



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Huaying Wang-Alho

Kaukolämmön erillistuotantoteknologioiden investointikustannusten vertailu

Tutkimus Kaskisten Energian kesäajan tarpeisiin

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Diplomi-insinöörin tutkinto
Energiatekniikka

Vaasa 2021

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Huaying Wang-Alho		
Tutkielman nimi:	Kaukolämmön erillistuotantoteknologioiden investointikustannusten vertailu : Tutkimus Kaskisten Energian kesäajan tarpeisiin		
Tutkinto:	Diplomi-insinööri		
Oppiaine:	Energiatekniikka		
Työn ohjaaja:	Emma Söderäng		
Työn valvoja:	Professori Seppo Niemi		
Valmistumisvuosi:	2021	Sivumäärä:	77

TIIVISTELMÄ:

Ilmastomuutoksen hillitsemiseksi yhteiskunnan on vähennettävä riippuvuuttaan fossiilisista polttoaineista ja siirryttävä vähäpäästöisiin energiantuotantomuotoihin. Lämmöntuotannolla on tärkeä rooli hiilineutraalin energiantuotannon saavuttamisessa. Tässä diplomityössä tutkittiin ja verrattiin useaa erilaista vaihtoehtoista taloudellista ja edullista hiilineutraalia lämmöntuotantoteknologiaa Kaskisten Energialle.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää eri vaihtoehtojen joukosta soveltuvin kesäajan kaukolämmön kesäajan erillistuotantomuoto Kaskisten Energialle. Tutkimuksessa verrattiin hakelämpöä, maalämpöä, merilämpöä, lämpöpumppujärjestelmää ja ilma-vesilämpöpumppua. Työssä esitellään tuotantomuodot ja niiden analyysit. Viiden vaihtoehdon kustannukset laskettiin projektin kokonaiskustannuksista saatujen hintatarjousten avulla. Kaikkien vaihtoehtojen kustannusanalyysi suoritettiin ”kustannusrivi”-menetelmiä käyttäen. Vaihtoehtojen kertakustannukset, kiinteät ja muuttuvat kustannukset analysoitiin. Lopullisessa vertailussa otettiin huomioon myös arvioitu 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikana tuotetun energian hinta.

Tutkimuksen mukaan merilämmön ja Ilma-vesilämpöpumpun kaikki kustannukset ovat lähellä toisiaan. Lämpöpumppujärjestelmän investointikustannus on iso alussa, myös kymmenen ja viidentoista vuoden energiahinnat ovat kalliimmat kuin muiden laitoksien. Kaskisten Energian vaatimusten mukaan tutkimuksessa otettiin huomioon myös öljylämmityksen muuttuvat kustannukset, ja niitä verrattiin muihin vaihtoehtoihin. Tutkimuksen mukaan öljylämmityksen muuttuvat kustannukset ovat paljon korkeammat kuin hiilineutraalien energiantuotantolaitosten.

Työssä esitellään kustannusten ja tärkeiden energianhintaan vaikuttavien tekijöiden analyysi. Herkkyysanalyysiä käytetään tarkastelemaan, miten tärkeimmät tekijät vaikuttavat tuloksiin. Tarkastelun perusteella sähkön hinta ja lämpöpumpun lämpökerroin ovat erittäin tärkeitä tekijöitä, jotka vaikuttavat maalämmön, merilämmön, lämpöpumppujärjestelmän ja ilma-vesilämpöpumpun kustannuksiin.

Tutkimuksen perusteella ilma-vesilämpöpumppu on vaihtoehtoista sopivin Kaskisten Energian kesäajan kaukolämmön tuotantomuodoksi. Tulevaa hiilineutraalia kaukolämpöteknologiaa päivitetään jatkuvasti: kun otetaan huomioon eri vaihtoehtojen taloudellinen toteutettavuus, joustavuus ja optimointipotentiaali, tarvitaan lisää tutkimusta laajemmasta näkökulmasta.

AVAINSANAT: kaukolämmöntuotanto, hiilineutraali, kustannus, herkkyysanalyysi

UNIVERSITY OF VAASA
School of Technology and Innovations

Author:	Huaying Wang-Alho		
Title of the Thesis:	Investment cost comparison of district heating solutions: Research for Kaskisten Energia's summertime needs		
Degree:	Master of Science in Technology		
Programme:	Energy Technology		
Supervisor:	Emma Söderäng		
Evaluator:	Professor Seppo Niemi		
Graduation Year:	2021	Pages:	77

ABSTRACT:

To curb climate change, society needs to reduce its dependence on fossil fuels and switch to low-emission forms of energy production. Heat production plays an important role in achieving carbon-neutral energy production. This dissertation researched and compared several different alternative economical and inexpensive carbon-neutral heat production technologies for Kaskisten Energia.

The aim of the study was to find the most suitable summertime district heating separate production form for Kaskisten Energia among the various alternatives. The study compared wood chip heat, geothermal, sea heat, a heat pump system, and an air-to-water heat pump. The work presents the individual production forms and their analyzes. The costs of the five options were calculated using the bids received from the total cost of the project. The cost analysis of all alternatives was performed using "cost line" methods. The one-time, fixed, and variable costs of the alternatives were compared and analyzed. The final comparison also considered the estimated price of energy produced during the 10- and 15-year payback periods.

According to the study, all the costs of sea heat and an air-to-water heat pump are close to each other. The investment cost of a heat pump system is big in the beginning, also the ten- and fifteen-year energy price are more expensive than other plants. According to Kaskisten Energia's requirements, the research also considered the variable costs of oil heating and compared them with other alternatives. According to the study, the variable costs of oil heating are much higher than those of carbon-neutral energy production plants.

The paper presents an analysis of important factors influencing costs and energy prices. Sensitivity analysis was used to look at the effects of important influencing factors on the results. Based on the review, the price of electricity and the heat factor of the pump are very important factors affecting the costs of geothermal, marine heat, heat pump system and air-to-water heat pump.

Based on the results, the air-to-water heat pump is the most suitable of the alternatives as a form of summer district heating production by Kaskisten Energia. Future carbon-neutral district heating technology is constantly being updated: given the economic feasibility, flexibility and optimization potential of the different options, more research is needed from a broader perspective.

KEYWORDS: district heating production, carbon neutral, costs, sensitivity analysis

Sisällys

1	Johdanto	9
1.1	Tutkimuksen tausta	9
1.2	Työn tavoitteet	9
1.3	Työn rajaus	10
2	Kaukolämpö	11
2.1	Lämmönsiirto	11
2.2	Suomen olosuhteiden tuomat haasteet kaukolämmölle	12
3	Kaskinen yleisesti	14
3.1	Kaskisen kaukolämpötuotannon nykytila-analyysi	14
4	Analyysimenetelmän esittely	17
4.1	Kustannusanalyysin laskeminen kaavat	18
5	Tutkimukseen valitut tuotantomuodot ja niiden analyysit	21
5.1	Hakelämpö	22
5.2	Maalämpö	24
5.3	Merilämpö	27
5.4	Ambiheat-lämpöpumppujärjestelmä	28
5.5	Ilma-vesilämpöpumppu	30
6	Analyysin tuloksen esittely	33
6.1	Hakelämpölaitoksen kustannukset	33
6.2	Maalämmön kustannukset	34
6.3	Merilämmön kustannukset	36
6.4	Lämpöpumppujärjestelmä kustannukset	38
6.5	Ilma-vesilämpöpumpun kustannukset	39
6.6	Kustannusten vertailu	40
7	Öljyn muuttuvien kustannusten analyysi	44
7.1	Öljykattilan muuttuvien kustannuksien vertailu	44
8	Tärkeiden vaikuttavien tekijöiden analyysi	46

8.1	Hakkeen hinta	46
8.2	Sähkön hinta	46
8.3	Pumpun lämpökerroin COP	46
8.4	Sähköverkon sulakkeiden koko	47
8.5	Hiilipäästöoikeuden hinta	48
8.6	Herkkyysanalyysi	49
9	Johtopäätökset	52
10	Yhteenveto	54
	Lähteet	56
	Liitteet	60
	Liite 1. Hakelämpölaitoksen kustannustarjous	60
	Liite 2. Maalämmön kustannustarjous	61
	Liite 3. Merilämmön kustannustarjous	62
	Liite 4. Ambiheat lämpöpumppujärjestelmän kustannustarjous	64
	Liite 5. Ilma-vesipumpun kustannustarjous	74

Kuvat

Kuva 1. Polttoaineiden osuudet kaukolämmöntuotannossa Suomessa 2019 (Energia- vuosi 2020).	11
Kuva 2. Kaukolämmön havainnekuva (Pulkkinen 2019, 10).	12
Kuva 3. Vuonna 2016–2019 kuukausittainen kaukolämmön kysynnän määrä (Energiateollisuus ry 2020).	13
Kuva 4. Kaskisten kaupungin havainnekuva (Visit kaskinen 2021).	14
Kuva 5. Kaskisten kaupungin kaukolämpöputkisto (J. Engvall, Kaskisten Energia, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 11.3.2020).	15
Kuva 6. Kustannusrivi menetelmät (Niemi 2020).	17
Kuva 7. Polttoaineena käytettävää haketta (Motiva 2021).	23
Kuva 8. Teho 2,5 MW hakelämpölaitoksen havainnekuva (Biofire Oy 2018).	23
Kuva 9. Maalämpöjärjestelmän rakenne ja toimintaperiaate (Pesonen 2018, 9).	24
Kuva 10. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Purhonen 2016, 3).	25
Kuva 11. Maalämpöpumpun lämpökertoimen osuus (Purhonen 2016, 4).	26
Kuva 12. Mini vesistölämpö kollektorin havainnekuva (GeoPipe Oy 2016).	27
Kuva 13. WHCEP mini asennuksen neljä vaihetta (GeoPipe Oy 2016).	28
Kuva 14. Calefa AmbiHeat® -lämpöpumppulaitoksen systeemi (Calefa Oy 2021).	29
Kuva 15. Calefa AmbiHeat® -lämpöpumppulaitos, kuvassa A on Calefa AmbiHeat lämpöpumppulaitoksen ulkonäkö, kuvassa B on lämpöpumppulaitoksen sisäinen rakenne (A. Porkka, Calefa Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 30.11.2020).	30
Kuva 16. Havainnekuva ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaatteesta (Suomen Vesitekniikka 2021).	31
Kuva 17. Maalämpöpumpun lämpökertoimen osuus (Purhonen 2016, 4).	36
Kuva 18. Kaikkien vaihtoehtojen kustannustarjoukset.	41
Kuva 19. Kymmenen ja 15 vuoden energia hinnat.	42
Kuva 20 Kaikkien vaihtoehtojen tarkat kiinteät ja muuttuvat kustannukset.	43
Kuva 21. Kaikkien järjestelmien muuttuvien kustannuksien vertailu.	45
Kuva 22. Päästöoikeuden hinta EU:n päästökaupassa (Hartikainen 2021).	48
Kuva 23. Polttoainevaraston korko ja hakkeen hinnan suhde.	49

Kuva 24. Hakkeen hinta ja polttoainekustannuksen sekä energia hintojen suhteet.	49
Kuva 25. Sähkön hinnat ja polttoainekustannuksen suhde.	50
Kuva 26. Pumpun lämpökerroin COP ja polttoainekustannuksen suhde.	51

Taulukot

Taulukko 1. Kaskisten Energian kesäkuukausien lämpöenergian tuotto vuonna 2019 megawattitunteina (A. Haapanen, Vaasan yliopisto, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 5.2.2020).	16
Taulukko 2. Kiinteät kustannukset ja muuttuvia kustannuksia (Voimalaitostekniikka, 2013).	18
Taulukko 3. Kaikkien vaihtoehtojen kustannustarjoukset ja energia hinnat.	41
Taulukko 4. Kaikkien vaihtoehtojen kiinteät ja muuttuvat kustannukset.	42
Taulukko 5. Lämpöpumpun kerroin COP ja muuttuvat kustannukset.	47

Lyhenteet, Symbolit & Yksiköt

a	Vuosi
a'	Annuiteettikerroin
COP	Coefficient of Performance, lämpökerroin
E	Tuotettu kokonaisenergia
€/Wa	Euroa per wattivuosi
F	Kiinteät kustannukset
h	Tunti
I	Kokonaisinvestointi
i	Reaalikorko
k	Sijoituksen kustannus
k_1	Pääomakustannus

k_2	Kiinteät ylläpitokustannukset
k_3	Muut kiinteät kustannukset
m_1	Polttoainekustannus
m_2	Vaihtelevat ylläpitokustannukset
MWh	Megawattitunti
n	Takaisinmaksuaika
p	Hinta
P_e	Maksimi teho
t_k	Huipunkäyttöaika
V	Muuttuvat kustannukset

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Suomessa yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö, noin 46 prosenttia Suomen lämmitysenergiasta tuotettiin kaukolämmöllä vuonna 2012. Kaukolämpöä voidaan tuottaa yhteistuotantolaitoksissa ja erillisissä lämpölaitoksissa, ja sen pääasiallisia polttoaineita ovat maakaasu, kivihiili, turve ja puu. Puupolttoaineesta suurin osa on metsähaketta. (Motiva Oy 2020)

Tässä opinnäytetyössä tehtävänä oli tutkia Oy Kaskisten Energia-Kaskö Energi Ab:lle (jatkossa Kaskisten Energia) eri kaukolämpölaitos-vaihtoehtoja, jotka olisivat nykyistä 5,0 MW laitosta pienempiä ja perustuvat uusiutuvaan energiaan tai sähkөөn. Laitoksen teho tulisi olla 0,5–2,5 MW ja se on tarkoitettu ensisijaisesti kesäajan kaukolämmön tarpeisiin. Nykyinen Kaskisten Energia Oy:n kaukolämpölaitos on hakelaitos, ja sillä tuotetaan kaukolämpö ympärivuoden, jolloin pienemmän kesäajan lämmöntarpeen vuoksi sen mitoitus kesäajaksi ei ole optimaalinen.

Uusiutuva energia on hiilineutraalia teknologiaa, jolla tarkoitetaan yleensä hiilidioksidipäästötöntä tai hyvin vähäpäästöistä teknologiaa. Termi on lyhenne hiilidioksidineutraalista. Suomessa rakennusten lämmityksen osuus on 25 % kaikesta primäärienergiankulutuksesta. Siksi kannattaa keskittyä tutkimaan mahdollisuuksia lisätä uusiutuvien ja hiilineutraalien energianlähteiden käyttöä lämmöntuotannossa. Hiilidioksidineutraalin tuotannon järjestelmässä pitää varmistaa, että energiantuotanto on luotettavaa ja kohtuuhintaista. (Kirppu 2015, 5)

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli vertailla Kaskisten Energialle uusia potentiaalisia teknologioita ja niiden kustannuksia, ja löytää nykyistä parempi kesätuotantovaihtoehto. Tarkoituksena oli

tuottaa mahdollista investointipäätöstä tukevaa laskennallista ja kirjallisuustutkimukseen pohjautuvaa tietoa potentiaalisista lämmöntuotantoteknologioista ja niiden kustannuksista. Tätä tietoa voidaan käyttää hyödyksi tulevaisuuden tuotannon ja investoinnin suunnittelussa sekä jatkotutkimuskohteiden tunnistamisessa.

Tässä opinnäytetyössä esitellään 5 vaihtoehtoista laitosta, jotka ovat teholtaan 0,5–2,5 MW: hakelämpö, maalämpö, vesistölämpö, lämpöpumppujärjestelmä ja ilmalämpöpumppu. Näistä kaikista vaihtoehtoista laadittiin hintalaskelma, joka perustuu investointikustannuksiin ja arvioituihin tuotantokustannuksiin. Lopuksi näiden viiden vaihtoehdon investointikustannuksia verrattiin ja tulosten perusteella suositellaan parasta vaihtoehtoa.

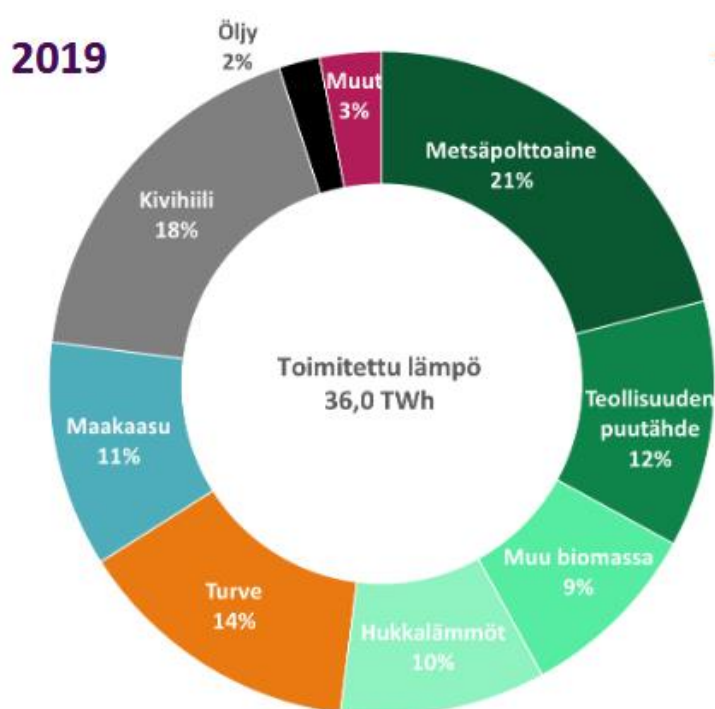
Menetelmänä oli tutkia näiden viiden vaihtoehdon teoreettista taustaa ja tekniikkaa käyttäen hyväksi alan kirjallisuutta ja asiantuntijahaastatteluita. Samalla etsittiin yrityksiä, joilla on vaihtoehtoihin liittyviä tuotteita ja ratkaisuja. Niille lähetettiin kustannusarviopyyntöjä, jotta saatiin kuva vaihtoehtojen kustannuksista. Saatujen tarjouksien avulla laskettiin lopuksi vaihtoehtojen kustannukset, ja sitten suoritettiin vertailu rakentavien ehdotusten saamiseksi.

1.3 Työn rajaus

Työ rajattiin koskemaan kustannustehokasta vaihtoehtoa kesäajan kaukolämmön erillistuotantoon. Nykyisen Kaskisten Energian kaukolämpöä tuotetaan teholtaan 5,0 MW hakelaitoksella ja erillistuotannon vaihtoehtoja käytetään tuottamaan vain kesäajan kaukolämpöä. Tarvittavan laitoksen teho on tällöin pienempi, n. 0,5–2,5 MW välillä. Tässä opinnäytetyössä esitellään kaukolämmön erillistuotannon vaihtoehtojen teoreettisia laskelmia ja teknisiä tietoja, sekä niiden kannattavuuslaskelmat ja taloudellinen vertailu. Lopuksi laaditaan johtopäätökset ja annetaan suositukset Kaskisten Energialle.

