

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KUOPION KAUKOLÄMPÖALUEEN TONTTIEN GEOENERGIAPOTENTI- AALIN HYÖDYNTÄMINEN

Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitys yli 500 MWh/a lämmitys-
tarpeelle

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Marjut Jetsu	
Työn nimi Kuopion kaukolämpöalueen tonttien geoenergiapotentiaalin hyödyntäminen, maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitys yli 500 MWh/a lämmitystarpeelle	
Päiväys	30.11.2022
Sivumäärä/Liitteet	35
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion Energia, Teemu Tirkkonen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä selvitys Kuopion kaukolämpöalueen isojen rakenteilla olevien tonttien geoenergiapotentiaalista. Opinnäytetyössä selvitetään Kuopion isot tontit, jotka sopivat kaukolämmön ja maalämmön kohteiksi, sekä selvitetään niiden osalta kaukolämmön ja maalämmön hybridilämmitysmahdollisuuksia suuriin lämmityskohteisiin. Suurilla lämmityskohteilla tarkoitetaan kohteita, joiden lämmityksen kulutus on yli 500 MWh vuodessa.</p> <p>Opinnäytetyöhön saatiin Kuopion kaupungilta tiedot tulevista uudiskohteista ja jo olemassa olevien kiinteistöjen laajennushankkeista välille Sorsasalo – Pitkälähti. Tiedot pitivät sisällään tontin koon, rakennuksen kerrosalan sekä kiinteistön käyttötarkoituksen. Laajennushankkeet rajattiin työn ulkopuolelle, koska ei ole tiedossa minkä kokoisia kiinteistöjä tonteilla on jo ennestään.</p> <p>Uudiskohteista rajattiin ulkopuolelle pientalot, rivi- ja ketjutalot sekä kerrostalot, sillä näiden lämmitysenergian kulutus on yleensä pienempi kuin 500 MWh vuodessa. Loput kohteet tarkasteltiin käyttötarkoituksen ja rakennuksen koon perusteella ja valikoitiin suuret kohteet. Sen jälkeen kohteille laskettiin lämmitysenergian tarve. Koska kohteista oli niukat lähtötiedot, lämmitysenergian tarpeen määrittämiseen käytettiin suurinta sallittua kokonaisenergiankulutusta, jota kutsutaan E-luvuksi. Laskelman jälkeen kohteista valittiin ne, joiden lämmitysenergian tarve ylitti 500 MWh vuodessa. Tämän jälkeen kohteille mitoitettiin sopiva määrä energiakaivoja tontin koon perusteella ja niiden mukaan laskettiin maalämmöstä saatava energiamäärä. Lopuksi tehtiin karkea kustannusarvio kolmelle erilaiselle kohteelle.</p> <p>Tuloksissa saatiin selville, että Kuopion maaperä on pääsääntöisesti sopivaa maalämmölle. Yleisesti Pohjois-Savon maaperän lämmönjohtavuus on hieman alle koko Suomen keskiarvosta. Osalle opinnäytetyön kohteista pystyttiin mitoittamaan energiantuotanto täysin maalämmöllä, kun taas osalle kohteista pystyttiin mitoittamaan vain muutamia energiakaivoja, jolloin energiantuotanto olisi lähestulkoon kokonaan kaukolämmöllä. Mitä enemmän tontille on tilaa tehdä kaivoja, sitä paremmin maalämmöllä saadaan katettua energiantarvetta. Opinnäytetyöstä saadut tulokset ovat vain suuntaa antavia ja voivat poiketa paljonkin mahdollisista lopullisista mitoituksista.</p>	
Avainsanat Geoenergia, maalämpö, energiakaivo, kaukolämpö, hybridilämmitys	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author Marjut Jetsu	
Title of Thesis Utilization of the Geoenery Potential of Building Plots in the Kuopio District Heating Area, Hybrid Heating of Geothermal and District Heating for a Heating Demand of More Than 500 MWh/a	
Date 30 November 2022	Pages/Appendices 35
Client Organisation /Partners Kuopion Energia, Teemu Tirkkonen	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to make a report on the geoenery potential of the large plot areas in the district heating area of Kuopio. The thesis examines the large plot areas in Kuopio that are suitable for district heating and geothermal heating, and it also examines the hybrid heating possibilities of the district heating and geothermal heating for large heating sites. Larger heating sites are referred to sites with a heating consumption of more than 500 MWh per year.</p> <p>Information about the future sites and the existing expansion projects between Sorsasalo and Pitkälähti was received from the city of Kuopio. The information contained the size of the building plot, the floor area of the building, and the purpose of use of the property. Expansion projects were excluded from the thesis because the sizes of the already existing properties on the plots are not known.</p> <p>The heating energy demand for the new properties was calculated based on the purpose of use and the size of the building. Since there was not a lot of initial information on the sites, the maximum allowed total energy consumption was used to determine the heating energy demand, which is called E-number. After the calculation, the buildings with a heating energy demand of over 500 MWh per year, were selected for the study. After that, a suitable number of energy wells was measured for the sites based on the size of the plot and the amount of energy obtained from geothermal energy was calculated accordingly. Finally, a rough cost estimate was made for three different targets.</p> <p>The results revealed that the soil of Kuopio is generally suitable for ground heating. In general, the thermal conductivity of the soil in North Savonia is slightly below the average in the whole Finland. For some of the building sites, it was possible to dimension energy production entirely with ground heating, while for some of the sites only a few energy wells could be dimensioned, in which case energy would be almost entirely produced with district heating. The more space there is for the wells on the plot, the better energy demand can be covered with geothermal energy. The results obtained from the thesis are only indicative and may differ a lot from the possible final dimensioning.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Geoenery, Geothermal, energy well, district heating, hybrid heating</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Kuopion Energia	6
1.2	Taustaa.....	7
2	GEOENERGIA ELI MAALÄMPÖ.....	10
2.1	Geoenergiapotentiaali	11
3	MAALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN LÄMMITYKSESSÄ.....	13
3.1	Energiakaivo.....	14
3.1.1	Energiakaivoon liittyvät lainsäädännöt, määräykset ja ohjeistukset	15
3.2	Vaakasuuntainen lämmönkeruupiiri	16
4	HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	17
4.1	Kaukolämpö	17
4.2	Kaukolämmön ja maalämmön yhdistäminen	19
5	TYÖN TOTEUTUS JA TULOKSET	20
5.1	Rakennusten lämmitysenergian ja Energiakaivojen mitoitus.....	20
5.2	Energiakaivosta saatava lämmitysteho	21
5.3	Kaukolämmön osuus lämmityksessä	25
5.4	Kustannuslaskelma.....	27
6	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä selvitys Kuopion kaukolämpöalueen isojen rakenteilla olevien tonttien geoenergiapotentiaalista. Opinnäytetyössä selvitetään Kuopion isot tontit, jotka sopivat kaukolämmön ja maalämmön kohteiksi, sekä selvitetään niiden osalta kaukolämmön ja maalämmön hybridilämmitysmahdollisuuksia suuriin lämmityskohteisiin. Suurilla lämmityskohteilla tarkoitetaan kohteita, joiden lämmityksen kulutus on yli 500 megawattituntia (MWh) vuodessa.

Työn toimeksiantajana toimii Kuopion Energia. Toimeksiantaja haluaa selvittää mahdolliset tulevat hybridilämmityskohteet heidän kaukolämmitysalueellansa. Kuopion Energia toimittaa kaukolämpöä välillä Pitkälähti – Sorsasalo, joten tonttien tarkastelu rajautuu tälle alueelle. Keskustan aluetta ei huomioida, koska siellä ei ole suuria vapaita tonttialueita.

Opinnäytetyössä keskitytään alueisiin, jotka ovat kasvavia kohteita ja joihin olisi rakenteilla kauppakeskuksia, kouluja, hotelleja tai muita isoa rakennusta tai rakennelmia, joiden lämmityksen kulutus on yli 500MWh. Kerrostalot rajataan tarkastelusta pois, sillä niiden lämmityksen kulutus on melko vähäistä.

Tonttien ja kohteiden selvittämisen jälkeen kohteille lasketaan suuntaa antava lämmitysenergian tarve. Tämän jälkeen mitoitetaan tontin koon perusteella kohteille maalämpö ja lasketaan, mikä olisi kaukolämmön osuus lämmityksen kattamiseen. Lopuksi kolmelle erilaiselle kohteelle lasketaan karkeat kustannusarviot.

1.1 Kuopion Energia

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Kuopion Energia. Kuopion Energia on Kuopiossa toimiva paikallista energiaa tuottava yritys. Kuopion Energia tuottaa sähköä ja lämpöä vastuullisesti, ja sen käyttämistä polttoaineista yli puolet on lähialueilta hankittuja biopolttoaineita. Kaikkiaan polttoaineista noin 75 % on kotimaista. (Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, a.) Kuopion Energialla on noin 6100 kaukolämpö- ja 61000 sähkönsiirtoasiakasta. Yritys myy vuodessa noin 1012 GWh lämpöä ja siirtää 620 GWh sähköä. Yrityksessä on noin 128 työntekijää ja liikevaihto on noin 111 miljoonaa euroa. (Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, b.)

Energiantuotannossa Kuopion Energia käyttää turvetta ja biopolttoaineita. Paikallisia biopolttoaineita käyttämällä Kuopion Energia pyrkii jättämään mahdollisimman pienen hiilijalanjäljen. Polttoaineet kuljetetaankin pääosin 150 kilometrin säteeltä. Biopolttoainetta varastoidaan turvetuotantoalueiden terminaaleihin ja voimalaitoksen lähiterminaaleihin. Tällä varmistetaan polttoaineen saanti ympäri vuoden ja samalla parannetaan kustannustehokkuutta ja tehostetaan logistiikkaa. Vuonna 2021 käytetyistä polttoaineista puupolttoaineita oli 66,5 % ja biokaasua 1,9 %. Turve polttoaineena parantaa huoltovarmuutta ja tulevien talvien polttoaineen saatavuutta. Turvetta voidaan säilöä ylivuotisesti, millä varmistetaan ympärivuotista energiansaantia. Turpeella on myös ominaisuuksia, mitkä estävät kattilavaurioita, joita muuten aiheutuisi biopolttoaineen sisältämän kloorin vuoksi. Vuonna 2021 käytetyistä polttoaineista turvetta oli käytetty 31,1 %. Kevyttä polttoöljyä oli käytetty 0,6 %. (Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, a; Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, d.)

Kuopion Energialla on energiaviraston myöntämä sertifikaatti uusiutuvasti tuotetusta kaukolämmöstä. Sertifikaatin saa, kun puolueeton energiaviranomainen on käynyt arvioimassa lämmöntuotannon ja -jakelun ympäristöystävällisyyden. Kun ehdot täyttyvät voi yhtiö käyttää sertifikaattia ekologisen kaukolämmön myynnissä. Kuopion Energialla on valittavana 1.1.2023 alkaen kaukolämpötuotteena Rehti ekokaukolämpö, joka on 100 % uusiutuvaa ja paikallisesti tuotettua energiaa. Sen tuotannossa käytetään muun muassa aurinkoenergiaa, kaatopaikkojen biokaasua ja kotimaista biopolttoainetta. (Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, a; Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, d; Wuolio 2022.)

Kuopion Energia on allekirjoittanut energiatehokkuussopimuksen kaudelle 2017–2025. Tällä yritys sitoutuu energiankäytön tehostamistavoitteisiin. Kuopion Energialla oli aiempi sopimus kaudelle 2008–2016, ja yrityksen tavoitteena oli vähentää sähkö- ja kaukolämpöhäviöitä vähintään viisi prosenttia. Tällöin Kuopion Energia alitti tavoitteet kaikilta osin reilusti. Nykyisellä sopimuskaudella on tarkoitus kiinnittää vielä enemmän huomiota asiakkaiden energiatehokkuuden parantamiseen. Yritys aikoo kasvattaa aurinkosähkötuotantoaan ja jakaa siitä kokemuksia asiakkaille. (Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, c.)

Kuopion Energialla on myös tavoitteena vuoteen 2030 mennessä päästä eroon fossiilisista polttoaineista syntyvistä hiilidioksidipäästöistä. Hiilidioksidipäästöjä yritys on saanut laskettua reilusta 500 000 tonnista noin 150 000 tonniin vuosien 2010–2020 välillä. Samaan aikaan asiakasmäärä on kasvanut noin 1000 asiakkaalla. Tulevaisuudessa yrityksellä on tarkoitus muun muassa hyödyntää

teollisuuden ja kiinteistöjen hukkalämpöjä, lisätä tuulivoimaa, vähentää turpeen osuutta ja lisätä geotermistä lämmöntuotantoa. (Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, c.)

