurinta soveltuvinta järjestelmää eli 38 kW_p aurinkopaneelijärjestelmää.	
Avainsanat toimistorakennus, energiaratkaisut, kaukolämpö, maalämpö, aurinkoenergia	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Matti Mikkilä	
Title of Thesis Energy Solutions for the Office and Maintenance Buildings	
Date 19 September 2022	Pages/Appendices 40
Client Organisation /Partners Puhas Oy	
Abstract In wake of attempts to contain climate change and to utilise natural resources in a more sustainable manner, the energy technology solutions of buildings have come under ever more scrutiny. The basic principles of Europe's energy market have been disturbed and questioned ever since Russia invaded Ukraine, if not before. Self-sufficiency, renewability, and sustainability are going to form the basis for future's energy production. As there is an ever-growing interest towards where energy comes from, price no longer remains the sole defining factor in energy acquisitions. The examination of the energy systems of buildings gets highlighted as part of this change. The goal of this thesis was to figure out how the energy technology solutions for Puhas Oy waste management company's future office and maintenance buildings should be implemented. Puhas Oy commissioned this thesis. Two heat sources were identified as the most suitable solutions and taken under scrutiny: district heating and geothermal heating. Additionally, the thesis examined the feasibility of installing a solar energy system to the buildings, as well as the system's dimensioning. In addition to literary sources, the examination was based on calculations made with the help of data pertaining to the building project. The result of the thesis was that a fully powered geothermal heating system would be the recommended heat source of choice. However, making detailed calculations and recommendations was not possible due to the fact that the buildings were still in their planning stages. When it comes to solar energy, in the thesis the largest possible solar panel system of 38 kWp was recommended to the commissioner.	
Keywords office building, energy technology solution, district heating, geothermal heating, solar energy.	

1	JOHDANTO	6
1.1	Opinnäytetyön tilaaja	6
1.2	Työn tavoite ja rajaukset	7
1.3	Rakennettavat kohteet	8
1.4	Lämmöntuotantotapojen vertailutavan valinta	8
2	LÄMMÖNLÄHTEET	10
2.1	Lämmitysjärjestelmä	10
2.2	Kaukolämpö	11
2.2.1	Kaukolämmön toimintaperiaate	12
2.2.2	Kaukolämmön tuotanto	13
2.2.3	Kaukolämmön hankkiminen	14
2.3	Maalämpö	15
2.3.1	Vaihtoehdot maalämpöenergian keräämiselle	16
2.3.2	Maalämpöpumpun toimintaperiaate	17
2.3.3	Kaivon ja maalämpöjärjestelmän mitoitus	18
3	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS	20
3.1	Lähtökohdat	20
3.1.1	Käyttöveden energiakulutus	21
3.1.2	Tilojen lämmitystehontarve	22
3.2	Kaukolämpöjärjestelmän toteutettavuus ja kustannukset	23
3.3	Maalämpöjärjestelmän toteutettavuus ja kustannukset	26
3.4	Lämmitysjärjestelmän hankinta ja kilpailutus	27
4	AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN	29
4.1	Aurinkojärjestelmän määrittely kohteeseen	29
4.2	Aurinkojärjestelmän tuotto	30
4.3	Aurinkojärjestelmän mitoitus ja taloudellinen kannattavuus	32
5	POHDINTA	35
	LÄHTEET	37

KAAVAT

KAAVA 1. Rakennuksen lämmitystehon tarve (Ympäristöministeriö 2018).

KAAVA 2. Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve (Ympäristöministeriö 2018).

KAAVA 3. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho (Ympäristöministeriö 2018).

KAAVA 4. Lämpimän käyttöveden energiankulutus (Motiva 2022).

KAAVA 5. Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus (Ympäristöministeriö 2018).

KUVAT

KUVA 1. Lämmitysjärjestelmien markkinaosuus uusissa omakotitaloissa vuosina 2006–2018 (Motiva 2020b).

KUVA 2. Energiavuosi 2021 – Kaukolämpö (Energiateollisuus ry 2022b, 17).

KUVA 3. Kaukolämmön toimintaperiaate (Energiateollisuus ry 2018, 4).

KUVA 4. Uusiutuvien osuus on lähes kaksinkertaistunut ja hukkalämpöjen osuus yli kolminkertaistunut 10 vuodessa (Energiateollisuus ry 2022b, 6).

KUVA 5. Maalämpöpumpun toimintaperiaate ja rakenne (Keränen 2016, 18).

KUVA 6. Suunniteltujen rakennusten sijaintipaikan etäisyys Savon Voiman kaukolämpövoimalaitoksen laitosalueesta. Karttapohja (Savon Voima 2022a).

KUVA 7. Suunniteltujen rakennusten etäisyys Savon Voiman kaukolämpövoimalaitoksen kaukolämpöverkkoon. Karttapohja (Savon Voima 2022a, pl. vihreä osoittaja).

KUVA 8. Suunniteltujen rakennusten etäisyys lähimmästä kaukolämpöä käyttävästä asuinalueesta (Joensuun Karttapalvelu 2022).

TAULUKOT

Taulukko 1. Kattokulman vaikutus vuosituotantoon ja suurimpaan päiväkohtaiseen tuotantoon.

Taulukko 2. Kattokulman vaikutus kuukausikohtaiseen tuotantoon.

Taulukko 3. Aurinkojärjestelmän takaisinmaksuaika.

1 JOHDANTO

Rakennukset kuluttavat miltei 40 % kaikesta Suomessa käytetystä energiasta. Lisäksi ne aiheuttavat noin kolmanneksen päästöistä. (Rakennusteollisuus 2022.) Ilmastomuutos, energiatalouden- ja teollisuuden muutokset sekä viimeisimpänä Ukrainan sota ohjaavat arvioimaan rakennusten lämmitystapoja kriittisesti. Edellä mainittujen vaikuttimien seurauksena energian kokonaiskustannukset kasvavat, mikä ohjaa entisestään kiinnittämään huomioita rakennusten lämmöntuotantoon. Koska rakennusten elinkaari on verraten pitkä, tulisi lämmitysjärjestelmää valitessa arvioida valinnan toimivuutta nyt ja tulevaisuudessa (Motiva 2019). Energiankulutuksen vähentämisen ohella on olennaista, miten energia tuotetaan.

Kaukolämpö on ollut pitkään suosituin lämmitysmuoto, mikä on johtunut muun ohella sen tuotannon ennustettavuudesta, helppoudesta ja edullisuudesta. Viime aikoina kaukolämmön suosio on kuitenkin huomattavasti laskenut johtuen sen hinnan noususta. Kaukolämmön hintakehitykseen liittyy myös jonkin verran ennustamattomuutta. Lisäksi kaukolämmön päästöistä on käyty kriittistä keskustelua. Sen sijaan uusiutuvien energialähteiden - etenkin maalämmön - suosio on lisääntynyt samojen kehityskulkujen myötä eli ympäristöystävällisyyden, edullisuuden ja ennustettavien kulujen takia. (Isännöintiliitto 2022.)

Puhas Oy suunnittelee Joensuussa sijaitsevalle Kontiosuon jätekeskukselle toimistorakennuksen sekä huoltorakennuksen rakentamista. Toimistorakennuksen on suunniteltu valmistuvan loppuvuodesta 2023, huoltorakennuksen on puolestaan suunniteltu valmistuvan vuonna 2024. Opinnäytetyön tarkoituksena on arvioida eri vaihtoehtoja rakennusten päälämmönlähteeksi sekä selvittää ratkaisujen mitoitusta ja hankintaa; opinnäytetyössä selvitetään, miten rakennuksen energiaratkaisut tulisi toteuttaa, jotta kokonaisuus olisi sekä teknis-taloudellisesti että ympäristön kannalta mahdollisimman optimaalinen.

1.1 Opinnäytetyön tilaaja

Opinnäytetyön tilaaja Puhas Oy on kuntaomisteinen jätehuoltoyhtiö, jonka omistajia ovat Joensuu, Ilomantsi, Kontiolahti, Liperi ja Polvijärvi. Joensuun kaupunki on yhtiön pääomistaja. Puhas Oy:n tehtävä on tuottaa kunnille lakisääteisesti kuuluvat jätehuollon palvelutehtävät osakaskuntiensa puolesta. Yhtiö on perustettu vuonna 1997 ja vuonna 2012 sen nimeksi muutettiin Puhas Oy. (Puhas Oy 2022.)

Puhas Oy:n palveluihin kuuluvat keskitetysti kilpailutetut poltettavan jätteen ja biojätteen kuljetuspalvelut, jokaisessa omistajakunnassa sijaitsevat jäteasemat sekä Kontiosuon jätekeskus. Lisäksi yhtiö vastaa muun muassa kotitalouksien käyttöön tarkoitetuista ekopisteistä, vaarallisten jätteiden ja käytöstä poistettujen sähkölaitteiden vastaanottopisteistä sekä monipuolisesta jätehuollon palveluneuvonnasta. Yhtiön toiminta-alueella elää noin 112 000 asukasta. (Puhas Oy 2022b.)

Puhas Oy:n pääomistajan Joensuun kaupungin ilmasto-ohjelma on yksi kunnianhimoisimmista Suomen kaupunkien joukossa: Joensuun tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2025 mennessä (Jo-

ensuun kaupunki 2022). Koska Puhas Oy on Joensuun kaupunkikonsernin tytäryhtiö, kaupungin tavoitteet ohjaavat myös tytäryhtiön toimintaa ja päätöksiä. Näin ollen yhtiön on otettava huomioon rakennusten suunnittelussa myös niiden ympäristöystävällisyys.

Opinnäytetyön tekijä työskentelee tilaajana toimivassa Puhas Oy:ssä.

1.2 Työn tavoite ja rajaukset

Opinnäytetyön päämääränä on tarkastella mainittujen toimisto- ja huoltorakennusten osalta optimaalista energijärjestelmää: miten Puhas Oy:n rakennuttamien toimisto- ja huoltorakennusten energiaratkaisut tulisi toteuttaa. Tarkoituksena on tarkastella erilaisia päälämmönlähteitä ja niiden eroavaisuuksia. Tyypillisesti käytettyjä lämmönlähteitä ovat sähkölämmitys, erilaiset lämpöpumput, kaukolämpö, öljy, puu sekä pelletti (Simola 2020, 11).

Öljylämmitys rajataan opinnäytetyön tarkastelujen ulkopuolelle pelkästään päästöjen ja ympäristökuormittavuuden takia. Yritysten on miltei mahdotonta perustella fossiilisiin polttoaineisiin sitoutumista, mikäli tarjolla on kustannustehokkaita uusiutuvia energialähteitä. Tämä vaatimus korostuu Puhas Oy:n kaltaisen yhteiskunnallisen ja ympäristöalalla toimivan yrityksen osalta entisestään. Myöskään puun tai pellettien käyttäminen ei tule kysymykseen ympäristövaikutusten ja järjestelmän epäkäytännöllisyyden takia.

Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta ja siirtää sitä lämmitysjärjestelmään. Vaikka ilma-vesilämpöpumpun tekniikka perustuu uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen ja on siten ympäristöystävällinen tapa tuottaa energiaa, se on rajattu opinnäytetyön tarkastelujen ulkopuolelle. Ilma-vesilämpöpumppu soveltuu hyvin kohteisiin, joissa on vähäinen lämmöntarve tai joissa maalämpöjärjestelmä ei jostain syystä ole mahdollinen. Ilma-vesilämpöpumppu on investoinniltaan maalämpöjärjestelmää edullisempi, mutta se ei toisaalta anna yhtä paljon ilmaisenergiaa vuositasona kuin maalämpö. (Motiva 2022b.) Kun ulkolämpötilan laskee, ilma-vesilämpöpumpulla saatavan lämmitysenergian määrä sekä laitteen hyötysuhde laskevat. Koska ilma-vesilämpöpumppu tuottaa vähiten energiaa silloin, kun tarve on suurin, järjestelmä tarvitsee rinnalleen toisen lämmitysjärjestelmän. (Motiva 2021a.) Yleisesti ottaen Etelä-Suomessa sijaitsevaan pientaloon saattaisi olla kustannustehokasta valita ilma-vesilämpöpumppu (Simola 2020, 70–73), mutta Pohjois-Karjalassa sijaitsevaan kahden suurehkon rakennukseen kokonaisuuteen se ei ole järkevä kokonaisratkaisu.

Suora sähkölämmitys on edelleen yleinen lämmitystapa, mutta sen järkevyyttä on kyseenalaistettu korkean sähkön hinnan ja kustannustehokkaampien lämmitystapojen yleistyessä. Vaikka suoran sähkölämmityksen energiakustannukset ovat huomattavan korkeat, investointina sen voidaan katsoa olevan edullinen (Motiva 2020b). Huolimatta suoran sähkölämmityksen yleisyydestä ja investoinnin edullisuudesta, jätetään se tässä opinnäytetyössä tarkastelun ulkopuolelle.

Opinnäytetyössä tarkastellaan päälämmönlähteenä kaukolämpöä ja maalämpöä sekä niiden käytännön toteutettavuutta. Sovelletavan päälämmönlähteen valinnan jälkeen tehdään suuntaa antava lämmitysjärjestelmän mitoitus sekä suunnitellaan järjestelmän hankintaa. Lisäksi työssä selvitetään

aurinkojärjestelmän hyödyntämisen mahdollisuuksia sekä järjestelmän mitoitusta kohteeseen. Opin-
näytetyön tarkoituksena on siis hyödyttää tilaajaa käytännön energiaratkaisuja koskevien päätösten
tekemisestä sekä mahdollistaa optimaalisten ratkaisujen tekemisen.

Työ on tutkimus- ja selvitystyö, jolla on kiinteä yhtymäkohta käytännön rakennusprojektiin. Näin
ollen kyse on siis varsin käytännönläheisestä opinnäytetyöstä, josta on hyötyä muille vastaavia pro-
jekteja suunnitteleville ja toteuttaville toiminnanharjoittajille sekä kotitalouksille.

1.3 Rakennettavat kohteet

Kontiosuon jätekeskukselle rakennettavat toimistorakennus ja huoltorakennus valmistuvat eriaikai-
sesti, mutta niiden lämmitysjärjestelmä on järkevä suunnitella yhteiseksi. Rakennuksia tarkastellaan
tässä opinnäytetyössä näin ollen yhtenä kokonaisuutena. Toimisto- ja huoltorakennusten sijainti-
paikka on suoalue, mistä on kaivettu turpeet pois.

Ensiksi valmistuva toimistorakennus on suunniteltu olevan sisäpinta-alaltaan noin 320 m². Kyseessä
tulee olemaan rakennus, joka on tarvittaessa siirrettävissä ja muokattavissa. Siirrettävyyden ja muo-
kattavuuden huomioon ottaminen suunnitteluvaiheessa on kiertotaloutta parhaimmillaan, joten se
sopii myös Puhas Oy:n imagoon sekä strategiaan. Muokattavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä
sitä, että rakennusta on mahdollisuus laajentaa, mikäli tilaa tarvittaisiin tulevaisuudessa arvioitua
enemmän. Tilan tarpeen arvioimisen tekee tällä hetkellä vaikeaksi työelämän ja jätehuoltoalan muu-
tokset sekä muut ennakoimattomat tulevaisuuden skenaariot. Siirrettävyys ja muokattavuus ovat
hyviä keinoja varautua epävarmuuteen ja mahdollisiin yllättäviin muutoksiin. Jotta lämpöteho olisi
riittävä myös mahdollisen laajennuksen myötä, tulee toimistorakennuksen lämmöntarve arvioida 320
m² toimistorakennuksen ja mahdollisen 80 m² lisäneliön mukaan eli yhteensä 400 m² mukaan.