2 Kaukolämpö

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomen kaupungeissa ja taajamissa, ja kaukolämpöä tuotetaan voimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa, jotka tuottavat sähköä tai lämpöä. Tyypillisiä kaukolämmössä käytettäviä polttoaineita ovat maakaasu, kivihiili, turve, öljy ja yhä enemmän puu ja muut uusiutuvat energialähteet. (Energiateollisuus ry 2021) Kuva 1 on esitetty kaukolämmöntuotannossa käytettyjen polttoaineiden osuudet, ja keskeellä kokonaisen energiamäärä Suomessa vuonna 2019.



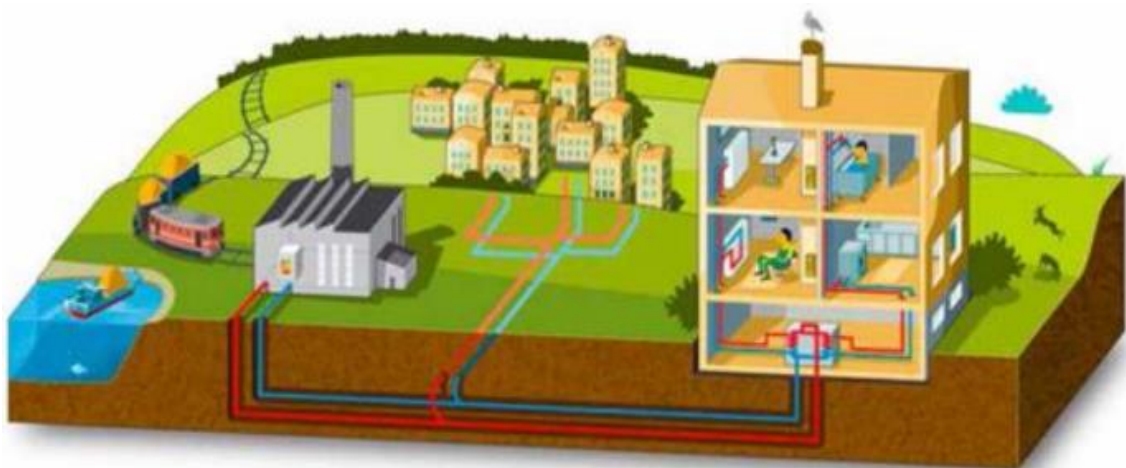
Kuva 1. Polttoaineiden osuudet kaukolämmöntuotannossa Suomessa 2019 (Energia-vuosi 2020).

2.1 Lämmönsiirto

Kaukolämpöverkon pääkomponentit ovat: meno- ja paluuputki, sähköverkko, pumpaamo, tuotantolaitos, lämpöakku ja lämpöpumppu. Kaukolämpöverkossa tuotantolaitoksen tuottama lämpöenergia siirretään asiakkaalle kuumana vetenä suljetussa meno-

ja paluuputkisessa kaukolämpöverkossa. Kaukolämpöverkon tarkoituksena on lämmittää vettä, ja se menee asiakkaalle lämmönvaihtimella kautta ja palaa takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. (Dajani 2019, 18–19.)

Kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee riippuen säästä, menoputkessa veden lämpötila on 65–115°C välillä, ja paluuputken veden lämpötila vaihtelee yleensä 40–60°C. Kesällä tuotantolaitokselta lähtevän kaukolämpöveden lämpötila on noin 65°C ja talvella sen lämpötila on noin 115°C. (Dajani 2019, 18–19.) Kuva 2 on kaukolämmön havainnekuva, jossa lämpöä tuottava laitos on vasemmalla, ja se yhdistyy oikealle rakennuksiin kaukolämpöverkolla. Kaukolämpö on keskitetysti tuotettu lämpö, joka siirretään moniin eri rakennuksiin yhteisen lämmönjakeluverkon kautta. (Pulkkinen 2019, 10.)

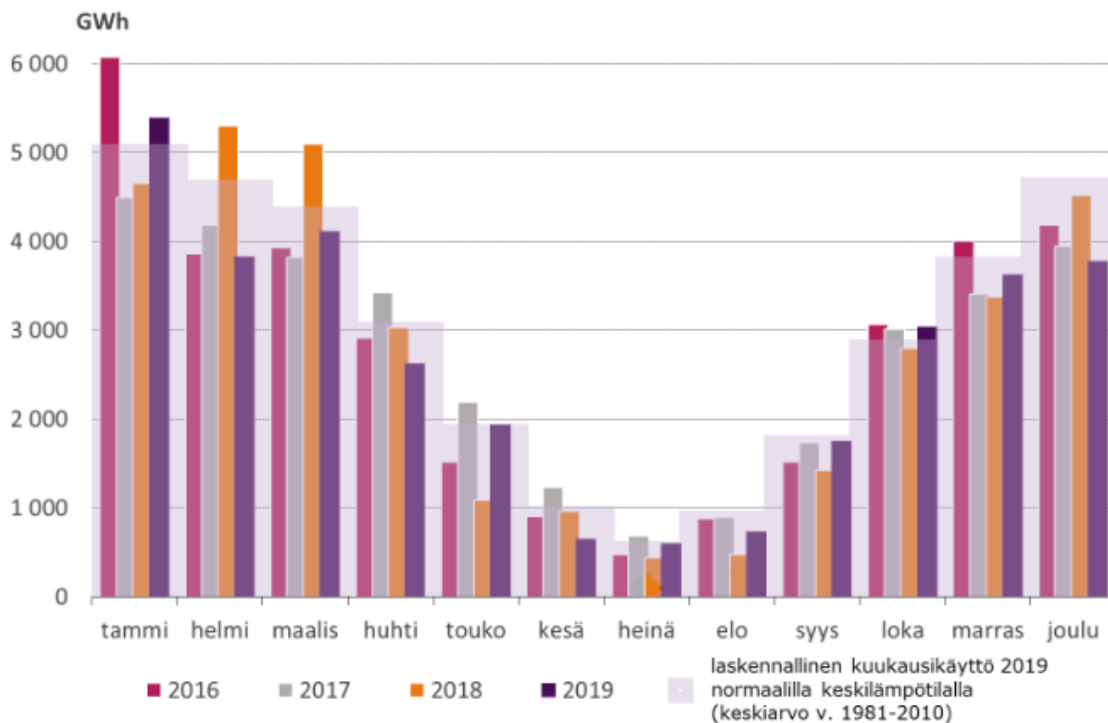


Kuva 2. Kaukolämmön havainnekuva (Pulkkinen 2019, 10).

2.2 Suomen olosuhteiden tuomat haasteet kaukolämmölle

Suomen talvet ovat kylmät ja pimeät, mutta kesät ovat lämpimät ja valoisat. Suomessa kaukolämmöntuotannon riippuu suuresti sääolosuhteista. Säästä ja vuodenaikojen muutoksista johtuen kaukolämmön kysyntä ja tarjonta vaihtelevat suuresti. Talvikuukausina kaukolämmön kysyntä on yli viisinkertainen kesään verrattuna. Kuva 3 on esitelty vuonna 2016–2019 kuukausittainen kaukolämmön kysynnän määrä.

(Energiateollisuus ry 2020.) Kuten on esitetty, kaukolämmön kysyntä vähenee voimakkaasti kesällä.



Kuva 3. Vuonna 2016–2019 kuukausittainen kaukolämmön kysynnän määrä (Energiateollisuus ry 2020).

Kaukolämmön haasteisiin kuuluvat alkuinvestoinnit ja pitkä takaisinmaksuaika. Kaukolämmön tuotantolaitokset, kaukolämpöverkot, pumppaamot ja muu infrastruktuuri vaativat paljon taloudellisia investointeja, ja niiden tulojen takaisinmaksuaika voi olla jopa vuosikymmeniä. Suuria kaukolämmön tuotantolaitoksia tai pitkiä kaukolämpöverkkoja ei kannattaa rakentaa pienissä kaupungeissa tai harvaan asutuilla alueilla, koska kaukolämmön kilpailukyky on verrannollinen alueen asukastiheyteen. Kaukolämmöllä on myös muita haasteita, jotka ovat kulutusvaihtelut, siirtohäviöt, rahoitus, epätarve sääntely, ja rakentajan päätös lämmitysmenetelmä. (Leinonen 2020, 19–20)

3 Kaskinen yleisesti

Kaskinen on käsityöläisten, kalastajien ja merenkulkijoiden idyllinen saarikaupunki (Visit kaskinen 2021), joka on perustettu vuonna 1785. Kaskinen on suomen pienin kaupunki, ja meri ympäröi kaupunkia joka suunnalta. Kaupungin pinta-ala on 30 km², josta vesialuetta on 18,5 km². Kaskisissa on noin 1300 asukasta, kaskislaisen elämään kuuluu upea meriluonto ja loppukesästä pitkään viipyilevä kesän lämpö. Kaskinen sijaitsee strategisella paikalla ja siellä on myös hyvä satama. (Kaskinen 2021) Kuva 4 on Kaskinen kaupungin tietoa sijainnista.

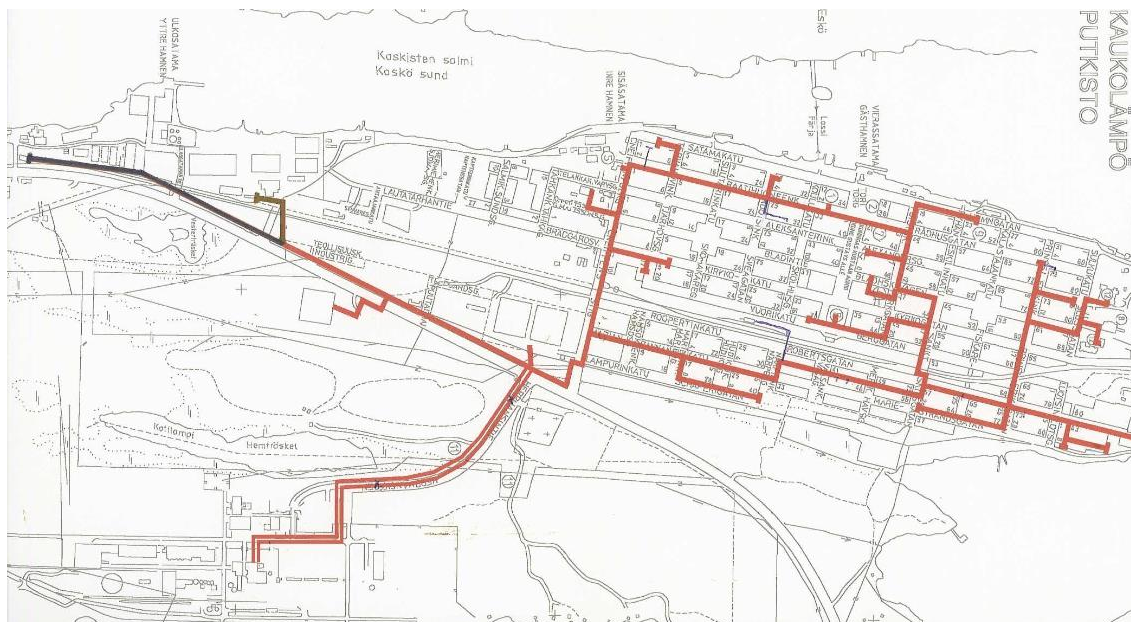


Kuva 4. Kaskisten kaupungin havainnekuva (Visit kaskinen 2021).

3.1 Kaskisen kaukolämpötuotannon nykytila-analyysi

Kaskisten Energian toimiala on kaukolämmön ja -kylmän erillistuotanto ja jakelu. Kaskisten energian kaukolämpöverkko on esitelty Kuva 5. Kaskisten Energia on pieni yritys, jolla on noin 200 asiakasta, josta yksi kasvihuone on suurkuluttaja ja kaupunki on toiseksi isoin kuluttaja. Kaskisten Energian suurin etu on, että vaikka Kaskinen on pieni kaupunki, se on rajoitetulla alueella asiakasintensiivinen. Nykyinen Kaskisten kaukolämmön

tuotantolaitos on vanha turvetta ja haketta käyttävä 5,0 MW lämpölaitos. (C. Backholm, Kaskisten Energia, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 19.2.2021)



Kuva 5. Kaskisten kaupungin kaukolämpöputkisto (J. Engvall, Kaskisten Energia, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 11.3.2020).

Kaskinen on rannikkokaupunki ja kesä on lämmin, myös Kaskisten Energia on lähellä merta. Kesällä kaukolämmön kysyntä vähenee, ja ideana on yhdistää Kaskisen kaupungin edut ja Kaskisten Energian tilanne, korvata kesäkuukausien lämmönkulutus uusiutuvalla energialla ja sammuttaa vanhat lämmityslaitteet.

Taulukko 1 on esitetty vuonna 2019 Kaskisten Energian kesäkuukausien energian kokonaistuotanto, myyty lämpöenergia ja hukkalämpö. Taulukossa esitetty myyty lämpöenergia on tarvittava kokonaisenergia, joka pitää tuottaa valittavalla tuotantolaitoksella.

Taulukko 1. Kaskisten Energian kesäkuukausien lämpöenergian tuotto vuonna 2019 megawattitunteina (A. Haapanen, Vaasan yliopisto, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 5.2.2020).

Kuukausi	Kokonaistuotanto	Myyty lämpöenergia	Hukkalämpö
Toukokuu	1 410,98	806,62	604,36
Kesäkuu	1 178,89	707,98	470,91
Heinäkuu	1 025,43	777,41	248,02
Elokuu	1 129,84	673,48	456,36
Syyskuu	1 168,03	767,68	400,35

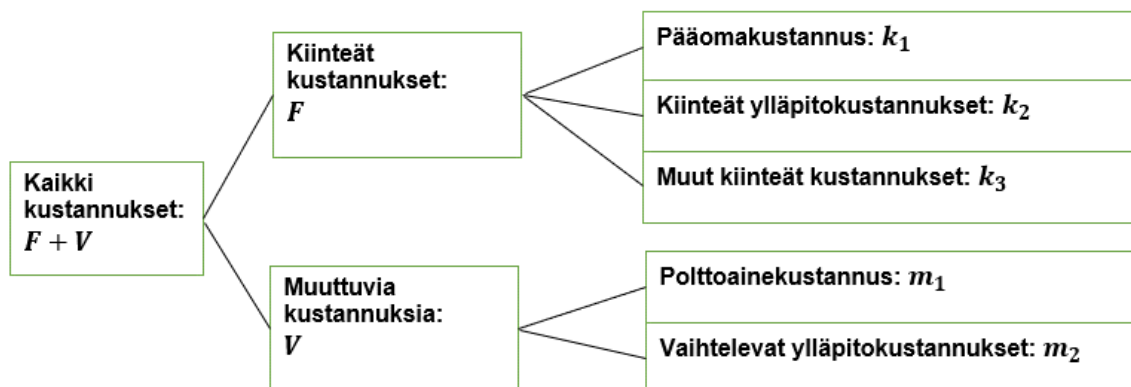
Asiakaskokouksessa käydyn keskustelun perusteella on tutkittava viittä erilaista vaihtoehtoista suunnitelmaa uudelle energiantuotannolle. Alustavat suunnitelmat ovat pieni hakelämpölaite, biokaasulaitos, aurinkolämpö, maalämpö ja vesistölämpö. Vaihtoehdot ovat hiilineutraaleja kaukolämmön erillistuotantoteknologia, jotka voivat tuottaa Kaskisten Energia kesäkuukausien kaukolämmön tarpeen.

Kaikille vaihtoehdoille täytyy löytää sopiva laitetoimittaja, joka voi antaa tarjouksen sopivan kokoisesta energiantuotantolaitoksesta. Kaikista vaihtoehdoista tarvitaan hintalaskelma, eli kuinka paljon lämpöenergia maksaisi tuottaa. Laskelman tulee perustua investointikustannuksiin ja laskennallisiin tuotantokustannuksiin.

4 Analyysimenetelmän esittely

Tässä opinnäytetyössä käsitellään viittä eri vaihtoehtoa Kaskisten kaupungin kesäajan kaukolämmöntuotannolle. Kesäaikana kokonaistuotanto on 2 850 MWh (J. Engvall, Kaskisten Energia, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 17.6.2020), jota on käytetty hyväksi laitosten mitoituksessa. Tästä lasketaan koko projektin kustannukset saatujen hintatarjousten avulla.

Kaikkien vaihtoehtojen kustannusanalyysi suoritetaan ”kustannusrivi”-menetelmiä käyttäen, jotka on esitelty Kuva 6. Vaihtoehtojen kustannukset sisältävät kiinteät ja muuttuvat kustannukset, ja kaikki kiinteät kustannukset lasketaan maksimitehoa ja vuotta kohti. Lopullisessa vertailussa otetaan huomioon myös 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikana tuotetun energian hinta.



Kuva 6. Kustannusrivi menetelmät (Niemi 2020).

Laskelmat perustuvat seuraaviin olettamuksiin ja arvioihin, jotka osittain Voimalaitostekniikka-kirjasta (ks. myös Taulukko 2). Reaalikoroksi oletetaan 5 % ja lainan takaisinmaksuaika oletetaan olevan 10 tai 15 vuotta. Tonttikustannuksen vuokrahinta enintään on 2 000 €/vuosi (J. Engvall, Kaskisten Energia, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 17.3.2020). Osa-, huolto- ja kunnossapitokustannus on yleensä 1,0–3,0 % laitoksen omainsiivestoinnista vuodessa. Vakuutukset ovat 0,1–0,2 % laitoksen jälleenhankintahinnasta. Omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannus sisältyvät ”muihin muuttuviin

kustannuksiin”, jotka ovat suuruusluokkaa 1–3 €/MWh, tutkimuksessa käytetään 2 €/MWh. Taulukossa 2 on kaikki kiinteät kustannukset ja muuttuvia kustannuksia.

Taulukko 2. Kiinteät kustannukset ja muuttuvia kustannuksia (Voimalaitostekniikka, 2013).