1.2 Taustaa

Geoenergian käyttö on lisääntynyt viime vuosina huomattavasti niin Suomessa, kuin maailmalla. Tähän yhtenä syynä on fossiilisten polttoaineiden vähentäminen ilmastonmuutoksen torjunnan keinona. Toinen suuri tekijä maalämmön kysynnän kasvuun lähimenneisyydessä on sähkön hinnan nousu ja toimituksen epävarmuus. Myös omavaraisuuden tavoittelu sekä Ukrainan sota ovat vaikuttaneet kysyntään paljon. Tällä hetkellä maalämmöllä lämmitetään Suomessa 9 % kaikista taloista ja 15 % omakotitaloista. Vuonna 2016 omakotitaloista lämmitettiin maalämmöllä 10 % ja kaikista taloista 5 %. Kaukolämmön suosio on tilastokeskuksen mukaan pysynyt lähestulkoon samana ja öljy- sekä suoran sähkölämmityksen suosio laskenut. (Euroopan Unioni julkaisuaika tuntematon; Juuti 2022; Tilastokeskus 2022.)

Kasvihuonekaasuja esiintyy ilmakehässä luonnostaan, mutta ilmastonmuutosta nopeuttavat ylimääräiset kasvihuonekaasut, jotka ovat peräisin ihmisten toiminnasta. Nämä ovat alkaneet vähitellen vaikuttaa maapallon ilmastoon. Vaikutukset näkyvät maapallon lämpötilan nousuna, mikä tekee suuria muutoksia ilmastoon. Tällä hetkellä lämpötila on noussut jo yli yhdellä celsiusasteella verrattuna esiteollisen aikakauden lämpötilaan. (Euroopan Unioni julkaisuaika tuntematon.)

Ilmastonmuutoksen seurauksena napajäätiköt sulavat ja sään ääri-ilmiöt yleistyvät. Toisilla alueilla sateet lisääntyvät ja toisilla alueilla on suuria helleaaltoja ja kuivuutta. Merivesi on noussut ja meriin varastoituva hiilidioksidi happamoittaa niitä. Monet eläimet ja ihmiset kärsivät jo ilmastonmuutoksen seurauksista. (Euroopan komissio julkaisuaika tuntematon; WWF julkaisuaika tuntematon.)

Tärkeimpiä keinoja ilmastonmuutoksen hidastamiseksi on fossiilisista polttoaineista luopuminen ja uusiutuvien energiamuotojen kehittäminen ja käyttö. Muita keinoja on liikenteen sähköistäminen, luonnollisten hiilinielujen kasvattaminen, metsäkadon pysäytys sekä ruoantuotannon ja -kulutuksen muokkaaminen ilmastokestäväksi. (WWF julkaisuaika tuntematon.)

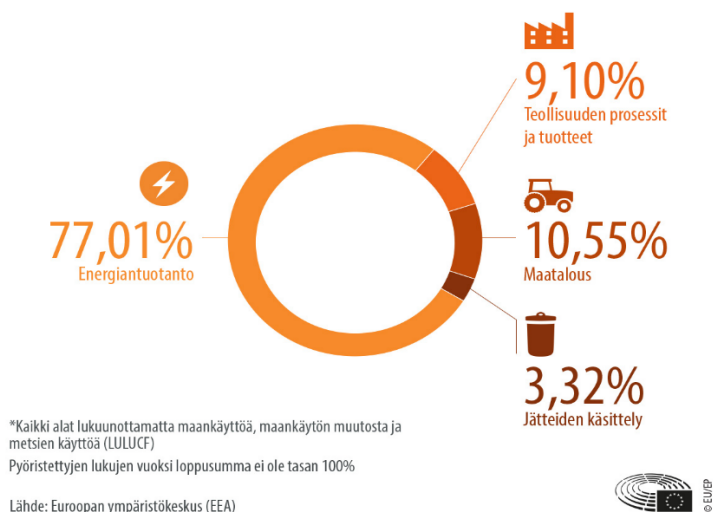


KUVA 1. Kasvihuonepäästöt (Euroopan parlamentti 2021)

Kuvassa 1. näkyy kasvihuonekaasupäästöt sekä prosentuaaliset osuudet kasvihuonepäästöistä EU:ssa vuonna 2019. Nämä kasvihuonekaasut tulevat pääasiassa energiantuotantoon käytetyistä fossiilisista polttoaineista, maataloudesta, sademetsien hakkuista, karjankasvatuksesta sekä kemikaalien tuotannosta. (Euroopan Unioni julkaisuaika tuntematon.)

Ilmastonmuutoksen torjunnassa fossiilisista polttoaineista luopuminen on välttämätöntä. Fossiilisia polttoaineita on vähennetty jo jonkin aikaa, ja uusiutuvien energiantuotantomenetelmien, kuten maalämmön, käyttö on kasvanut huomattavasti. Kuvassa 2. näkyy, että EU:n kasvihuonepäästöistä vähän reilu 77 % tulee energiantuotannosta. Energiantuotannon kasvihuonepäästöt tulevat suurimmaksi osaksi fossiilisten polttoaineiden polttamisesta. Fossiilisilla polttoaineilla tarkoitetaan kivihiiltä, ruskohiiltä, raakaöljystä jalostettuja polttoöljyjä sekä maakaasua. Nämä polttoaineet eivät uusiudu ja ovat syntyneet miljoonia vuosia sitten biomassasta ja varastoituneet maaperään. Turve lasketaan myös kansainvälisissä luokituksissa fossiiliseksi polttoaineeksi. (Euroopan unioni julkaisuaika tuntematon; Euroopan parlamentti 2022; Tilastokeskus julkaisuaika tuntematon.)

Alakohtaiset* kasvihuonekaasupäästöt EU:ssa vuonna 2019

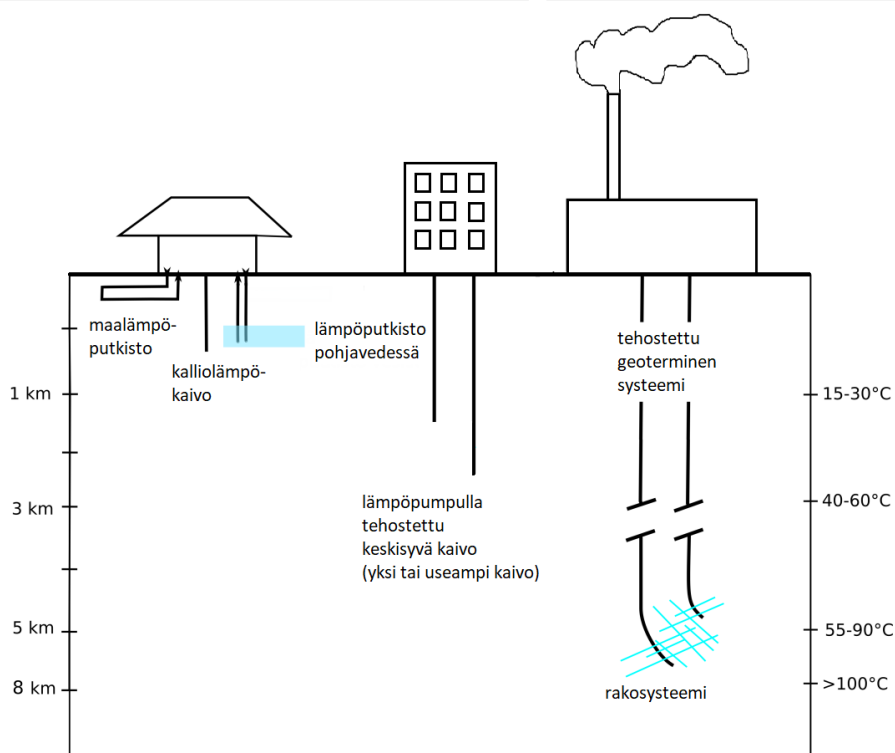


KUVA 2. Kasvihuonepäästöt EU:ssa vuonna 2019 (Euroopan parlamentti 2022)

Suomen hallituksen tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuonna 2035. Tämä tarkoittaa sitä, että Suomi tuottaa hiilipäästöjä sen verran, mitä hiilinielut pystyvät hiiltä sitomaan. Keinoja, joilla tämä tavoite tulisi saada täytettyä ovat lähes päästötön sähkön- ja lämmöntuotto 2030-luvun loppuun mennessä, hiilijalanjäljen pienentäminen rakentamisessa, ilmastoystävällinen ruokapolitiikka, kiertotalouden edistäminen ja ympäristöhaittojen verottaminen. Luonnonsuojelulainsäädäntöä uudistetaan ja luonnon monimuotoisuuden suojelun rahoitusta vahvistetaan, jotta luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen saataisiin pysäytettyä. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon; Yle 2019.)

2 GEOENERGIA ELI MAALÄMPÖ

Geoenergia eli maalämpö on uusiutuvaa, maahan varastoitunutta auringon lämpöenergiaa. Se varastoituu lämmittämällä maaperää tai vesistöjä. Syvemmillä kallioperässä oleva lämpöenergia on geotermistä energiaa, mitä syntyy radioaktiivisten aineisen hajoamisesta. Geoenergia on lämmitys- ja viilennysratkaisuna vakaa ja taloudellisesti kannattava. Geoenergialla saa myös vähennettyä paljon hiilidioksidipäästöjä. (Adven julkaisuaika tuntematon; FCG Suunnittelu ja tekniikka 2017; GTK 2019; Thermia julkaisuaika tuntematon.)



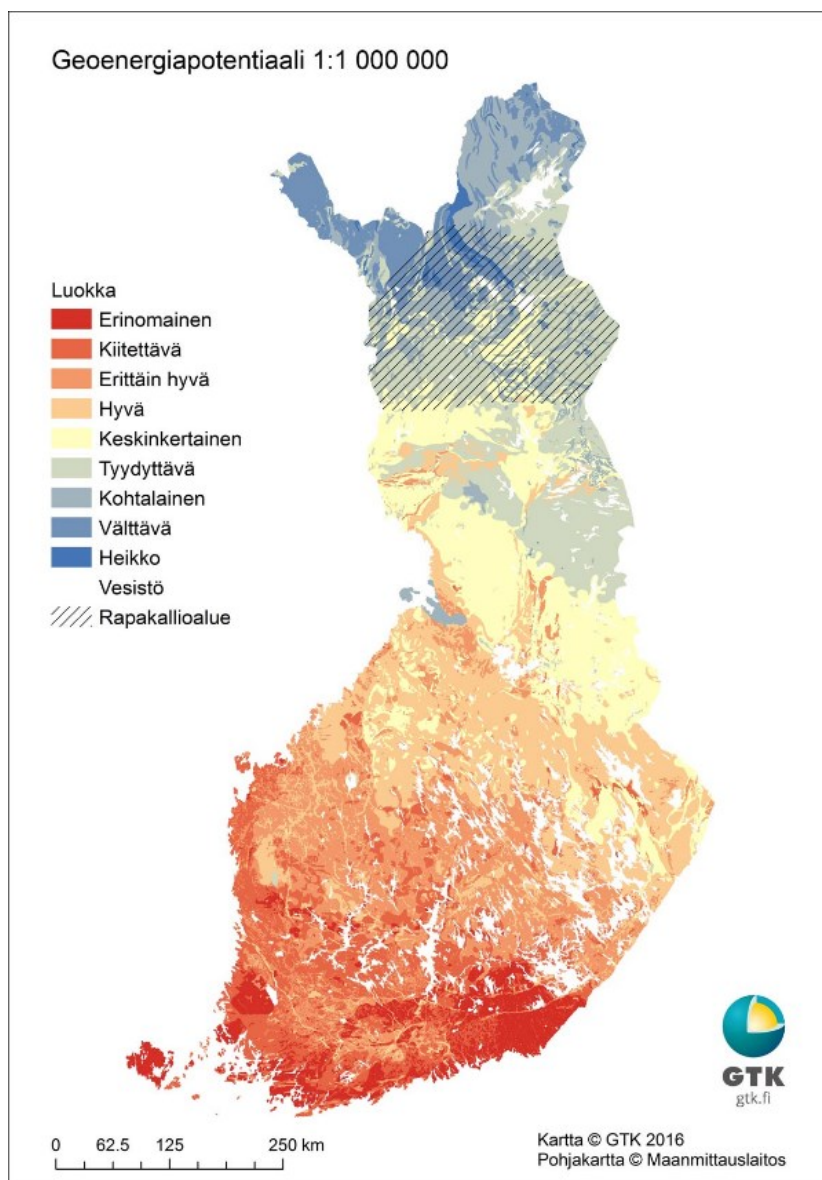
KUVA 3. Geoenergian hyödyntämismenetelmät (GTK julkaisuaika tuntematon)

Yllä olevassa kuvassa (KUVA 3.) esitetään keinoja geoenergian hyödyntämiseen. Kuvassa vasemmassa energiakaivo, mitä käytetään yleensä maalämpöä hyödyntäessä. Kuvassa keskellä keskisyvä kaivo, mikä hyödyntää geotermistä energiaa ja porataan 1–3 kilometrin syvyyteen sekä oikealla syvät energiakaivot. Syvät ja keskisyvät geotermistä energiaa hyödyntävät kaivot ovat vielä Suomessa harvinaisia ja tässä opinnäytetyössä perehdytään vain maalämpökaivoihin, eli energiakaivoihin.