Huoltorakennus on puolestaan tarkoitettu korvaamaan 1980-luvun alussa valmistunut huolto- ja kor-
jaamorakennus. Se tulee olemaan pinta-alaltaan noin 240 m². Huoltorakennuksen tulee olla huone-
korkeudeltaan toimistorakennusta korkeampi, jotta siellä pystyy tekemään mahdollisimman katta-
vasti erilaisia huolto- ja korjaustoimenpiteitä.

Rakennusten lämmitys toteutetaan vesikiertoisena lattialämmityksenä, joka soveltuu lähestulkoon
kaikenlaisiin rakennuksiin ja lattiarakenteisiin, mikäli rakenteiden lämmöneristävyys on riittävän hyvä
(RT 52-10801 Vesikiertoinen lattialämmitys 2003, 2).

1.4 Lämmöntuotantotapojen vertailutavan valinta

Päälämmönlähteen vertailu voidaan tehdä monilla eri tavoilla. Tarkasteluun voidaan ottaa esimer-
kiksi ilmasto- ja ympäristövaikutukset. Asiaa voidaan lähestyä myös esimerkiksi järjestelmän toteu-
tettavuuden näkökulmasta. Tyypillisesti vertaillaan valinnan taloudellisia vaikutuksia, jolloin tarkaste-
luun voidaan ottaa esimerkiksi lämmitysjärjestelmän hankintakustannukset ja käyttökustannukset tai
yleisesti elinkaarikustannukset (ks. esim. Pyy 2015; Rajamäki 2015).

Kun verrataan kaukolämmön ja maalämmön ilmasto- ja ympäristövaikutuksia, huomio keskittyy
energian tuotantoon. Maalämpö itsessään on uusiutuvaa energiaa: lämpöenergiaa on saatavissa
maaperästä aiheuttamatta suoria päästöjä. Maalämpö ei kuitenkaan lähtökohtaisesti ole täysin uu-

siutuvaa, mikäli maalämpöjärjestelmän käyttämä sähköenergia ei ole tuotettu uusiutuvilla energialähteillä. Myös kaukolämmön tuotannon ilmasto- ja ympäristövaikutukset ovat vahvasti sidottu siihen, miten kaukolämpö on tuotettu. Joensuun kaukolämmön tuotannon suurin yksittäinen osuus on jysinturpeesta peräisin (Paikallisvoima ry 2022), mikä vaikuttaa huomattavasti kaukolämmön ilmasto- ja ympäristövaikutuksiin. Toisaalta kyse on lämmön ja sähkön yhteistuotannosta, mikä on ilmasto- ja ympäristövaikutusten kannalta parempi vaihtoehto kuin pelkkä lämmöntuotanto. Ilmasto- ja ympäristövaikutusten arviointi on hyvin laaja aihe, jota voi lähestyä hyvin monenlaisesta eri näkökulmasta ja tarkasteluun liittyy aina jossain määrin tulkinnanvaraisuutta. Näin ollen lämmöntuotantotapojen ympäristövaikutusten yksityiskohtaisempi vertailu jätetään tässä yhteydessä tekemättä.

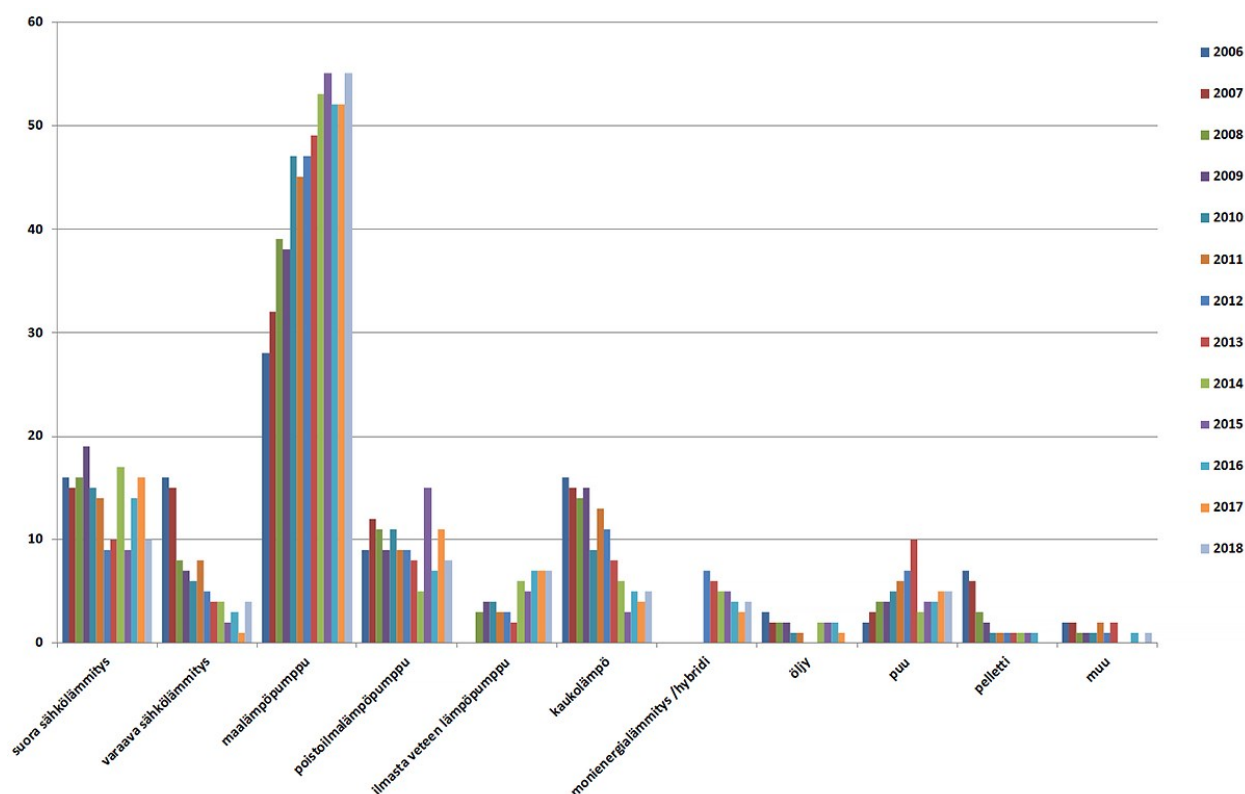
2 LÄMMÖNLÄHTEET

2.1 Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysenergian tarpeeseen vaikuttaa moni asia, muun muassa rakennuksen pinta-ala, sen energiatehokkuus sekä ulkoilman lämpötila. Pelkästään asuinrakennuksina toimivien tilojen lämmitykseen kului Suomessa energiaa vuonna 2020 39 TWh. Energialähteistä kolme yleisintä oli edelleen vuonna 2020 kaukolämpö, puu ja sähkö, jotka kattoivat 82 % kaikesta lämmityksen kulutetusta energiasta. Neljänneksi yleisin lämmityksen energialähde oli lämpöpumpuilla tuotettu energia. (Tilastokeskus 2021).

Rakennusta suunniteltaessa huomio kiinnittyy nykyhetken lisäksi tulevaisuuteen eli skenaarioihin siitä, miten rakennuksen energiatekniset ratkaisut olisivat mahdollisimman hyviä myös tulevaisuudessa. Selvää on, että tulevaisuus sisältää paljon erilaisia haasteita ja epävarmuuksia. Energiaskenaarioissa on eritelty esimerkiksi globaalit muutostekijät, kuten ilmastonmuutos sekä vähenevät luonnonvarat, elinkeinorakenteen muutokset ja sähköön siirtoon, jakeluun sekä varastointiin liittyvät näkymät (Luukkanen, Vehmas, Karjalainen, Panula-Ontto 2009).

Lämmitysjärjestelmiä on tarjolla monia eikä täysin varmasti voida sanoa, mikä ratkaisu saattaisi tulevaisuudessa olla paras. Näin ollen järkevintä on varmistua siitä, että rakennettava rakennus kuluttaa mahdollisimman vähän energiaa. Tässä opinnäytetyössä energiankulutuksella viitataan pääosin tilojen ja käyttöveden lämmitykseen, taloussähköön kulutusta tarkastellaan vain aurinkopaneelijärjestelmän tarkastelun yhteydessä. Kuvassa 1 on esitetty eri lämmitysjärjestelmien markkinaosuudet uusissa omakotitaloissa vuosina 2006–2018.



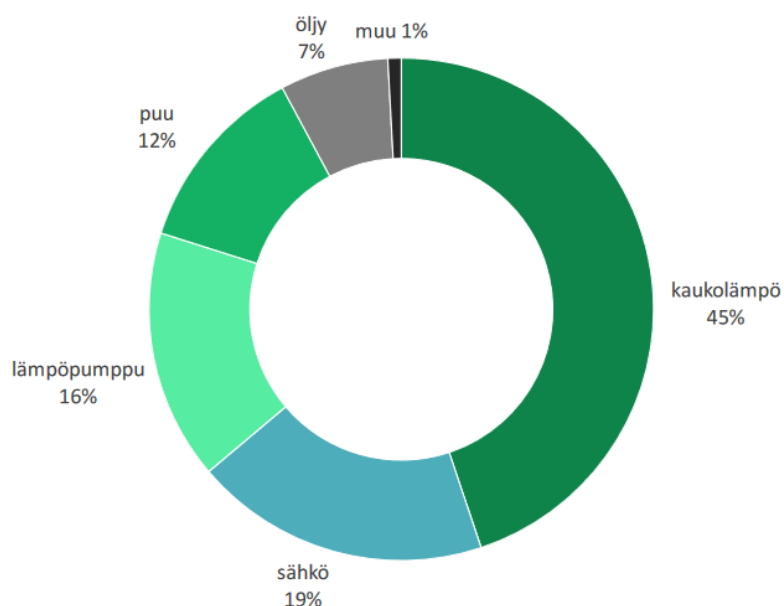
KUVA 1. Lämmitysjärjestelmien markkinaosuus uusissa omakotitaloissa vuosina 2006–2018 (Motiva 2020b)

Lämmitysjärjestelmän valinta perustuu monien tekijöiden summaan, mutta viimekädessä keskeisessä roolissa ovat kustannukset ja ympäristöseikat. Lisäksi huomioon tulee otettavaksi rakennuspaikan tarjoamat rajoitteet, sillä esimerkiksi kaukolämmön saatavuus on sidoksissa ympäröiviin olosuhteisiin. Kustannusten osalta on olennaista pohtia, onko halukas sijoittamaan lämmitysjärjestelmään enemmän, jotta saadaan edullisemmat käyttökustannukset, vai onko olennaista edullisempi alkuinvestointi. (Motiva 2020b). Lämmitysjärjestelmän valintaan liittyy osalla ihmisistä epärationaalisia tekijöitä, kuten henkilökohtaisia mieltymyksiä, uskomuksia ja tunneperäisiä tekijöitä.

Kuten edellä todettua, lämmönlähteistä öljy, puu, pelletti sekä ilma-vesilämpöpumppu on rajattu perustellusti tarkastelun ulkopuolelle. Tarkasteltavaksi jää näin ollen kaukolämpö ja maalämpö.

2.2 Kaukolämpö

Perinteisesti kaukolämmön on katsottu olevan taajamassa järkevin tapa huolehtia rakennuksen ja käyttöveden lämmityksestä. Siihen liittyminen on suhteellisen nopeaa ja helppoa, mikäli kaukolämmön jakeluverkko kulkee lähistöllä. Kaukolämmöntuotannon on katsottu olevan energiatehokasta, ”ympäristömyötäistä” ja taloudellista. (Motiva 2012a, 2–3.) Kaukolämpö onkin edelleen suosituin asuin- ja palvelurakennusten lämmitysmuoto. Esimerkiksi Savon Voima markkinoi omaa tuotettaan seuraavasti: ”kaukolämpö on älykäs, ainoa aidosti kestävä ja kaukaa viisas ratkaisu” (Savon Voima Oyj 2022b). Kuvassa 2 on esitetty eri lämmitysmuotojen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa vuonna 2020.



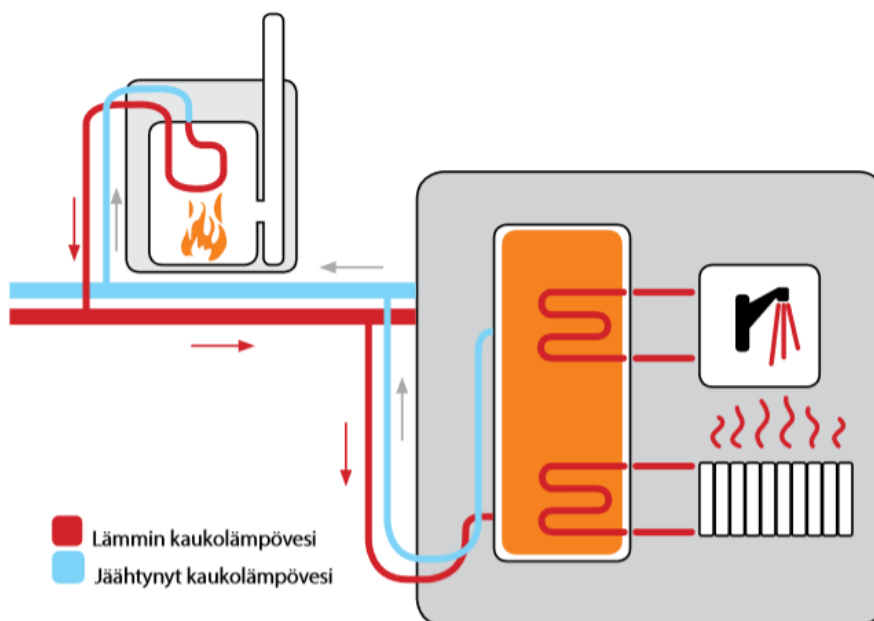
KUVA 2. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa vuonna 2020 (Energiateollisuus ry 2022b, 17)

Kaukolämpö edellyttää suhteellisen suuren asiakasmäärän, jotta sen tarjoaminen on taloudellisesti järkevää. Näin ollen kaukolämmön saatavuus on rajattua. (Motiva 2012a, 6.) Nykyisellään kaukolämpöverkko on yhteensä 166 Suomen kunnassa (Motiva 2022d). Opinnäytetyön aiheena olevat rakennukset sijoittuvat Joensuun Kontiosuolle, mikä sijaitsee Savon Voiman lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksen sekä kaukolämpöverkon välittömässä läheisyydessä.

2.2.1 Kaukolämmön toimintaperiaate

Lämpöenergia siirtyy kiinteistölle kaukolämpöverkossa kiertävän veden avulla ja kiinteistön käyttöön lämpöenergia siirtyy kiinteistön teknisessä tilassa sijaitsevien lämmönsiirtimien avulla. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi palaa uudestaan lämmitettäväksi lämmöntuotantolaitokselle. Kiinteistölle tulevan kiertävän kaukolämpöveden lämpötila on 65–115 °C. Veden lämpötila on sidoksissa siihen, miten paljon kiinteistöillä tarvitaan lämpöä: kesällä veden lämpötila on huomattavasti matalampi kuin talvella. Palaavan veden lämpötila on puolestaan 25–50 °C välillä riippuen lämpökuormasta. (Motiva 2012a, 2, 6.)