Kiinteät kustannukset	Muuttuvia kustannuksia
Tontti, rakennukset, koneet, suunnittelu	Polttoainekustannus
Käyttöhenkilökunta	CO ₂ päättösoikeus
Osa-, huolto- ja kunnossapitokustannus	Omakäyttösähkö
Polttoainevaraston korko	Veden käsittely
Vakuutukset	Osa-, huolto- ja kunnossapitokustannus

4.1 Kustannusanalyysin laskeminen kaavat

Kaikki kustannukset selvitetään kaavalla (1), jotka ovat kiinteät kustannukset F plus muuttuvat kustannukset V . Kiinteät kustannukset sisältävät pääomakustannuksen k_1 , kiinteät ylläpitokustannukset k_2 ja muut kiinteät kustannukset k_3 , muuttuvia kustannuksia ovat polttoainekustannus m_1 ja vaihtelevat ylläpitokustannukset m_2 . Kaikki kiinteät kustannukset lasketaan maksimitheoa ja vuotta kohti, ja yksikkö on €/Wa, eli euroa per wattivuosi.

$$F + V = (k_1 + k_2 + k_3) + (m_1 + m_2) \quad (1)$$

Jokaisen vaihtoehdon kokonaisinvestointi on saatu hintatarjous I . Kaskisten Energian tarvitsevan uuden laitoksen maksimi teho P_e on 2,5 MW. Kun halutaan laskea pääomakustannus k_1 ja kiinteät ylläpitokustannukset k_2 , lasketaan ensiksi erityinen sijoitus k kaavalla (2).

$$k = \frac{I}{P_e} \quad (2)$$

Pääomakustannus k_1 saadaan kertomalla annuiteettikerroin a' sijoituksen kustannuksella k , joka lasketaan kaavalla (3). Annuiteettikerroin a' lasketaan kaavalla (4), jossa i on reaalikorko ja n on takaisinmaksuaika. Tässä opinnäytetyössä takaisinmaksuajoina käytetään 10 ja 15 vuotta, joiden annuiteettikertoimet ovat 0,1295 ja 0,0963.

$$k_1 = a' \cdot k \quad (3)$$

$$a' = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

Kiinteät ylläpitokustannukset k_2 lasketaan kaavalla (5), jossa osa-, huolto- ja kunnossapitokustannus oletetaan olevan 2% laitoksen ominaisinvestoinnista vuodessa. Muut kiinteät kustannukset k_3 ovat tontti maksu, polttoainevaraston korko ja vakuutukset.

$$k_2 = 2,00 \% \cdot k \quad (5)$$

Lopuksi voidaan laskea kiinteät kustannukset kaavalla $F = (k_1 + k_2 + k_3)$. Muuttuvat kustannukset V sisältävät polttoainekustannus m_1 ja vaihtelevat ylläpitokustannukset m_2 . Kun kaikki osat kustannukset lasketaan yhdessä, jotka ovat F plus V .

Kaskisten Energian kesän kokonaistuotanto on 2 850 MWh, ja uuden laitoksen maksimi on P_e 2,5 MW. Huipputehon kesto on t_k , joka lasketaan kaavalla (6), sen tulos on 1 140 h. Tuotetun energian hinta p lasketaan kaavalla (7), jossa käytetään 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikaa.

$$t_k = \frac{E}{P} = \frac{2850 \text{ MWh}}{2,5 \text{ MW}} \quad (6)$$

$$p = \frac{F}{t_k} + V \quad (7)$$

Lopuksi verrataan kaikkien vaihtoehtojen kiinteitä ja muuttuvia kustannuksia sekä 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikana tuotetun energian hintoja. Kustannusanalyysin avulla voidaan Kaskisten Energialle valita paras vaihtoehto.

5 Tutkimukseen valitut tuotantomuodot ja niiden analyysit

Tutkimuksen avulla lopulta valitut viisi vaihtoehtoa ovat hakelämpölaite, maalämpö, merilämpö, lämpöpumppujärjestelmä ja ilma-vesilämpöpumppu. Kaikki vaihtoehdot voivat kattaa Kaskisten Energian kesäkuukausien lämmönkulutuksen uusiutuvalla energialla tai sähköllä, eli 2 850 MWh kesäaikana. Myös kaikki vaihtoehdot ovat luotettavia ja ympäristöystävällisiä, ja niiden investointikustannukset ovat edulliset ja tuotantokustannukset ovat kohtuulliset. Projektin aikana ilmi käyneiden seikkojen ja keskusteluiden jälkeen biokaasulaitos ja aurinkolämpö päätettiin jättää vaihtoehdoista pois.

Biokaasulaitoksen hintaan vaikuttaa paljon tekijöitä, jotka ovat syötteet, eli mistä raaka-aineista biokaasua tuotetaan, miten syntynyt biokaasu käytetään ja mitä mädätejäänökselle tehdään. (J-P. Paavola, Finess Energy Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 5.6.2020) Yleensä biokaasulaitos suunnitellaan jatkuvaan käyttöön.

Biokaasulaitoksen hinta on kallis. Jo Kaskisten Energian projektin kokoisen biokaasulaitoksen investointi on monta miljoonaa euroa. Tästä johtuen ilma-vesilämpöpumppu otettiin arviointiin mukaan biokaasulaitoksen sijasta. Sähkötoiminen ilma-vesilämpöpumppu on kesäajan kaukolämmön tuotantoon potentiaalinen vaihtoehto, ja kesäolosuhteissa sen hyötysuhdekin on parempi kuin talvella. (J-P. Paavola, Finess Energy Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 18.6.2020)

Aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotto on 2 070 MWh, kesäkuukausina tuotto on 320–380 MWh per kuukausi, siksi aurinkolämpöjärjestelmä ei voi tuottaa riittävästi lämpöä Kaskisten Energialle. Järjestelmä on käytännössä mitoitettava heinäkuun lämmöntarpeen mukaan. Mikäli toukokuussa katettaisiin lämmöntarve 100-prosenttisesti, kesä- ja heinäkuussa aurinkolämpöjärjestelmä tuottaisi paljon enemmän energiaa kuin verkkoon on mahdollista ajaa. (M. Kilgast, Savosolar Oyj, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 22.8.2020)

Aurinkolämpöjärjestelmiä harvoin mitoitetaan kattamaan 100 prosenttia koko kuukauden lämmöntarpeesta, sillä tällöin järjestelmä tuottaa osan kuukaudesta liian paljon energiaa verkkoon ajettavaksi, koska aurinkoiset päivät tulevat yleensä useamman päivän jaksoissa ja tällöin järjestelmä olisi varustettava suurikokoisella puskurivaraajalla. Jotta puskurivaraajan kokoa voitaisiin rajoittaa, mitoitettiin tarjottu järjestelmä kattamaan noin 85 % heinäkuun tarpeesta. Tällöin vuositasolla järjestelmä tuottaisi noin 2 070 MWh, eli reilut 17 % kokonaistarpeesta. (M. Kilgast, Savosolar Oyj, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 22.8.2020) Tästä johtuen aurinkolämpö jätettiin pois vertailusta ja tilalle otettiin Ambiheat lämpöpumppujärjestelmä.

5.1 Hakelämpö

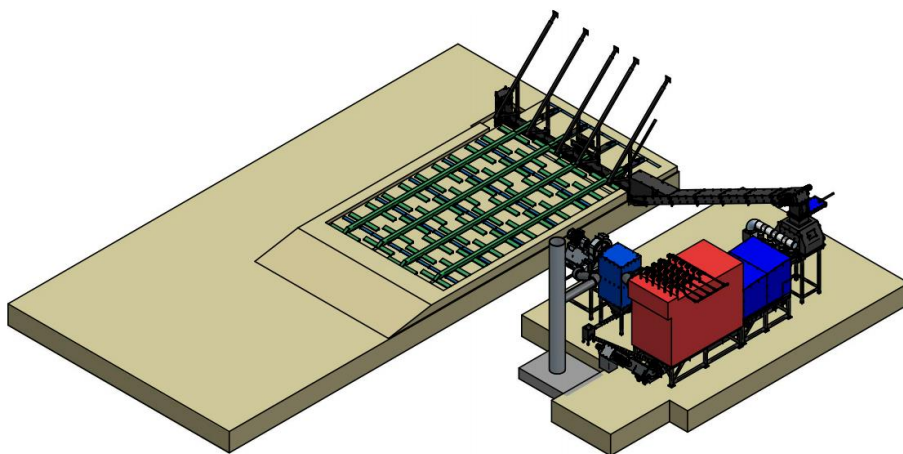
Puu on uusiutuvaa, kotimaista ja taloudellista energiaa, jolla on hyvä energiatase. Kun hakkeenlämmityslaitteet voidaan säätää lämmöntarpeen mukaan ja käytetty polttoaineen laatu on tasaista ja kuivaa, palava puu ei tuota melkein mitään päästöjä. (Metsäkeskukset 2008) Hakkeet ovat mekaanisesti hakettua puuta, jota käytetään nykyaikaisissa automaattisissa puulämmityslaitteissa rakennuksissa, kaukolämpölaitoksissa sekä kaupunkien ja teollisuuden lämmitys- ja voimalaitoksissa. (Motiva 2021) Nykyään Kasikisten Energialla on 5,0 MW hakelaitos käytössä, jonka infrastruktuuria on mahdollista käyttää hyväksi, joten pienempi hakelaitos on yhtenä vaihtoehtona.

Hakkeen pääominaisuudet ovat korkea lämpöarvo ja alhainen kosteus (ks. myös Kuva 7), siksi hakkeen lämpöarvoon vaikuttaa periaatteessa niiden kosteus ja koko. Yleensä hake poltetaan 20–50 % kosteudessa. (Motiva 2021) Hakkeen kosteus voi kuitenkin hallita kattilan tehoa, ja polttamalla mahdollisimman paljon kuivaa haketta kattila voi tuottaa enemmän lämmitystehoa. Hakelämmityksen etuja ovat helppo säilytys ja halpa hinta, ja hake voidaan säilyttää suoraan markiisissa. (Ruohomaa 2012, 16–17)



Kuva 7. Polttoaineena käytettävää haketta (Motiva 2021).

Hakelämpölaitoksen tarjous pyydettiin Biofire Oy:lta, jonka teho on 2,5 MW. Biofirella on tärkeä rooli teollisuuden keskuslämmitysjärjestelmien toimituksissa. Suuren polttoainetarpeen vuoksi haketta syötetään kolakuljettimen kautta kaukolämmön tuotantoon. (Biofire Oy 2021) Kuva 8 on hakelämpölaitoksen havainnekuva. Biofire Oy voi tarjota avaimet käteen-periaatteella koko projektin.



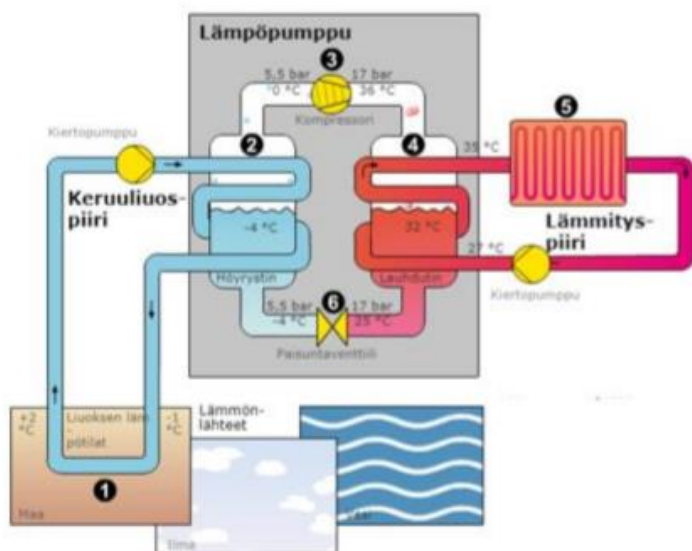
Kuva 8. Teho 2,5 MW hakelämpölaitoksen havainnekuva (Biofire Oy 2018).

Hakelämpölaitoksessa polttoaine kuljetetaan välisäiliöstä polttimen polttopäähän ruuvikuljettimen kautta. Palaminen tapahtuu suuttimessa ja aiheuttaa liekin kattilan sisällä. Loppuun palanut polttoaine työntyy hydraulisesti liikkuvan arinakoneikon avulla tuhkana kattilan tuhkatilaan tai märkätuhkaukselle. Lehtotuhkaa voidaan erotella tehokkaasti syklonpuhdistimella ja johdetaan tuhkanpoistoon. Kuivatuhkanpoistolla varustetuissa

järjestelmissä tuhkan kuljetus käyttää ruuvikuljetinta ja kuljetetaan suureen tuhka-astiin rakennuksen ulkopuolella. Tuhka kuljetetaan kolakuljettimella märkätuhkanpoistolisisissa järjestelmissä ja viedään lämpökeskuksen sisätiloihin sijoitettuun tuhkakonttiin. Kattilan alipainetta voidaan ylläpitää alipaineohjattu savukaasunimurilla eli vedon haluttuna, siiten voidaan käyttää laajan tehoaluetta. (Biofire Oy 2021)

5.2 Maalämpö

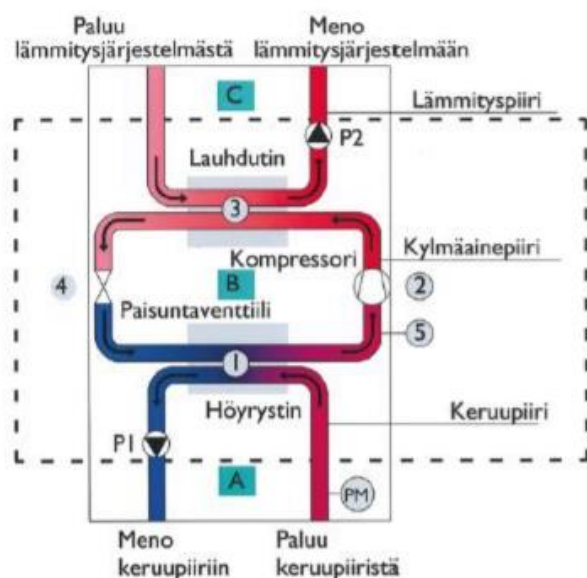
Maalämpö on täysin uusiutuvaa lämpöenergiaa. Geoterminen energia tulee maan sisäinen radioaktiivisten aineiden hajoamisen aiheuttamasta lämmöstä, ja se on syvemmillä maassa kallioperässä. (Pöhö 2013, 1–2) Syvässä kallioperässä maan lämpötila nousee noin $0,5\text{--}1^\circ\text{C} / 100\text{ m}$ geotermisen energian takia. (Pesonen 2018, 9) Maalämpöä kerätään maalämpöjärjestelmällä, jotka koostuvat keruupiiristä, maalämpöpumpusta ja nestekiertoisesta lämmönjakojärjestelmästä. (Pesonen 2018, 15) Kuva 9 on esitelty maalämpöjärjestelmän rakenne ja toimintaperiaate.



Kuva 9. Maalämpöjärjestelmän rakenne ja toimintaperiaate (Pesonen 2018, 9).

Keruupiiriä kutsutaan myös keruuputkistoksi, joka sijaitsee maan alla. Keruuputkistossa on virtaava bioetanoliliuos (noin 30 % bioetanolia ja noin 70 % puhdasta vettä), joka johdtaa lämpöenergiaa maaperästä, vesistöistä tai kalliosta maalämpöpumpulla. Liuoksesta siirretään lämpöenergia höyrystyvään kylmäaineeseen höyrystimessä. Höyrystyvän kylmäaineen lämpötila voi nousta ja tulla kuuma kaasuksi, kun se puristetaan kompressorilla korkeaan paineeseen. Lauhduttimessa kuuman kaasun lämpöenergia voidaan siirtää lämmitysjärjestelmässä kiertävään nesteeseen ja käyttöveden energiavaraajaan. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine palaa normaalitilaansa paisuntaventtiin kautta. Kun kylmäaineen paine ja lämpötila laskee, sitten se muuttuu taas nestemäiseksi ja palaa höyrystimeen. (Pesonen 2018, 15)

Lämpöpumppulaitteistolla on neljä pääkomponenttia, jotka ovat höyrystin, kompressor, lauhdutin ja paisuntaventtiili. Lämpöä voidaan siirtää maalämpöpumpulla alemmasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Maalämpöpumput käyttävät maanalaista lämpöä rakennusten lämmitysjärjestelmiin ja nostavat käyttöveden lämpötilan riittävän korkealle. Kuva 10 on esittely maalämpöpumpun toimintaperiaate. (Purhonen 2016, 2–3)



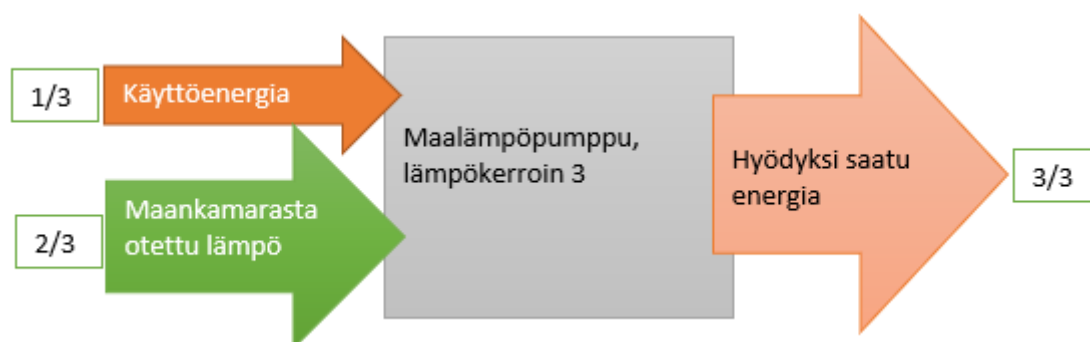
Kuva 10. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Purhonen 2016, 3).

Maalämpöä voidaan kerätä keruuverkostolla, ja siirtää rakennuksen lämmitysverkoston käyttöön maalämpöpumpulla. Maalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen

höyrystymiseen ja nesteytymiseen jatkuvassa suljetussa kiertopiirissä, jolloin kylmäainetta ei kuluteta tai se ei vähene käytössä. Ennen kuin kiertävä kylmäaine saapuu höyrystimelle, sen lämpötila on noin -10°C maalämpöpumpussa. (Pöhö 2013, 8–9)

Lämpöpumpun prosessissa höyrystynyt kylmäaine johdetaan kompressoriin, jossa sen lämpötila voi nousta yli 60°C :seen ja paine yli 20 bariin. Sitten korkeapaineinen ja korkealämpöinen höyry viedään lauhduttimeen. Kylmäaineen höyry jäähdytetään neste-mäiseksi lauhduttimessa, sen jälkeen nestemäinen kylmäaine lauhduttimesta johdetaan paisuntaventtiiliin. Kylmäaineen paineita voidaan laskea ja lämpötila laskee takaisin alkupisteeseen (noin -10°C) paisuntaventtiilissä. Maalämpöpumpun prosessissa käyttökustannukset riippuvat kompressorin käyttämästä sähköenergiasta. (Pöhö 2013, 8–9)

Lämpökerroin COP (Coefficient Of Performance) kuvaa maalämpöpumpun energiatehokkuutta, joka edustaa laitteiden hyötysuhdetta. Lämpöpumpun lämpökerrointa 3 on pidetty yleensä hyvänä tasona. COP-arvo 3 tarkoittaa että, 3 kW lämpöenergiaa saadaan tuotettua 1 kW:lla sähköenergiaa. Lämpöpumpulle johdettu energia koostuu kahdesta osasta, jotka ovat sähköenergia ($1/3$ osuus sisään tulevasta energiasta) ja maasta saatu lämpöenergia ($2/3$ osuus sisään tulevasta energiasta). Kuva 11 on esittely maalämpöpumpun lämpökertoimen osuus. (Purhonen 2016, 4)



Kuva 11. Maalämpöpumpun lämpökertoimen osuus (Purhonen 2016, 4).