2.1 Geoenergiapotentiaali

Geoenergiapotentiaalilla tarkoitetaan maaperän soveltuvuutta maalämmön käyttöön. Geoenergiapotentiaaliin vaikuttaa muun muassa maaperän paksuus, maantieteellinen sijainti ja kallioperän ominaisuudet. (Huusko, Lahtinen, Martinkauppi, Putkinen, Putkinen & Wik 2015, 2–3.)

Maaperän lämpötilaan taas vaikuttaa maantieteellinen sijainti ja se voi vaihdella myös paikallisesti. Myös ilmanlämpötila vaikuttaa maanpinnan keskilämpötilaan. Maan lämpötila kuitenkin vakiintuu 5–6 asteeseen noin 14–15 metrin syvyydessä ja nousee siitä noin 0,5–1 celsius astetta 100 metriä kohden. Yleensä maa- ja kallioperän pintaosien keskilämpötila on muutaman asteen korkeampi, kuin ilman vuotuinen keskilämpötila. (FCG suunnittelu ja tekniikka 2016, 2–3; Juvonen & Lapinlampi 2013, 4.)



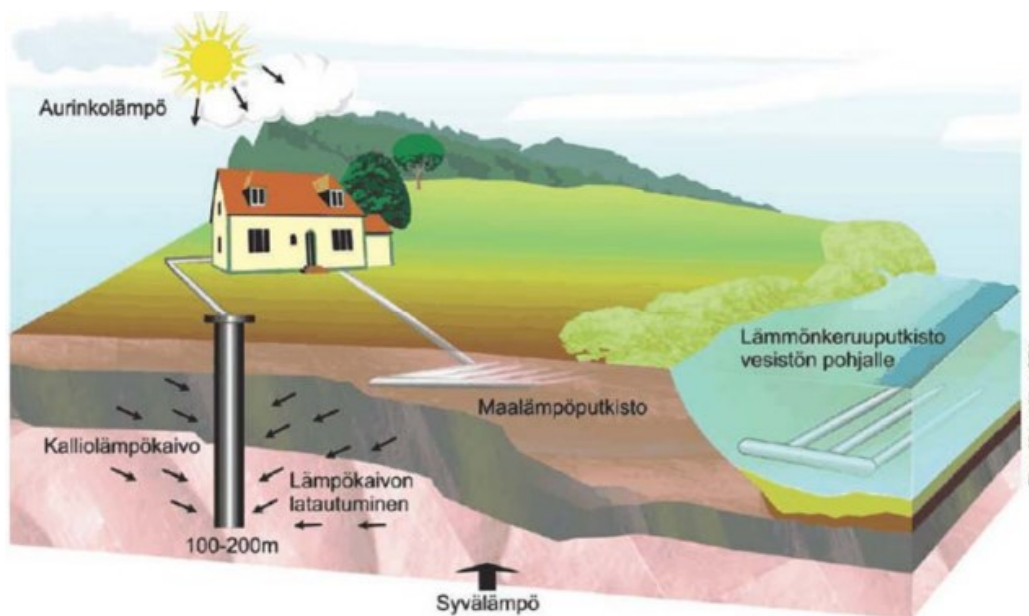
KUVA 4. Suomen geoenergiapotentiaali (GTK 2016)

Kuvassa 4 näkyy Suomen geoenergiapotentiaali. Potentiaali on paras etelässä ja heikkenee pohjoiseen mennessä. Geoenergian hyödyntämisessä kivilajien ominaisuudet ovat merkittävässä osassa. FCG Suunnittelu ja tekniikan tekemän tutkimuksen mukaan Pohjois-Savon kivilajien lämmönjohtavuus on hieman Suomen keskiarvoa heikompi. Suomen keskiarvo on 3,24 W/mK ja Pohjois-Savon keskiarvo 3,12 W/mK. (FCG Suunnittelu ja tekniikka 2017.)

3 MAALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN LÄMMITYKSESSÄ

Maalämmön sopiminen kiinteistön lämmitykseen riippuu kiinteistön koosta, sijainnista, kalloperän lämpöteknisistä ominaisuuksista ja lämmitysenergiatarpeesta. Maalämpö ei sovellu lämmitysmenetelmäksi esimerkiksi silloin, jos tontti sijaitsee pohjavesialueella, tai alueella on maanalaisia rakenteita. (Isohookana J. 2021; Sweco 2019.)

Maalämpöä voi hyödyntää lämmitykseen maahan porattavan energiakaivon kautta, maan pintakerrokseen asennettavan vaakasuuntaisen lämmönkeruupiirin kautta tai vesistön pohjaan asennetun lämmönkeruupiirin kautta. Tyyliä ovat esitetty kuvassa 5. Ensimmäisessä tyyliässä maahan porataan yleensä n. 100–350 metriä syvä energiakaivo, johon lämmönkeruuputkisto asennetaan. Toinen tapa on vaakasuuntainen lämmönkeruupiiri, joka asennetaan maan pintakerrokseen, noin metrin syvyyteen. Vaakasuuntaisen lämmönkeruupiirin voi asentaa myös vesistöön. Yleisimmin käytetty tyyli on energiakaivon poraus, mutta tilanteissa, joissa energiakaivoa ei kannata porata, maakerroksen paksuus on suuri tai maapinta-alaa on runsaasti käytettävissä, käytetään vaakasuuntaisia lämmönkeruupiirejä. (Isohookana J. 2021; Thermia julkaisuaika tuntematon,b.)

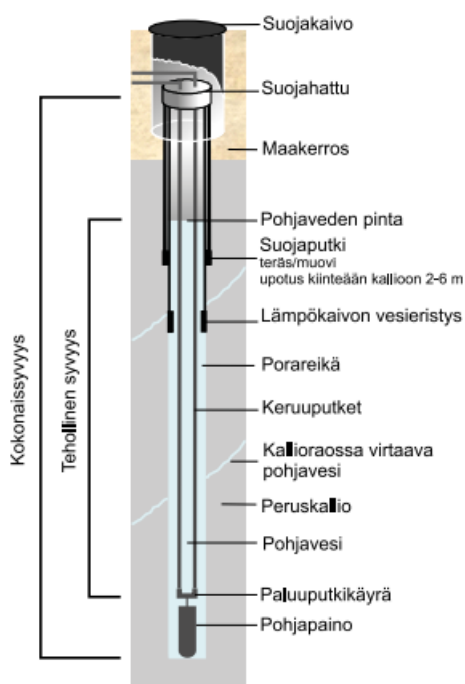


KUVA 5. Maalämmön hyödyntämisen keinot (Helsingin kaupunki 2017, 6)

3.1 Energiakaivo

Maalämpöä päästään hyödyntämään lämmitykseen poraamalla maahan energiakaivo, joka on yleensä halkaisijaltaan noin 130–150 millimetriä ja 100–350 metriä syvä. Energiakaivon syvyys riippuu kallioperän lämmönjohtavuudesta, pohjaveden virtauksesta ja maanpeitteiden paksuudesta. Energiakaivon voi porata viistoon tai pystysuoraan. Kaivojen etäisyys toisiinsa on oltava vähintään 15 metriä. (FCG Suunnittelu ja tekniikka 2016, 6; Isohookana J. 2021; Thermia julkaisuaika tuntematon, a.)

Energiakaivoon asennetaan porauksen jälkeen U-mallinen lämmönkeruuputkisto, missä kiertää lämmönkeruuneste. Tämä neste on yleensä sekoitus 70 % vettä ja 30 % bioetanolia. Lämmönkeruunesteessä on bioetanolia alentamassa nesteen jäätymispistettä. Keruuputkiston neste sitoo itseensä lämpöenergiaa maa- ja kallioperästä, mistä se saadaan hyödynnettyä rakennusten lämmittämiseen. Alla olevassa kuvassa (KUVA 6) on esitetty energiakaivon rakenne. (Isohookana J. 2021; Thermia julkaisuaika tuntematon, a.)



KUVA 6. Energiakaivon rakenne (Juvonen & Lapinlampi 2013, 35)

Lämmönkeruuneste lämpenee lämmönkeruuputkistossa 2–5 astetta. Sieltä neste tulee höyrystimelle, josta lämpö siirtyy höyrystimen välityksellä kylmäaineeseen. Tämän jälkeen lämmönkeruuneste palaa takaisin maapiiriin. Lämmön vaikutuksesta kylmäaine lämpenee ja kaasuuntuu. Höyrystimeltä kaasuuntunut kylmäaine siirtyy kompressorille, mikä nostaa vielä entisestään sen lämpötilaa ja painetta. Tämän jälkeen kylmäaine siirtyy lauhduttimelle, missä se lauhtuu takaisin nesteeksi luovuttaen lämpöenergian rakennuksen lämmönjakojärjestelmään. Kylmäaine palaa tästä paisuntaventtiiliin kautta takaisin höyrystimelle ja kierto alkaa sen jälkeen taas alusta. Energiakaivosta saadaan 30–45 W/m lämpöteho, riippuen kaivon sijainnista. Energiakaivosta otettu lämpö kuitenkin jäädyttää ym-

päroivää maata ja kalliota. Energiakaivon käytön alkuvaiheessa kallioperän lämpötilaa laskee nopeiten, varsinkin kahden ensimmäisen kuukauden aikana. Viiden vuoden käytön jälkeen lämpötila vaikiintuu. Jos energiakaivo on alimitoitettu, voi kaivo jäätyä, sillä kallioperä ei kykene palautumaan riittävästi lämmönnotosta. Jäätyminen voi tapahtua myös vasta 5–10 vuoden kuluttua. Energiakaivojen ikää voi kuitenkin pidentää, jos kaivoa käytetään myös viilennykseen. Tällöin viilennyskautena kallioon siirretystä lämmöstä voidaan hyödyntää noin 80 % uudestaan lämmityskautena. (FCG Suunnittelu ja tekniikka 2016, 6; Juvonen & Lapinlampi 2013, 10; Thermia julkaisuaika tuntematon, a; Laaksonen, Penttinen, Heinilä, Hilpinen, Ruuskanen, Mattila, Raninen, Ojala & Miettinen 2020, 61–62.)

Energiakaivoratkaisu lämmitysratkaisuna on muihin verrattuna kalliimpi hankintakustannuksiltaan, mutta käyttökustannukset tulevat muita edullisemmaksi. Toimiakseen geoenergiajärjestelmä vaatii kuitenkin jonkin verran sähköenergiaa, mutta tuottaa kolmin- tai nelinkertaisen määrän lämpöenergiaa verrattuna käyttämäänsä sähköenergiaan. Energiakaivojen tilantarve on myös vähäinen. (FCG Suunnittelu ja tekniikka 2016, 6; Lauttamäki 2018, 21; Tom Allen Senera julkaisuaika tuntematon, a.)

3.1.1 Energiakaivoon liittyvät lainsäädännöt, määräykset ja ohjeistukset

Energiakaivojen poraamisilla voi olla merkittäviä ympäristövaikutuksia. Näin ollen energiakaivoihin liittyy useita lakeja ja ohjeistuksia. Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) pitää sisällään rakennuslupien ja toimenpidelupien tarpeen. Vesilaki (587/2011) ohjeistaa, jos maalämmön rakentaminen tarvitsee vesilain mukaisen luvan. Ympäristönsuojelulaisissa (86/2000) on säädetty pohjaveden piläämiskielto, sillä pohjavesialueelle maalämpöjärjestelmän rakentaminen on riski. Terveystoimintalaki (763/1994) liittyy lämmitysjärjestelmän mitoittamiseen, käyttöveden lämpötilaan ja talousveden laatuun. Kiinteistönmuodostamislaki (554/1995) liittyy porakaivojen sijoitteluun, jos esimerkiksi vinopora-kaivo ulottuu naapurin tontin puolelle. Kemikaalilaki (774/1989) liittyy maalämpöpiirin lämmönkeruunesteisiin. (FCG Suunnittelu ja tekniikka 2016, 7–8.)

Suomessa ei ole valtakunnallista ohjeistusta maalämpökaivojen rakentamisesta pohjavesialueille, vaan kunnat ohjaavat maalämpöjärjestelmien rakentamista yllä olevien lakien mukaan. Taulukossa 1 esitetään energiakaivojen minimietäisyyksiä eri kohteisiin, jotka täytyy huomioida energiakaivojen sijaintia mietittäessä. (FCG Suunnittelu ja tekniikka 2016, 7–8.)