Vaikka veden lämpöenergia siirtyy lämmönjakokeskuksessa sijaitsevien lämmönsiirtimien avulla kiinteistön omiin vesikiertojärjestelmiin, kaukolämpöverkon vesi ja kiinteistön järjestelmien vedet eivät sekoitu keskenään. Kiinteistöllä on omat lämmönsiirtimet lämmitystä, käyttövetä ja ilmanvaihtoa varten. Lämmönjakokeskuksesta löytyy muun ohella tarvittavat säätölaitteet, pumput, paisunta- ja varolaitteet, sulkuventtiilit sekä lämpö- ja painemittarit. Kaukolämpöverkoston paine on verraten korkea, joten sen putket sijoitetaan aina suoraan tekniseen tilaan. (Motiva 2012a, 5.) Kuvassa 3 on esitetty kaukolämmön toimintaperiaate.

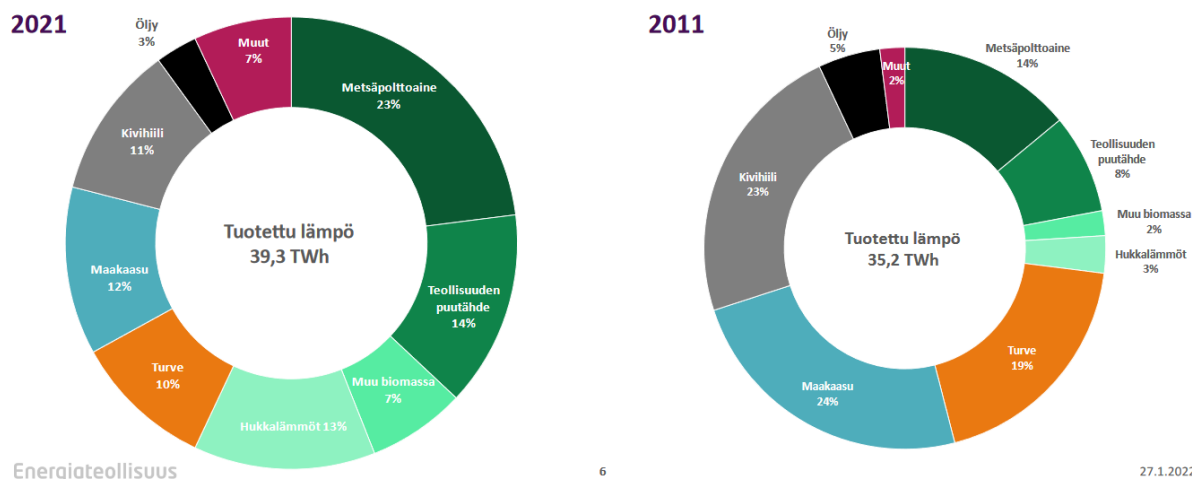


KUVA 3. Kaukolämmön toimintaperiaate (Energiateollisuus ry 2018, 4)

2.2.2 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpöä tuotetaan sekä erillisissä kaukolämpölaitoksissa että yhteistuotantolaitoksissa. Yhteistuotantolaitoksissa sähköntuotannon yhteydessä syntyvästä hukkalämmöstä tuotetaan kaukolämpöä. Yhteistuotannon osuus kaukolämmön tuotannossa on kasvanut huomattavasti viimeisinä vuosikymmeninä, sillä se on verraten energiatehokas tapa tuottaa energiaa. Kaukolämmön tuotannon polttoaineena käytetään pääosin puuta, turvetta, maakaasua ja kivihiiltä. Puun osuus on kasvanut viimeisen vuosikymmenten aikana ja se onkin kaukolämmön merkittävin polttoaine. (Motiva 2022d.)

Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen tavoittelun myötä biopolttoaineiden osuutta on tarkoituksellisesti kasvatettu, kun taas fossiilisten polttoaineiden käyttöä on tavoitteellisesti pyritty vähentämään. Myös erilaisten sivuvirtojen valjastamista hyötykäyttöön on pyritty lisäämään kaukolämmön tuotannon yhteydessä; jos kaukolämpöä pystytään tuottamaan joko sähköntuotannon hukkalämmön tai teollisuuden sivuvirtojen avulla, säästetään polttoainetta, vähennetään jätteen määrää ja tällöin tuotanto on aiempaa tehokkaampaa. Pienemmissä kaukolämmöntuotantoyksiköissä lämpö tuotetaan lämpökeskuksissa, joissa käytetään tyypillisesti lähialueilta saatavia polttoaineita, kuten puuta, biomassoja ja turvetta. (Motiva 2012a, 6.) Perinteisten polttoaineiden rinnalle on tullut myös uusia tapoja tuottaa kaukolämpöä, kuten datakeskuksessa syntyvän hukkalämmön tai meriveden lämpöä hyödyntävien lämpöpumppujen avulla (ks. esim. Helen 2020; Helen 2021). Kuvassa 4 esitetään kaukolämmön tuotannon muutokset vuosien 2011 ja 2021 osalta.



KUVA 4. Uusiutuvien osuus on lähes kaksinkertaistunut ja hukkalämpöjen osuus yli kolminkertaistunut 10 vuodessa (Energiateollisuus ry 2022b, 6).

Joensuun alueella kaukolämpö on tuotettu vuonna 2020 pääosin jysinturpeen (25 %), kokopuu- tai rankahakkeen (24 %), teollisuuden erittelemättömien puutähteiden (23 %) sekä lämmön talteenoton tai lämpöpumpun tuotannon avulla (14 %) (Paikallisvoima ry 2022).

2.2.3 Kaukolämmön hankkiminen

Lähtökohtaisesti kaukolämmön hinnan katsotaan olevan muihin lämmöntuotantotapoihin verrattuna kilpailukykyinen. Ennen lämmöntuotantotavan valitsemispäätöstä on kuitenkin järkevää punnita eri vaihtoehtoja ja pyytää tarjous paikalliselta kaukolämpöyritykseltä. Tarjouspyyntö kannattaa ulottaa kaukolämmön kokonaishintaan, joka koostuu yleensä liittymismaksusta, teho- tai perusmaksusta ja energiamaksusta. (Motiva 2022c.) Liittymismaksu on sidoksissa LVI-suunnitelmissa määritettyyn sopimustehoon tai sopimusvesivirtaan. Sopimusteholla tarkoitetaan suurinta tuntista lämpötehoa, joka on varattu asiakkaan käyttöön. (Motiva 2012a, 7.)

Kaukolämmön hinta on ollut monilla paikkakunnilla huomattavassa nousussa, joten tarjouspyyntövaiheessa olisi tarpeen pystyä selvittämään tulevaa hintakehitystä. Esimerkiksi Joensuussa Savon Voima Oyj:n kaukolämmön hinta laski 1.1.2021-1.1.2022 välisenä aikana yli 12 % laskennallisessa 15 asunnon rivi-/kerrostalossa (vuotoinen käyttö 150 MWh). Helsingissä puolestaan Helen Oy:n vastaavanlaisen kiinteistön kaukolämmön hinta nousi samalla jaksolla 25 % (Energiateollisuus ry 2022c).

Mikäli asiakas päätyy hankkimaan kiinteistölleen kaukolämmön, hänen tulee tehdä ensin lämmöntoimitussopimus kaukolämpöä tuottavan yrityksen kanssa ja sopia kaukolämpöverkkoon liittämisen aikataulusta. Kaukolämmityssuunnitelma toteutetaan yleensä asiakkaan oman LVI-suunnittelijan toimesta. Myös kaukolämpöyritys voi tarjota palvelua avaimet käteen-periaatteella, jolloin se vastaa mitoituksen ohella asiakkaalle toimitettavien laitteiden suunnittelusta, hankinnasta ja asennuksesta. (Motiva 2012a, 7.)

Kaukolämmön kulutuksen määrä mitataan lämpöenergiamittarilla. Virtausanturin avulla saadaan selville asiakkaan kaukolämpölaitteiden läpi virtaavan veden määrä. Lämpötila-antureiden avulla puolestaan mitataan kiinteistölle tulevan ja sieltä palaavan kaukolämpöveden lämpötiloja. Virtaus- ja lämpötila-antureilta saatujen tietojen perusteella käy ilmi asiakkaalle kaukoveden mukana jäävän lämpöenergian määrä. (Motiva 2012a, 7.)

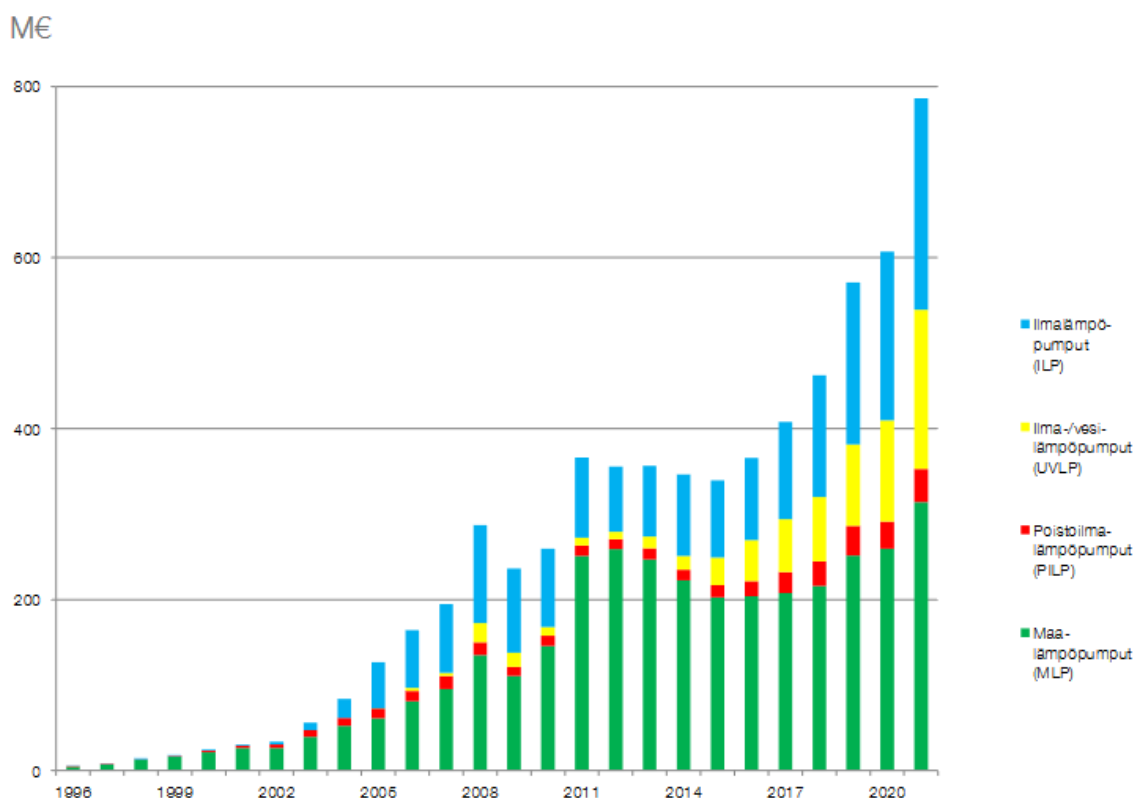
2.3 Maalämpö

Maaperän sisältämän energian hyödyntämisen yhteydessä viitataan yleensä joko maalämpöön tai geotermiseen lämpöön. Geotermisellä lämmöllä tarkoitetaan lähteestä riippuen joko kaikkea maaperässä olevaa lämpöenergiaa tai ainoastaan sellaista maaperän lämpöenergiaa, joka ei ole peräisin auringosta. Esimerkiksi Harle (2019) ja Keränen (2016, 8) määrittelevät geotermisen energian olevan maaperään varastoitunutta auringon energiaa ja syvemmällä radioaktiivisten aineiden hajoamisesta syntyvää lämpöenergiaa. Sen sijaan Energiateollisuus ry (2022a) määrittelee käsitteen suppeammin: ”Geotermisen energia on maansisäistä lämpöä. Erotuksena maalämmöstä, jonka saa aikaan auringon energia, geotermisen lämpö on maan sisuksissa tapahtuvien radioaktiivisten hajoamisten tuottamaa lämpöä.”

Geotermisen energia voidaan luokitella kahteen eri kategoriaan: syvään ja matalaan geotermiseen lämpöenergiaan. Näiden välinen raja sijaitsee tilanteesta riippuen 300-500 metrin syvyydessä. Yleisesti alle 500 metrin syvyydestä otettua lämpöenergiaa kutsutaan maalämmöksi. Matala maalämpökaivo voidaan toteuttaa maan tai veden pintakerroksissa taikka se voidaan porata syvemmälle esimerkiksi kallioperään tai pohjavesiesiintymään. Lämpöenergiaa kerätessä yli 15 metrin syvyydessä se ei ole enää vuodenaikariippuvainen. (Hänninen 2020, 19-20.)

Syvällä maan sisällä sijaitseva geotermisen lämpöenergia taas on lähtöisin radioaktiivisten isotooppien hajoamisesta syntyvästä lämpöenergiasta. Kallioperän lämpötilan nousu vaihtelee Suomessa 1,2-2°C-astetta 100 metriä kohden. Näin ollen 100°C-astetta saavutetaan arviolta 6-9 km syvyydessä. (Hänninen 2020, 19-20.) St1:n Otaniemessä tekemien kokeilujen perusteella Suomen kallioperässä optimaalinen ratkaisu saattaisi olla 2-3 km syvyisellä kaivoratkaisulla. Syvemmissä kaivoratkaisuissa ongelmaksi muodostuu maaperän ongelmallinen geologinen rakenne, mikä on seurausta heikosta veden läpäisevyydestä 5-6 km syvyydessä. (Pentti 2021.) Syvemmissä kaivoratkaisuissa ei siis pystytä saavuttamaan tavoiteltuja lämpötehoja ja puolestaan kustannukset ovat huomattavan korkeat, mikä tekee syvien lämpökaivojen toteuttamisen taloudellisesti kannattamattomaksi.

Maalämmön osalta on käyty keskustelua jopa siitäkin, että onko kyse ylipäätään uusiutuvasta energiasta, mikäli on riskinä, että lämpöenergian määrä vähenee käytettäessä ja sen uusiutuminen kestää jopa ”satoja vuosia” (Korhonen 2021, B10). Kyseinen kyseenalaistus on kuitenkin verraten epärelevantti, sillä kallio lämpenee geologisten prosessien myötä jatkuvasti. Olennaista maalämmön hyödyntämisessä ja energian riittävydessä onkin kaivon mitoitus. (Arola, Leppäharju, Huusko 2021, C 22.) Kuvassa 5 esitetään lämpöpumppuinvestointien taloudellisen arvon muutosta.



KUVA 5. Lämpöpumppuinvestoinnit. Investoinnit ovat 800 miljoonaa euroa vuosittain, vaikka tilastosta puuttuvat megawattiluokan kaukolämpö-, teollisuuden ja isojen kiinteistöjen lämpöpumput sekä oheistoimintojen (mm. suunnittelun, rakennuttamisen) euromäärät. (Sulpu 2022.)

Tässä opinnäytetyössä maalämmöllä tarkoitetaan maaperään varastoitunutta lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää maalämpöpumpuin. Toisin sanoen lämpöenergian alkuperällä ei ole tässä yhteydessä merkitystä.

2.3.1 Vaihtoehdot maalämpöenergian keräämiselle

Maalämpöä voidaan kerätä käytännössä kolmella tavalla. Kyse voi olla pintamaan vaakaputkesta, porakaivosta eli lämpökaivosta tai vesistöön upotetusta lämmönkeruuputkistosta eli vesistölämpöpumpusta.