St1 Lähienergia Oy voi tarjota maalämpöratkaisun Kaskisten Energialle. Yhtiö toimittaa järjestelmän suunnittelusta käyttövalmiiseen laitteistoon asti. Toimitukseen sisältyvät

suunnittelu, mitoitus ja laitteiston valinta Kaskisten Energian tarpeiden mukaisesti. St1 vastaa laitteiden ja maalämpökaivojen asennus- ja ylläpitokustannuksista koko sopimuskauden ajan. (Lähienergia 2021)

5.3 Merilämpö

Merien lämpöenergiaa voidaan saada ilmaiseksi rannikkoalueilla. (Kirppu 2015, 34) Lämpöä otetaan talteen vesistöistä lämmönvaihtimen avulla, ja vesistövaihdinta voidaan käyttää lämmitykseen lämpöpumpun avulla. (GeoPipe Oy 2016) Vesilämpöpumpun toimintatapa on samanlainen kuin maalämmön pumpun, mutta sen lämmönkeruupiirinä toimii merivesi. Merivesilämpöpumpun tärkeät parametrit ovat meriveden lämpötila ja syvyys. (Kirppu 2015, 34–35)

Tässä tutkimuksessa valittiin vaihtoehdoksi GeoPipe Oy:n vesistövaihdinratkaisu, joka on uusi kotimainen innovatiivinen ratkaisu. WHCEP mini kerää energiaa vesistöistä, joka voidaan lämmitellä lämpöpumpulla. Kuva 12 on GeoPipe Oy:n suosittelemat WHCEP mini vesistölämpö kollektori, jonka nimellisteho on 9,6 kW, joka voidaan asentaa +4°C veteen noin 3 m asennussyvyyteen. Se sopii myös viilennykseen. (GeoPipe Oy 2016)



Kuva 12. Mini vesistölämpö kollektorin havainnekuva (GeoPipe Oy 2016).

Vesistövaihdin ei vaadi erillistä vastapainoa, vaan 90 mm runkoputki on täytetty betonilla ja toimii vastapainona. Myös WHCEP Mini soveltuu suurempien kiinteistöjen lämmittämiseen, ja useita lämmönvaihtimia voidaan asentaa rinnakkain. Laite voidaan asentaa kesällä tai talvella ja Kuva 13 on esitetty WHCEP mini asennuksen 4 vaihetta. (GeoPipe Oy 2016)

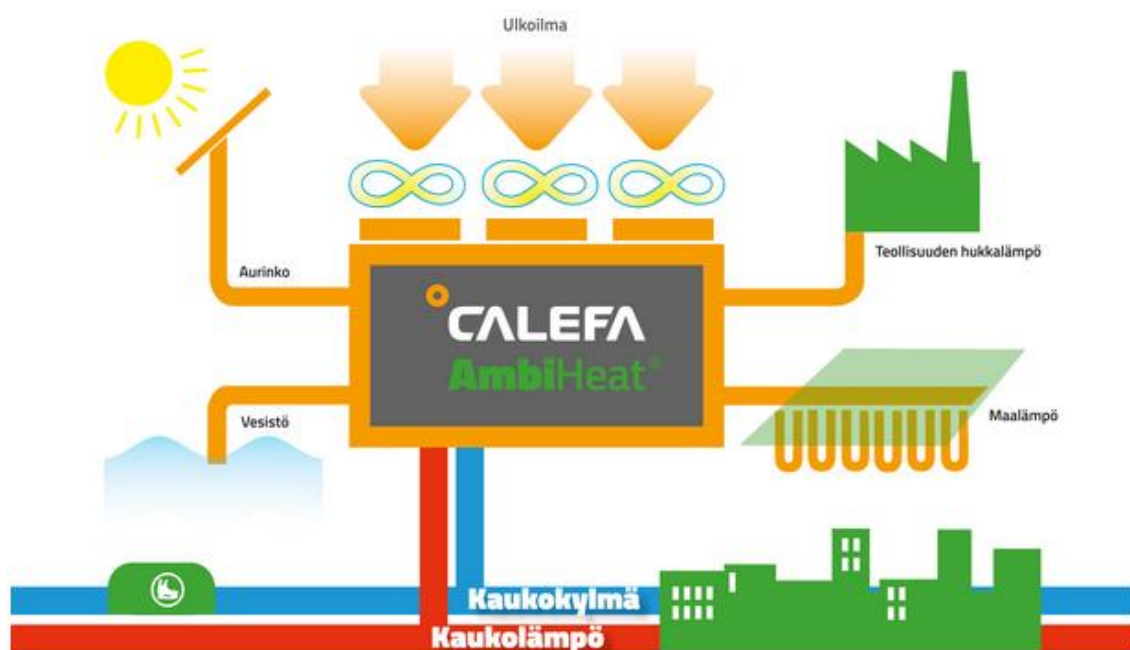


Kuva 13. WHCEP mini asennuksen neljä vaihetta (GeoPipe Oy 2016).

Kaskinen on rannikkokaupunki, ja sen merilämpö on erittäin hyvä uusiutuvan energian lähde ja vesistövaihdinratkaisulla merilämpö on mahdollinen vaihtoehto Kaskisten Energialle.

5.4 Ambiheat-lämpöpumppujärjestelmä

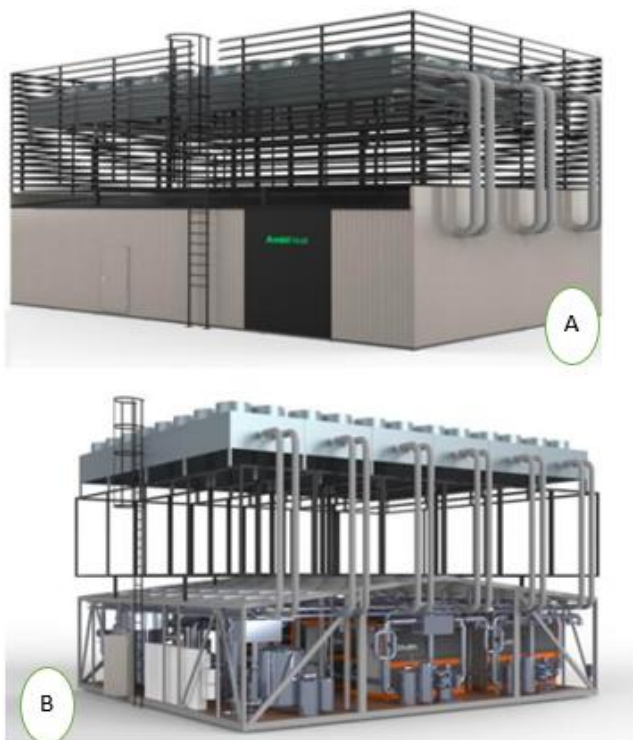
Calefa Oy on energian uudelleenkäyttöön ja energiatehokkuuteen erikoistunut yritys. Calefa AmbiHeat-lämpölaitos voi käyttää lähialueen puhtaita energialähteitä tuottamaan energiaa kauko- tai aluelämpöverkkoon ilman hiilidioksidipäästöjä. Se voi käyttää ulkoilmaa, maalämpöä, vedessä olevaa lämpöä, auringonvaloa ja teollisuuden hukkalämpöä. Kuva 14 on esitelty Calefa AmbiHeat® -lämpöpumppulaitoksen systeemi. (Calefa Oy 2021)



Kuva 14. Calefa AmbiHeat® -lämpöpumppulaitoksen systeemi (Calefa Oy 2021).

Calefa Oy:lla on uuden sukupolven lämpöpumpputeknologiaa, AmbiHeat-lämpölaitoksessa hyödynnetään johtavaa HotLevel® -lämpöpumpputeknologiaa, joka voi tuottaa erittäin korkeita lämpötiloja hyvällä hyötysuhteella jopa matalista lämmönlähteistä kaukolämpöverkkoon soveltuvia lämpötiloja.

Korkean lämpöpumpputeknologia voidaan tuottaa -20 – $+30^{\circ}\text{C}$ ulkoilmasta kaukolämmölle ja myös voidaan jäähdyttää samalla ilmastoaa. Tämä prosessi on täysin päästötöntä kaukolämpöä, eli ei tuota pienhiukkaspäästöjä eikä CO_2 -päästöjä ympäristöön. Kuva 15 on Calefa AmbiHeat® -lämpöpumppulaitos. (Calefa Oy 2021.)



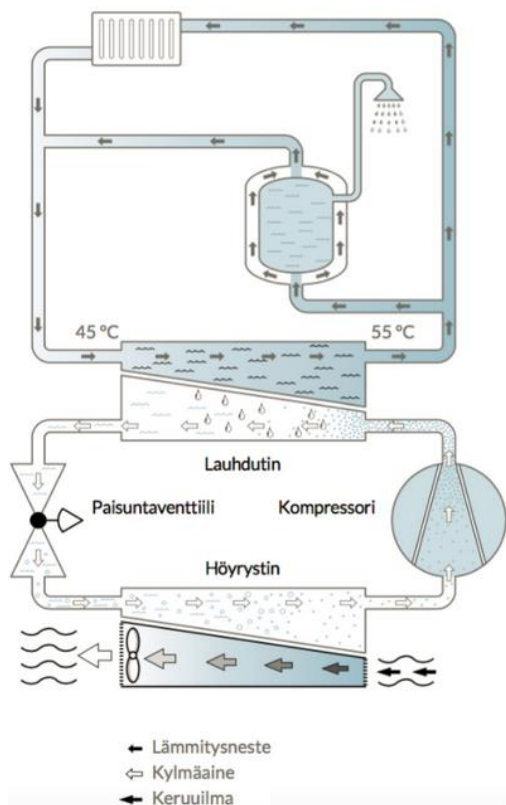
Kuva 15. Calefa AmbiHeat® -lämpöpumppulaitos, kuvassa A on Calefa AmbiHeat lämpöpumppulaitoksen ulkonäkö, kuvassa B on lämpöpumppulaitoksen sisäinen rakenne (A. Porkka, Calefa Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 30.11.2020).

Calefa Oy:n lämpöpumppujärjestelmän lämpöpumppu voi käyttää ulkoilmaa ja savukaasua lämmönlähteenään ja tekee kaukolämpöä lämpöpumpun avulla. Calefa Oy:n palvelu voi tarjota lämpöpumppujärjestelmän kokonaistoimitusta avaimet käteen periaatteella. Kaskisten Energialle voidaan myös suunnitella heidän tarpeisiin sopiva lämpöpumppulaitos.

5.5 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu voi ottaa lämpöenergiaa ulkoilmasta, ja hyödyntää ulkoilman lämpöenergiaa, joiden lämmönluovutus siirretään lämmitysveteen. Lämmintä vettä voidaan käyttää huoneiden ja käyttöveden lämmittämiseen. (Kauppinen 2020, 38.) Ulkoilmaa lämmitetään auringolla, ja siihen varastoituu lämpöenergiaa. Ilmaa puhalletaan

lämpöpumpun höyrystimen läpi, ja kylmäaine höyrystyy. Kylmäaineen lämpötila nousee, kun se puristetaan kokoon kompressorissa. Sitten se virtaa talon lämmitysjärjestelmän lauhduttimeen, jossa tiivistyy nesteeksi. Sen jälkeen se on taas valmis höyrystymään ja keräämään lisää lämpöenergiaa. (Suomen Vesitekniikka 2021.) Kuva 16 esitetään ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate.



Kuva 16. Havainnekuva ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaatteesta (Suomen Vesitekniikka 2021).

Ilma-vesilämpöpumppu tuottaa noin 50 % vähemmän lämpöenergiaa -20°C asteessa kuin $+7^{\circ}\text{C}$ asteessa. Sen lämpökerroin ja lämpöpumpun teho vähenevät merkittävästi noin -20 ja -30°C :ssa välissä, ja myös ilma-vesilämpöpumppu voi sammua automaattisesti. Ilma-vesipumpun laitteiden tai niiden rinnalle asennetun lämpögeneraattorin sähkövastuksen on oltava vähintään yhtä suuri kuin talon lämmityksen ja käyttöveden enimmäistehon kulutus. Ilma-vesipumpun vuosilämpökertoimet vaihtelivat 1,4–2,7 välillä. (Motiva 2020.)

Ilma-vesilämpöpumpun etuna ovat kohtuulliset investointikustannukset. Asennusvaihtoehtoja on useita. (Kauppinen 2020, 39.) Ulkolämpötilan valtavan muutoksen takia, ilma-vesilämpöpumpun vuosihyötysuhde kesäajalle tulee olemaan parempi kuin talvina. (J-P. Paavola, Finess Energy Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 4.7.2020) Finess Energy Oy:n ilma-vesilämpöpumppu laitteisto Heat LH 2stg valitaan Kaskisten Energian projektille.

6 Analyysin tuloksen esittely

Tässä luvussa esitellään kaikkien viiden vaihtoehdon kustannuslaskelmat ja tulosten analyysi. Viisi vaihtoehtoa ovat hakelämpölaitos, maalämpö, merilämpö, lämpöpumppujärjestelmä ja ilma-vesilämpöpumppu.

6.1 Hakelämpölaitoksen kustannukset

Hakelämpölaitoksen kustannustarjous saatiin Biofire Oy:lta (ks. liite 1), jonka mukaan 1,0 MW hakelämpölaitos maksaa noin 700 000 €, ja 2,5MW laitos maksaa noin 1 200 000 € (alv. 0 %). Arvio on suuntaa antava ja laadittu avaimet käteen periaatteella, sisältäen rakennukset, hakevaraston, kattilahuoneen, lvi, sähköt tehtynä ja laitteet asennettuna. (K. Santala, Biofire Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 12.3.2020) Hakelämpölaitoksen kokonaisinvestointi on $I = 1\,200\,000$ € ja teho $P_e = 2,5$ MW, joiden avulla lasketaan erityinen sijoitus kaavalla $k = \frac{I}{P_e} = 0,48 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Kaikki kiinteät kustannukset lasketaan maksimitehoa ja vuotta kohti, jolloin yksikkö on €/Wa, joka kertoo hinnan vuoden aikana keskimäärin tuotetulle teholle.

Pääomakustannus k_1 lasketaan kaavalla $k_1 = a' \cdot k$, ja luvun 4.1 laskujen mukaan 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikojen annuiteettikertoimet ovat 0,1295 ja 0,0963. Takaisinmaksuaikana 10 vuoden pääomakustannus on $0,0622 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$, ja 15 vuoden pääomakustannus on $0,0462 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Yleensä osa huolto- ja kunnossapitokustannus k_2 on 1–3 % laitoksen ominaisinvestoinnista vuodessa. Tässä osa huolto- ja kunnossapitokustannus k_2 oletetaan olevan 2 % laitoksen ominaisinvestoinnista vuodessa, tulos on $k_2 = 2,00 \% \cdot k = 9,60 \cdot 10^{-3} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$.

Hakelämpölaitoksen muut kiinteät kustannukset k_3 ovat polttoainevaraston korko, vaikutukset ja tontin vuokrahinta. Polttoainevarasto riittää kuukauden ajan eli 30 päivää, polttoaineen arvolle lasketaan sitten korko, esim. 5 %, vain muodostaa kiinteän

kustannuksen k_3 , ei koko varaston arvo. (S. Niemi, Vaasan yliopisto, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 17.3.2020) Hakkeen hinta on $27,37 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$, (Metsälehti 2020) polttoainevaraston korko k_3 on $27,37 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 24 \text{ h} \cdot 30 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 5 \% = 9,8532 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Vakuutukset ovat 0,2 % laitoksen jälleenhankintahinnasta, eli $0,2 \% \cdot 1\,200\,000 \text{ €} = 2\,400 \text{ €}$, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{2\,400 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 9,60 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Tontin vuokrahinta on 2 000 €/vuosi, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{2\,000 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 8,00 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$.

Hakelämpölaitoksen muuttuvia kustannuksia ovat polttoainekustannukset, sekä omakäyttösähkön ja veden käsittelykustannukset. Polttoainekustannus m_1 on tämä polttoaineen hinta $27,37 \text{ €/MWh}$ kerrottuna laitoksen kulutussuhteella. Kulutussuhde on kokonaishyötysuhteen (0,85) käänteisarvo, lasketaan $m_1 = 27,37 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot \frac{1}{0,85} = 32,2 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$. Omakäyttösähkön ja veden käsittelykustannukset sisältyvät ”muihin muuttuviin kustannuksiin” m_2 , jotka ovat suuruusluokkaa 1–3 €/MWh, tässä oletetaan m_2 on 2 €/MWh.

Hakelämpölaitoksen kiinteät kustannukset kymmenen ja viidentoista vuoden takaisinmaksuajoille ovat 75 €/kW_a ja 59 €/kW_a. Muuttuvat kustannukset ovat m_1 ja m_2 , joiden tulos on 34 €/MWh. Kaskisten Energian kokonaistuotanto on 2850 MWh. Huipputehon kesto t_k on 1 140 h. Hakelämpölaitoksen takaisinmaksuaika kymmenen ja viidentoista vuoden energiahinnat lasketaan kaavalla $p = \frac{F}{t_k} + V$, jotka ovat 100 €/MWh ja 86 €/MWh.

6.2 Maalämmön kustannukset

Maalämmön kustannustarjous saatiin St1 Lähienergia Oy:ltä (ks. liite 2). Jos yhden kuukauden aikana tuotetaan 800 MWh energiaa lämpöpumpuilla, tarvitaan antoteholtaan vähintään 1,11 MW lämpölaite, joka kustantaisi n. 1,65 M€. Tällä teholla laitosta voidaan käyttää 3 000–4 000 tuntia vuodessa. Isommat käyntitunnit edellyttävät muista

lähteistä lauhdelämpöjen hyödyntämistä tai isompaa kaivokenttää. (K. Savela, St1 Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 31.8.2020)

Kaskisten Energian kesäaikana tarvitaan 5 kuukautta, jotka ovat 3600 tuntia, tämä on 3000–4000 tuntia alueella. Maalämmön kokonaisinvestointi on $I = 1\,650\,000$ € ja teho $P_e = 2,5$ MW, erityinen sijoitus on $k = \frac{I}{P_e} = 0,66 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Kaikki kiinteät kustannukset lasketaan maksimitehoa ja vuotta kohti, jolloin yksikkö on €/Wa, joka kertoo hinnan vuoden aikana keskimäärin tuotetulle teholle.

Luvun 4.1 laskujen mukaan 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikojen annuiteetikertoimet ovat 0,1295 ja 0,0963 ja maalämmön pääomakustannus on $k_1 = a' \cdot k$. Takaisinmaksuaikana 10 vuoden pääomakustannus on $0,08547 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$, ja 15 vuoden pääomakustannus on $0,06356 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$.

Tässä osa huolto- ja kunnossapitokustannus k_2 oletetaan olevan 2 % laitoksen ominaisinvestoinnista vuodessa, lasketaan $k_2 = 2,00 \% \cdot k = 1,32 \cdot 10^{-2} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Maalämmön muut kiinteät kustannukset k_3 ovat vakuutukset ja tontin vuokrahinta. Vakuutukset ovat $1\,650\,000 \text{ €} \cdot 0,2 \% = 3\,300 \text{ €/a}$, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{3\,300 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 0,00132 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Tontin vuokrahinta on $2\,000 \text{ €/vuosi}$, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{2\,000 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 8,00 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$.