TAULUKKO 1. Energiakaivojen porareikien suositellut minimietäisyyden eri kohteisiin (Juvonen & Lapinlampi 2013, 25)

Kohde	Suosittelut minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m ^[14]
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porareian ollessa pystysuora

** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

3.2 Vaakasuuntainen lämmönkeruupiiri

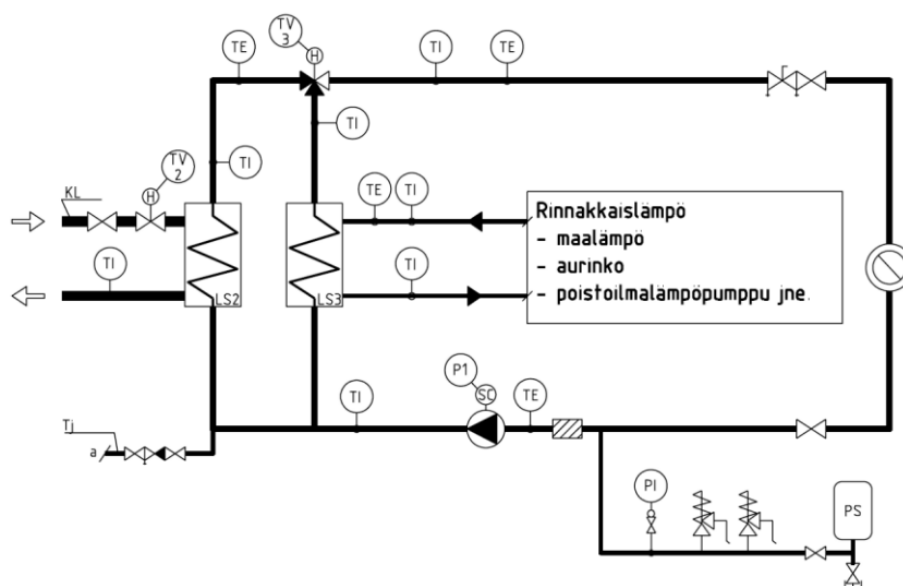
Vähemmän käytetty lämmönkeruu menetelmä maalämmössä on vaakasuuntainen lämmönkeruupiiri. Tätä menetelmää käytetään lähinnä vain silloin, kun energiakaivoja ei kannata porata alueelle, tai maapinta-alaa on runsaasti. Jos maakerroksen paksuus on suuri, kasvaa energiakaivon teräsuojaputkien kustannukset liian korkeiksi, eikä niitä sen vuoksi kannata porata. Teräsuojaputkea käytetään estämään maa-aineksen sortuminen lämpökaivoon ja se tekee maakerroksen porauksesta hinnaltaan noin kolmin- tai nelinkertainen kallioperän poraukseen verrattuna. (Isohookana J. 2021; Tom Allen Senera julkaisuaika tuntematon, b.)

Maaperään asennettava lämmönkeruupiiri toimii parhaiten kosteassa savisessa maastossa, koska se luovuttaa paremmin auringon tuottamaa lämpöenergiaa kuiviin maaperiin verrattuna. Keruuputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen ja se vaatii noin 1,5 m² putkimetriä kohden. Tällä menetelmällä saadaan lämpötehoa noin 10–13 W/m Pohjois-Suomessa ja 12–15 W/m Etelä-Suomessa. (FCG Suunnittelu ja tekniikka 2016, 6–7.)

Vesistöpiirissä vaakasuuntainen lämmönkeruupiiri asennetaan vesistöön. Vesistön on oltava vähintään kolme metriä syvä, jottei jää riko putkistoa. Vesistöpiiri kiinnitetään veden pohjaan betonipainoilla noin kahden metrin välein. Vesistöstä saatava teho vuodessa on noin 70–80 kWh/putkimetri. (Hietanen 2021, 9; Thermia julkaisuaika tuntematon, b.)

4 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Hybridilämmitysjärjestelmällä tarkoitetaan eri energiantuotantomuotojen yhdistämistä lämmityksen tuotossa. Tässä työssä tarkastellaan kaukolämmön ja maalämmön yhdistämistä. Hybridilämmityksen valintaan syitä voivat olla esimerkiksi kustannukset, toimintavarmuus tai jos yhdellä energiantuotantomuodolla ei saada tuotettua tarpeeksi energiaa kohteeseen. Esimerkiksi maalämmöllä ei välttämättä saada tuotettua tarvittavaa energiamäärä suurille kohteille, varsinkaan talviaikaan. Tämän vuoksi tarvitaan toinen lämmitysjärjestelmä, jotta saadaan turvattua lämmönsaanti ympäri vuoden. (Kantaputki julkaisuaika tuntematon; HögforsGST 2022.)



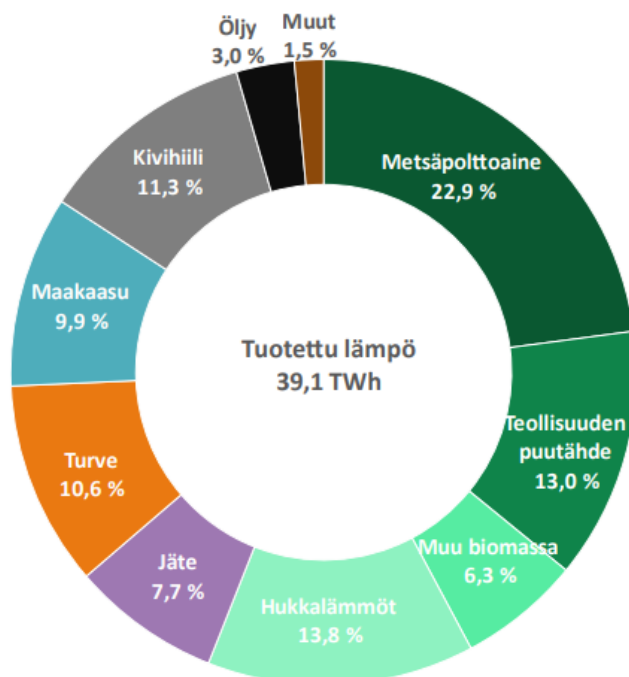
KUVA 7. Esimerkki hybridilämmityksen kytkennästä (Energiateollisuus 2020, 92)

Kuvassa 7 on esitetty periaate hybridilämmitysjärjestelmän kytkennästä. Kuvassa lämmönsiirrin LS2 on kaukolämmönlämmönsiirrin ja lämmönsiirrin LS3 jonkin rinnakkaislämmön, esimerkiksi maalämmön, lämmönsiirrin. Kyseisessä kytkennässä lämmitys katetaan pääasiassa LS3 lämmönsiirtimellä, mutta jos lämmitysverkkoon menevän veden lämpötila ei pysy halutussa, saadaan lisälämpöä kaukolämmön lämmönsiirtimestä LS2. (Energiateollisuus 2020, 92.)

4.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto taajamissa ja kaupungeissa Suomessa. Kaukolämmöllä tuotettiin noin 45 % Suomen asuin- ja palvelurakennusten lämmitysenergiasta vuonna 2020. Suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan voimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa, missä tuotetaan sähköä tai lämpöä, teollisuuden ylijäämälämmöstä ja hukkalämmöstä. Sähköä ja lämpöä tuotetaan myös paljon polttamalla. Yleisimpiä polttoaineita ovat biomassa, muut uusiutuvat energialähteet, kivihiili, turve,

maakaasu sekä öljy, jota käytetään lähinnä varapolttoaineena. Kivihiilen käyttö on tarkoitus lopettaa vuoteen 2029 mennessä ja turpeen käyttöä vähentää merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Kaukolämmön tuotanto on siirtynyt enemmän ja enemmän uusiutuvan energian käyttöön. Alla olevasta kuvasta (KUVA 8.) selviää kaukolämmön tuotannon jakautuminen eri energialähteille vuonna 2021. (Energia maailma julkaisuaika tuntematon; Motiva 2022; Energiateollisuus 2022, 3–12.)



KUVA 8. Vuoden 2020 kaukolämmön energialähteet (Energiateollisuus 2022, 12)



KUVA 9. Kaukolämmön periaate (Energiateollisuus julkaisuaika tuntematon)

Kuvassa 9 esitetään kaukolämmön toimintaperiaate. Kaukolämmössä lämpö siirtyy käyttäjälle kaukolämpöverkossa kiertävän veden kautta. Vesi kulkee maan alle rakennetuissa kaksiputkisissa kaukolämpöverkostoissa. Lämmin vesi kulkee verkostoa pitkin asiakkaan lämmönjakokeskukseen, missä veden lämpöenergia siirtyy asiakkaan lämmönjakolaitteissa kiertävään veteen. Tämän jälkeen jäähtynyt kaukolämpöverkoston vesi kiertää takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi ja

kierto alkaa alusta. (Energia maailma julkaisuaika tuntematon; Energiateollisuus julkaisuaika tuntematon.)

4.2 Kaukolämmön ja maalämmön yhdistäminen

Maalämpöä ja kaukolämpöä yhdistetään muuan muassa siksi, että maalämpöä saadaan tuotettua edullisesti ja päästöttömästi, ja kaukolämpö on turvaamassa energiansaannin. Esimerkiksi suuremmissa lämmitystarpeissa maalämpö ei yksin riitä kattamaan energiansaantia, vaan silloin tarvitaan toinen lämmitysjärjestelmä varmistamaan energiansaanti. Maalämpö tarvitsee myös tontilta tilaa energiakaivoihin, ja varsinkin tiheään rakennetuilla keskustan alueilla tilaa ei ole tarpeeksi monen energiakaivon poraamiseen, jotta maalämmöllä saataisiin katettua koko energiatarve. Maalämpöjärjestelmä on myös mahdollista lisätä jo kaukolämpöverkossa olevan rakennuksen toiseksi lämmöntuottajaksi. (Techeat julkaisuaika tuntematon; Kantaputki julkaisuaika tuntematon.)

5 TYÖN TOTEUTUS JA TULOKSET

Opinnäytetyöhön saatiin tiedot Kuopion kaupungilta tulevista uudiskohteista ja jo olemassa olevien kiinteistöjen laajennushankkeista välille Sorsasalo – Pitkälähti. Laajennushankkeet rajattiin työn ulkopuolelle, koska ei ole tiedossa minkä kokoisia kiinteistöjä tonteilla on jo ennestään. Näin ollen maalämmön mitoittaminen olisi ollut hankalaa, eikä olisi antanut todellista suuntaa maalämmöllä lämmityksen mahdollisuuksista.

Uudiskohteista rajattiin pois pientalot, kerros- ja rivitalot sekä vapaa-ajan asunnot. Tämä rajaus tehtiin suoraan siksi, että näissä kohteissa on tietävästi pienempi energiankulutus, eivätkä ne tulisi yltämään opinnäytetyössä tarkasteltavaan energiankulutusmäärään. Muut kohteet tarkasteltiin käyttötarkoituksen ja rakennuksen koon mukaan, ja laskettiin kohteiden lämmitysenergiantarve. Laskelman jälkeen kohteista valittiin ne, joiden lämmitysenergiantarve ylitti 500 MWh vuodessa.

5.1 Rakennusten lämmitysenergian ja Energiakaivojen mitoitus

Rakennusten lämmitysenergiantarpeen laskennassa otetaan huomioon säätiedot, sisäilmasto, lämpöhäviöt, joihin lasketaan rakennuksen, vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon häviöt, lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat, jäähdytys, valaistus ja lämpökuormat. (Ympäristöministeriö 2012b, 12.)

Opinnäytetyön kohteista on tiedossa vain rakennuksen kerrosala, joten todellisuudessa energiankulutus voi siis erota kohteissa huomattavasti tämän työn laskelmista. Tiedonpuutteen vuoksi ei voida mitoittaa tarkkaa energiatarvetta rakennuksille. Opinnäytetyössä päädyttiin käyttämään käyttötarkoitukseen perustuvaa energiatarpeen arviointia pelkkään pinta-alaan perustuvan energiatarpeen arvioinnin sijasta, sillä käyttötarkoitus vaikuttaa suuresti työn kohteiden energiankulutukseen. Laskennoissa käytettiin uudisrakennusten suurinta sallittua kokonaisenergiankulutusta, jota kutsutaan E-luvuksi.

E-luku on rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus standardikäytöllä nettoalaa kohden. Eri energiamuodoille on omat kertoimet, joita käytetään E-lukua laskiessa. Uusiutuva omavaraisenergia, esimerkiksi maalämpö, pienentää rakennuksen E-lukua, sillä se ei ole ostoenergiaa. E-lukuun lasketaan myös valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö. Valaistuksen ja laitteiden sähkönkäyttö katsotaan kuitenkin samaksi niiden tuottamien lämpökuormien kanssa, joten sähkön käyttöä ei tarvitse laskelmista vähentää. (Ympäristöministeriö 2012a, 8–9, 25.)