Pintamaan maaputkistoon liitettävä maalämpöpumppu hyödyntää maaperän energiaa ilman, että joudutaan toteuttamaan erityisiä porauksia kiinteistöllä. Käytännössä tällainen vaakaputki kaivetaan maahan mutkittelevaan muotoon routarajan alapuolelle noin metrin syvyyteen tai Pohjois-Suomessa vielä jonkin verran syvemmälle. Lämpöenergiaa saadaan samalla periaatteella kuin pystysuoraan asennetusta keruuputkesta. Tarvittavan lämpöenergian määrä, lämpöpumpun koko ja kiinteistön maaperän ominaisuudet määrittävät putken pituuden. Pintamaahan asennettava vaakaputkisto on hankinnaltaan edullisin maalämmönkeruutapa ja sitä käyttääkin noin kolmasosa maalämpökohteista. (Motiva 2021b; Thermia julkaisuaika tuntematon, 14.)

Lämpökaivosta energiansa keräävä maalämpöpumppu on yleisin maalämpöpumppuratkaisu. Se hyödyntää peruskallioon varastoitunutta energiaa talon ja käyttöveden lämmittämiseen. Toisin kuin

pintamaahan asennettava putkisto, maalämpökaivoon asennettava putkisto upotetaan 100–200 metrin syvyyseen kallioon porattavaan reikään, joka on ulkohalkaisijaltaan 115–165 mm. Lämpökaivon etuna katsotaan olevan se, että se voidaan asentaa suhteellisen pienikokoisellekin kiinteistölle eikä se kuitenkaan vaikuta kiinteistön ulkonäköön. Lämmönkeruuvaihtoehtona se on kuitenkin yleensä kallein. (Motiva 2021b; Thermia julkaisuaika tuntematon, 14.)

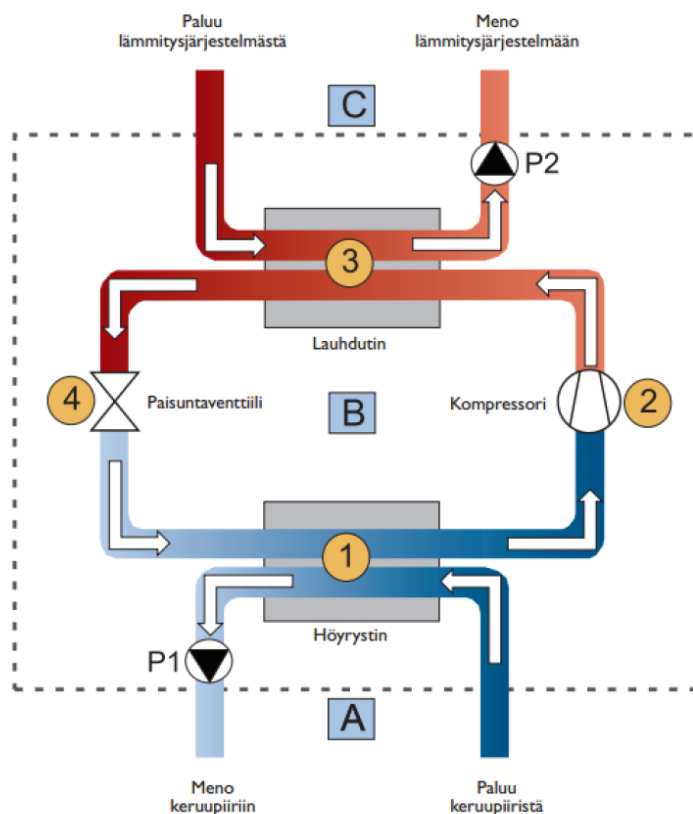
Lämpökaivot on vielä jaettu teoreettisina ääritapauksina absoluuttisen märkään lämpökaivotyyppiin ja absoluuttisen kuivaan lämpökaivotyyppiin. Absoluuttisen märkä lämpökaivo tarkoittaa sitä, että pohjaveden runsaan virtauksen oletetaan siirtävän lämpöenergiaa ympäristöstä loputtomasti. Tällöin putkiston mitoituksen määräävänä tekijänä onkin putkiston lämmönsiirtokyky. Sen sijaan absoluuttisen kuivalla lämpökaivolla tarkoitetaan sitä, että lämmönsiirto perustuu ainoastaan maaperän kykyyn siirtää ja varastoida lämpöä. Toisin sanoen uutta lämpöä tulee ympäristöstä hyvin rajoitetusti ja porareikä näin ollen jäähtyy kuormittaessa loputtomasti. Jälkimmäisessä tilanteessa porareiän toimivuus pitkällä aikavälillä edellyttää reiän regenerointia esim. aurinkopattereilla tai ulkoilmalla. (Matti 2009, 7.)

Kolmas vaihtoehto eroaa kahdesta edellisestä siinä mielessä, että se asennetaan veteen. Vesistölämpöpumpun avulla hyödynnetään vesistöön varautunutta energiaa vesistön pohjaan upotetulla putkistolla. Lämmönkeruuputkisto ankkuroidaan järven, meren tai ojan pohjaan painojen avulla noin 3–5 metrin välein. Kuten pintamaahan asennettavan vaakaputkiston mitoituksessa, myös vesistölämpöpumpun putkiston pituus on sidoksissa rakennuksen energian tarpeeseen ja lämpöpumpun kokoon. (Motiva 2021b; Thermia julkaisuaika tuntematon, 15.)

Puhas Oy:n rakennuskohteet eivät sijaitse vesistön rannalla eikä pintakeruuputkiston asentamiseen ole halukkuutta, joten maalämmön osalta tarkasteluun otetaan ainoastaan lämpökaivo. Muita maalämmönkeruutapoja ei opinnäytetyössä tämän enemmälti käsitellä.

2.3.2 Maalämpöpumpun toimintaperiaate

Porakaivossa sijaitsevassa putkistossa kiertää lämmönkeruunestettä, joka on yleensä veden ja etanolin liuos. Olennaista on, ettei lämmönkeruuneste pääse jäätymään. Lämmönkeruuneste kerää maasta lämpöenergiaa ja lämpenee keräämänsä energian avulla muutaman asteen. Lämmennyt lämmönkeruuneste siirtyy höyrystimeen, missä se luovuttaa keräämänsä lämpöenergian ja palaa takaisin maaperään keräämään lämpöä. Lämmönkeruunesteen sisältämä lämpö puolestaan höyrystää kylmäaineen höyrystimen lämmönsiirtopinnan toisella puolen. (DIGMA Avoin oppimisympäristö 2017.) Kuvassa 6 esitetään maalämpöpumpun toimintaperiaate ja rakenne.



KUVA 6. Maalämpöpumpun toimintaperiaate ja rakenne (Keränen 2016, 18)

Kylmäaine ottaa siis höyrystymiseensä tarvittavan lämpöenergian lämmönkeruunesteestä. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressorilla pois höyrystimestä ja samalla höyryn painetta kasvatetaan puristamalla, jolloin myös höyryn lämpötila nousee. On huomattava, että kompressori edellyttää toimiakseen ulkoista voimaa. (DIGMA Avoin oppimisympäristö 2017.)

Kompressorilta tuleva kuuma höyry virtaa seuraavaksi maalämpöpumpun lauhduttimeen, missä höyry luovuttaa runsaasti lämpöenergiaa samalla jäähtyen ja tiivistyen nesteeksi. Asiassa on huomattava, että mitä korkeampi paine on, sitä korkeampi on aineen lauhtumislämpötila ja sitä korkeammassa lämpötilassa vapautuva lämpöenergia voidaan hyödyntää. Asiassa on olennaista, mitä lämmitetään: ilmaa vai vesivaraajaa. (DIGMA Avoin oppimisympäristö 2017.)

Luovutettuaan lämpöenergian kylmäaine virtaa lauhduttimelta paisuntaventtiiliin, mikä ohjaa kylmäainevirtausta takaisin höyrystimeen. Paisuntaventtiilillä on kaksi tehtävää: sen avulla varmistetaan, että kylmäaine varmasti höyrystyy ennen kompressoria. Lisäksi paisuntaventtiiliin ylläpitää lauhduttimen ja höyrystimen välistä paine-eroa. Osa kylmäaineesta höyrystyy jo paisuntaventtiilissä. (DIGMA Avoin oppimisympäristö 2017.)

2.3.3 Kaivon ja maalämpöjärjestelmän mitoitus

Haastavaksi lämpökaivon mitoituksesta tekee se, että porareian laadun arvioiminen luotettavasti etukäteen on mahdotonta. Lisäksi on huomattava, että veden tuotto saattaa vaihdella ajan kuluessa

eikä kyse ole pysyvästä ominaisuudesta. Näin ollen porareitit mitoitetaan tyypillisesti märän ja kiu-
van reiän välille ottamalla huomioon porausaikaisen veden tuoton määrä. (Matikka 2009, 7.) Koh-
teen ollessa mittakaavaltaan erityisen suuri saatetaan lämmitystarpeen täyttämiseksi tarvita useampi
lämpökaivo.

Yleisesti lähtökohta maalämpöjärjestelmän mitoitukselle on se, että järjestelmän on tarkoitus kattaa
joko kokonaan tai osittain lämmityksen ja käyttöveden edellyttämä energiamäärä (täys- tai osa-
teho). Osateholle mitoitettu järjestelmä (60–80 %) tuottaa arviolta 95 % vuotuisesta lämpöenergi-
asta. Loput 5 % tuotetaan esimerkiksi varaajan sähkövastuksella. (Motiva 2012b, 5.) Puolestaan jär-
jestelmän ylimitoitus johtaa siihen, että käyntijaksojen lyhentyessä lämpöpumpun hyötysuhde ale-
nee ja käyttöikä lyhenee (Perälä 2013, 62).

Rakennettavien kohteiden osalta tarkoituksena olisi mitoittaa maalämpöjärjestelmä siten, että se
kattaisi lämmityksen ja käyttöveden edellyttämän energiamäärän kokonaan eli se olisi mitoitettu
täysteholle. Näin ollen järjestelmä edellyttää yhtä useampaa porakaivoa.

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS

3.1 Lähtökohdat

Toimistorakennuksen pinta-ala tulee olemaan noin 320 m² ja tilavuus tulee olemaan noin 900 m³. Lisäksi tilaaja varautuu laajentamaan toimistorakennusta laajennusosalla, joka on pinta-alaltaan 80 m² ja tilavuudeltaan noin 225 m³. Huoltorakennuksen suunnittelua ei ole vielä aloitettu, mutta sen arvioidaan olevan noin 240 m² ja tilavuudeltaan noin 1080 m³. Toisin sanoen rakennusten yhteenlaskettu pinta-ala on noin 640 m² ja tilavuus noin 2200 m³. Lämmitysjärjestelmä tulee mitoittaa siten, että molempien rakennusten sekä toimistorakennuksen laajennusosan lämmöntarve pystytään kattamaan valitulla lämmitysjärjestelmällä.

Lämmitysjärjestelmän mitoitus perustuu siihen, miten paljon lämmitysenergiaa tarvitaan. Lämmitysenergian tarpeella tarkoitetaan kussakin rakennuskohteessa sisäilman olosuhteiden ylläpitämiseksi ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittavaa energiamäärää. Lämmitysenergian nettotarpeella puolestaan tarkoitetaan sitä energiamäärää, joka tuodaan lämmitysjärjestelmällä sisätiloihin, tuloilmaan sekä käyttöveteen; nettotarpeesta on vähennetty esimerkiksi henkilöistä, valaistuksesta sähkölaitteista sekä auringon säteilyenergiasta johtuvien lämpökuormien energia. (Ympäristöministeriö 2018, 3).

Keskeistä lämmitysjärjestelmän mitoittamisessa on lämmitystehontarve, jotta lämmitysjärjestelmä voidaan mitoittaa optimaalisesti ja välttyä yli- tai alimitoitamiselta. Lämmitystehontarve lasketaan tyypillisesti tilakohtaisesti ja sen avulla voidaan valita tilakohtaiset lämmityslaitteet. Lämmitystehontarve on sidoksissa rakenteiden johtumislämpöhäviöihin, ilmavuotoihin sekä ilmanvaihtoon. Lämmitystehontarve voidaan laskea rakennuksen samanaikaisten lämmitystehontarpeiden summana, johon tulee lisätä ilmanvaihtojärjestelmän mukaisesti mahdollinen tuloilman lämmitystehontarve ja käyttöveden lämmityksen samanaikainen tehontarve. (Ympäristöministeriö 2018, 64).

Rakennuksen lämmitystehon tarve saadaan laskemalla samanaikaisten tehontarpeiden summa kaavalla

$$\phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}} + \frac{\phi_{\text{iv}}}{\eta_{\text{iv}}} + \frac{\phi_{\text{lkv}}}{\eta_{\text{lkv}}} \quad (1)$$

jossa $\phi_{\text{lämmitys}}$ on rakennuksen lämmitystehon tarve, ϕ_{tila} on tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, ϕ_{iv} on ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, ϕ_{lkv} on käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, $\eta_{\text{tilalämmitys}}$ on tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, η_{iv} on ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa ja η_{lkv} on käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa.

Toisin sanoen rakennuksen lämmitystehontarve voidaan laskea, kun tiedetään tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarpeet sekä tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa ja ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa. Puolestaan tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve saadaan kaavalla

$$\phi_{\text{tila}} = \phi_{\text{joht}} + \phi_{\text{vuotoilma}} + \phi_{\text{tuloilma}} + \phi_{\text{korvausilma}} \quad (2)$$

jossa ϕ_{tila} on tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, ϕ_{joht} on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, $\phi_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, ϕ_{tuloilma} on teho tuloilman lämmittämiseen tilassa ja $\phi_{\text{korvausilma}}$ on teho korvausilman lämmittämiseen tilassa.

Jotta tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve voidaan laskea, tulisi olla tiedossa rakennuksen johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, teho tulo- ja korvausilman lämmittämiseen tilassa.

Rakennusvaipan läpi johtuvien lämpöhäviöiden laskenta edellyttää tietoa ainakin lämpöhäviöiden määrästä ulkoseinien, ylä- ja alapohjien, ikkunoiden, ulko-ovien ja kylmäsiltojen osalta. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho lasketaan kaavalla

$$\phi_{\text{joht}} = \phi_{\text{ulkos}} + \phi_{\text{yläp}} + \phi_{\text{alap}} + \phi_{\text{ikkuna}} + \phi_{\text{ovi}} + \phi_{\text{muu}} + \phi_{\text{kylmäs}} \quad (3)$$

jossa ϕ_{joht} on johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi, ϕ_{ulkos} on johtumislämpöteho ulkoseinien läpi, $\phi_{\text{yläp}}$ on johtumislämpöteho yläpohjien läpi, ϕ_{alap} on johtumislämpöteho alapohjien läpi, ϕ_{ikkuna} on johtumislämpöteho ikkunoiden läpi, ϕ_{ovi} on johtumislämpöteho ulko-ovien läpi, ϕ_{muu} on johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, sekä $\phi_{\text{kylmäs}}$ on johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi.

Kuten edellä esitetyistä kaavoista käy hyvin ilmi, rakennuksen lämmitystehon tarpeen arviointi edellyttää hyvin monien rakennusteknisten yksityiskohtien tuntemista. Koska kyseessä olevien rakennusten suunnittelu on vielä alkuvaiheessa eikä tarkempia yksityiskohtia ole tiedossa, joudutaan tältä osin tekemään hyvin karkeita ja suuntaa antavia laskelmia esimerkiksi käyttöveden energiankulutuksen tai lämmitystehontarpeen osalta.