Maalämmön muuttuvat kustannukset sisältävät sähkön kustannuksen, sekä omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannukset. Sähkön kustannus m_1 on sähkön hinta $50,00$ €/MWh (Lumo Energia 2020) jaettuna maalämpöpumpun lämpökerroin suhteella. Kuva 17 havainnollistetaan maalämpöpumpun lämpökertoimen osuus, ja maalämpöpumppu lämpökerroin on 3. Sähkön kustannus lasketaan $m_1 = 50,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} / 3 = 16,67 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$. Omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannus sisältyvät ”muihin muuttuviin kustannuksiin” m_2 , jotka ovat suuruusluokkaa $1\text{--}3$ €/MWh, tässä oletetaan m_2 on 2 €/MWh.



Kuva 17. Maalämpöpumpun lämpökertoimen osuus (Purhonen 2016, 4).

Maalämmön kiinteät kustannukset 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuajoille ovat 101 €/kW_a ja 79 €/kW_a. Muuttuvia kustannuksia on 19 €/MWh. Maalämpölaitoksen takaisinmaksuaikana kymmenen ja viidentoista vuoden energiahinnat ovat 107 €/MWh ja 88 €/MWh. Kaikki tulokset saatetaan luvun 4.1 laskujen kaava mukaan.

6.3 Merilämmön kustannukset

Merilämmön kustannusarvioon kuuluvat vesistövaihtimen ja lämpöpumpun kustannukset, jotka tulevat eri yrityksiltä. Vesistövaihtimeksi valittiin GeoPipe Oy:n Whcep-Mini (ks. liite 3) vesistöenergiavaihdin, joka on 9,60 kW ja kappalehinta on 2 250 €/kpl (alv 0 %). Vesistövaihdin voidaan asentaa vesistöön 3,0 m syvyyteen ja 1,0 MW järjestelmän kustannusarvio on 170 000 € (alv. 0 %) asennettuna. (M. Lieskoski, GeoPipe Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 18.6.2020) Kaskisten Energian teho $P_e = 2,5 \text{ MW}$, kun asentetaan 2,5 MW vesistövaihdin järjestelmä kustantaa $170\,000 \text{ €} \cdot 2,5 = 425\,000 \text{ €}$.

Lämpöpumpuksi valittiin Oilon Oy:n järjestelmä (ks. liite 3), jossa on 5 lämpöpumppua. Lämpökapasiteetti on 1 673 kW ja lämpöpumpun lämpökerroin COP on 2,41. Lämpöpumpun budjettihinta yhteensä on 335 650 € (alv. 0 %). (H. Liedes, Oilon Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 11.9.2020)

Merilämmön kokonaisinvestointi sisältää vesistövaihdin järjestelmän kustannukset ja lämpöpumpun kustannukset, joiden avulla lasketaan $I = 0,425 \text{ M€} + 0,335650 \text{ M€} = 0,76065 \text{ M€}$. Laitoksen teho on $P_e = 2,5 \text{ MW}$, erityinen sijoitus on $k = \frac{I}{P_e} = 0,30426 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Kaikki kiinteät kustannukset lasketaan maksimitehoa ja vuotta kohti, jolloin yksikkö on $\text{€}/\text{Wa}$, joka kertoo hinnan vuoden aikana keskimäärin tuotetulle teholle.

Merilämmön pääomakustannus 10 vuoden takaisinmaksuaikana on $0,0622 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$, ja 15 vuoden pääomakustannus on $0,0462 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$, ne lasketaan kaavalla $k_1 = a' \cdot k$, ja 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaika annuiteettikerroin ovat 0,1295 ja 0,0963. Osa-, huolto- ja kunnossapitokustannus k_2 oletetaan olevan 2 % laitoksen ominaisinvestoinnista vuodessa, lasketaan $k_2 = 2,00 \% \cdot k = 6,0852 \cdot 10^{-3} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Merilämmön muut kiinteät kustannukset k_3 ovat vakuutukset ja tontin vuokrahinta. Vakuutukset ovat $0,76065 \text{ M€} \cdot 0,2 \% = 1521,3 \text{ €/a}$, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{1521,3 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 6,0852 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Tontin vuokrahinta on 2 000 €/vuosi, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{2000 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 8,00 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$.

Merilämmön muuttuvat kustannukset sisältävät sähkön kustannuksen, sekä omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannukset. Sähkön kustannus m_1 on polttoaineen hinta 50,00 €/MWh jaettuna merilämpöpumpun lämpökerroin suhteella. Lämpöpumpun lämpökerroin COP on 2,41, sähkön kustannus lasketaan $m_1 = 50,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} / 2,41 = 20,75 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$. Omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannus sisältyvät "muihin muuttuviin kustannuksiin" m_2 , jotka ovat suuruusluokkaa 1–3 €/MWh, tässä oletetaan m_2 on 2 €/MWh.

Merilämmön kiinteät kustannukset 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuajoille ovat 47 €/kWa ja 37 €/kWa. Muuttuvia kustannuksia on 23 €/MWh. Merilämpölaitoksen energiahinnat 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuajoille ovat 64 €/MWh ja 55 €/MWh. Kaikki tulokset saadaan luvun 4.1 laskukaavojen mukaan.

6.4 Lämpöpumppujärjestelmä kustannukset

Lämpöpumppujärjestelmän kustannustarjous saatiin Calefa Oy:ltä (ks. liite 4), se on Ambiheat-lämpöpumppujärjestelmä, joka on ulkoilmaa lämmönlähteenä käytävä lämpöpumppujärjestelmä lämmön tuotantoon. Ambiheat-lämpöpumppujärjestelmän konttiratkaisussa lämpöpumppuja on 4 kpl, ja niiden lämpöteho on 700 kW. Lämpöpumpun lämpökerroin COP on 2,7. Lämpöpumppujärjestelmän projektin maksaa 2 163 000 €, tarkoitus kokonaisinvestointi on $I = 2\,163\,000$ €. (A. Porkka, Calefa Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 30.11.2020) Kaskisten Energian kesälaitoksen maksimi teho P_e on 2,5 MW, erityinen sijoitus on $k = \frac{I}{P_e} = 0,8652 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Kaikki kiinteät kustannukset lasketaan maksimitehoa ja vuotta kohti, jolloin yksikkö on €/Wa, joka kertoo hinnan vuoden aikana keskimäärin tuotetulle teholle.

10 vuoden takaisinmaksuajan pääomakustannus on $0,11204 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$, ja 15 vuoden pääomakustannus on $0,08332 \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$, ne lasketaan kaavalla $k_1 = a' \cdot k$, ja 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaika annuiteettikerroin ovat 0,1295 ja 0,0963. Osa-, huolto- ja kunnossapitokustannus k_2 oletetaan olevan 2 % laitoksen ominaisinvestoinnista vuodessa, lasketaan $k_2 = 2,00 \% \cdot k = 1,7304 \cdot 10^{-2} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Merilämmön muut kiinteät kustannukset k_3 ovat vakuutukset ja tontin vuokrahinta. Vakuutukset ovat $2\,163\,000\text{€} \cdot 0,2 \% = 4\,326,00 \text{€}/a$, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{4\,326,00 \text{€}/a}{2,5 \text{ MW}} = 1,7304 \cdot 10^{-3} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Tontin vuokrahinta on 2 000 €/vuosi, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{2\,000 \text{€}/a}{2,5 \text{ MW}} = 8,00 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$.

Lämpöpumppujärjestelmän muuttuvat kustannukset sisältävät sähkön kustannuksen, sekä omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannukset. Sähkön kustannus m_1 on polttoaineen hinta 50,00 €/MWh jaettuna lämpöpumpun lämpökerroin suhteella. Lämpöpumpun lämpökerroin COP on 2,7, sähkön kustannus lasketaan $m_1 = 50,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} / 2,7 = 18,52 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$. Omakäyttösähkön ja veden käsittelyn

kustannukset sisältyvät ”muihin muuttuviin kustannuksiin” m_2 , jotka ovat suuruusluokkaa 1–3 €/MWh, tässä oletetaan m_2 on 2 €/MWh.

Ambiheat-lämpöpumppujärjestelmän kiinteät kustannukset 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuajoille ovat 132 €/kWh ja 103 €/kWh. Muuttuvia kustannuksia on 21 €/MWh. Merilämpölaitoksen 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikojen energiahinnat ovat 136 €/MWh ja 111 €/MWh. Kaikki tulokset saatetaan luvun 4.1 laskujen kaava mukaan.

6.5 Ilma-vesilämpöpumpun kustannukset

Ilma-vesilämpöpumpun kustannustarjous saatiin Finess Energy Oy:lta (ks. liite 5), jonka budjettihinta laitteistolle on 630 000 € ja akkujärjestelmän hinta karkeasti noin 140 000 €. Ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin laskettuna ilma +7/KL-vesi 40/90°C on noin 2,5. Toukokuun tehon keskimäärä on 1,1 MW, kattaakseen koko tehontarpeen on järjestelmään lisättävä lämpöakku, jonka sopiva koko riippuu huipputehon (2,5 MW) kestoista. Tarkemmin sanottuna laitteiston tehon 1,3 MW ylittävä huipputehon kesto on oleellinen. 100m³ akku antaisi noin 3 h 2,5 MW tehoa, joka voidaan jakaa vielä useampaan pienempään akkuun, esim. 3 eri lämpötilatasoa ja 3x30m³ akut. (J-P. Paavola, Finess Energy Oy, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 4.7.2020)

Ilma-vesilämpöpumpun projektin kokonaisinvestointi lasketaan $I = 0,63 \text{ M€} + 0,14 \text{ M€} = 0,77 \text{ M€}$. Laitoksen teho on $P_e = 2,5 \text{ MW}$, erityinen sijoitus on $k = \frac{I}{P_e} = 0,308 \frac{\text{€}}{\text{W}_a}$. Kaikki kiinteät kustannukset lasketaan maksimitehoa ja vuotta kohti, jolloin yksikkö on €/W_a, joka kertoo hinnan vuoden aikana keskimäärin tuotetulle teholle.

Ilma-vesilämpöpumpun pääomakustannus 10 vuoden takaisinmaksuaikana on $0,03989 \frac{\text{€}}{\text{W}_a}$, ja 15 vuoden pääomakustannus on $0,02966 \frac{\text{€}}{\text{W}_a}$, ne lasketaan kaavalla

$k_1 = a' \cdot k$, ja luvun 4.1 laskujen mukaan 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaika annuiteettikerroin ovat 0,1295 ja 0,0963. Osa-, huolto- ja kunnossapitokustannus k_2 oletetaan olevan 2 % laitoksen ominaisinvestoinnista vuodessa, lasketaan $k_2 = 2,00 \% \cdot k = 6,16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Merilämmön muut kiinteät kustannukset k_3 ovat vakuutukset ja tontin vuokrahinta. Vakuutukset ovat $0,77 \text{ M€} \cdot 0,2 \% = 1540,00 \text{ €/a}$, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{1540,00 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 6,16 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$. Tontin vuokrahinta on 2 000 €/vuosi, joka vuosittaisena pääomakustannuksena on $\frac{2\,000 \text{ €/a}}{2,5 \text{ MW}} = 8,00 \cdot 10^{-4} \frac{\text{€}}{\text{Wa}}$.

Ilma-vesilämpöpumpun muuttuvat kustannukset sisältävät sähkön kustannukset, omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannukset. Sähkön kustannus m_1 on polttoaineen hinta 50,00 €/MWh jaettuna lämpöpumpun lämpökerroin suhteella. Lämpöpumpun lämpökerroin COP on noin 2,5, sähkön kustannus lasketaan $m_1 = 50,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} / 2,5 = 20,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$. Omakäyttösähkön ja veden käsittelykustannukset sisältyvät "muihin muuttuviin kustannuksiin" m_2 , jotka ovat suuruusluokkaa 1–3 €/MWh, tässä oletetaan m_2 on 2 €/MWh.

Ilma-vesilämpöpumpun kiinteät eräinvestointikustannukset kymmenelle ja viidelletoista vuodelle ovat 47 €/kW_a ja 37 €/kW_a. Muuttuvia kustannuksia on 22 €/MWh. Ilma-vesilämpöpumpun laitoksen kymmenen ja viidentoista vuoden energiahinnat ovat 64 €/MWh ja 55 €/MWh. Kaikki tulokset saatetaan luvun 4.1 laskujen kaava mukaan.

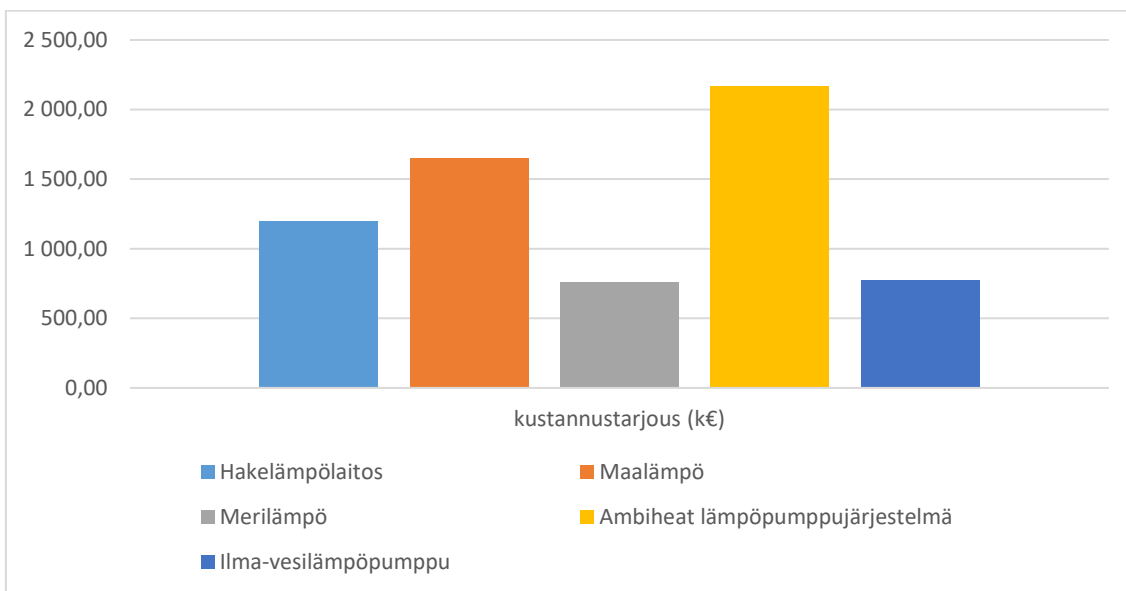
6.6 Kustannusten vertailu

Kaikkien vaihtoehtojen kustannuksien perusteella merilämpö on halvin kertainvestointina. Ilma-vesilämpöpumpun kustannustarjous on lähellä merilämpöä, sekä sen kymmenen ja viidentoista vuoden energiahinnat ovat lähellä merilämpöä, ja hieman halvemmat kuin merilämmön. Taulukko 3 on listattuna kaikkien vaihtoehtojen kustannukset.

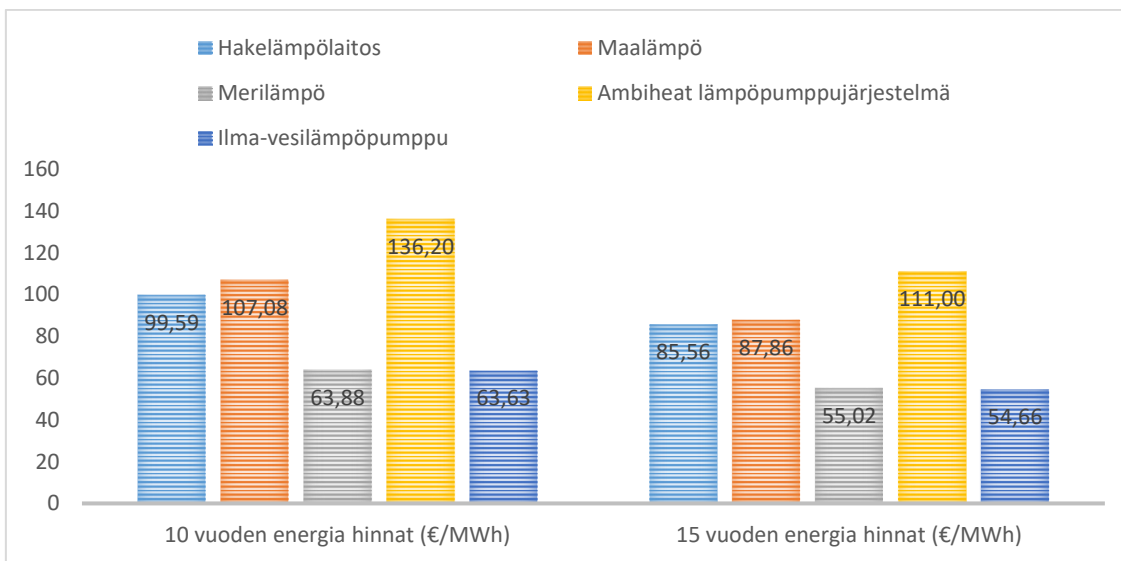
Ambiheat lämpöpumppujärjestelmän investointikustannus on iso alussa, ja kymmenen ja viidentoista vuoden energiahinta on kalliimpi kuin muiden laitoksien. Lisäksi kuvassa 18 vertaillaan kaikkien vaihtoehtojen kustannustarjoukset, ja kuvassa 19 on kymmenen ja viidentoista vuoden energia hintojen yksityiskohtainen vertailu.

Taulukko 3. Kaikkien vaihtoehtojen kustannustarjoukset ja energia hinnat.

Vaihtoehto	kustannustarjous [€]	10 vuoden energia hinnat [€/MWh]	15 vuoden energia hinnat [€/MWh]
Hakelämpölaitos	1 200 000,00	100	86
Maalämpö	1 650 000,00	107	88
Merilämpö	760 000,65	64	55
Ambiheat-lämpöpumppu-järjestelmä	2 163 000,00	136	111
Ilma-vesilämpöpumppu	770 000,00	64	55



Kuva 18. Kaikkien vaihtoehtojen kustannustarjoukset.



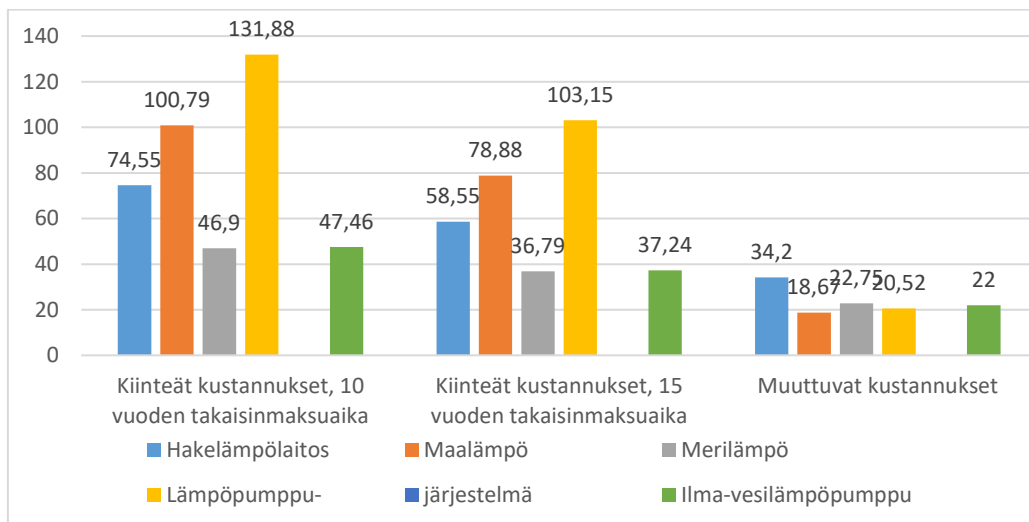
Kuva 19. Kymmenen ja 15 vuoden energia hinnat.