E-luvun raja on määritelty uudisrakennuksille käyttötarkoituksen mukaan yhdeksässä eri luokassa. Luokat ovat pientalo, rivi- ja ketjutalo, asuinkerrostalo, toimistorakennus, liikerakennus, majoitusliikerakennus, opetusrakennus ja päiväkotijärjestelmä, liikuntahalli, sairaala ja muut rakennukset. Opinnäytetyössä käytetyt E-luvut on esitetty alla olevassa taulukossa 2. (Ympäristöministeriö 2012a, 8–9.)

TAULUKKO 2. Työssä käytettyjen uudisrakennusten E-luvut

Uudisrakennusten E-luku		
	Käyttötarkoitus	kWh/m ² vuodessa
Luokka 3	Toimistorakennus	170
Luokka 4	Liikerakennus	240
Luokka 5	Majoitusliikerakennus	240
Luokka 6	Opetusrakennus ja päiväkot	170
Luokka 7	Liikuntahalli	170
Luokka 8	Sairaala	450

Työhön valikoitui yhteensä 18 kohdetta, joiden lämmitysenergian tarve on suurimmalla sallitulla E-luvulla yli 500MWh vuodessa. Jäähalli ja varastorakennukset jätettiin pois laskennasta, koska niiden energiankulutus on niin vaihtelevaa, ettei niiden E-luvulle ole asetettu vaatimusta (Ympäristöministeriö 2012a, 8–9). Näillä tiedoilla olisi ollut hyvin haastavaa lähteä energiantarvetta arvioimaan. Opin- näytetyön kohteet ja vuotuinen lämmitysenergiatarve megawatteina esitelty alla olevassa taulukossa.

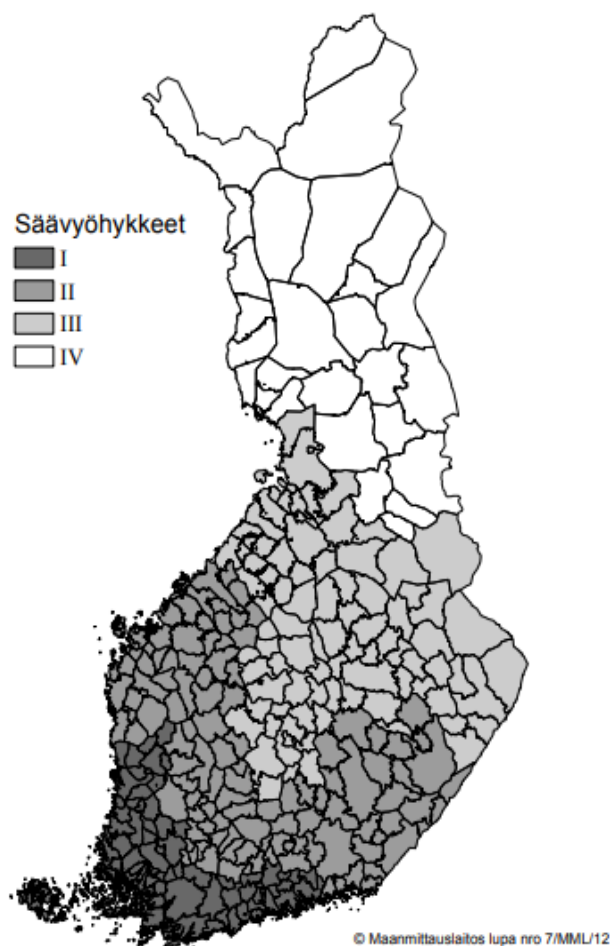
TAULUKKO 3. Työn kohteet, käyttötarkoitus, sijainti ja vuotuinen lämmitysenergiatarve

Käyttötarkoitus	Sijainti	Lämmitysenergiatarve MWh/a
Liike-, tavaratalo tai kauppakeskus 1	Niirala	1374
Liike-, tavaratalo tai kauppakeskus 2	Peipposenrinne	623
Mymälärakennus	Peipposenrinne	1110
Hotelli, motelli, matkustajakoti tai kylpylähotelli	Väinölänniemi	985
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 1	Haapaniemi	791
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 2	Puijonlaakso	888
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 3	Hatsala	1036
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 4	Hatsala	1391
Keskussairaala	Puijonlaakso	6177
Muu sairaala	Hatsala	1575
Vanhainkoti	Levänen	755
Monitoimi- ja muu urheiluhalli 1	Puijonlaakso	1205
Monitoimi- ja muu urheiluhalli 2	Neulamäki	2156
Peruskoulu, lukio tai muu 1	Rypysuo	508
Peruskoulu, lukio tai muu 2	Päiväranta	1114
Peruskoulu, lukio tai muu 3	Levänen	714
Ammatillinen oppilaitos	Hatsala	1229
Tutkimuslaitosrakennus	Pieni Neulamäki	884

5.2 Energiakaivosta saatava lämmitysteho

Energiakaivojen mitoitus perustuu kiinteistön lämmitysenergian ja lämmitystehon tarpeeseen. Tähän vaikuttaa rakennus, käyttöveden tarve, maantieteellinen sijainti sekä ilmanvaihto. Maaperän ominaisuudet, kuten kivilaatu ja lämpötila, vaikuttavat suuresti energiakaivojen mitoitukseen. Mi-

toitukseen vaikuttaa myös ilmaston lämpötilat. Alla olevassa kuvassa on esitetty Suomen säävyöhykkeet. Suomi on jaettu neljään vyöhykkeeseen ja alueille on laskettu mitoitettava ulkolämpötila ja vuoden keskimääräinen ulkolämpötila. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 20, 30.)



Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä		
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila °C
I	- 26	5,3
II	- 29	4,6
III	- 32	3,2
IV	- 38	- 0,4

KUVA 10. Suomen säävyöhykkeet maalämmön mitoitusta varten (Juvonen & Lapinlampi 2013, 20)

Energiakaivojen mitoituksessa tulee huomioida kaivon hyödyntäminen käyttöveden lämmityksessä ja huoneilman jäähdytyksessä. Myös kaivojen kokonaissyvyys, tehollinen syvyys, siirtoputkiston pituus energiakaivolta lämpöpumpulle sekä onko kyseessä vino vai suora kaivo vaikuttavat mitoitukseen. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 30.) Tässä opinnäytetyössä näitä asioita ei kuitenkaan voida huomioida, vaan mitoitus tehdään hyvin suurpiirteisesti.

Pohjois-Savon alueelle on tehty geoenergiapotentialiselvitys vuonna 2017. Selvitys antaa suuntaa geoenergian hyödyntämiseen. Sen mukaan opinnäytetyössä tarkasteltava alue, Pitkälähti - Sorsasalo, on pääosin hyvin tai kohtalaisesti soveltuvaa aluetta geoenergian hyödyntämiselle. Alueelta löytyy myös muutamia erittäin hyvin soveltuvia alueita. Koko Pohjois-Savon alueen maapeitteiden keskiarvo oli 7,5 metriä ja kivilajien lämmönjohtavuuden keskiarvo 3,12 W/mK. (Pohjois-Savon liitto, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 2017; FCG Suunnittelu ja tekniikka 2017, 13–14.)

Energiakaivojen mitoituksen tarkkaan laskemiseen tarvittaisiin tarkat tiedot tontin maaperästä. Varsinkin suurempien, yli 10 energiakaivon kaivokenttiin, on suositeltavaa tehdä maaperän TRT-mittaus. Maaperän TRT mittauksella tarkoitetaan termistä vastetestiä. Siinä määritellään kallion termiset ominaisuudet, kallion lämmönjohtavuus, häiriintymätön lämpötila ja porakaivon vastus. (Lapon 2022.)

Opinnäytetyön kohteiden energiantarpeen perusteella päätellään, että kohteisiin olisi tulossa useita kaivoja, joten voidaan puhua kaivokentistä. Kaivokentällä voidaan arvioida saatavaksi 90–100 kWh metriä kohden. (Gebwell julkaisuaika tuntematon a.) Tässä työssä päädyttiin käyttämään 90 kWh/m ja energiakaivon syvyytenä 300 metriä ja 400 metriä.

Kaivokentän mitoitukseen käytettiin tontin kokoa, josta vähennettiin rakennuksen koko. Laskennassa oletetaan, että rakennus tulee tontin reunaan. Pohjavesialueita tai muita maanalaisia rakennelmia ei tämän työn mitoituksessa huomioida. Laskelmassa huomioidaan etäisyys toisiin kaivoihin, rakennuksiin ja tontin rajaan suositeltujen minietäisyyksien mukaan, jotka esitetty kuvassa 7.

Koska rakennuksen ja tontin muoto ei ole selvillä, tontin pinta-alasta vähennettiin suoraan rakennuksen kerrosala. Mikäli kerrosala mahtui tontille kokonaisuudessaan, oletettiin että kyseessä on yksikerroksinen rakennus. Jos kerrosala oli tonttia suurempi, oletetaan kerroksia olevan sen verran, että rakennus mahtuu tontille. Oletetaan myös, että tontti on neliön muotoinen.

Energiakaivojen mitoituksen jälkeen laskettiin paljonko kullekin tontille olisi mahdollista saada lämmitysenergiaa maalämmöllä. Tulokset näkyvät alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 4. Energiakaivojen mitoitus 300 metriä syvillä kaivoilla

Kaivojen mitoitus 300 m			
	kaivojen lkm.	Saatava ener- gia MWh/a	Lämmitysenergiantarve MWh/a
Käyttötarkoitus			
Liike-, tavaratalo tai kauppakeskus 1	52	1350	1373,52
Liike-, tavaratalo tai kauppakeskus 2	24	648	622,56
Myymlä rakennus	18	486	1110
Hotelli, motelli, matkustajakoti tai kylpylähotelli	37	999	985,44
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 1	2	54	791,28
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 2	3	81	888
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 3	2	54	1036,32
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 4	20	540	1391,28
Keskussairaala	100	2700	6177
Muu sairaala	52	1404	1575
Vanhainkoti	28	756	755,28
Monitoimi- ja muu urheiluhalli 1	23	621	1205
Monitoimi- ja muu urheiluhalli 2	52	1404	2156
Peruskoulu, lukio tai muu 1	19	513	508
Peruskoulu, lukio tai muu 2	43	1161	1114
Peruskoulu, lukio tai muu 3	27	729	714
Ammatillinen oppilaitos	46	1242	1229
Tutkimuslaitosrakennus	33	891	884

Kuten aiemmin todettiin, kaivot laskettiin 300 metriä syviksi ja saatavaksi energiamääräksi 90 kWh/m vuodessa. Opinnäytetyön kohteille saatavat kaivomäärät vaihtelevat muutamasta kaivosta useisiin kymmeneen. Teoriassa osan kohteiden energiatarpeista saisi katettua kokonaan geoenergialla.

Kaivojen syvyyden vertailun vuoksi tehtiin laskelma vielä 400 metriä syvillä kaivoilla. Tulokset esitetty alla olevassa taulukossa.