3.1.1 Käyttöveden energiakulutus

Lämpimän käyttöveden energiankulutus selviää vasta sen myötä, kun tiedetään lämpimän käyttöveden kulutuksen määrä. Lämpimän käyttöveden energiakulutuksen määrää voidaan arvioida kuitenkin toimistorakennusta koskevan bruttoalaan sidotun kaavan avulla. Kaavan mukaisesti lämpimän käyttöveden määrä V_{lkv} toimistorakennuksessa on $100 \text{ dm}^3/\text{brm}^2/\text{vuosi}$. Arvio lämpimän käyttöveden kulutuksesta 320 m^2 kokoisessa toimistorakennuksessa on siis vuositasolla 32 m^3 . Arvioinnissa tulee ottaa huomioon myös mahdollinen toimistorakennuksen 80 m^2 laajennus, jolloin toimistorakennuksen kokonaiskulutus V_{lkv} olisi 40 m^3 . (Motiva 2022e.)

Lämpimän käyttöveden energiakulutus Q_{lkv} (kWh/vuosi) saadaan kulutetun lämpimän käyttöveden perusteella kaavalla

$$Q_{\text{lkv}} = 58 \times V_{\text{lkv}}, \quad (4)$$

$$\text{joten jos } V_{\text{lkv}} = 40 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{lkv}} = 58 \times 40 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{lkv}} = 2\,320 \text{ kWh/vuosi.}$$

Toimistorakennuksen lämpimän käyttöveden energiakulutus on vuositasolla siis noin 2 320 kWh. Huoltorakennuksessa ei tulla käyttämään lämmintä käyttövettä juuri ollenkaan, joten molempien rakennusten lämpimän käyttöveden energiankulutukseksi arvioidaan kokonaisuutena 2 500 kWh. Maltillista arviota puoltaa se, että toimiston käyttöaste on etätöiden yleistymisestä johtuen ajoittain matala.

3.1.2 Tilojen lämmitystehontarve

Lämmitysjärjestelmän mitoittaminen on sidoksissa rakennuksen edellyttämään lämmitystehontarpeeseen ja mitoitus perustuu tyypillisesti LVI-suunnittelijan laskelmiin. Kuten todettua, tässä opinäytetyössä laskelmat ovat suunnitelmien keskeneräisyyden takia yksinkertaistettuja ja karkeita.

Lämmitystehontarve ja energiankulutuksen määrä on sidoksissa kohteen maantieteelliseen sijaintiin. Suomi jaetaan neljään säävyöhykkeeseen ja Joensuu kuuluu näistä III:teen säävyöhykkeeseen. Kyseisen säävyöhykkeen mitoittava ulkoilman lämpötila on -32 °C ja vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila on $3,2\text{ °C}$. (Ympäristöministeriö 2011, 29.) Maalämpöjärjestelmässä lämpöenergian tarpeen arvio perustuu sille lähtöoletukselle, että tiloja ja käyttövettä lämmitetään vuorotellen siten, että käyttövettä lämmitetään ensisijaisesti. Toinen lähtökohta on se, että maalämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde (Q_{LPn}/Q_{tila}) on 1,00. (Ympäristöministeriö 2018, 74.)

Yksi vaihtoehto lämmitysjärjestelmän mitoituksen arvioimiseksi on hyödyntää saneerattaville kohteille tarkoitettua laskukaavaa, joka on esitetty esimerkiksi Niben oppaassa lämpöpumpun mitoitusta koskevan ohjeistuksen yhteydessä. Oppaan mukaan III säävyöhykkeellä sijaitseva matalaenergiatalo kuluttaa 11 W/m^3 . Samassa yhteydessä esitetään rakennusvuoteen perustuva kerroin, joka on 1960-luvulla rakennetuille taloille 1,5, 1970-luvulla rakennetuille taloille 1,3, 1980-luvulla rakennetuille taloille 1,2 ja 1990-luvulla rakennetuille taloille 1,1. (Nibe 2022, 7.) Vuonna 2023 rakennettavan rakennuksen kertoimen voidaan olettaa olevan lähellä 1,0. Näillä tiedoin toimisto- ja huoltorakennuksen lämmitystehontarve olisi:

$$\text{Lämmitystehontarve} = 2\,200\text{ m}^3 * 11\text{ W/m}^3 * 1,0 = 24\,200\text{ W} = 24,2\text{ kW}$$

Ympäristöministeriön laatiman ohjeistuksen (Lämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta) avulla voidaan tehdä myös jonkinlaisia arvioita tilojen edellyttämän lämpöenergian tarpeesta. Taulukossa tilojen lämmitys suhteutetaan lämpimän käyttöveden edellyttämään energiakulutukseen ($Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$). Taulukon mukaiset vaihtoehtoiset arvot ovat 0,5 ja 4,0 välillä. Toisin sanoen 0,5 tarkoittaa sitä, että tilojen lämmitys kuluttaa puolet vähemmän energiaa kuin mitä lämpimän käyttöveden energiakulutus vie; taulukon suurin 4,0 arvo puolestaan tarkoittaa sitä, että tilojen lämmittäminen vie neljä kertaa sen energiamäärän, mitä lämpimän käyttöveden energiakulutus on. Koska kyse työpaikkaympäristöstä, jossa käytetään lämmintä käyttövettä ainoastaan arkisin klo 7–17 välillä, voidaan olettaa tilojen lämmitysenergian kulutuksen olevan mahdollisimman suurta suhteessa lämpimän käyttöveden energiakulutukseen. (Ympäristöministeriö 2018, 74.)

$$(Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}) = 4.0$$

Laskelmasta ongelmallisen tekee se, että huoltorakennuksen lämpimän käyttöveden kulutus on poikkeuksellisen vähäistä, ettei siitä ole järkevää johtaa mitään arvioita kyseisen rakennuksen lämmitystehontarpeesta.

Toinen tapa arvioida lämmitystehontarvetta on laskea mitoitus matalaenergiatalon huipputeho neliöiden mukaan 40 W/m^2 (maalampo.fi 2022). Käytännössä se tarkoittaisi rakennettavan alan (640 m^2) osalta noin $25,6 \text{ kW}$ huipputehoa.

Suunnitelmien puutteellisuudesta johtuen myöskään LVI-alan suunnittelijat eivät ole järkevästi halukkaita kommentoimaan lämmitystehontarpeen määrää. Yksi arvio toimitettiin pyynnöstä sähköpostitse (Nyström 2022), mutta siinäkin lähettäjä neuvoi suhtautumaan ”arvaukseen” kriittisesti ja kääntymään asiassa ammattilaisen puoleen. Kyseisen arvion mukaan toimistorakennus saattaisi vastata normaalia omakotitaloa lämmitystehontarpeen osalta ja niissä tarve on noin 35 W/m^2 tai 14 W/m^3 . Näillä arvoilla toimistorakennuksen lämmitystehontarve olisi:

$$\text{neliöiden perusteella} = 400 \text{ m}^2 * 35 \text{ W/m}^2 = 14\,000 \text{ W} = 14 \text{ kW}$$

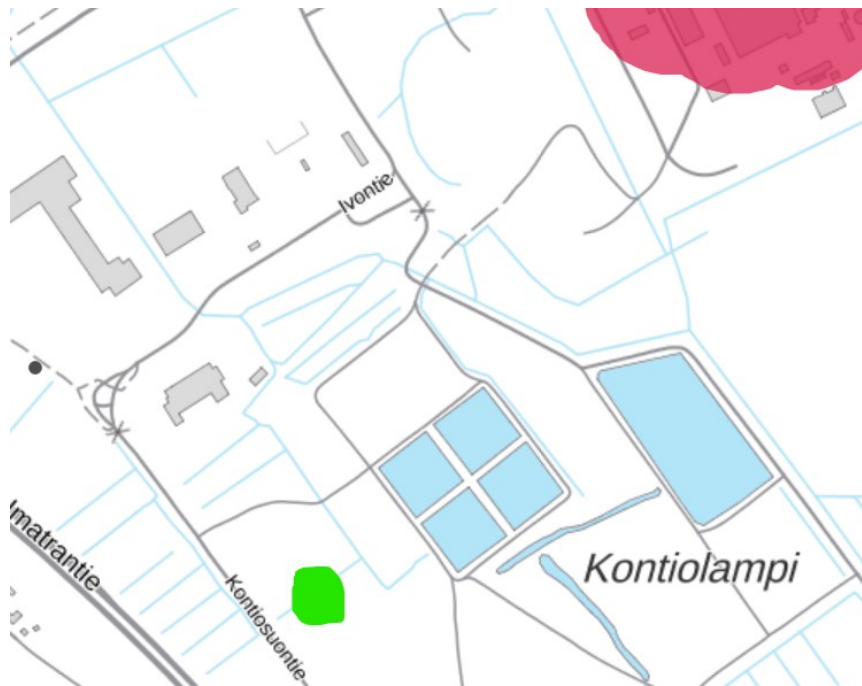
$$\text{kuutioiden perusteella} = 1140 \text{ m}^3 * 14 \text{ W/m}^3 = 15\,960 \text{ W} = 15,96 \text{ kW}$$

Huoltorakennuksen lämmitystehontarpeen arviointi oli hänen mukaansa huomattavasti vaikeampaa kuin toimistorakennuksen, joten sen osalta sähköpostitse toimitettu arvio oli pelkästään 14 kW . Mitoituksen kannalta olennaista on esimerkiksi se, että minkälainen ilmanvaihto rakennuksiin asennetaan. Suurehko ilmanvaihto edellyttää kymmeniä kilowatteja lisää lämmitystehoa. (Nyström 2022.)

Näillä tiedoin toimisto- ja huoltorakennuksen lämmitystehontarve arvioidaan olevan $24\text{--}30 \text{ kW}$ välillä.

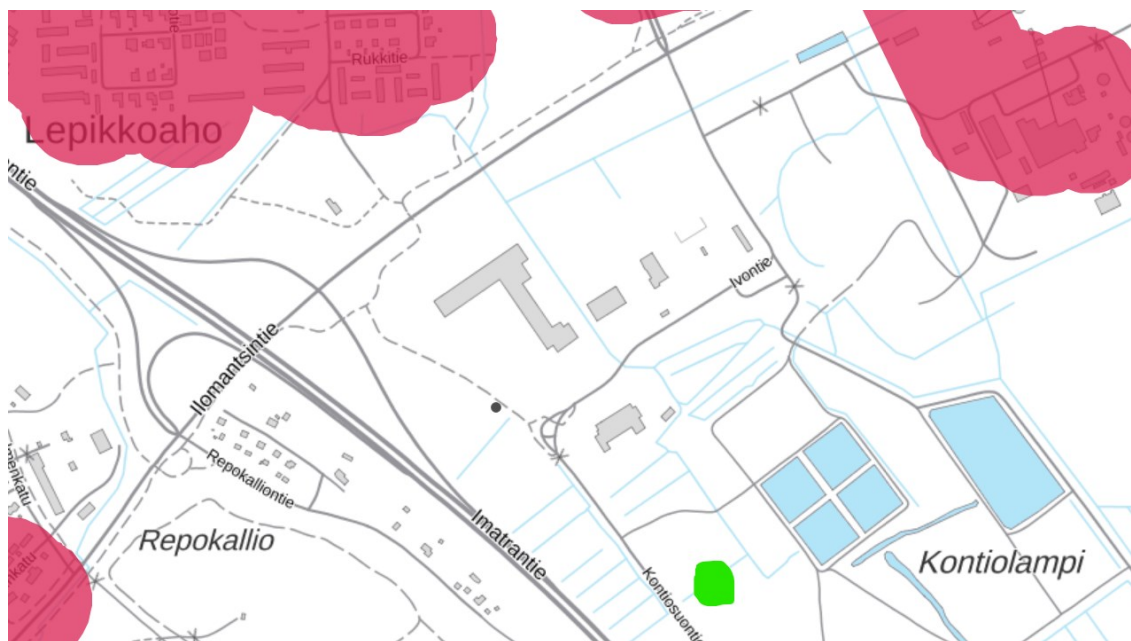
3.2 Kaukolämpöjärjestelmän toteutettavuus ja kustannukset

Opinnäytetyön taustaoletuksena käytettiin sitä, että kaukolämpövoimalaitoksen maantieteellinen läheisyys takaa mahdollisuuden kaukolämmön hankkimiseen. Etäisyys Savon voiman kaukolämpövoimalaitoksesta on linnuntietä hivenen yli 800 metriä . Kuvassa 7 esitetään kohteen etäisyys Savon Voiman kaukolämpövoimalaitoksen laitosalueesta.

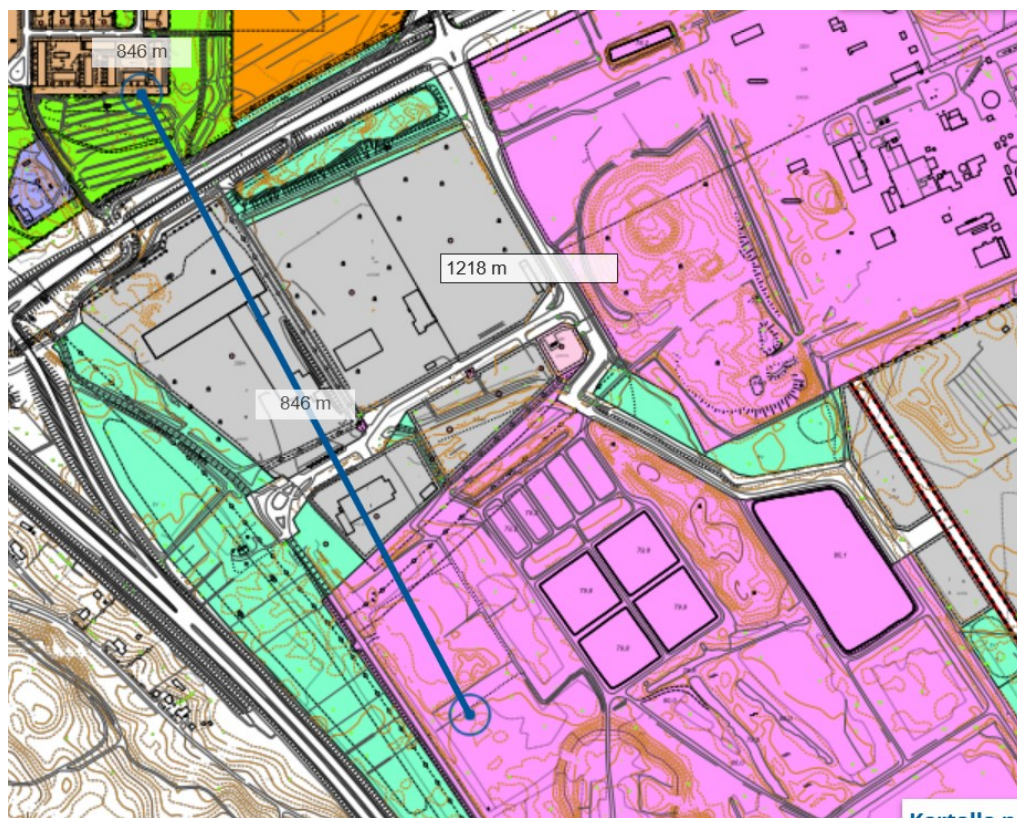


KUVA 7. Kuvassa on esitettyä suunniteltujen rakennusten sijaintipaikan (vihreä osoittaja) etäisyys Savon Voiman kaukolämpövoimalaitoksen laitosalueesta (punainen). Karttapohja (Savon Voima 2022a, pl. vihreä osoittaja)

Tarkemman tarkastelun avulla selviää, että kaukolämpöverkkoon liitetyistä rakennuksista lähimmät (Lepikkoaho) sijaitsevat käytännössä kauempana linnuntietä mitattuna kuin itse voimalaitos. Rakennuspaikan ja Lepikkoahon välillä sijaitsee yksittäisiä toimistorakennuksia, mutta koska alue on muuten pääosin teollisuuskäytössä, ei kaukolämmön tarvetta juurikaan ole. Kuvassa 8 esitetään kohteen etäisyys kaukolämpöverkosta. Kuvasta 9 puolestaan käy ilmi kohteen etäisyys lähimmästä kaukolämpöä käyttävästä asuinalueesta.