Taulukko 4 sisältää kaikkien vaihtoehtojen kiinteät ja muuttuvat kustannukset. Taulukossa eri värejä käytetään ilmaisemaan kustannusten suuruuksia: vihreä ja vaaleanvihreä edustavat edullisempia energian hintoja.

Taulukko 4. Kaikkien vaihtoehtojen kiinteät ja muuttuvat kustannukset.

Vaihtoehto	Kiinteät kustannukset, 10 vuoden takaisinmaksuaika [€/kW _a]	Kiinteät kustannukset, 15 vuoden takaisinmaksuaika [€/kW _a]	Muuttuvat kustannukset [€/MWh]
Hakelämpölaite	75	59	34
Maalämpö	101	79	19
Merilämpö	47	37	23
Lämpöpumppujärjestelmä	132	103	21
Ilma-vesilämpöpumppu	47	37	22

Kuva 20 esitellään kaikkien vaihtoehtojen tarkat kiinteät ja muuttuvat kustannukset. Merilämmön 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuajoille kiinteät kustannukset myös ovat halvimmat. Ilma-vesilämpöpumpun 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuajoille kiinteät kustannukset ovat hieman kalliimmat kuin merilämmön, mutta sen muuttuvat kustannukset ovat pienemmät. Hakelämpölaitoksen muuttuvat kustannukset ovat kalliit.



Kuva 20 Kaikkien vaihtoehtojen tarkat kiinteät ja muuttuvat kustannukset.

7 Öljyn muuttuvien kustannusten analyysi

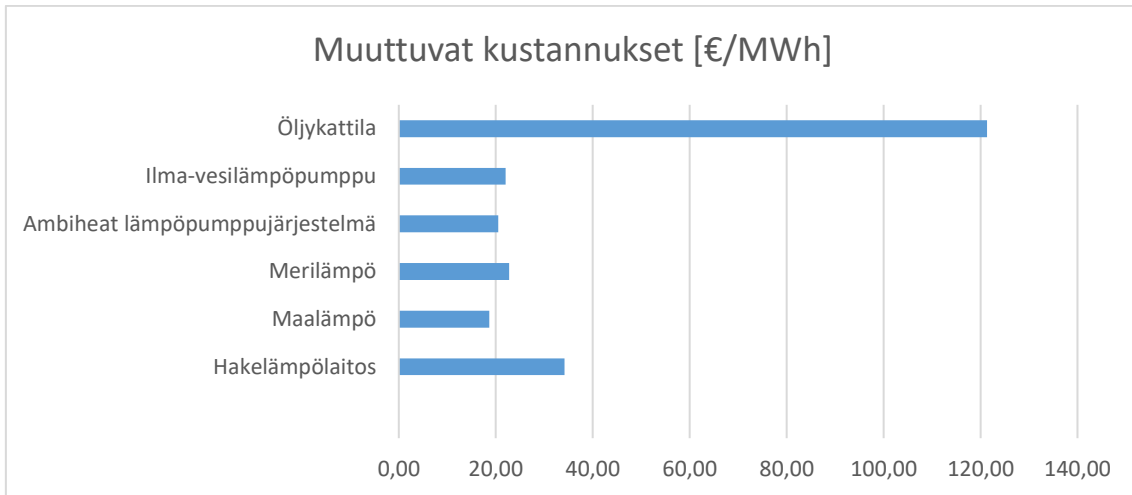
Jos Kaskisten Energian kasvihuoneasiakas lopettaa toimintansa, nykyinen hakekattila on liian iso kesän kulutusta varten, ja silloin ilman jotain muuta toista vaihtoehtoa voidaan joutua käyttämään öljyä. Kaskisten Energialla on aika uudet 4 ja 6 MW öljykattilat. (J. Engvall, Kaskisten Energia, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 12.1.2021)

Öljykattila-laitoksen muuttuvat kustannukset ovat polttoainekustannus, päästöoikeuden hinta, omakäyttösähkön ja veden käsittelykustannukset. Kevyttä polttoöljyä käytetään kotitalouksissa, ja niiden kustannus on 95,9 €/MWh (Tilastokeskus 2021). Polttoainekustannus m_1 on tämä polttoaineen hinta 95,9 €/MWh kerrottuna laitoksen kulutussuhteella. Kulutussuhde on kokonaishyötysuhteen (0,85) käänteisarvo, lasketaan $m_1 = 95,9 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot \frac{1}{0,85} = 112,8235 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$. Omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannus sisältyvät ”muihin muuttuviin kustannuksiin” m_2 , jotka ovat suuruusluokkaa 1–3 €/MWh, tässä oletetaan m_2 on 2 €/MWh.

Päästöoikeuksien hinnat kallistuvat nopeasti, tällä hetkellä maksavat noin 44 euroa. (Hartikainen 2021) Suomen keskimääräisen kaukolämmöntuotannon CO₂-päästö laskettu kolmen viimeisen vuoden keskiarvo, jossa yhteistuotanto on jaettu hyödynjakomenetelmällä: 148 kg CO₂/MWh. (Motiva Oy 2021) Päästöoikeuksien hinnat lasketaan 44€/t * 148 kg CO₂/MWh = 6,512€/MWh. Öljykattilan laitoksen muuttuvat kustannukset ovat 112,8235 €/MWh + 2 €/MWh + 6,512€/MWh = 121,3355 €/MWh.

7.1 Öljykattilan muuttuvien kustannuksien vertailu

Kuva 21 on kaikkien järjestelmien muuttuvat kustannukset, josta nähdään öljykattilan ovat korkeimmat. Öljykattilan muuttuvat kustannukset ovat paljon korkeampi kuin hake-
lämpölaitoksen.



Kuva 21. Kaikkien järjestelmien muuttuvien kustannuksien vertailu.

8 Tärkeiden vaikuttavien tekijöiden analyysi

Kaikkien vaihtoehtojen kustannuksien tärkeimpiin tekijöihin kuuluvat polttoaineen hinnat, pumpun lämpökerroin COP ja sähköverkon sulakkeiden koko. Seuraava on näiden näkökohtien analyysi ja esittely.

8.1 Hakkeen hinta

Hakelaitoksen polttoainekustannus m_1 on hakkeen hinta kerrottuna laitoksen kulutus-suhteella. Polttoaineen kustannukset vaikuttavat suoraan muuttuviin kustannuksiin. Koska hakkeen polttoainekustannusten muutokset johtavat suoraan muuttuvien kustannusten muutoksiin, vaikuttaa näiden kustannusten vaihtelut myös energian hintaan. Hakelaitoksen tuotetun energian hintaan vaikuttaa hakkeen hinta.

8.2 Sähkön hinta

Sähkön kustannus m_1 on sähkön hinta jaettuna lämpöpumpun lämpökerroin suhteella. Sähkön kustannukset vaikuttavat suoraan muuttuviin kustannuksiin, ja niiden kustannuksien kasvaminen johtaa kokonaiskustannuksien nousuun, ja tuotetun energian hinta sisältää muuttuvia kustannuksia, vaikuttaa näiden kustannusten vaihtelut myös energian hintaan. Kaikissa muissa vaihtoehdoissa on lämpöpumput, jotka käyttävät sähköä, ja sähkön hinta vaikuttaa niiden tuotetun energian hintaan.

8.3 Pumpun lämpökerroin COP

Pumpun lämpökerroin COP kertoo kulutetun ja tuotetun energian suhteen, ja esimerkiksi maalämpöpumpun COP 3 tarkoittaa, että 1 kW sähkön ottoteholla saadaan tuotettua 3 kW lämpötehoa. Tässä tutkimuksessa sähkön kustannus m_1 lasketaan

polttoaineen hinta jaettuna lämpöpumpun lämpökerroin suhteella. Kun pumpun lämpökerroin COP on isompi, pumpun tehokkuus on parempi. Kun sähkön kustannus m_1 saadaan pienemmäksi, se tarkoittaa muuttuvia kustannuksia on vähemmän. Taulukko 5 on kaikkien lämpöpumppujen COP ja muuttuvat kustannukset.

Taulukko 5. Lämpöpumpun kerroin COP ja muuttuvat kustannukset.

Vaihtoehto	Lämpöpumpun lämpökerroin COP	Muuttuvat kustannukset [€/MWh]
Maalämpö	3,00	19
Merilämpö	2,41	23
Ambiheat-lämpöpumppujärjestelmä	2,70	21
Ilma-vesilämpöpumppu	2,50	22

Taulukko 5 osoittaa, että kun lämpöpumpun kerroin COP kasvaa, muuttuvat kustannukset ovat pienenevät. Vaihtoehdon energiahinnat 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuajoille lasketaan kaavalla $p = \frac{F}{t_k} + V$, ja muuttuvat kustannukset V sisältää sähkön kustannuksen m_1 ja omakäyttösähkön ja veden käsittelyn kustannukset m_2 . Tässä tutkimuksessa kaikkien vaihtoehtojen osalta oletetaan m_2 olevan 2 €/MWh. Lämpöpumpun kerroin COP on tärkeä tekijä, joka suoraan vaikuttaa sähkön kustannus m_1 , jolloin se myös suoraan vaikuttaa energian hintaan.

8.4 Sähköverkon sulakkeiden koko

Tärkein tekninen rajoitus suurten lämpöpumppujen käytölle on sähköverkon riittävyys. Lämpöpumpun on sijaittava vahvassa kohtaa sähköverkkoa, koska lämpöpumpun käynnistyessä se kuluttaa jopa 7 kertaa enemmän sähkötehoa kuin normaalissa jatkuvassa käytössä. Sähköverkon koko voi tehdä lämpöpumppuinvestoinneista pienemmissä

kaupungeissa tai pienempien verkkojen alueilla kannattamattomiksi. (Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä loppuraportti 2016, 25.) Kaskisten kaupungin ja Kaskisten Energian nykytilanne ja verkon sulakkeiden koot täytyy analysoida ja niiden perusteella valita sopiva lämpöpumppujärjestelmä.

8.5 Hiilipäästöoikeuden hinta

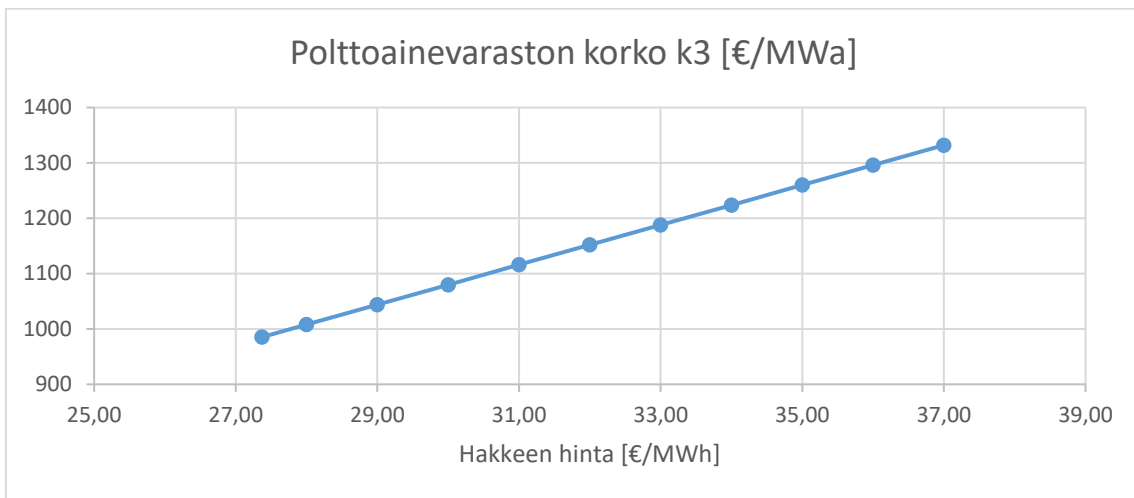
Hiilipäästöjen hinnannousu on nopeaa Euroopassa, ja päästöoikeuksien kallistuminen vaikuttaa kaukolämpöyhtiöihin. (Hartikainen 2021) Jos Kaskisten Energia valitsisi käyttää öljykattilaa, siitä pitäisi maksaa hiilipäästöoikeuden hinta. Kuva 22 näytetään kuinka päästöoikeuksien hinnat kallistuvat nopeasti. Kun hiilipäästöoikeuden hinta nousee, se johtaa muuttuvien kustannuksien nousuun.



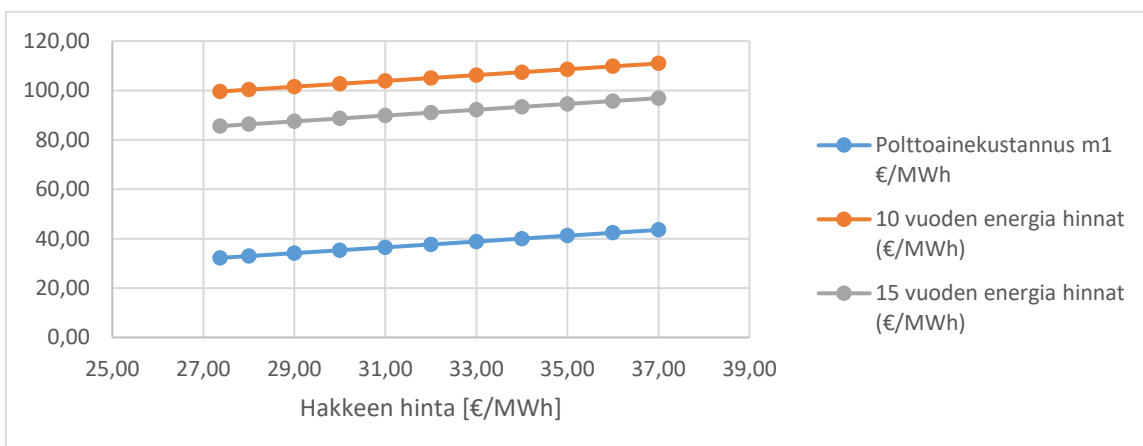
Kuva 22. Päästöoikeuden hinta EU:n päästökaupassa (Hartikainen 2021).

8.6 Herkkyysanalyysi

Tässä viiden vaihtoehdon herkkyysanalyysit sisältävät hakkeen hinta, sähkön hinta ja pumpun lämpökerroin COP. Hakkeen hinta vaikuttaa polttoainevaraston korko k_3 , polttoainekustannus m_1 ja energia hinnat. Kuvassa 23 on hakkeen hinnan ja polttoainevaraston koron suhde, ja kun hakkeen hinnat nousevat, myös polttoainevaraston korko nousee. Kuvassa 24 on hakkeen hinnan ja polttoainekustannuksen, ts. energia hinnan, suhde, ja kun hakkeen hinnat nousevat johtaa se kaikkien kustannusten nousuun.

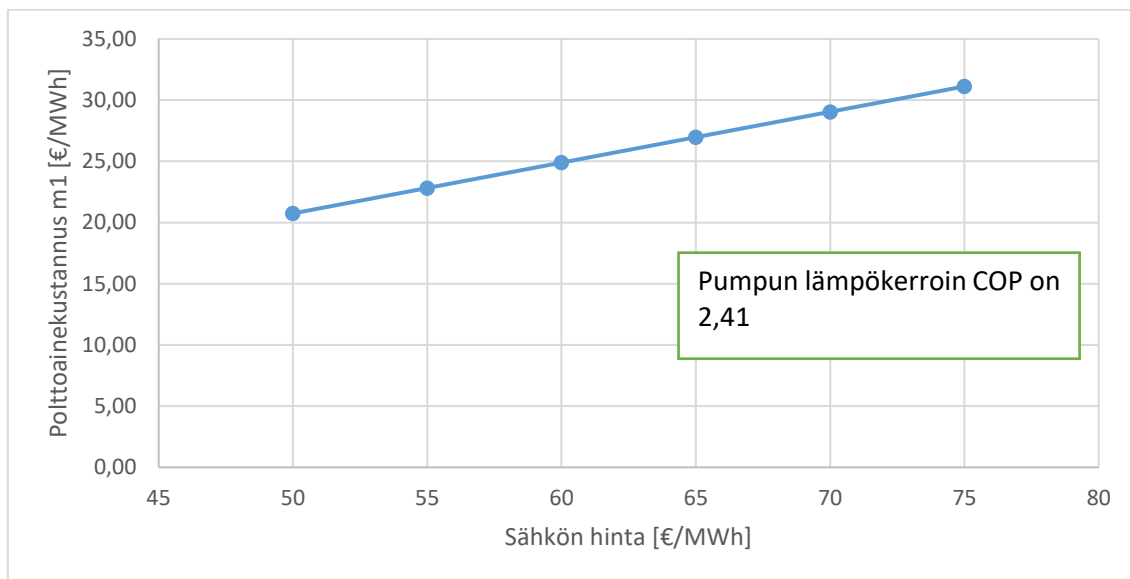


Kuva 23. Polttoainevaraston korko ja hakkeen hinnan suhde.



Kuva 24. Hakkeen hinta ja polttoainekustannuksen sekä energia hintojen suhteet.

Tässä tutkimuksessa sähkön hinta on valittu 50 €/MWh. Sähkön hinta voi vaihdella paljon ja noustessaan se johtaa polttoainekustannusten nousuun. Lopulta se johtaa kokonaiskustannusten nousuun ja lopulta energian hintojen nousuun. Kuva 25 on esimerkki, merilämmön pumpun lämpökerroin COP on 2,41, kun sähkön hinta nousee, myös polttoainekustannus nousee.