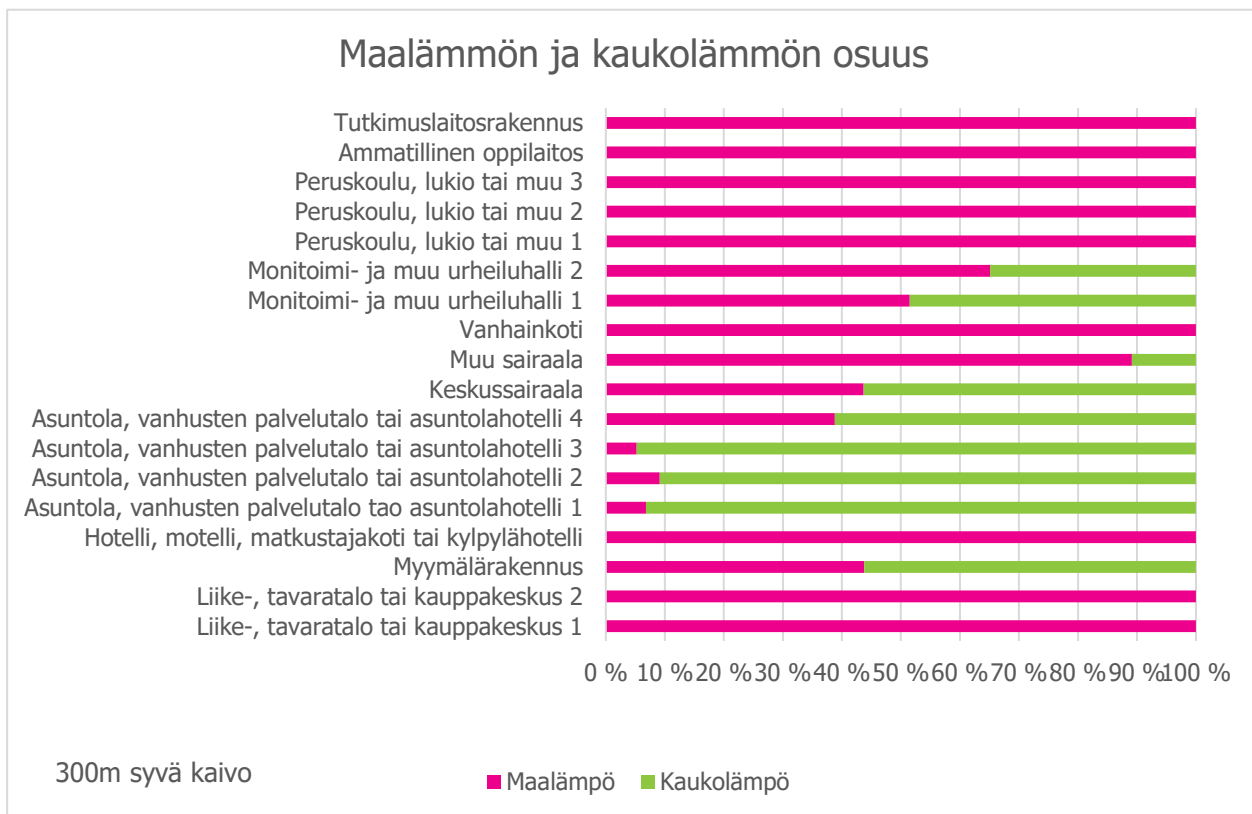
TAULUKKO 5. Energiakaivojen mitoitus 400 metriä syvillä kaivoilla

Kaivojen mitoitus 400 m			
Käyttötarkoitus	kaivojen lkm.	Saatava energia MWh/a	Lämmitysenergian tarve MWh/a
Liike-, tavaratalo tai kauppakeskus 1	39	1404	1373,52
Liike-, tavaratalo tai kauppakeskus 2	18	648	622,56
Myymälärakennus	18	648	1110
Hotelli, motelli, matkustajakoti tai kylpylähotelli	28	1008	985,44
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 1	2	72	791,28
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 2	3	108	888
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 3	2	72	1036,32
Asuntola, vanhusten palvelutalo tai asuntolahotelli 4	20	720	1391,28
Keskussairaala	100	3600	6177
Muu sairaala	44	1584	1575
Vanhainkoti	21	756	755,28
Monitoimi- ja muu urheiluhalli 1	23	828	1205
Monitoimi- ja muu urheiluhalli 2	52	1872	2156
Peruskoulu, lukio tai muu 1	15	540	508
Peruskoulu, lukio tai muu 2	33	1188	1114
Peruskoulu, lukio tai muu 3	20	720	714
Ammatillinen oppilaitos	35	1260	1229
Tutkimuslaitosrakennus	25	900	884

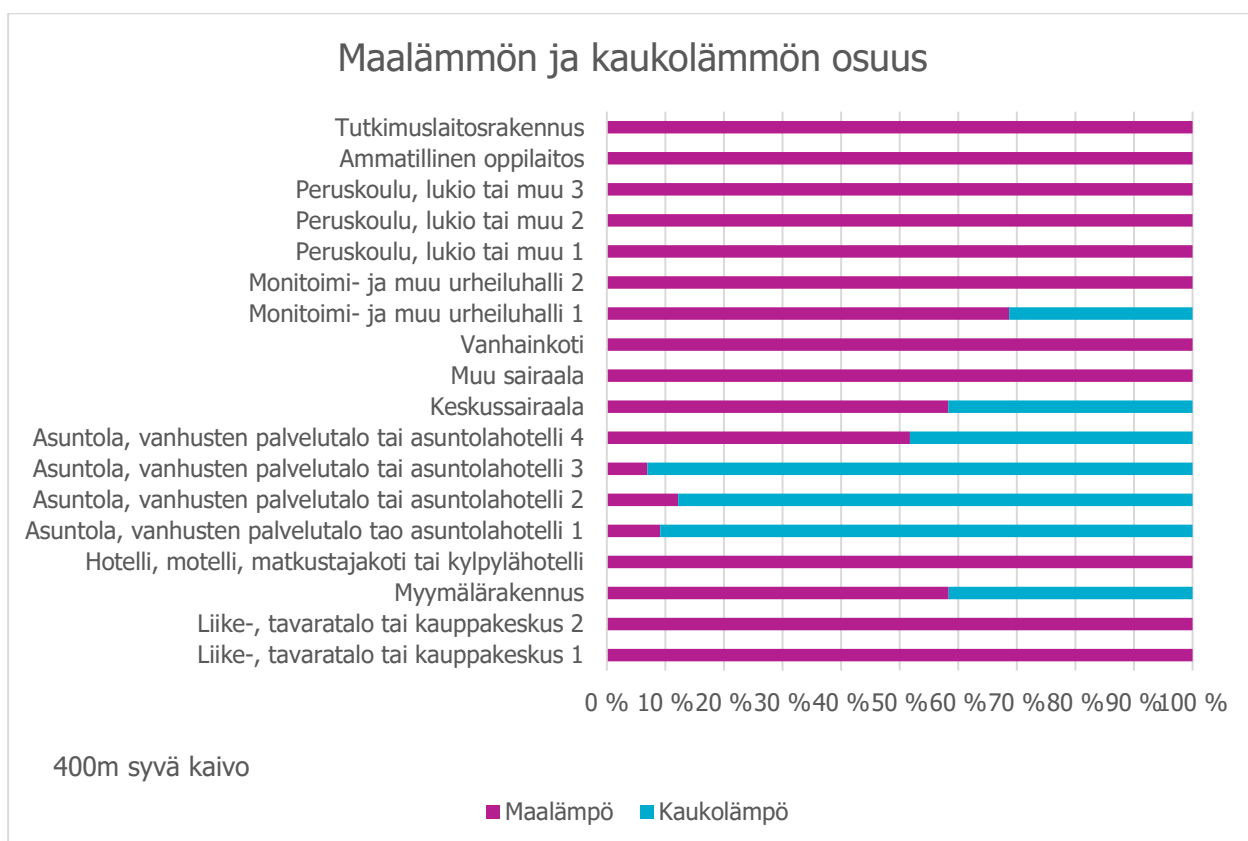
Vertailussa selvisi, että oletetusti syvemmillä kaivoilla saataisiin kaivojen määrää pienennettyä ja saavutettaisiin sama energiamäärä. Lopulliseen kaivojen määrään ja syvyyteen vaikuttaa maalämmön tarkat mitoitukset, tehontarve ja kustannukset. Tiedustelin energiakaivojen rakentamisen kannattavuudesta Gebwell Oy:n kaukolämmön ja maalämmön mitoituksen asiantuntijalta, ja hänen mukaansa ei ole tiettyä määrää, mitä kaivoja on kannattavaa rakentaa, vaan se on riippuvainen kohteesta ja kohteen tarpeista. Hybridilämmityksessä tulee myös huomioida, halutaanko tehdä maalämmön mitoitus kattamaan kuinka suuren osan energiantarpeesta, ja verrata kustannuksia sitäkin kautta. Yleensä hybridikohteissa maalämmön mitoitus tehdään 60–80 % huipputehontarpeesta, jolloin saadaan kuitenkin katettua lähes 95–99 % koko energiantarpeesta. (Harinen 2022; Motiva 2021.)

5.3 Kaukolämmön osuus lämmityksessä

Maalämmön mitoituksen jälkeen laskettiin, paljonko kohteelle tarvitaan lämmitysenergiaa kaukolämmöstä. Kaukolämmön osuus tarkasteltiin vain prosentuaalisena osuutena. Muutamalle opinnäytetyön kohteelle kaukolämpö kattaisi lähestulkoon koko lämmityksen tontin pienuuden vuoksi, mutta osassa kohteista lämmitys olisi mahdollista kattaa kokonaan maalämmöllä. Kuvassa 11 on esitetty osuudet prosentuaalisesti 300 metriä syvillä kaivoilla ja kuvassa 12 tulokset 400 metriä syvillä kaivoilla.



KUVA 11. Kaukolämmön osuus kohteiden lämmityksestä 300 metriä syvillä energiakaivoilla



KUVA 12. Kaukolämmön osuus kohteiden lämmityksestä 400 metriä syvillä energiakaivoilla

Laskelmissa saatiin suurimmalle osalle kohteista hyvä kattavuus maalämmöllä. Tulee kuitenkin edelleen muistaa, että tulokset ovat hyvin suuntaa antavia ja kuvastavat vain mahdollista potentiaalia kohteen lämmittämiseen maalämmöllä ja kaukolämmöllä. Osalla kohteista taas tontti oli pieni ja energiantarve suuri, joten suurin osa lämmityksestä olisi näissä kohteissa kaukolämmöllä.

5.4 Kustannuslaskelma

Lopuksi tehtiin vielä karkea kustannuslaskelma kolmelle erilaiselle kohteelle. Kohteiksi valittiin Peiposenrinteelle rakentuva myymäläarakennus, Hatsalaan rakentuva sairaala (Muu sairaala) ja Rysysuolle rakentuva koulu (Koulu 1). Myymäläarakennuksen lämmitysenergiatarve on 1110 MWh vuodessa. Myymäläarakennuksen tontille mahtuu 18 kaivoa ja 300 metriä syvillä kaivoilla lämmitysenergiaa saataisiin 44 prosenttisesti ja 400 metriä syvillä kaivoilla 58 prosenttisesti. Hatsalaan rakentuvan sairaalan lämmitysenergiatarve on 1575 MWh vuodessa ja 52 kappaleella 300 metriä syviä energiakaivoilla sen energiakulutuksesta saataisiin katettua 89 prosenttia ja 44 kappaleella 400 metriä syvillä kaivoilla energiantarve katetaan täysin. Rypysuon koulun lämmitysenergian tarve on 508 MWh vuodessa. Tämä energiantarve saataisiin katettua kokonaisuudessaan 19 kappaleella 300 metriä syviä energiakaivoja ja 15 kappaleella 400 metriä syviä kaivoja.

Energiakaivojen kustannuksiin lasketaan porauksen hinnaksi 35 euroa metriltä. Suuri osa maalämmön hinnasta on peräisin porauksesta. Porauksen hintaan vaikuttaa energiakaivojen syvyys, määrä sekä maakerroksen paksuus. Laskelmissa ei ole otettu huomioon maalämpöpumppulaitteistoja lähtö-

tietojen niukkuuden vuoksi, jolloin kustannuksia olisi hankala arvioida, eikä se olisi kovin paikkaansa pitävä. (Tom Allen Senera julkaisuaika tuntematon, b).

Alla olevissa taulukoissa on laskettu aiempien laskelmien tulosten perusteella karkea kustannusarvio kohteiden hybridilämmitykselle. Kustannusarvioon on otettu mukaan maalämmön osalta kaivojen porauskustannukset ja kaukolämmön osalta kustannuksissa on liittymismaksu sekä vuosikustannukset. Lisäksi laskettiin kaukolämmön investointi ja vuosikustannukset, jos lämmitys katetaan kokonaan kaukolämmöllä. Kaukolämmön kustannuksiin laskettiin kohteiden liittymismaksut, mitkä saatiin Kuopion Energialta. Liittymismaksu perustuu tehontarpeeseen, mikä saatiin laskettua kohteille jakamalla lämmitysenergiantarve huipunkäyttöajalla. Huipunkäyttöaika taas saatiin laskettua lämmitystarveluvun avulla. Lämmitystarveluku perustuu sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen ja sen avulla normeerataan toteutuneita lämmitysenergian kulutuksia. Se lasketaan kuukausittain 16 paikkakunnalle. Työssä käytettiin vuoden 2021 lämmitystarvelukua, joka on Kuopiossa 4832. Sisälämpötilana laskuissa käytettiin 21 astetta ja mitoitettava ulkolämpötila saatiin kuvasta 10. Näin saatiin tehoiksi Myymälärakennukselle 507 kW, Muu sairaalalle 720 kW ja Koulu 1:lle 232 kW. Kaukolämmön vuosikustannukset arvioitiin kaukolämmön kokonaishintaa käyttäen, joka on 1.7.2022 ollut 79,33 €/MWh. (Energiateollisuus 2020, 77; Ilmatieteenlaitos 2022; Energiateollisuus ry 2022). Taulukossa 6 on hybridilämmityksen kustannusarvio 300 metriä syvillä energiakaivoilla ja taulukossa 7 arvio 400 metriä syville kaivoille.