KUVA 8. Kuvassa on esitettyä suunniteltujen rakennusten (vihreä osoittaja) etäisyys Savon Voiman kaukolämpövoimalaitoksen kaukolämpöverkkoon (punainen). Karttapohja (Savon Voima 2022a, pl. vihreä osoittaja)



KUVA 9. Suunniteltujen rakennusten etäisyys lähimmästä kaukolämpöä käyttävästä asuinalueesta (Joensuun Karttapalvelu 2022)

Tiedustelu Savon Voimalta varmistaa asian, että lähimmät kaukolämpölinjat sijaitsevat Ilomantsin tien pohjoispuolella tai sitten voimalaitoksen tontilla, ja molemmat kaukolämpölinjat sijaitsevat liian kaukana rakennuskohteesta. Näin ollen Savon Voima ei pysty tarjoamaan kohteeseen kaukolämpöä. (Luusua 2022.) Tarkkaan ottaen kyse on siitä, ettei yksittäisen kohteen liittäminen mainitun etäisyyden päästä ole taloudellisesti järkevää.

Kaukolämmön hankkiminen kyseessä oleviin kohteisiin ei ole nykyisessä tilanteessa mahdollista, joten kaukolämpö tulee potentiaalisena päälämmönlähteenä unohtaa. Jatkossa opinnäytetyön päälämmönlähdettä koskeva tarkastelu keskittyy ainoastaan maalämpöön.

3.3 Maalämpöjärjestelmän toteutettavuus ja kustannukset

Maalämpöjärjestelmän mitoitus pyritään tekemään siten, että saavutetaan mahdollisimman pieni kokonaisenergiankulutus. Uudisrakennuksen mitoisteho määritetään LVI-suunnittelijan toimesta määräysten mukaisten lämpöväiöläskelmien avulla, kun taas saneerattavien kohteiden lämmitystehontarve arvioidaan kohteen olosuhteiden mukaan. (Nibe 2022, 7.) Uudisrakennusta koskevat tiedot lämpöenergian kulutuksesta ja huipputehosta tulee olla selvillä viimeistään rakennuslupaa haettaessa, sillä tiedot tulee huomioida energiatodistuksessa, joka puolestaan on edellytyksenä uudisrakennuksen rakennusluvalle (ks. esim. Motiva 2018).

Kuten edellä on todettu, kohteen maalämpöjärjestelmä toteutetaan lämpökaivoratkaisuna. Lämpökaivot tulee mitoittaa lämpöpumpun mukaan. Tietynlaisena peukalosääntönä voidaan pitää sitä, että 1 kW edellyttää 20 metriä porattua kaivoa. Näin ollen 10 kW lämpöpumppu edellyttää 200 metristä lämpökaivoa. Lämpökaivon kokonaissyvyyteen vaikuttaa maan koostumus sekä veden korkeus. (Suomen Porakaivo Oy 2022.) Toimisto- ja huoltorakennuksen lämmitystehontarve arvioitiin edellä olevan 24–30 kW välillä. Lisäksi tulee laskea lämpimän käyttöveden edellyttämäksi lämmitystehontarpeeksi arviolta 5 kW.

Arvioimatta maaperän olosuhteita yksityiskohtaisemmin mainitulla lämmitystehontarpeella tarvittaisiin 580–700 metriä porakaivoa. Lähtökohtaisesti suurin syvyys, johon kannattaa porata, on 300 metriä. Tehontarve edellyttää poraamaan joko kaksi tai kolme lämpökaivoa. Yhden tai kahden porausreiän sisältämä energiakaivo maksaa 30–35 e/m, sisältäen porauksen ja keruuputkiston. (Tec Heat AB OY 2022.) Lämmönkeruupiiri on järkevää mitoittaa vähän yläkanttiin, sillä reilusti mitoitettu lämmönkeruupiiri takaa paremman lämpökertoimen ja on näin ollen taloudellisesti järkevää (Motiva 2021b).

Rakennusalan inflaatiosta johtuen energiakaivon tekemisen oletetaan kustantavan vähintään 35 e/m, mikä tarkoittaisi mainituilla metrimäärillä 20 300–24 500 euron kustannuksia. Jos lämmönkeruupiiri mitoitetetaan yläkanttiin, niin kustannusten voidaan olettaa olevan vähintään 25 000 euroa. Maalämpöpumppu (30–40 kW) kustantaa puolestaan 15 000–20 000 euroa. Kun tarvittavan putkiston ja keruupiirin nesteen kustannukset arvioidaan mukaan, voidaan investoinnin kokonaisarvon olettaa olevan noin 50 000 euroa (ALV 0 %).

Käytönaikaisia kuluja ei pystytä vielä tässä vaiheessa arvioimaan, mutta käytönaikaisista kustannuksista merkittävin tulee olemaan maalämpöjärjestelmän kuluttama sähköenergia. Sen määrää voidaan laskea käyttämällä SPF-lukua, jolla tarkoitetaan lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian tai

lämpimän käyttöveden ja lämmittämiseen kulutetun sähköenergian suhdetta (Ympäristöministeriö 2018, 5). Alla olevan kaavan avulla voidaan laskea maalämpöpumpun sähköenergian kulutus.

$$W_{LP, \text{lämmitys}} = Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} / SPF_{\text{tilat}} + Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}} / SPF_{\text{lkv}} + W_{\text{lisälämmitys}} \quad (5)$$

jossa $W_{LP, \text{lämmitys}}$ on lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, $Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}$ on lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, SPF_{tilat} on lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, $Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}}$ on lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, SPF_{lkv} on lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä, $W_{\text{lisälämmitys}}$ on tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittavan lisälämmityksen sähköenergian tarve ($Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} + Q_{\text{lisälämmitys, lkv}}$).

3.4 Lämmitysjärjestelmän hankinta ja kilpailutus

Maalämpöjärjestelmän hankinta on tarkoitus toteuttaa omana urakkanaan. Hankinta toteutetaan tilaajan päätöksestä seudullisen yhteishankintayksilön eli Pohjois-Karjalan hankintatoimen avulla. Käytännössä Pohjois-Karjalan hankintatoimi auttaa tilaajaa julkisten hankintojen kilpailuttamisessa prosessin eri vaiheissa, kuten tarjouspyyntömateriaalien tekemisessä, hankintailmoituksen julkaisussa ja hankintaprosessin koordinoinnissa.

Hankinnan lähtötietoina on käytettävä LVI-suunnittelijan tekemiä yksityiskohtaisia määritelmiä maalämpöjärjestelmän mitoittamisesta ja muista yksityiskohdista. Määrittelyn tulee olla riittävän yksityiskohtainen ja kattava, jotta hankinnan edellyttämät tarjoukset ovat vertailukelpoisia. Tarjousten vertailukelpoisuus puolestaan takaa sen, että tarjousten erot ovat havaittavissa. Tarjouspyynnössä ei kuitenkaan saa rajata liian tiukasti hankinnan reunaehtoja siten, että se poissulkee toimittajia kilpailun ulkopuolelle.

Tarjouspyynnössä tulee esittää riittävän yksityiskohtaiset tiedot siitä, mitä hankinta kattaa. Laadukkaana tarjouspyynnön avulla tarjoajat ymmärtävät tarjouksen riittävän yksityiskohtaisesti sekä osaat hinnoitella tarjouksensa realistisesti ja kilpailukykyisesti. Tilaajan kannalta ei ole hyvä, mikäli voittanut tarjous on niin edullinen, että se romuttaa palveluntarjoajan talouden ja uhkaa näin ollen hankittujen palveluiden jatkuvuutta.

Hankintapäätöksen ei tule perustua pelkkään hintaan, vaan huomiota tulee kiinnittää myös esimerkiksi järjestelmän toimivuuteen, käyttöikään ja käyttökustannuksiin. Asiassa on huomioitava se, että alkuinvestointina maalämpöjärjestelmä on lähtökohtaisesti kalliimpi kuin mikä tahansa muu lämmitysjärjestelmä, joten loogisesti ajatellen ei myöskään maalämpöjärjestelmiä verratessa ole perusteltua keskittyä yksipuolisesti hintaan. Riskinä nimittäin on, että halvimman tarjouksen järjestelmä on mitoitettu alakanttiin ja näin ollen järjestelmän käyttökustannukset ovat suuremmat kuin paremmin mitoitettujen järjestelmien käyttökustannukset. Hankinnassa tulee varmistaa, että maalämpöjärjestelmä saadaan käyttöön ja pidettyä käytössä mahdollisimman optimaalisesti, mikä edellyttää tarjoajalta pitkän aikavälin sitoutumista ja palvelua. Kun maalämpöjärjestelmän edellytetään toimivan tehokkaasti ja optimaalisesti pitkällä aikavälillä, tällöin tarjouskilpailussa pärjäävät ne toimijat, jotka tuntevat tuotteensa ja tietävät voivansa luottaa niiden toimivuuteen. (Tec Heat AB OY 2022.)

Tarjouspyynnön tekeminen saattaa edellyttää sellaista osaamista, jota tilaajaorganisaatiossa ei ole. Näissä tilanteissa on perusteltua pyytää ulkopuolista apua ja antaa ulkopuolisen konsultin määritellä

hankinnan reunaehdot. Ulkopuolisen tahon ollessa mukana hankintaprosessissa ja esimerkiksi lämmitysratkaisun määrittelyssä, on keskeistä, että tämä ymmärtää tilaajan tarpeet ja vallitsevat olosuhteet.

Tarjouspyynnössä tulee noudattaa YSE98ans-sopimusehtoja ja takuu aika kannattaa määrittää 24 kuukauteen. Tarjouspyynnössä kannattaa mahdollisuuksien mukaan edellyttää, että tarjoukseen sisältyy etävalvonta koko takuun ajan. Muiden takuiden vertailu saattaa olla erittäin hankalaa, koska tuotteiden takuehdot vaihtelevat eikä ole selvää, mitä kaikkea tehdastakuu kussakin tapauksessa kattaa. (Tec Heat AB OY 2022.) Myös rakentamisen aikainen valvonta on tärkeää, jotta varmistetaan, että tilaaja saa sitä, mistä maksaa ja mitä olettaa hankkineensa.

4 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää sekä aktiivisesti että passiivisesti. Passiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan aurinkoenergian hyödyntämistä ilman erillisiä laitteita, kuten tilojen lämmitystarpeen vähentämistä ikkunoista saatavan suoran auringonsäteilyn avulla. Passiivisen hyödyntämisen maksimoimiseksi tulee kohteiden suunnittelussa ottaa huomioon esimerkiksi rakennusten sijoitus ja suuntaus sekä ikkunoiden ilmansuunta. (Motiva 2020a.) Tässä yhteydessä tarkastellaan aurinkoenergian aktiivista hyödyntämistä eli aurinkoenergian hyödyntämistä erillisten laitteiden eli aurinkopaneelien avulla.

Aurinkopaneelijärjestelmän suunnitteleminen vaatii aina jonkinasteisen kompromissin tekemistä, sillä sähkönkulutus vaihtelee huomattavasti vuodenaikojen ja vuorokauden vaihtelun sekä sähkönkulutuksen muutosten takia. Aurinkoenergiaa mitoittaessa tulee päättää, mikä osuus kulutuksesta halutaan kattaa aurinkoenergiaa hyödyntämällä. Mitoituksessa tulisi aina suunnata huomio nykyhetken lisäksi tulevaisuuteen ja tulevaan kulutukseen, sillä kulutuksen mitoittaminen pelkästään nykyhetken perusteella ei välttämättä tuo parasta lopputulosta. Lähtökohtainen haaste aurinkoenergian hyödyntämiselle on se, että aurinkoenergian tuotto on tyypillisesti suurimmillaan aurinkoisina kesäpäivinä, jolloin myös energiantarve on vähäisintä.

Kaikki kohteen aurinkopaneelit on suunniteltu sijoitettavan toimistorakennuksen katolle. Huoltorakennuksen katolle ei ole suunniteltu aurinkopaneeleita. Keskitetty ratkaisu perustuu siihen, että aurinkopaneelien asennus ja kunnossapito on näin kustannustehokkaampaa.

4.1 Aurinkojärjestelmän määrittely kohteeseen

Toimistorakennusta koskevien alustavien suunnitelmien avulla voidaan hahmottaa aurinkojärjestelmän tuottotehoa. Laskelman pohjana käytetään Euroopan komission ylläpitämää PVGIS-sivustoa, joka hyödyntää vuodesta 2005 asti kertynyttä avointa dataa (Euroopan komissio 2022). Toimistorakennuksen koordinaattitiedot ovat 62.588, 29.825 ja maanpinnan korkeus on paikalla 80 metriä.

PVGIS-laskelmassa toimistorakennuksen aurinkojärjestelmä määritellään kiinteäksi ja rakennuksen kattokulmaksi 13° , joka on pyöristetty arvosta $12,53^\circ$ katon kaltevuuden ollessa 1:4,5.

Aurinkopaneelien optimaalisin kallistuskulma on $35\text{--}45^\circ$, mutta jopa 30° ja 60° kallistuskulmat tuottavat lähes yhtä paljon sähköä kuin optimaalinen kulma. Pääsääntöisesti 15° poikkeama optimaalisesta kulmasta vähentää vuosituotantoa 5 %. Näin ollen 13° kattokulman voidaan todeta olevan kahdella tavalla epäedullinen aurinkopaneelien optimaalisen tuotannon kannalta. Ensinnäkin vuosituotanto pienenee jonkin verran optimaaliseen kallistuskulmaan verrattuna. Toiseksi kallistuskulman pienuus korostaa keskikesälle ajoittuvan tuotannon kausihuipun terävyyttä. Toisin sanoen eri ajankohtien tuotannon erot korostuvat, mikäli kattokulma on pieni; mitä suurempi kattokulma on, sitä tasaisempi järjestelmän tuotto on keväästä syksyyn. (Motiva 2022a.)

Kattokulmaa analysoidessa on tärkeää pohtia myös sitä, että mikäli järjestelmä halutaan mitoittaa mahdollisimman suureksi eikä kaikkea tuotantoa voida hyödyntää itse, tällöin tuotannon olisi hyvä olla mahdollisimman tasaista. Toinen vaihtoehto olisi se, että pientuotanto olisi taloudellisesti huomattavasti nykyistä kannattavampaa.

Aurinkopaneelit on suunniteltu sijoitettavan sille katon osalle, joka osoittaa kaakkoon päin. Valinta perustuu tuoton kannalta parhaaseen tarjolla olevaan ilmansuuntaan. Tuottotehon laskennassa käytettävässä PVGIS-laskelmassa etelä on 0° ja itä -90° , joten kaakko on puolestaan -45° .