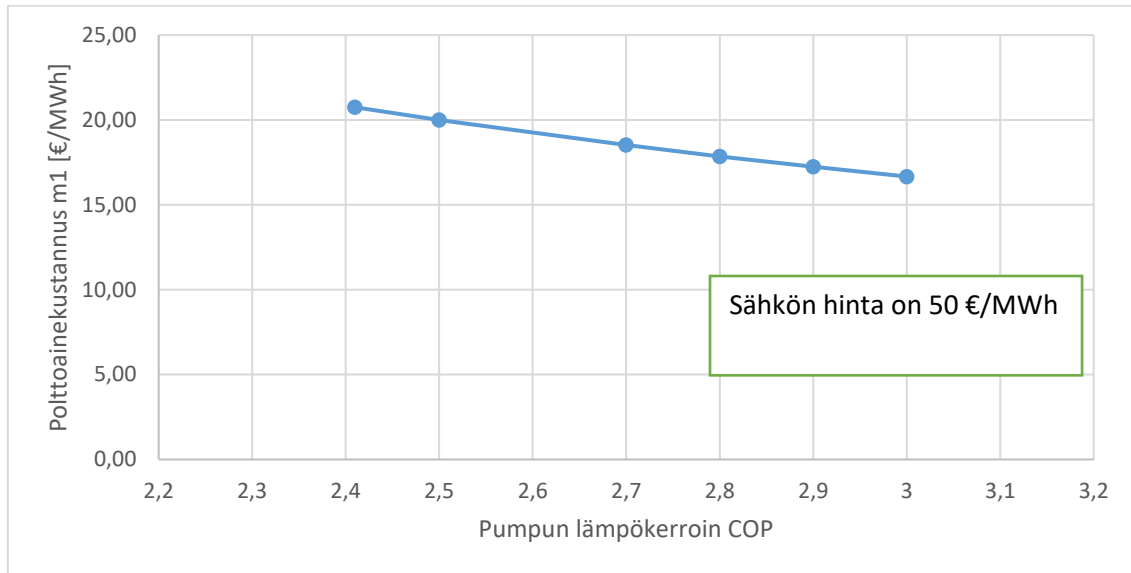


Kuva 25. Sähkön hinnat ja polttoainekustannuksen suhde.

Kuvassa 26 pumpun lämpökerroin COP ja polttoainekustannuksen suhteet. Kun sähkön hinta on 50 €/MWh, ja pumpun lämpökerroin COP on 2,41, polttoainekustannus on 20,75 €/MWh, ja tämä tulos on korkein laskelmissa käytetyillä COP-arvoilla. Kun COP-arvo kasvaa edelleen, ja sähkön hinta ei muutu, polttoainekustannukset laskevat hitaasti. Lopulta ne johtavat kokonaiskustannus ja energia hinnat laskevat.

Teknologian jatkuvan kehityksen myötä pumpun lämpökerroin COP paranee. Tässä tutkimuksessa merilämmön, Ambiheat-lämpöpumppujärjestelmän ja ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin COP ovat erilaiset. Kun verrataan näitä kolmea vaihtoehtoa keskenään, jos laitoksen pumpun lämpökerroin on parempi, sen muuttuvat kustannukset ovat pienemmät. Esimerkiksi ilma-vesilämpöpumpun COP on 2,5, ja merilämpöpumpun COP on

2,41, kun sähkön hinta ja omakäytösähkön ja veden käsittelyn kustannus ovat samat, ilma-vesilämpöpumpun muuttuvat kustannukset ovat pienemmät kuin merilämmön.



Kuva 26. Pumpun lämpökerroin COP ja polttoainekustannuksen suhde.

9 Johtopäätökset

Kaukolämmössä on monia erilaisia hiilineutraaleja tekniikoita, ja laitteiden hinta vaihtelee suuresti samalla kapasiteetilla. Tässä tutkimuksessa keskityttiin etsimään kustannustehokasta vaihtoehtoa Kaskisten kesäajan kaukolämmön erillistuotantoon. Kaskisten Energian maantieteellisten olosuhteiden, nykyisen infrastruktuurin ja kaukolämmön käyttäjäprofiilin yhdistäminen tuo haasteita eri vaihtoehtojen tekniikalle ja taloudelle.

Koska nyt etsittiin vaihtoehtoista tuotantomuotoa vain kesäajan tarpeisiin, teki tämä seikka biokaasulaitoksesta ja aurinkolämpöjärjestelmästä kustannustehottomia ratkaisuja heti alussa ja ne jätettiin jo tutkimuksen alkuvaiheessa pois. Tästä syystä tutkimus ei myöskään välttämättä anna täysin tarkkaa kuvaa eri kaukolämpötuotantomuotojen kustannuksista, jos tarkasteltaisiin koko vuoden lämmöntuotantoa.

Jokainen tutkimukseen valitusta viidestä vaihtoehdosta voi kattaa Kaskisten Energian kesäkuukausien lämmönkulutuksen uusiutuvalla energialla tai sähköllä, ovat luotettavia ja ympäristöystävällisiä, niiden investointikustannukset ovat edulliset ja tuotantokustannukset ovat kohtuulliset. Merilämmön ja ilma-vesilämpöpumpun kertakustannukset ovat kaikkein matalimmat ja toisaalta lämpöpumpputjärjestelmä on Kaskisten tarkoitukseen hyvin soveltuva laitos, mutta hinta myös on korkea. Tarkemmin sanottuna noin kolminkertainen kuin merilämmön tai ilma-vesilämpöpumpun. Tutkimus osoitti myös, että öljylämmityksen muuttuvat kustannukset ovat moninkertaiset verrattuna tutkittuihin viiteen ympäristöystävällisempään vaihtoehtoon.

Kaikkien vaihtoehtojen kustannustarjoukset ja energia hinnat näyttävät, että merilämmön kustannustarjous on niukasti halvin, mutta sen 10 ja 15 vuoden energiahinnat ovat hieman kalliimmat kuin ilma-vesilämpöpumpulla. Koska merilämmön ja ilma-vesilämpöpumpun kustannukset ovat lähellä toisiaan, valinnassa täytyy keskittyä muihinkin seikkoihin kuin vain kustannuksiin.

Tämän tutkimuksen kokonaistuloksena suositellaankin ilma-vesilämpöpumppua Kaskisten Energialle. Kaskisten Energialla ei ole runkolinjaa tai tonttia meren läheisyydessä, jolloin merilämmöstä tulisi enemmän muuttuvia kustannuksia. (J. Engvall, Kaskisten Energia, henkilökohtainen sähköpostikeskustelu, 6.12.2020) Ilmavesilämpöpumppulaitos ei vaadi niin paljon asennustöitä kuin merilämpölaitos.

Investointikustannusten ja hakkeen sekä sähkön hinnan vaihtelut aiheuttavat merkittävää epävarmuutta pitkän aikavälin energian hinnan arviointiin. Energian hintaan vaikuttavat useat eri tekijät, ja eri teknologioiden kehityssuuntia on vaikea ennustaa. Tässä tutkimuksessa keskityttiin myös vain kesäajan kaukolämmön erillistuotantoon, jolloin lisätutkimusta vaatisi selvittää olisiko ilma-vesilämpöpumppu varteenotettava valinta, jos tulevaisuudessa Kaskisten Energiaa kiinnostaisi selvittää vaihtoehtoinen kaukolämmön tuotantomuoto koko vuoden ajalle. Jatkotutkimuksessa kannattaa huomioida tekniikan kehittyminen sekä taloudelliset ja ympäristövaikutukselliset tekijät.

10 Yhteenveto

Tässä työssä on tutkittu eri hiilineutraaleja kaukolämpöteknologioita Kaskisten Energian kesäajan tarpeisiin. Tutkimukseen sisältyy eri teknologioiden investointien kustannusvertailu ja teknologioiden valinnassa otettiin huomioon Kaskisten Energian yrityksen rajoitteet ja vaatimukset, Suomen ilmasto ja uusiutuvien energiantuotantoteknologioiden vaatimukset.

Ensin esiteltiin yleisesti kaukolämmöntuotannossa käytettyjä polttoaineita, lämmönsiirto, ja Suomen olosuhteiden tuomat haasteet kaukolämmölle, sekä Kaskisten kaukolämpötuotannon nykytila-analyysi. Tutkimuksessa keskityttiin viiteen vaihtoehtoiseen kaukolämpötuotantoteknologiaan sekä näiden vaihtoehtojen kustannuslaskentaan, laskevatulosten analysointiin ja vertailuun. Kaskisten Energian pyynnöstä analysoitiin myös öljy polttoaineen muuttuvat kustannukset, ja niitä verrattiin muiden vaihtoehtojen muuttuviin kustannuksiin.

Tutkimukseen valittiin hakelämpö, maalämpö, merilämpö, lämpöpumppujärjestelmä sekä ilma-vesilämpöpumppu ja laskettiin niiden kustannukset kustannusrivi-menetelmällä. Kustannusanalyysillä saatiin selville vaihtoehtojen kiinteät ja muuttuvat kustannukset sekä 10 ja 15 vuoden takaisinmaksuaikojen energian hinnat. Lopuksi kaikkia laskevatuloksia verrattiin keskenään ja tehtiin johtopäätökset.

Tärkeät vaikuttavat tekijät otettiin huomioon kustannusanalyysissä ja loppuvertailussa. Vaikuttavien tekijöiden herkkyyshanalyysi tehtiin. Siinä selvitettiin, kuinka tärkeät tekijät vaikuttavat kustannuksiin. Tässä analyysissä näytettiin kuinka hakkeen hinta, sähkön hinta, ja pumpun lämpökerroin COP vaikuttavat kustannuksiin. Öljykattilan kohdalla myös hiilipäästöoikeuden hinta on tärkeä vaikuttava tekijä. Sähköverkon sulakkeiden koko on tärkeä vaikuttava tekijä kaikissa järjestelmissä.

Tutkimuksen perusteella esitetään ilma-vesilämpöpumppua Kaskisten Energialle kesäajan kaukolämmön tuotantomuodoksi. Tutkimusta voi jatkaa seuraamalla sähkön hintaa,

joka suoraan vaikuttaa energian hintaan. Lisäksi, koska tämä tutkimus keskittyi vain kesäajan kaukolämmön tarpeisiin, jatkotutkimusaiheena voisi olla myös tutkia onko ilma-vesilämpöpumppu koko vuoden ajan tarpeisiin parhaiten soveltuva kaukolämmön tuotantomuoto.

Lähteet

ALOR Partners Oy. (2016). *SUURET LÄMPÖPUMPUT KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄSSÄ.*

Noudettu 20.5.2021 osoitteesta

https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestel-massa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf

Biofire Oy. (2021). *Lämpö kesukset tankopurkain varastolla ja kola kuljettimella.* Nou-

dettu 20.1.2021 osoitteesta

<https://www.biofire.fi/lampokesukset-tankopurkainvarastolla-ja-kolakuljetti-mella-500-6000-kw/>

Calefa Oy. (2021). *AmbiHeat.* Noudettu 8.2.2021 osoitteesta

<http://www.calefa.fi/fi/ratkaisut/calefa-ambiheat-lampolaitos/>

Dajani, H. (2019). *Kaukolämmön tuottaminen tuulivoimalla.* VAMK.

Energiateollisuus ry. (2020). *Energiavuosi 2019 Kaukolämpö.*

GeoPipe Oy. (2021). *Whcep mini vesistölämpö kollektori.* Noudettu 25.1.2021 osoit-teesta

<https://www.geopipe.fi/fi-FI/tuotteet/whcep-mini-33364312>

Hartikainen, J. (2021). *Hiilipäästöjen hinnan nousu Euroopassa on lyönyt kaikki ennusteet, ja sen seurauksena turpeesta tuli ”järkyttävän kallista” : Päästöoikeuksien kallistuminen iskee Heleniin ja muihin kaukolämpöyhtiöihin.*

Helsingin sanomat. Noudettu 6.6.2021 osoitteesta

<https://www.hs.fi/talous/art-2000007926977.html>

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. (2013). *Voimalaitostekniikka.* Ope-tushallitus.

- Kaskinen. (2021). *Yleistä*. Noudettu 26.2.2021 osoitteesta
<https://kaskinen.fi/fi/kunta-ja-hallinto/tietoa-kaskisista/yleista>
- Kauppinen, J. (2020). *Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien vertailu hankesuunnitteluvaiheessa*. Vaasan yliopisto.
- Kirppu, H. (2015). *Hiilineutraalien kaukolämmön erillistuotanto-tekniologioiden hyödyntämismahdollisuudet kaupunkiympäristössä*. Aalto-yliopisto.
- Leinonen, K. (2020). *Selvitys kaukolämmön jakelutariffin toiminnallisuudesta Turku Energian kaukolämpöjärjestelmässä*. Vaasan yliopisto.
- Lähienergia. (2021). *St1 Lähienergia Oy*. Noudettu 15.3.2021 osoitteesta
<https://lahienergia.org/yritykset/st1-lahienergia/>
- Lumo Energia. (2020). *Lumo Energia Oyj*. Noudettu 6.7.2020 osoitteesta
<https://www.lumoenergia.fi/artikkelit/sahkon-hinta-mita-kwh-maksaa-ja-mita-silla-saa/>
- Metsälehti. (2020). Noudettu 15.3.2020 osoitteesta
<https://www.metsalehti.fi/puunhinta/metsaenergian-kayttopaikkahinnat/>
- Motiva Oy. (2019). *Kaukolämpö*. Noudettu 28.10.2020 osoitteesta
https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo
- Motiva Oy. (2021). *Energiaa metsästä*. Noudettu 18.1.2021 osoitteesta
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_metsasta

- Motiva Oy. (2021). *CO₂-päästökertoimet*. Noudettu 18.6.2021 osoitteesta
https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet
- Mäkelä, V. & Tuunanen, J. (2015). *Suomalainen kaukolämmitys*. MAMK.
- Niemi, S. (2020). *Voimalaitokset ja energiatalous -kurssin oppimateriaali*. Vaasan yliopisto.
- Pesonen, J. (2018). *Maalämpöjärjestelmän mitoitus ja kustannusarvio*. LAPIN AMK.
- Purhonen, S. (2016). *Energiakaivojen mitoitukseen liittyvät tekijät*. MAMK.
- Pulkkinen, K. (2019). *Maakaasun korvaaminen vaihtoehtoisilla polttoaineilla vara- ja huipputeholaitoksissa*. JAMK.
- Pöhö, E. (2013). *Maalämpöön siirtymisen kannattavuus keskisuurissa kiinteistöissä*. Metropolia.
- Rajamäki, J. (2015). *Kauko- ja maalämpö lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannusvertailu Vaasassa*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- Ruohomaa, J. (2012). *Öljylämmityksen korvaaminen biopolttolainella*. Samk.
- Salerma, E. (2017). *Kampusalueiden CO₂-päästöjen pienentäminen uusiutuvan energian keinoin*. Aalto-yliopisto.
- Suomen Vesitekniikka Oy. (2021). *Ilma-vesilämpöpumppu*. Noudettu 20.2.2021 osoitteesta
<https://suomenlampopumppu.fi/ilma-vesilampopumppu/>

Tilastokeskus (2021). Energian Hinnat. ISSN 1799-7984 (pdf)

Valor Partners Oy. (2016). *Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä: loppuraportti*. Energiateollisuus. Noudettu 11.11.2020 osoitteesta https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf

Visit kaskinen. (2021). Noudettu 26.2.2021 osoitteesta <https://visitkaskinen.fi/fi/kaskinen-idyllinen-saarikaupunki>

Liitteet

Liite 1. Hakelämpölaitoksen kustannustarjous



Kari Santala <Kari.Santala@biofire.fi>

to 12.3.2020 12:22

Saapuneet

Merkitse lukemattomaksi

Vastaanottaja: Huaying Wang-Alho;

• Vastasi 12.3.2020 13:32.

suuntaa antavasti avaimet käteen periaattella , rakennukset hakevarasto ja kattilahuone lvi ja sähköt tehtynä + laitteet asennettuna 1mw maksaa noin 700 tuhatta euroa alv 0% / 2.5 mw laitos noin 1.2 miljoonan euron paikkeilla erillistä erittelyä en nyt pysty antamaan

Liite 2. Maalämmön kustannustarjous



Kristian Savela <kristian.savela@st1.fi>

ma 31.8.2020 22:26

Saapuneet

Merkitse lukemattomaksi

Vastaanottaja: Huaying Wang-Alho;

Kopio: Emma Söderäng; Seppo Niemi; Ari Haapanen; Jerker Engvall <jerker.engvall@kaskinen.fi>; Matti Pentti <Matti.Pentti@st1.fi>; Tero Saarno <Tero.Saarno@st1.fi>;

• Vastasi 31.8.2020 22:47.

Tervehdys Huaying

23*300m, 6900m, 240 kW tehoisen lämpöpumppulaitoksen kokonaiskustannukset ovat suunnilleen 360 k€ alv 0%. Hinta sisältää perusmuotoisen lämpölaitoksen ilman uutta teknistä tilaa ja sähköliittymää.

Lämpöpumppu valitaan tehotarpeen ja energiankulutuksen perusteella.

Mikäli yhden kuukauden aikana halutaan tuottaa 800 MWh energiaa lämpöpumpuilla tarvitaan siihen laitos, jonka antoteho on vähintään 1,11 MW ja kustantaisi n. 1,65 M€. Tällä teholla laitosta voidaan käyttää 3000-4000 tuntia vuodessa. Isommat käyntitunnit edellyttävät muista lähteistä lauhdelämpöjen hyödyntämistä tai isompaa kaivokenttää.

Parhain terveisin / Best Regards

Kristian Savela

CEO

Renewable Energy

St1 Lähienergia Oy

+358 44 555 0055

Postiosoite: Lommilantie 1, 02740 Espoo

Liite 3. Merilämmön kustannustarjous

GeoPipe Oy:n Whcep-Mini vesistöenergiavaihdin kustannustarjous

mauri.lieskoski@geopipe.fi

6月3日

发送至我 ▾

🌐 芬兰语 ▾ > 中文 ▾ [翻译邮件](#)

Hei,

Porakaivon hinta on noin 31-32€/m.

Whcep-Mini maksaa sinulle 2250,-€/kpl veroton. Voidaan asentaa vesistöön, syväys olisi hyvä olla 3m.

Terv. Mauri Lieskoski

mauri.lieskoski@geopipe.fi

6月18日

发送至我 ▾

🌐 芬兰语 ▾ > 中文 ▾ [翻译邮件](#)

Hei,

Hei,

Meiltä saat vain vesistöenergia vaihtimet.

1MV maksaa noin 170000,-€ kpl.asennettuna.

Terv. Mauri Lieskoski

Oilon Oy:n lämpöpumpun järjestelmän kustannustarjous



Heli Liedes <Heli.Liedes@oilon.com>

pe 11.9.2020 8:53

Saapuneet

Hei,

Tässä yksi laskenta vesistön energiaa hyödyntävälle lämpöpumpulle.