TAULUKKO 6. Kustannusarvio hybridilämmitykselle 300 metriä syvillä kaivoilla

300 metriä	<u>Myymälärakennus</u>	<u>Muu Sairaala</u>	<u>Koulu 1</u>
Lämmitysenergian tarve	1110	1575	508
Geoenergian osuus	44 %	89 %	100 %
Energiakaivojen lkm.	18	52	19
<u>Energiakaivojen kustannus</u>	<u>189000</u>	<u>546000</u>	<u>199500</u>
Kaukolämmön osuus	56 %	11 %	
Kaukolämpö kokonaishinta €/a	49312	13744	
Liittymismaksu €	28845	11207	
<u>Kaukolämmön Vuosikustannus</u>	<u>78156</u>	<u>24951</u>	

TAULUKKO 7. Kustannusarvio hybridilämmitykselle 400 metriä syvillä kaivoilla

400 metriä	<u>Myymälärakennus</u>	<u>Muu Sairaala</u>	<u>Koulu 1</u>
Lämmitysenergian tarve	1110	1575	508
Geoenergian osuus	58 %	100 %	100 %
Energiakaivojen lkm.	18	44	15
<u>Energiakaivojen kustannus</u>	<u>252000</u>	<u>616000</u>	<u>210000</u>
Kaukolämmön osuus	42 %		
Kaukolämpö kokonaishinta €/a	36984		
Liittymismaksu €	23877		
<u>Kaukolämmön Vuosikustannus</u>	<u>60861</u>		

Alla olevassa taulukossa 8. on laskettu liittymismaksu sekä vuosikustannukset, kun lämmitys on ka-
tettu täysin kaukolämmöllä.

TAULUKKO 8. Vuosikustannusarvio kaukolämmölle

	<u>Myymälärakennus</u>	<u>Muu Sairaala</u>	<u>Koulu 1</u>
Lämmitysenergian tarve	1110	1575	508
Kaukolämmön osuus	100 %	100 %	100 %
Kaukolämpö kokonaishinta €/a	88056	124945	40300
Liittymismaksu €	44446	59347	25207
<u>Vuosikustannus</u>	<u>132502</u>	<u>184292</u>	<u>65506</u>

Kuten teoriassa todettu, maalämmön alkukustannukset ovat huomattavasti kalliimmat kuin kauko-
lämmön. Maalämmön käyttökustannuksia on hyvin hankala lähteä näillä tiedoilla arvioimaan, mutta
yleisesti asentaminen on aina kannattavaa ja käyttökustannuksissa voi säästää 50–80 %. Tällä het-
kellä säästöä on kuitenkin hankala arvioida sähkön hinnan vaihtelun vuoksi. Maalämpö tarvitsee toi-
miakseen sähköä ja sähkön kulutuksen määrään vaikuttaa muun muassa sää, maalämpöpumppu
sekä rakennuksen koko. COP-luku (Coefficient Of Performance) kertoo lämpöpumpun tuotetun ja
kulutetun energian suhteen. Yleensä lämpöpumpuilla saadaan tuotettua kolmin- tai nelinkertaisen
määrän lämpöenergiaa verrattuna käyttämänsä sähköenergiaan. COP-luvussa ei kuitenkaan oteta
huomioon lämpötilamuutoksia lämmönlähteessä, vaan mitoitukset on tehty +7 Celsius asteessa.
(Thermia julkaisuaika tuntematon, c; Gebwell julkaisuaika tuntematon b.)

6 POHDINTA

Maalämmön suosio lämmönlähteenä on noussut kymmeniä vuosia ja varsinkin viimeisen vuoden aikana suosio on räjähtänyt. Suosioon on vaikuttanut pitkällä aikavälillä ilmastonmuutos, fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu, omavaraisuuteen pyrkiminen ja lähimenneisyyden sähkönjakelun epävarmuus, sähkön hinnan nousu ja Ukrainan sota. Suomen olosuhteissa maalämpö on myös yksi varmimmista uusiutuvista ja päästöttömistä energianmuodoista. Maalämmön käytön suosio on myös kasvanut suurten lämmityskohteiden käytössä. On alettu tekemään suurempia kaivokenttiä ja on myös tutkittu syvempien energiakaivojen mahdollisuuksia Suomessa.

Ukrainan sota sekä sähkön ja öljyn hinnan nousu on näkynyt myös kasvuna kaukolämmön kysynnässä. Kaukolämpö on hyvin varma ja helppo lämmitysratkaisu. Kaukolämpöä tuotetaan myös uusiutuvista energianlähteistä, esimerkiksi Kuopion Energialla on uusiutuvaksi sertifioitu vaihtoehtotuote kaukolämmössä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada suuntaa Kuopioon tulevien suurta lämmitysenergiaa tarvitsevien kohteiden geoenergiapotentiaalista. Tätä potentiaalia selviteltiin aiempien tutkimusten ja julkaisujen pohjalta ja laskemalla tuleville kohteille teoreettista lämmitysenergiantarvetta sekä energiakaivoista saatavaa energiamäärää. Energiatarpeiden mitoittamisessa tai energiakaivoista saatavan energiamäärän laskemisessa ei suositella käytettäväksi suurpiirteisiä arvioita tai ”nyrkkisääntöjä”. Tämän työn kohteista kuitenkin on vielä vain niukasti tietoa ja työssä kyse potentiaalın arvioinnista, joten laskelmissa jouduttiin käyttämään arvioita ja nyrkkisääntöjä.

Aiemmista tutkimuksista selvisi, että Kuopion maaperä on pääsääntöisesti sopivaa maalämmölle. Tarkastelun kohteena ollut Pitkälähti - Sorsasalo väli on pääosin hyvin tai kohtalaisesti soveltuvaa aluetta. Muutamia erittäin hyvin soveltuvia alueita löytyi myös. Tarkastelussa ei otettu huomioon pohjavesi alueita eikä muitakaan maanalaisia rakennelmia, sillä tonttien tarkat sijainnit eivät olleet selvillä. Energiakaivojen mitoittamisessa hyvin olennaisessa osassa on maaperän lämmönjohtavuus. Lämmönjohtavuutta ei työn laskelmissa otettu huomioon tietojen niukkuuden vuoksi, vaan energiakaivoista saatavaksi energiamäärän laskennassa käytettiin ”nyrkkisääntöä”, paljonko energiakaivoista olisi mahdollista energiaa saada. Työhön kuitenkin selvitettiin Kuopion alueen maaperän lämmönjohtavuuksia ja yleisesti Pohjois-Savon maaperän lämmönjohtavuus on hieman alle Koko Suomen keskiarvosta.

Lämmitysenergian määrittämiseen päädyttiin käyttämään käyttötarkoitukseen perustuvaa energiantarpeen arviointia ja tässä työssä laskelmissa käytettiin uudisrakennusten E-lukua. Kohteiden lämmitysenergiantarve vaihteli suuresti käyttötarkoituksen mukaan. Eniten energiaa tarvitsivat sairaalat ja vähiten liike- ja tavaratalot. Mitoitusten teossa haastavinta oli lähtötietojen niukkuus ja tästä syystä myös tulokset ovat vain suuntaa antavia. Opinnäytetyössä ei myöskään olla huomioitu huipputehon tarvetta maalämmön mitoittamisessa lähtötietojen niukkuuden vuoksi.

Laskelmien perusteella opinnäytetyön kohteista osalle pystyttiin mitoittamaan energiantuotanto täysin maalämmöllä, kun taas osalle kohteista pystyttiin mitoittamaan vain muutama energiakaivo, jol-

loin energiantuotanto olisi lähestulkoon kokonaan kaukolämmöllä. Mitä enemmän tontille on tilaa tehdä kaivoja, sitä paremmin maalämmöllä saadaan katettua energiantarvetta. Energiakaivojen potentiaalia verrattiin lisäksi 300 ja 400 metriä syvillä kaivoilla.

Lopuksi kolmelle kohteelle tehtiin karkea arvio energiakaivojen rakentamisen ja kaukolämmön kustannuksista. Porauskustannukset olivat oletetusti huomattavasti kalliimmat kaukolämmön investointiin nähden. Kustannusarvio laskettiin niin 300 metriä syville kaivoille kuin 400 metriä syville kaivoille. Laskemissa olevien kohteissa energiakaivojen kustannukset nousivat, kun energiakaivot olivat 400 metriä syviä, vaikka kaivojen lukumäärä väheni. Tämä näkyi selvästi Koulu 1 laskelmissa, joissa molemmilla kaivojen syvyyksillä saatiin katettua lämmitysenergian tarve kokonaan. Koulu 1 kohdalla 400 metriä syvillä kaivoilla kustannukset olivat 10500 € suuremmat, vaikka kaivoja oli neljä vähemmän. Kun lämmitysenergia katettiin kokonaan kaukolämmöllä, vuosikustannukset olivat 65506 €, kun 300 metriä syvillä energiakaivoilla kustannukset olivat 199500 € ja 400 metriä syvillä energiakaivoilla 210000 €.

Myymläarakennuksen vuosikustannusarvio kaukolämmölle oli 132502 €, sisältäen liittymismaksun. Myymäläarakennuksen tontille mahtui 18 energiakaivoa. Hybridilämmityksen kustannukset 300 metriä syvillä kaivoilla olivat 189000 € ja kaukolämmön vuosikustannus 78156 €, sisältäen liittymismaksun. 400 metriä syvillä kaivoilla hinta oli 63000 € kalliimpi, kuin 300 metriä syvillä kaivoilla. Saatava lämmitysenergianmäärä kuitenkin kasvoi kattamaan 58 % energiantarpeesta ja näin ollen kaukolämmön vuosikustannus, mukaan lukien liittymismaksu, laski 17295 €.

Muu Sairaalan laskelmissa vuosikustannusarvio kaukolämmölle oli 184292 €, sisältäen liittymismaksun. 300 metriä syvillä kaivoilla kaukolämpöä tarvittiin 11 % kattamaan energiantarve ja vuosikustannus olisi tällöin 24951 €, sisältäen liittymismaksun, ja energiakaivojen kustannus 546000 €. Energiakaivojen hinta nousi 70000 €, kun kaivot olivat 400 metriä syviä, mutta lämmitysenergiatarve saatiin katettua kokonaan maalämmöllä.

Kustannukset ovat lämmityslaitteiden mitoituksen lailla yksilöllisiä ja riippuvaisia kohteesta sekä maaperästä. Työssä ei ole huomioitu maalämpöpumppujen eikä kaukolämmönjakokeskusten kustannuksia, eikä lähdetty arvioimaan maalämmön vuotuisia kustannuksia, joten nämäkin arviot ovat hyvin suuntaa antavia.

Kuten aiemmin todettu, kohteiden tiedot ovat hyvin vähäiset, joten mahdolliset lopulliset mitoitukset voivat poiketa paljonkin tämän työn laskelmista. Työn tarkoituksena oli saada suuntaa antavaa tietoa maalämmön ja kaukolämmön suhteesta suurissa kohteissa, ja tämä toteutui. Työstä saa suuntaa kaivokenttien kokoon sekä kustannuksiin suurta lämmitysenergiaa tarvitsevista kohteista. Työssä myös selvisi, että kaukolämmön ja maalämmön suhde suurissa lämmityskohteissa riippuu täysin tontin koosta ja rakennuksen energiantarpeesta, ja sitä on hyvin haastavaa arvioida ilman tarkkoja tietoja kohteesta. Myös maalämpöpumppujen ja kaukolämpökeskusten hinnat vaikuttavat paljon lopullisiin kustannuksiin. Johtopäätöksinä opinnäytetyöstä voidaan todeta, että maalämmöllä on teoriassa mahdollista lämmittää suurta lämmitysenergiaa vaativia kohteita Kuopiossa. Kohteista kuitenkin vaaditaan tarkemmat tiedot niin maaperästä kuin rakennuksista mitoituksia varten. Myös kustannuksista olisi tarpeen tehdä tarkemmat laskelmat investoinnin ja käyttökustannusten suhteen.