Järjestelmähäviöksi määritellään 14 %, joka on määritelty PVGIS:n oletusarvoksi. Järjestelmähäviöiden syynä on yleisesti häviöt esimerkiksi kaapeleissa, johtimissa tai inverttereissä. Pitkällä aikavälillä aurinkopaneelijärjestelmien teho laskee alkuvuosien tehosta, mikä on myös hyvä ottaa huomioon. (Euroopan komissio 2022.) Myös piikiteen heikkeneminen (Light Induced Degradation, LID) aiheuttaa häviöitä, jotka voivat olla heti paneelin käyttöönoton jälkeen 1,5–3 % ja sen jälkeen vuositasolla 0,4–1 % riippuen aurinkopaneelin laadusta ja tyypistä (Ralos Eco Oy 2020). Järjestelmähäviön määrä on määritelty eri yhteyksissä esimerkiksi 13 %:iin, mutta tässä yhteydessä arvio halutaan tehdä mieluummin hivenen skeptisin kuin liian optimistin luvuin, ja arvoksi määritellään 14 %.

Toimistorakennuksen kaakkoispuolen katon pinta-ala on arviolta 225 m^2 , kun suunnitelmien mukaisen ulkomittojen avulla katon kooksi voidaan arvioida $10,8 \text{ m} \times 20,9 \text{ m}$. Pääsääntöisesti kaltevilla katoilla paneelit kannattaa asentaa lappeensuuntaisesti. Koko pinta-alaa ei voida valjastaa aurinkoenergialle, vaan tyhjää tilaa tulee jättää katon alalappeesta muun muassa lumiesteitä varten vähintään yhden paneelin pituuden verran eli vajaa 1,7 metriä. (Motiva 2022a.) Tyhjää tilaa tulee varata kokonaispinta-alasta $2,0 \text{ m} \times 20,9 \text{ m}$ kokoinen ala, joten aurinkojärjestelmän käyttöön jää noin 180 m^2 .

Käytettävissä olevan katon pinta-ala on sen verran suuri, ettei se ainakaan suoranaisesti rajoita suuremmakaan järjestelmän asentamista. Kyse onkin siitä, miten suuri järjestelmä halutaan asentaa ja miten paljon katsotaan olevan optimaalinen sähköenergian tuotto.

Aurinkopaneelin pinta-ala asuinrakennuksissa on tyypillisesti $1,6\text{--}2 \text{ m}^2$, mikä on perusteltu koko myös muissa pientaloissa kuten toimistorakennuksessa. Paneelien nimellisteho vaihtelee $320\text{--}430 \text{ W}_p$ välillä, joten pientaloissa tyypillisesti suositettavaan 5 kW_p järjestelmään sisältyy noin 12–16 paneelia ja ne vievät pinta-alaa noin $23\text{--}26 \text{ m}^2$. (Motiva 2022a.) Jos toimistorakennuksen katolle sijoitettavien aurinkopaneelien yksikkökohtainen pinta-ala olisi esimerkiksi $1,8 \text{ m}^2$ ja nimellisteho 375 W_p , voitaisiin katolle asentaa 100 aurinkopaneelia, joiden yhteenlaskettu nimellisteho olisi $37,5 \text{ kW}_p$.

Nimellistehon määrittelemiseksi on perusteltua arvioida eri kokoisia aurinkopaneelijärjestelmiä ja niiden tuottoa. Laskelma tehdään kolmella eri nimellisteholla: 10 kW_p , 20 kW_p ja 38 kW_p .

4.2 Aurinkojärjestelmän tuotto

Aurinkojärjestelmän tuottoa kartoitetaan siis kolmella eri nimellisteholla, jotka ovat 10 kW_p , 20 kW_p ja 38 kW_p . Luvut perustuvat toteumatiedoille, joissa on otettu huomioon kohteessa kyseisellä ajanjaksolla vallinnut säteily, säätila, lämpötila ja pilvisuus. Tiedot perustuvat uusimman saatavilla olevan ajanjakson eli vuoden 2020 lukuihin. Taulukossa 1 osoitetaan kattokulman vaikutus aurinkojärjestelmän tuotantoon.

TAULUKKO 1. Kattokulman vaikutus vuosituotantoon ja suurimpaan päiväkohtaiseen tuotantoon

Kattokulma 13°			
	10 kW _p	20 kW _p	38 kW _p
Vuosituotto kWh	7340,6	14681,2	27894,3
Suurin tuntikohtainen tuotanto, kWh (21.5.2020)	6,99	13,97	25,55
Kattokulma 40°			
	10 kW _p	20 kW _p	38 kW _p
Vuosituotto kWh	8751,4	17502,8	33255,3
Suurin tuntikohtainen tuotanto, kWh (21.5.2020)	7,68	15,36	29,18

PVGIS:n tarjoamalla optimaalisella kattokulmalla (47°) paras tuntikohtainen tuotanto 38 kW_p järjestelmällä oli 32,34 kWh, mikä eroaa jonkin verran 40°-kattokulmaan asennettujen aurinkopaneelien tuotannosta, joka oli parhaimmillaan 29,18 kWh. Optimaalisen kattokulman vaikutus järjestelmän vuosituotantoon (33257,20 kWh) oli kuitenkin suhteellisen minimaalinen verrattuna tilanteeseen, jossa kattokulma oli 40° (33255,3 kWh). Näin ollen optimaalisen kattokulman toteuttamisen suositteleminen ei liene tässä yhteydessä perusteltua.

Kattokulmien välillä on merkittävää eroa, jos verrataan kuukausikohtaista tuottoa 13° ja 40° kattokulmaan asennettuja 10 kW_p järjestelmiä. Taulukossa 2 esitetään kattokulman vaikutus kuukausikohtaiseen tuotantoon.

TAULUKKO 2. Kattokulman vaikutus kuukausikohtaiseen tuotantoon

	13° kattokulma	40° kattokulma
Tammikuu	38,82	86,67
Helmikuu	171,75	272,67
Maaliskuu	585,43	800,71
Huhtikuu	1027,39	1258,75
Toukokuu	1417,38	1591,91
Kesäkuu	1335,23	1423,06
Heinäkuu	1132,57	1219,57
Elokuu	916,29	1081,77
Syyskuu	503,81	678,28
Lokakuu	151,71	206,16
Marraskuu	50,35	105,61
Joulukuu	9,86	26,12

Loivempaan kattokulmaan asennetun aurinkojärjestelmän vuosituotanto on verraten suurta, mutta tuotanto kohdistuu kesäpäiviin ja otollisiin sääoloihin. Aurinkopaneelin asettaminen 40° kulmaan parantaa tuotantoa helpolla keinolla merkittävästi verrattuna tilanteeseen, jossa paneelit on asennettu toimistorakennuksen katon mukaisesti 13° kulmaan.

4.3 Aurinkojärjestelmän mitoitust ja taloudellinen kannattavuus

Kiinteistökohtainen aurinkojärjestelmä on varsin järkevä ratkaisu niin ilmastonmuutoksen, vallitsevan energiakriisin kuin mahdollisen sähköpulan näkökulmastakin. Pyrkimys jonkinasteiseen energiaomavaraisuuteen on noussut julkiseen keskusteluun sekä valtioiden kuin yksityistalouksienkin osalta. Oma kysymyksensä on, miten laaja pientuotanto on taloudellisesti järkevää, eli kuinka paljon sähkön pientuottaja haluaa aurinkojärjestelmästä maksaa.

Aurinkojärjestelmän mitoittaminen edellyttää tietoa rakennuksen sähköenergiantarpeesta. Jos kyse on uudisrakennuksesta, tuntikohtaisia tietoja ei ole saatavilla, kun taas olemassa olevan rakennuksen osalta ne ovat saatavilla jakeluverkkoyhtiöiden verkkopalveluista. Uudisrakennuksen osalta aurinkojärjestelmän mitoitust tulisi perustua samantyyppisen rakennuksen kulutukseen. Alla olevassa

arviossa (Taulukko 3) hyödynnetään Motivan esimerkkilaskelmaa kaukolämmössä olevasta toimistorakennuksesta (Motiva 2022f).

Toimistorakennuksen sähkönkulutuksen arvioidaan olevan lämmitysjärjestelmineen ja ilmanvaihtoineen kokonaisuudessaan 35 000 kWh (Pajarinen 2022), lisäksi huoltorakennuksen sähkönkulutuksen on arvioitu olevan kokonaisuudessaan 15 000 kWh. Taulukossa 3 esitetään kaksi eri skenaariota järjestelmän takaisinmaksuajasta.

TAULUKKO 3. Aurinkojärjestelmän takaisinmaksuaika

Vuotuinen sähkönkulutus	50 000 kWh	
Sähkön hinta ilman perusmaksuja (energia + siirto + verot) [c/kWh]	10 c	20 c
Sähkön myyjän ylijäämä sähköenergiasta mak sama hinta [c/kWh]	5 c	5 c
Järjestelmän mitoitusteho [kW]	38 kW	
Aurinkosähkön vuotuinen tuotanto [kWh]	33255 kWh	
Aurinkosähkön tuotanto omaan käyttöön [% tuotannosta]	60 %	70 %
Vuotuinen säästö aurinkosähköjärjestelmän ansiosta [€]	$33255 \text{ kWh} \cdot 0,6 \cdot 0,10 \text{ e} + 33255 \text{ kWh} \cdot 0,4 \cdot 0,05 = 2660 \text{ e}$	$33255 \text{ kWh} \cdot 0,6 \cdot 0,2 \text{ e} + 33255 \text{ kWh} \cdot 0,4 \cdot 0,05 = 4656 \text{ e}$
Järjestelmän investointikustannus, asennettuna [€]	40 000 e	
Koroton takaisinmaksuaika [v]	15	9

Taulukossa 3 on esitetty laskelma siitä, miten kannattava 38 kWp aurinkojärjestelmä saattaisi olla kyseisessä kohteessa. Laskelman tarkoituksena on havainnollistaa, miten sähkön hinta vaikuttaa hankinnan kannattavuuteen. Elokuun 2022 hintatasossa aurinkojärjestelmän hankinta on kannattavaa. Jos hintataso puolestaan laskee esimerkiksi 0,1 euron tietämille, niin verkosta ostettu sähkö saattaa olla taloudellisesti kannattavampaa kuin omavarainen pientuotanto. Jos hankinnan takaisinmaksuaika lähentelee 20 vuotta, niin silloin on järkevämpää toteuttaa pienempi kuin 38 kWp aurinkojärjestelmä.

Taulukon mukaiseen arvioon liittyy todella paljon epävarmuuksia, sillä sähkön hinta on ollut viime kuukausina poikkeuksellisen korkea ja markkinat ovat olleet epävakaat. Elokuussa 2022 keskihinta

on ollut jopa yli 20 c/kWh. Taulukon oikean sarakkeen mukaisilla hinnoilla takaisinmaksuaika on verraten lyhyt ja hankinta näyttää kannattavalta. On kuitenkin oletettavaa, että kun Olkiluoto 3 alkaa tuottaa sähköä täydellä kapasiteetilla, sähkön hinta laskee nykyisestä ja markkinat muuttuvat vaakaammiksi. Olkiluoto 3:n aikataulu on kuitenkin muuttunut niin monta kertaa, ettei sen varaan voi toistaiseksi laskea juuri mitään. Jos sähkön hinta laskee, on oletettavaa, että myös ylijäämästä maksetaan silloin vähemmän. Sähkön hinta on siis keskeinen tekijä, kun arvioidaan hankinnan kannattavuutta.

Aurinkojärjestelmää koskevan laskelman osalta tulee ottaa huomioon, että tuotannon määrä on vahvasti sidoksissa vallitseviin olosuhteisiin, kuten sääolosuhteisiin. Aurinkopaneelijärjestelmää mitoittaessa olisikin perusteltua tarkastella usean vuoden sääolosuhteita eikä perustaa ratkaisuaan yhden vuoden tietoihin. Yhtä lailla varjostusolosuhteet tulisi ottaa huomioon sekä sellaiset paneelien tuotantoon vaikuttavat tekijät, kuten lähiympäristön aiheuttama paneelien likaantuminen.

Taulukossa on arvioitu, että 60 % sähköstä kulutetaan omassa käytössä. Lukua on varmasti mahdollista parantaa, mikäli rakennuksen energiankulutusta voidaan ohjata automaatiolla niihin ajankohtiin, jolloin tuotto on suurinta. Tämä puolestaan lisää hankinnan kannattavuutta.

Asiassa pitää ottaa huomioon, että aurinkojärjestelmän hankinnassa ei kyse ole pelkästään taloudellisen hyödyn tavoittelusta, vaan sillä on positiivisia ympäristövaikutuksia sekä vaikutuksia yrityksen imagoon. Se, että yhteiskunnallisen ympäristöalalla toimivan yrityksen toimiston katolla on suurehko aurinkojärjestelmä, luo positiivisen signaalin niin kuntalaisille kuin alueen yrityksillekin. Positiivisen imagon hintaa on mahdotonta arvottaa rahassa.

5 POHDINTA

Viimeinen vuosi on ollut energiatalouden saralla äärimmäisen poikkeava. Energian hinta on noussut, tietyistä energiavirroista on ollut pulaa ja energia-alan toimintamallit ovat tulleet kyseenalaistetuksi. Paraikaa julkisessa keskustelussa huomio suuntautuu Ukrainan sodan ohella esimerkiksi siihen, riittääkö Suomessa tulevana talvena sähköenergia ja jos riittää, niin mikä sen hinta tulee olemaan. Tulevaisuuteen katsominen ja tulevien muutosten ennakoiminen on näin ollen vaikeampaa kuin koskaan ennen, mutta samalla tulevaisuutta koskeviin päätöksiin liittyy poikkeuksellinen kiireen tuntu. Oma osansa on sillä, että pörssien epävarmuus ohjaa pääomavirtoja erilaisiin energia- ja infrastruktuurihankkeisiin. Tätä taustaa vasten opinnäytetyö on yhtäältä tuntunut todella ajankohtaiselta, toisaalta on ollut helppo havaita, kuinka tämän päivän fakta on mahdollisesti jo huomenna vanhentunut tietoa.

Toimisto- ja huoltorakennuksen lämmitysjärjestelmään liittyvä keskeinen kysymys oli se, olisiko rakennuksen lämmöntarve järkevämpi kattaa kaukolämmöllä vai maalämmöllä. Kun opinnäytetyön tekemisen myötä kävi ilmi, ettei kaukolämmön toteuttaminen kyseiseen kohteeseen ole teknis-taloudellisesti mahdollista, rakennusten päälämmönlähteeksi valikoitui maalämpö ja lämmönkeruutavaksi porakaivot. Tässä energiataloudellisessa tilanteessa maalämpöön sitoutuminen herättää kaksi huomiota: ensinnäkin maalämpöjärjestelmä edellyttää toimiakseen sähköä, ja nykytilanteella saattaa olla suoria vaikutuksia sähköenergian saatavuuteen, toiseksi maalämpö perustuu uusiutuvaan ja lähellä sijaitsevaan energialähteeseen sekä osittaiseen omavaraisuuteen.

Maalämpöjärjestelmän yksityiskohtaista määrittelyä ei puutteellisten tietojen ja keskeneräisten suunnitelmien takia pystynyt tekemään. Maalämpöpumppu tulee kuitenkin mitoittaa täysteholle ja maalämpöjärjestelmän on tarkoitus kattaa kaikki lämmityksen ja käyttöveden edellyttämä tehontarve kokonaisuudessaan. Suuntaa antavan arvion mukaan toimisto- ja huoltorakennuksen lämmitystehontarve saattaisi olla 29–35 kW välillä.

Suunnitelmien keskeneräisyydestä huolimatta on selvää, että maalämpöjärjestelmän lämmönkeruupiiri kannattaa mitoittaa yläkanttiin, jotta saadaan mahdollisimman hyvä lämpökerroin. Toisin sanoen kaivojen poraamisessa ja lämmönkeruupiirin mitoittamisessa ei kannata alkaa ”pihistelemään”. Arvion mukaan porakaivoa tarvittaisiin noin 600–700 metriä, mikä tarkoittaisi kolmea porakaivoa. Myös käytön aikaisten kulujen minimoimisen näkökulmasta lämmönkeruupiirin yläkanttiin mitoittaminen on perusteltua. Energian hinnan noustessa tulee luonnollisesti pohdittua kaikkia keinoja, joiden avulla lämmityksen kustannukset saadaan pidettyä asianmukaisina. Maalämpöjärjestelmän hankintaan tulee käyttää riittävästi resursseja, jotta kohteeseen saadaan sellainen kokonaisuus, joka on optimaalinen ja vastaa tilaajan tarvetta.

Toinen osa toimisto- ja huoltorakennusta koskevaa energiaratkaisua oli aurinkojärjestelmä. Sen osalta kävi ilmi, että paneelit kannattaa ehdottomasti asettaa kattokulmaa jyrkempään kulmaan, jotta tuotantoa saadaan tehokkaammaksi. Optimaalinen kulma vaikuttaisi olevan 40–50° välillä. Kulman määrittelyssä ei ole välttämätöntä yrittää löytää absoluuttisen parasta kulmaa, mutta on hyvä tiedostaa, että aurinkopaneelien asennuskulmalla on huomattava vaikutus lopputulokseen eli tuotannon määrään.

Aurinkojärjestelmän mitoituksen kannattavuuteen liittyy runsaasti epävarmuuksia. Jos toimistorakennuksen kaakkoispuolen katon hyödyntää maksimaalisesti, se tarkoittaisi teholtaan noin 38 kW_p järjestelmää. Aurinkoisten kesäpäivien tuotto ylittäisi reilusti kulutuksen, mikä tarkoittaisi sähkön tuottamista verkkoon ja vähentäisi aurinkojärjestelmän kannattavuutta. Jos kyse olisi toisesta ääripäästä eli 10 kW_p järjestelmästä, silloin verkkoon tuotetun sähköenergian osuus vähentyisi huomattavasti.

Suurimman eli 38 kW_p järjestelmän hankkimista puoltaa kolme tekijää. Ensinnäkin, jos aurinkoisten kesäpäivien tuottoa hyödynnettäisiin toimistorakennuksen viilentämiseen, suuremmankin tehon järjestelmä saattaisi olla kokonaisuudessaan järkevä investointi. Myös esimerkiksi sähköauton lataaminen lisäisi merkittävästi hetkellistä kulutusta, mikä mahdollistaisi tuottohuippujen optimaalisempaa hyödyntämistä. Aurinkojärjestelmän mitoittamisessa tulisikin suunnata huomio nykykulutuksen ohella tulevaisuuteen ja tulevaan kulutukseen.

Toiseksi, oli aurinkojärjestelmän koko mikä tahansa, se edellyttää säännöllisiä huolto- ja kunnossapitotoimia. Suuremman yksikön huolto on todetusti suhteellisesti kustannustehokkaampaa kuin pienemmän yksikön, mikä puoltaa osaltaan suuremman järjestelmän hankintaa.

Kolmanneksi, Vaikka nykyhetken perusteella verkkoon tuottaminen ei välttämättä ole taloudellisesti kovinkaan kannattavaa, sen kannattavuus tulee paranemaan tulevaisuudessa. Näkemys perustuu siihen, että energiakriisin myötä sähköenergiaa tarvitaan yhä enemmän ja sitä on suositeltavaa tuottaa paikallisesti ja omavaraisesti uusiutuvilla luonnonvaroilla. Toisin sanoen kaikki potentiaali halutaan hyödyntää, vaikka kyse olisikin melko pienistä kokonaisuuksista. Käytännön osoituksena pientuotantoon kannustamisesta on sähkönkulutuksen ja -tuotannon taseselvitysjakson sisäinen netotus (Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta 767/2021, 2 §), jonka tarkoituksena on nimenomaan parantaa sähkön pientuottajan asemaa.

LÄHTEET

Arola, Teppo; Leppäharju, Nina; Huusko, Asmo, 2021. Maalämpö on uusiutuvaa energiaa. Mielipidekirjoitus. Helsingin Sanomat 6.3.2021, Mielipide, C 22.

DIGMA Avoin oppimisympäristö 2017. Lämpöpumpun toimintaperiaate. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 11.10.2017. <https://www.youtube.com/watch?v=HnPLpPbggtA>. Viitattu 29.4.2022.

Energiateollisuus ry 2022a. Geoterminen energia. Verkkojulkaisu. Energia.fi -sivuston materiaalia. https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/geoterminen_voima. Viitattu 29.4.2022.

Energiateollisuus ry 2022b. Energiavuosi 2021 – Kaukolämpö. Verkkojulkaisu. https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2021_v1.4_FINAL.pdf. Viitattu 6.5.2022.

Energiateollisuus ry 2022c. Kaukolämmön hintatilasto. Verkkojulkaisun hintataulukot. https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view. Viitattu 11.5.2022.

Energiateollisuus ry 2018. Ohjeita kaukolämpörakentajalle. Verkkojulkaisu. <https://docplayer.fi/1287051-Ohjeita-kaukolamporakentajalle.html>. Viitattu 6.5.2022.

Euroopan komissio 2022. Photovoltaic geographical information system. Verkkosivusto. Päivitetty 1.3.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. Viitattu 16.6.2022.

Harle Heidi, 2019. Geotermisen energian kehitys tarvitsee Pelle Pelottomia. Helen Oy:n blogi. 29.11.2019. <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2019/geoterminen-energia>. Viitattu 29.4.2022.

Helen Oy, 2021. Konesalien hukkalämmöstä hiilineutraalia kaukolämpöä: Telian datakeskus lämmitää helsinkiläisiä koteja. Verkkojulkaisu. <https://www.helen.fi/uutiset/2021/konesalien-hukkalammosta-hiilineutraalia-kaukolampoa>. Viitattu 6.5.2022.

Helen Oy, 2020. Energiatulevaisuus. Verkkojulkaisu. <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/energiatulevaisuus>. Viitattu 6.5.2022.

Isännöintiliitto 2022. Taloyhtiöiden lämmityskustannukset yhä nousussa – katkaisevatko uudet energiaratkaisut nousukierteen? Verkkojulkaisu. Päivitetty 17.2.2022. <https://www.isannointiliitto.fi/mediale/taloyhtioiden-lammityskustannukset-yha-nousussa-katkaisevatko-uudet-energiaratkaisut-nousukierteen/>. Viitattu 19.3.2022.

Joensuun Karttapalvelu 2022. Verkkojulkaisu. <https://kartta.jns.fi/ims/>. Viitattu 23.5.2022.

Joensuun kaupunki 2022. Hiilineutraali Joensuu 2025. Verkkojulkaisu. <https://www.joensuu.fi/hiilineutraali-joensuu-2025>. Viitattu 27.2.2022.

Keränen, Ossi. 2016. Pientalon maalämpöjärjestelmän kulutuksen vertailu sähkölämmitykseen. Opin näytetyö. Energiatekniikan koulutusohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/106988/Keranen_Ossi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 29.4.2022.

Korhonen, Riitta 2021. Väärinkäsitys maalämmöstä uusiutuvana energiana on yleinen. Mielipidekirjoitus. Helsingin Sanomat 4.3.2021, Mielipide, B 10.

Luukkanen, Jyrki, Vehmas, Jarmo, Karjalainen, Anne, Panula-Ontto, Juha 2009. Energiaskenaarioita vuoteen 2050. Tulevaisuuden tutkimuskeskus. TUTU-eJULKAISUJA 11/2009.

- Luusua, Anssi 2022. Asiakkuuspäällikkö. Savon Voima Oyj. Kaukolämmön saatavuus ja hinta. Yksityinen sähköpostiviesti 12.5.2022. Viestin saaja: Matti Mikkilä.
- Maalampo.fi 2022. Maalämpöpumpun ja porakaivon mitoitus. Verkkajulkaisu. <http://www.maalampo.fi/artikkelit/maalampopumpun-ja-porakaivon-mitoitus/>. Viitattu 24.5.2022.
- Matikka, Ville 2009. Maalämpöprojektin loppuraportti. Savonia ammattikorkeakoulu 3.4.2009. https://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/Loppuraportti_MAAALAMPO.pdf. Viitattu 29.4.2022.
- Motiva 2022a. Aurinkopaneelien asentaminen. Verkkajulkaisu. Päivitetty 2.5.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen. Viitattu 16.6.2022.
- Motiva 2022b. Ilma-vesilämpöpumppu. Verkkajulkaisu. Päivitetty 24.1.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu. Viitattu 19.3.2022.
- Motiva 2022c. Kaukolämmön hinta. Verkkajulkaisu. Päivitetty 23.3.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta. Viitattu 11.5.2022.
- Motiva 2022d. Kaukolämpö. Verkkajulkaisu. Päivitetty 13.4.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo. Viitattu 6.5.2022.
- Motiva 2022e. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Verkkajulkaisu. Päivitetty 29.3.2022. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi. Viitattu 2.6.2022.
- Motiva 2022f. Sähköverkkoon kytketty toimistorakennus – vaihtosähkö. Verkkajulkaisu. Päivitetty 2.8.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/jarjestelman_kannattavuus/sahkoverkkoon_kytetty_toimistorakennus_vaihtosahko. Viitattu 19.8.2022.
- Motiva 2021a. Ilma-vesilämpöpumppu, IVLP. Verkkajulkaisu. Päivitetty 23.9.2021. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_ivlp. Viitattu 19.3.2022.
- Motiva 2021b. Maalämpöpumppu. Verkkajulkaisu. Päivitetty 10.8.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu. Viitattu 29.4.2022.
- Motiva 2020a. Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. Verkkajulkaisu. Päivitetty 5.8.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen. Viitattu 20.6.2022.
- Motiva 2020b. Talotekniikan suunnittelu. Verkkajulkaisu. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys. Viitattu 4.3.2022.
- Motiva 2019. Lämmitysmuodot. Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot. Viitattu 27.2.2022.
- Motiva 2018. Mikä on rakennuksen energiatodistus? Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/files/16351/Mika_on_rakennuksen_energiatodistus_esite_2018.pdf. Viitattu 24.5.2022.
- Motiva 2012a. Lämpöä kotiin keskitetysti – Kaukolämpö. Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf. Viitattu 6.5.2022.

Motiva 2012b. Lämpöä omasta maasta. Verkkojulkaisu. http://www.motiva.fi/files/7965/Lampo_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf. Viitattu 6.5.2022.

Nibe 2022. Pientalojen maalämpöpumppuopas Nibe S-Sarja. Verkkojulkaisu. https://ammattilaiset.nibe.fi/upload/haato/Ohjeet/Maal%c3%a4mp%c3%b6pas%20S-sarja%202033-4_netti.pdf. Viitattu 25.5.2022.

Nyström, Mika. Tuotepäällikkö & sisämyynti. Robert Bosch Oy. Bosch lämpöpumput muu yhteydenotto. Yksityinen sähköpostiviesti 16.6.2022. Viestin saaja: Matti Mikkela.

Paikallisvoima ry, 2022. Kaukolämmön päästölaskuri. <https://www.klpaastolaskuri.fi/paastot/Joensuu>. Viitattu 6.5.2022.

Pajarinen, Jari. Tekninen johtaja. Puhas Oy. Yksityinen sähköpostiviesti 5.8.2022. Viestin saaja: Matti Mikkela.

Pentti, Matti. Johtaja, Maasta lämpöä – Heat from the ground. St1 Oy. Geolämpö palaute. Yksityinen sähköpostiviesti 27.10.2021. Viestin saaja: Matti Mikkela.

Puhas Oy 2022a. Rakennustapaselostuksen luonnos.

Puhas Oy 2022b. Yhtiö. Verkkojulkaisu. <https://www.puhas.fi/yhtio.html>. Viitattu 19.3.2022.

Pyy Taisto 2015. Norvajärven leirikeskuksen energiatarkastelu. Opinnäytetyö. Rakennustekniikka, Talo- ja energiatekniikka. Lapin ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015052510121>. Viitattu 11.5.2022.

Rajamäki Juha 2015. Kauko- ja maalämpö lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannusvertailu Vaasassa. Opinnäytetyö. Rakennustekniikka. Vaasan ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/94498>. Viitattu 11.5.2022.

Rakennusteollisuus 2022. Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. Verkkojulkaisu. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/>. Viitattu 6.1.2022.

Ralos Eco Oy 2020. Aurinkovoimalan tuottohäviöt osa 1.3. Yhtiön blogi. <https://www.ralos.eco/blogi/aurinkovoimalan-tuottohaviot-osa-1.3>. Viitattu 16.6.2022.

RT 52-10801 vesikiertoinen lattialämmitys 2003. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 3.6.2022.

Savon Voima 2022a. Savon Voiman kaukolämmön saatavuuskartta. Verkkojulkaisu. <https://savonvoima.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=55ce381de86948c2b748c99c7a4ee03e>. Viitattu 23.5.2022.

Savon Voima 2022b. Ole kaukaa viisas – kaukolämpöä yrityksille ja yhteisöille. Verkkojulkaisu. <https://savonvoima.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/kaukolampo/>. Viitattu 11.5.2022.

Simola, Johannes 2020. Energia- ja kustannustehokas lämmitysjärjestelmä - vertailussa maalämpöpumppu ja ilmavesilämpöpumppu. Opinnäytetyö. Tekniikka ja liiketoiminta -sektori, LVI-Tekniikka. Turun Ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020121127738>. Viitattu 19.3.2022.

SULPU, Suomen lämpöpumppuyhdistys 2022. Verkkojulkaisu. <https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2022/01/SULPU-lampopumpputilasto-2021-kuvaajat.pdf>. Viitattu 6.5.2022.

Suomen Porakaivo Oy 2022. Maalämpökaivo – Lämpökaivo – Energiakaivo. Verkkojulkaisu. <http://www.suomenporakaivo.fi/maalampokaivot-maalampo/>. Viitattu 7.8.2022.

Tec Heat AB OY 2022. Maalämpökaivo tai energiakaivo. Verkkojulkaisu. <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampokaivo/>. Viitattu 7.8.2022.

Thermia julkaisuaika tuntematon. Suuri Lämpöpumppukirja. Verkkojulkaisu. https://docplayer.fi/storage/92/110406268/1651236178/Whu4GQ8KbxliqswK3Yct_w/110406268.pdf. Viitattu 29.4.2022.

Tilastokeskus 2021. Lämmityskulujen lasku peitti etätöön vaikutuksen asumisen energiankulutuksessa vuonna 2020. Verkkojulkaisu. Päivitetty 16.12.2021. https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen_2020_2021-12-16_tie_001_fi.html. Viitattu 27.2.2022.

Ympäristöministeriö 2018. Energiatehokkuus - Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. https://www.motiva.fi/files/16484/Energiatehokkuus_-_Rakennuksen_energiankulutuksen_ja_lammitystehontarpeen_laskenta.pdf. Viitattu 11.5.2022.

Ympäristöministeriö 2011. Rakennusten energiatehokkuus. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2/11 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. https://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf. Viitattu 25.5.2022.