LÄHTEET

- Adven. Geoenergiaratkaisut suurkiinteistöille. Verkkajulkaisu. https://adven.com/fi/ratkaisut-kiinteistoiille/geoenergiaratkaisut/?gclid=Cj0KCQjwuaiXBhCCARIsAKZLt3kyg-vzCyzvYmDs4IAa0BTeXUIMD90m-srNaaJsFLgHoGIerbruyssaAoE1EALw_wcB Viitattu 3.8.2022.
- Energia Maailma julkaisuaika tuntematon. Suomi on kaukolämmön edelläkävijä. Verkkajulkaisu. <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/> Viitattu 12.8.2022.
- Energiateollisuus 2022. Kaukolämpö 2021. Verkkajulkaisu. https://energia.fi/files/5650/Kaukolampo_2021_v2.pdf. Viitattu 22.11.2022
- Energiateollisuus julkaisuaika tuntematon. Miten kaukolämpö toimii? Verkkajulkaisu. <https://kaukolampo.fi/miten-kaukolampo-toimii/>. Viitattu 12.8.2022.
- Energiateollisuus 2022. Kaukolämmön hintatilasto. Verkkajulkaisu. https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view. Viitattu 10.11.2022.
- Energiateollisuus 2020. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2020. https://energia.fi/files/5423/JulkaistuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf. Viitattu 19.11.2022.
- Euroopan komissio julkaisuaika tuntematon. Ilmastonmuutoksen seuraukset. Verkkajulkaisu. https://ec.europa.eu/clima/climate-change/consequences-climate-change_fi. Viitattu 2.9.2022.
- Euroopan parlamentti 2021. Kasvihuonepäästöt EU:ssa ja maailmalla. Verkkajulkaisu. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180301STO98928/kasvihuonekaasupaatot-eu-ssa-ja-maailmalla-infografiikka> Viitattu 10.8.2022.
- Euroopan parlamentti 2022. EU:n ratkaisut ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi. Verkkajulkaisu. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180703STO07129/eu-n-ratkaisut-ilmastonmuutoksen-ehkaisemiseksi>. Viitattu: 10.8.2022.
- Euroopan Unioni julkaisuaika tuntematon. Ilmastonmuutos. Verkkajulkaisu. https://europa.eu/climate-pact/about/climate-change_fi Viitattu 10.8.2022.
- FCG Suunnittelu ja tekniikka 2016. Geoenergiapotentiaaliselvitys Kuopion Savilahden alueelle. Raportti. <https://savilahti.com/wp-content/uploads/2022/04/Savilahden-geoenergiaselvitys.pdf>. Viitattu 18.7.2022.
- FCG Suunnittelu ja tekniikka 2017. Pohjois-Savon kohdennettu geoenergiaselvitys. Verkkajulkaisu. https://www.pohjois-savo.fi/media/seminaarit-ja-tapahtumat/2017/geoenergia/geoenergiaseminaari_selvityksen_tulokset_fcg.pdf. Viitattu 26.8.2022.
- Gebwell julkaisuaika tuntematon a. Kerrostalon kaivokentän suunnittelu. Verkkajulkaisu. <https://gebwell.fi/maalampo/kerrostalon-kaivokentan-suunnittelu/>. Viitattu 30.10.2022.
- Gebwell julkaisuaika tuntematon b. SCOP vai COP? Ota tehon vertailun keskeiset termit haltuun! Verkkajulkaisu. <https://gebwell.fi/ajankohtaista/scop-vai-cop-ota-tehonen-vertailun-keskeiset-termit-haltuun/>. Viitattu 13.12.2022.
- Geoenergiakeskus julkaisuaika tuntematon. Geoenergiakeskus tietopankkina. Verkkajulkaisu. <https://www.geoenergiakeskus.fi/geoenergiatietoa/> Viitattu 11.8.2022.
- GTK julkaisuaika tuntematon. Geoenergia. Verkkajulkaisu. https://projects.gtk.fi/syvareika/muut_tutkimukset/geoenergia/. Viitattu 9.11.2022.

GTK 2019. Geoenergian ja geotermisen energian potentiaalikartoitukset: Suomessa on valtava puhtaan energian varasto. Verkkojulkaisu. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/geoenergian-ja-geotermisen-energian-potentiaalikartoitukset-suomessa-on-valtava-puhtaan-energian-varasto/> Viitattu 2.8.2022.

Harinen, Tommi 2022. Tarjouslaskija. Gebwell Oy. Haastattelu 20.9.2022.

Helsingin Kaupunki 2017. Maanalaista energiaa. Verkkojulkaisu. <https://www.hel.fi/static/kv/Geo/Julkaisut/julkaisu97.pdf>. Viitattu 2.11.2022.

Hietanen, Miika 2021. Vesistölämmön hyödyntäminen lämpöpumpun lämmönlähteenä. Opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. Talotekniikka. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/502722/Hietanen_Miika_2021_06_09.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 12.10.2022.

Huusko, Asmo, Lahtinen, Hannu, Martinkauppi, Annu, Putkinen, Niko, Putkinen, Satu & Wik, Henrik 2015. Keski-Suomen geoenergiapotentiaali. Geologian tutkimiskeskus. Verkkojulkaisu. https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2020/09/24387-Keski-Suomen_geoenergiapotentiaali_4162018_loppuraportti.pdf. Viitattu 10.9.2022.

HögforsGST. Maalämpö vai kaukolämpö – tai sittenkin molemmat? Hybridilämmitys on tehokas tapa leikata lämmityslaskua. Verkkojulkaisu. <https://hogforsgst.com/fi/ajankohtaista/maalampo-vai-kaukolampo>. Viitattu 10.11.2022.

Ilmätieteenlaitos 2022. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Viitattu 19.11. 2022.

Isohookana, Johannes 2021. Miten maalämpö toimii? Helen. Verkkojulkaisu. <https://www.helen.fi/taloyhtiot/lammitys/artikkeleita-l%C3%A4mmityksest%C3%A4/miten-maalampo-toimii>. Viitattu 27.7.2022.

Juuti, Petteri 2022. Maalämpöä joutuu nyt jonottamaan, sillä kysyntä on räjähtänyt – porauskalenteri täynnä vuoden loppuun saakka ja lämpöpumpuistakin pulaa. Verkkojulkaisu. <https://yle.fi/uutiset/3-12473046>. Viitattu 31.10.2022.

Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo 2013. Energiakaivo. Ympäristöopas 2013. Verkkojulkaisu. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf. Viitattu 25.8.2022.

Jäspi julkaisuaika tuntematon. Maalämpöpumppu: edullista lämmitystä. Verkkojulkaisu. https://jaspi.fi/maalampopumput/?gclid=Cj0KCQjwidSWBhDdARIsAIoTVb1TeR4_EgE17uARoEqmyXVA3lgUuD46EH0IXfTT-1mzy7cNOcWlge4aAhT7EALw_wcB. Viitattu 18.7.2022.

Kantaputki julkaisuaika tuntematon. Hybridi päivän sana, mitä tarkoittaa hybridilämmitys? Verkkojulkaisu. <https://www.kantaputki.fi/2021/03/25/hybridi-paivan-sana-mita-tarkoittaa-hybridilammitys/> Viitattu 24.8.2022.

Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, a. Energian alkuperä. Verkkojulkaisu. <https://www.kuopionenergia.fi/vastuullisuus/energian-alkupera/#>. Viitattu 8.10.2022.

Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, b. 100 % Kuopiolainen energiayhtiö. Verkkojulkaisu. <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/yritystiedot/tunnusluvut/>. Viitattu 12.10.2022.

Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, c. Vastuullisuus. Verkkojulkaisu. <https://www.kuopionenergia.fi/vastuullisuus/kestava-kehitys/> Viitattu 9.10.2022.

Kuopion Energia julkaisuaika tuntematon, d. Valitse kiinteistösi sopivin lämpötuote. Verkkojulkaisu. <https://www.kuopionenergia.fi/yritykset-ja-taloyhtiot/lampo-yritykset/tuotteet-ja-palvelut-yritykset-lampo/> Viitattu 7.12.2022.

Laakkonen, Niina, Penttinen, Mika, Heinilä, Maritta, Hilpinen, Joni, Ruuskanen, Henri, Mattila, Ville, Raninen, Mikko, Ojala, Tarja & Miettinen, Eija 2020. Maankäytön suunnittelu ja maalämpö. Verkkojulkaisu. https://www.hel.fi/hel2/ksv/liitteet/2020_kaava/5066_9_Maalamposelvitys_Sweco_2019.pdf. Viitattu 8.12.2022.

Lapon 2022. TRT-mittaus. Verkkojulkaisu. <https://www.lapon.fi/trt-mittaus>. Viitattu 31.10.2022.

Lauttamäki, Ville 2018. Geoenergia kiinteistöjen lämmitysratkaisujen markkinoilla Suomessa energiakriisien ajoista 2030-luvulle. Väitöskirja. Turun kauppakorkeakoulu. Turun yliopisto. <https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/144984/AnnalesE29Lauttam%c3%a4ki.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Viitattu 4.9.2022.

Motiva 2022. Kaukolämpö. Verkkojulkaisu. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo Viitattu 12.8.2022.

Motiva 2021. Maalämpöpumppu. Verkkojulkaisu. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu. Viitattu 10.11.2022.

Nordell Bo 2004. Bergvärme och bergkyla. Luleå tekniska universitet. Verkkojulkaisu. https://nanopdf.com/download/bergvrme-och-bergkyla_pdf. Viitattu 16.10.2022.

Pohjois-Savon liitto, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 2017. Pohjois-Savon geoenergiapotentiaaliselvitys. Verkkojulkaisu. <https://ely.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=c9a11fe816ab41078c332a5b83ea3d56&extent=409698.9701%2C6872236.3452%2C679574.5099%2C7122532.6791%2C102139>. Viitattu 13.10.2022.

Sweco 2019. Myytti: Islanti on ainoa Euroopan maa, jossa maalämpö on merkittävä osa lämmöntuotantoa? Ei ole totta! Verkkojulkaisu. <https://blogs.sweco.fi/energia/myytti-islanti-on-ainoa-euroopan-maa-jossa-maalampo-on-merkittava-osa-lammontuotantoa-ei-ole-totta/> Viitattu 10.8.2022.

Techeat julkaisuaika tuntematon. Maalämpö vs. kaukolämpö. Verkkojulkaisu. <https://www.techeat.fi/maalampo/lammitysjarjestelmat/maalampo-vs-kaukolampo/>. Viitattu 10.9.2022.

Thermia julkaisuaika tuntematon, a. Maalämmön toimintaperiaate. Verkkojulkaisu. <https://www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/miten-maalampo-toimii/>. Viitattu 27.7.2022.

Thermia julkaisuaika tuntematon, b. Tietoa vesistölämmöstä. Verkkojulkaisu. <https://www.thermia.fi/maalampo/vesistolampo/vesistolampo-tietoa/>. Viitattu 12.10.2022.

Thermia julkaisuaika tuntematon, c. Maalämmön asennushinta ja kustannukset. Verkkojulkaisu. https://www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/maalammon_kustannukset_ja_asennus_hinta/?gclid=Cj0KCQiA37KbBhDgARIsAIzce16aZP135vipVOHYeqaptDtkZPdOdJs17pYHWRqFm7NTzB20DiJsKTIAuWREALw_wcB. Viitattu 10.11.2022.

Tilastokeskus julkaisuaika tuntematon. Fossiiliset polttoaineet. Verkkojulkaisu. https://www.stat.fi/meta/kas/fossiiliset_pol.html. Viitattu 10.8.2022.

Tilastokeskus 2022. Maalämpö yleistynyt pääasiallisena lämmitystapana. Verkkojulkaisu. <https://www.stat.fi/julkaisu/cktwrwr9c4ee10b618t3njtsh>. Viitattu 8.12.2022.

Tom Allen Senera julkaisuaika tuntematon, a. Mitä on Maalämpö. Verkkojulkaisu. <https://www.tomallensenera.fi/maalampo?gclid=Cj0KCQjwqoibBhDUARIsAH2OpWiuRbwsix4RmDs5>

WTwd1h-qxuijHvgKhgD6j7Cup0o2OUQkQg8P0GwaAnkKEALw_wcB#maalampopumppu. Viitattu 2.11.2022.

Tom Allen Senera julkaisuaika tuntematon, b. Maalämmön hinta ja kustannukset. Verkkajulkaisu. https://www.tomallensenera.fi/maalampo/maalampo-hinta?gclid=Cj0KCQiA37KbBhDgARIsAIzce1643QbxFK-WyEnEVQIs4D3hLo4cIyPPWONM4N1G3DkdTtEYx8iEZUaAg52EALw_wcB. Viitattu 10.11.2022.

Wuolio, Tiina 2022. Lämmön alkuperätakuulla valinnanvaraa vastuulliselle kuluttajalle. Sähköviesti. Verkkajulkaisu. <https://www.sahkoviesti.fi/paikalliset/lammon-alkuperatakuulla-valinnanvaraa-vastuulliselle-kuluttajalle.html>. Viitattu 10.12.2022.

WWF julkaisuaika tuntematon. Ilmastonmuutos. Verkkajulkaisu. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>. Viitattu 2.9.2022.

Yle 2019. Suomi asetti itselleen huippukovan ilmastotavoitteen – miten hallitus onnistuu lunastamaan lupauksensa? 5 kysymystä ja vastausta. Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/uutiset/3-10992336>. Viitattu 4.9.2022.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Verkkajulkaisu. <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>. Viitattu 4.9.2022.

Ympäristöministeriö 2012a. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta. [file:///C:/Users/OMISTAJA/Downloads/D5-190607-suomi%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/OMISTAJA/Downloads/D5-190607-suomi%20(2).pdf). Viitattu 29.10.2022.

Ympäristöministeriö 2012b. Rakennusten energiatehokkuus. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2/11 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. file:///C:/Users/OMISTAJA/Downloads/D3-2012_Suomi.pdf. Viitattu 29.10.2022.