Järjestelmä, jossa 5 lämpöpumppua:

Lämmönlähde (28 % etanoli-vesiliuos) sisään lämpöpumppuun: 2 °C

Lämmönlähde ulos lämpöpumpusta: -1 °C

Lämmitettävä liuos sisään lämpöpumppuun: 40 °C

Lämmitettävä liuos ulos lämpöpumpusta: 90 °C

Lämpökapasiteetti: 1673 kW

COP: 2,41

Budjettihinta näille lämpöpumpuille yhteensä: 335 650 € (0 % ALV)

Ystävällisin terveisin,

Heli Liedes – Myyntipäällikkö

Teollisuuslämpöpumput ja vedenjäähdyttimet

Oilon Oy

Niittytie 25 A

01300 Vantaa

+358 44 7576 700



Heli Liedes <Heli.Liedes@oilon.com>

pe 11.9.2020 9:10

Saapuneet

Merkitse lukemattor

Hei,

Näille alla oleville maalämpökäyttöön tuleville 4:lle lämpöpumpulle vielä käyttöönoton hinta sekä kahden vuoden takuujan huoltojen hinnat:

S490 SU HC+ R450A

Käyttöönotto: 2949 € alv 0%

Laaja huolto: 3650€ alv 0%

Suppea huolto: 2150 € alv 0%

P450SU HC R450A *3 yhteensä:

Käyttöönotto: 5000€ alv 0%

Laaja huolto: 12990 € alv 0%

Suppea huolto: 5600€ alv 0%

Lämpöpumppujen rahti Kokkola-Kaskinen: 580 € (ALV 0%).

t.Heli

Liite 4. Ambiheat lämpöpumppujärjestelmän kustannustarjous



Budjettitarjous 120088

Kaskisten Energia Oy

Ambiheat

**Ulkoilmaa lämmönlähteenä käyttävä
lämpöpumppujärjestelmä lämmön tuotantoon**





Tarjous 120088

30.11.2020

Huaying Wang-Alho
Kaskisten Energia Oy

TAUSTAA

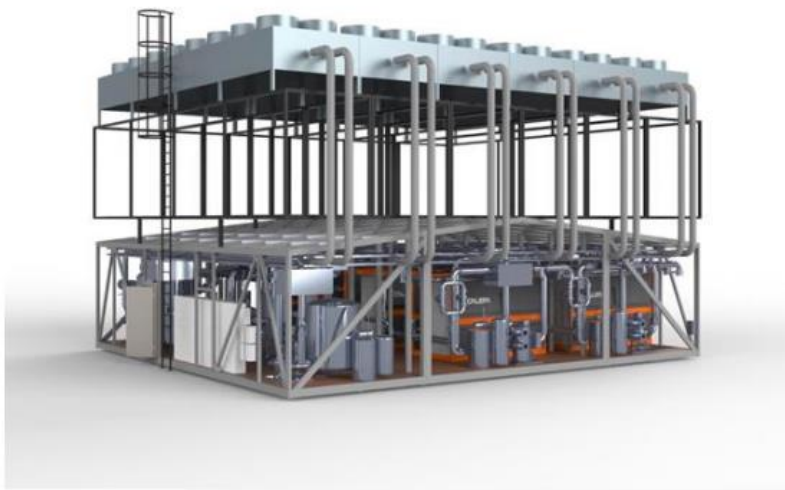
Kaskisten Energia Oy:llä on tavoitteenaan tuottaa kaukolämpöä ulkoilmasta lämpöpumpputekniikkaa hyödyntäen. Calefa on energian uusiokäyttöön ja energian käytön tehostamiseen erikoistunut yritys, jolla on vahva osaaminen asiakkaalle räätälöidyistä lämpöpumppuratkaisuista. Ratkaisua on suunniteltu Calefan toimesta Kaskisten lähtötietoja hyödyntäen.

Tarjoamme teille lämpöpumpujärjestelmän kokonaistoimitusta avaimet käteen periaatteella. Lämpöpumppu käyttää ulkoilmaa ja savukaasua lämmönlähteenään ja tekee siitä lämpöpumpun avulla kaukolämpöä.



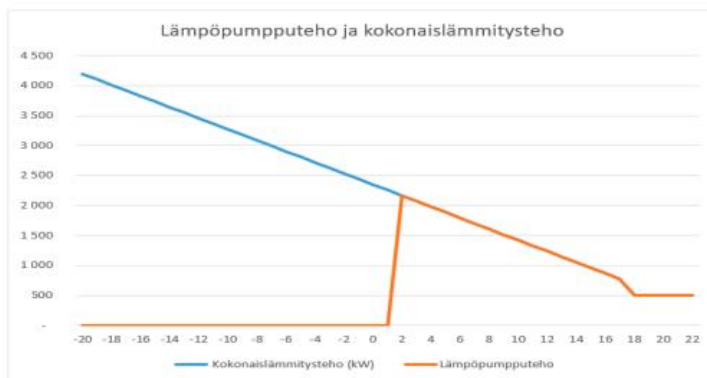
Calefa Oy
Keskikankaantie 21
15860 Hollola
puh. 010 – 219 02 80
Y-tunnus 2565711-3

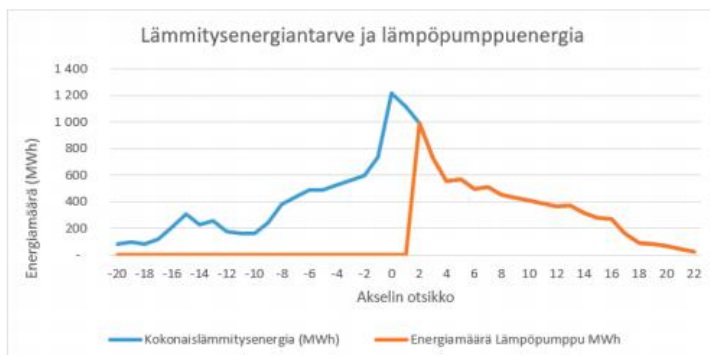
we renew  ur energy



TUOTTO

Laitoksen tuottamaa lämpötehoa on kuvattu kahdessa kuvaajassa. Lämpöpumppujärjestelmä pystyy tuottamaan kaiken verkon tarvitseman lämmön aina ulkolämpötilaan 2°C-astetta saakka tai 2200 kW:n tehoon. Kaukolämpöverkon energiasta lämpölaitos kykenee tuottamaan puolet.



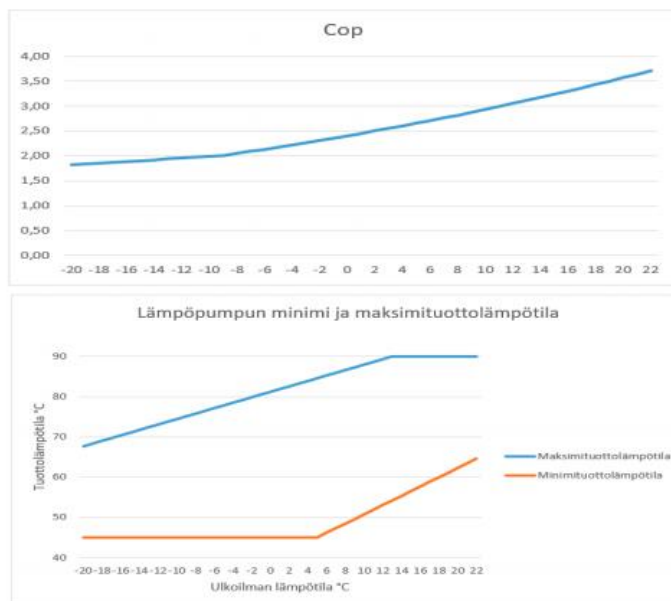


Laitoksen tuottamaa lämpötehoa on kuvattu kahdessa kuvaajassa. Lämpöpumppujärjestelmä pystyy tuottamaan kaiken verkon tarvitseman lämmön aina ulkolämpötilaan 10°C-astetta saakka tai 600 kW:n tehoon. Kaukolämpöverkon energiasta lämpölaitos kykenee tuottamaan puolet.

YHTEENVETO

Lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia	7673	MWh
Lämpöenergia käyttöön (sulatus vähennetty)	7534	MWh
Lämpöpumpun sähkön kulutus	2666	MWh
Puhallin ja pumppusähkö	174	MWh
Priiinausenergian tarve	8846	MWh
Sulatuksen käyttämä lämpöenergia	138	MWh
Lämpöpumpun vuosihyötysuhde	2,7	

Laitoksen COP-lukua ulkolämpötilan suhteen on esitetty alla olevassa kaaviossa kun tuotetaan 75 °C kaukolämpövedtä. Mikäli 70°C riittää on COP-arvo noin 0,4 yksikköä parempi.



TOIMITUKSEN LAAJUUS

Calefan toimitukseen sisältyy:

- Lämpöpumppujärjestelmä konttiratkaisuna lämpöpumppuja 4kpl
 - Lämpöteho 700 kW
 - lämmön tuotto 40°C / 75°C
 - Ulkoilma +8 °C rh 50 %
 - COP 2,7
 - Tuotetun lämmön lämpötila parhaimmillaan +85 °C
 - Suunnittelpaine PN16 kaukolämpöpuolella
- Prosessikaaviot
- Pumput, Kolmeks
- Energiakeräimet ilmasta veteen
- Lämmönsiirtimet, Swep juotettu siirrin
- Toimitukseen kuuluvien laitteiden keskitetty automaatio
 - Siemens S7 + käyttöpaneeli
 - väyläliitäntä
 - Citec-järjestelmään
 - hälytysten jälleenanto GSM-varmistuksella

- Toimilaitteet Siemens on/off ja anturit Siemens PT100
- Käyttöönotto, käyttökoulutus ja -ohjeet
- Luovutusmateriaali toimittajan käytäntöjen mukaisesti
- CE-vaatimustenmukaisuusvakuutus
- Konttiratkaisun vaatimien perustusten kuormitustiedot ja -kuvat
- Laitteiden sähkö tiedot sähköliittymän mitoitusta varten
- Kondenssiveden määrä sadevesiviemärin mitoitusta varten
- Lämpöliittymän mitoitus
- Liittäminen kontin viereen tuotuun kaukolämpöverkkoon
- Varmennustarkastus
-

Tilaaajan toimitukseen kuuluu:

- Lämpöpumppukontin ja energiakeräimen perustukset toimittajan ohjeiden mukaisesti
 - Maanrakennus- ja perustustyöt
- Sähköliittymä tuotuna perustuksille
 - Sähköliittymän mittauskeskus
- Sadeviemäri liittymä tuotuna perustuksille
- Kaukolämpöliittymä tuotuna perustuksille
- Rakennuslupa/Toimenpidelupa

KUVAUS PROJEKTOINNISTA

Lämpökeskus toimitetaan käyttövalmiina valmiiksi suunniteltuna, valmistettuna, asennettuna, säädettynä ja tarkastettuna. Takuukokeet, dokumentointi, koulutukset sekä koulutusmateriaalit ja toimituksen viranomaisasiat hyväksyttynä. Toimittaja suorittaa käyttöönottomittaukset ja omatarkastukset ennen kojeiden ja järjestelmien käyttöönottoa. Tarkastus- ja käyttöönottomittausten pöytäkirjat luovutetaan Tilaaajalle ja tarkastaville viranomaisille. Varmennustarkastuksissa mahdollisesti ilmi tulevien korjausehdotusten toteutus kuuluu Toimittajalle.

Toimittajan on valvottava oman työnjohdon ja työntekijöiden osaamista ja työsuoritusta sekä huolehdittava siitä, että mittauksissa käytetään hyväksytyjä ja määräväleihin tarkastettuja mittalaitteita. Työvaiheiden oikeaan ajoitukseen ja työsuoritusten laatuun kiinnitetään erityistä huomiota.

Toimitukseen kuuluu sähköasennuksien varmennustarkastus.

Rakennusaikana Tilaaja suorittaa valvontaa ja tarkastuksia, joissa todetaan, että tarvikkeet, työmenetelmät, kojeet ja laitteet ovat asiakirjojen mukaiset.

Tilajalle varataan mahdollisuus tarkastaa sähkökeskukset ja ohjauskeskukset tehtaalla ennen niiden toimitusta rakennuskohteeseen.

Toimituksessa sovelletaan seuraavia lakeja ja standardeja:

- Sähköturvallisuuslaki 1135/2016
- Painelaitelaki 1144/2016
- Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016
- Valtioneuvoston asetus 1466/2007 – Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta
- SFS6000 - Pienjännitesähköasennukset
- SFS6002 - Sähkötyöturvallisuus
- SFS-EN 60204-1 – 2018 – Koneiden sähkölaitteisto
- SFS-EN ISO 13857 – Turvaetäisyyden yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeillä
- EN 61508: Ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus

TOIMINTATAKUU

Järjestelmä pystyy toimimaan seuraavissa toimintapisteissä seuraavasti

- Lämpöteho 2800 kW
 - lämmön tuotto 40°C / 75°C
 - Ulkoilma +8°C rh 50 %
 - COP 2,7
- Lämpöteho 2340 kW
 - lämmön tuotto 40°C / 70°C
 - Ulkoilma 0°C rh 50 %
 - COP 2,5

+/- 10 %.

**TOIMITUSAIKA**

Järjestelmän toimitusaika on 5-7 kuukautta tilauksesta.

HINTA

Lämpöpumppujärjestelmä
2 163 000 € alv 0 %

MAKSUEHTO

30 % tilattaessa
25 % Pääkomponentit tehtaalla ja valmistus aloitettu
30 % lämpöpumppukontti toimitettu työmaalle.
10 % käyttöönotosta
5 % vastaanotosta

14 päivää netto

TAKUU

Takuu 24 kk toimituksesta edellyttää laitteiden käyttöä ja huoltoa valmistajan ohjeiden mukaan.

YLEISET SOPIMUSEHDOT

NLM10
Olemme tilaajavastuu.fi jäseniä.

Calefa Oy voi käyttää Kaskisten Energia Oy:lle tekemäänsä suunnittelua referenssinään hyvien markkinointitapojen mukaisesti.

Calefa Oy ei paljasta mitään asiakkaan tuotantoon liittyvää tietoa kolmansille osapuolille ilman Kaskisten Energia Oy:n erillistä lupaa.

Tarjousasiakirjat ovat luottamuksellisia, asiakirjoissa mainittuja tietoja ei saa luovuttaa kolmansille osapuolille ilman Calefa Oy:n suostumusta.



Tarjous 120088

30.11.2020

YHTEYSTIEDOT

Antti Porkka
puh. 044 723 3347
e-mail: antti.porkka@calefa.fi

Toivomme tämän tarjouksemme soveltuvan teidän tarpeisiinne ja johtavan tilaukseen

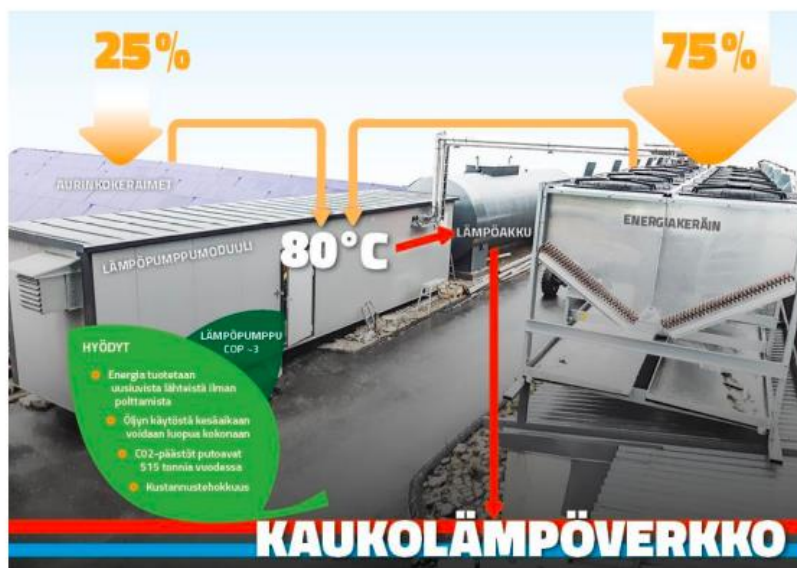
Ystävällisin terveisin

Antti Porkka

Calefa Oy
Keskikankaantie 21
15860 Hollola
puh. 010 – 219 02 80
Y-tunnus 2565711-3

we renew ur energy

REFERENSSI



Suur-Savon Sähkö on korvannut öljyn ja hakkeen käyttöä kaukolämmön tuotannossa ulkoilmaa ja aurinkoenergiaa hyödyntävällä AmbiHeat-lämpölaitoksella. AmbiHeat tuottaa lämpöenergian kaukolämpöverkkoon hiilineutraalisti ilman CO₂-päästöjä tuottavaa polttamista.

Laitoksen sydämenä toimii Calefan erikoislämpöpumppu jalostaa ilmasta kerätyn lämmön kaukolämpöverkkoon sopivaksi. Samanaikaisesti se jäähdyttää sekä aurinko- että energiakeräimiä, jotta lämpöä saadaan otettua entistä enemmän talteen. Ylijäämälämpö varastoidaan lämpöakkuun, mistä lämpöä jalostetaan erikoislämpöpumpun kautta kaukolämpöverkkoon.

Aurinkokenntä tuottaa 25 % järjestelmän energiasta. Loput 75 % tuotetusta lämpöenergiasta kerätään lämpöpumpun avulla ilmasta.

AmbiHeat-lämpölaitos on Puumalassa korvannut öljyn käytön kesäajan kaukolämmöntuotannossa ja pienentänyt hiilidioksidipäästöjä 515 000 kiloa vuodessa.

Myös hakkeen polttaminen on vähentynyt merkittävästi. CO₂-päästöjen pudotukset vastaavat noin 260 henkilöauton vuotuisia päästöjä.

Calefa Oy
Keskikankaantie 21
15860 Hollola
puh. 010 – 219 02 80
Y-tunnus 2565711-3

we renew your energy

Liite 5. Ilma-vesipumpun kustannustarjous

FINESSHEAT Teollisuuslämpöpumput **LÄMPÖPUMPPU**
MITOITUS

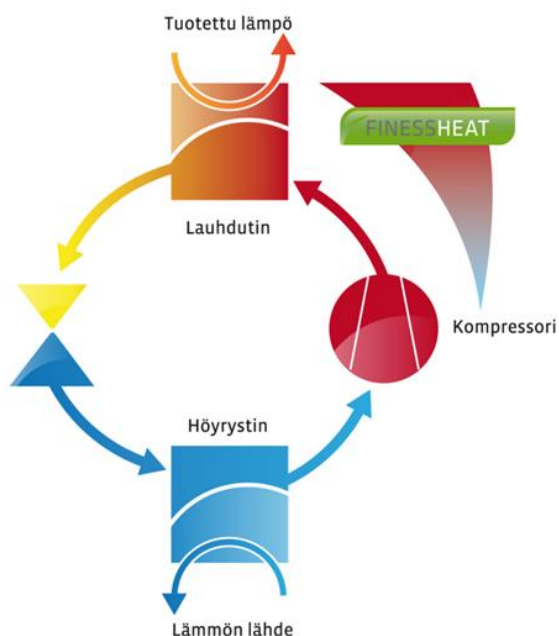
4.7.2020

LÄMMÖN TUOTANTO: Kaukolämpö

Aine	KL-vesi	
T sisään/ulos	40 / 90	°C
Virtaus	6,1	kg/s
Teho (lämpö)	1275	kW

ASIAKAS: Kaskinen

Projekti	Kesä-LP
Laitteisto	Heat LH 2stg
Tarjous	T040720-1



KOMPRESSORIT:

Kylmäaine	NH3/R1234ze	
Lauhtumislämpötila	muuttuva	°C
Ottoteho	510	kW
Lämpökerroin	2,5	COP
Tehonsäätö	Tamu	

LÄMMÖN LÄHDE: Ulkoilma

Aine	Ilma	
T sisään/ulos	7 / 2	°C
Virtaus	153	kg/s
Teho (jäähdytys)	765	kW



FINESSEAT

LÄMPÖPUMPU

Esimerkkikuvia, lämpöpumppu

4.7.2020



KL-lämpöpumput 2x700kW

Hei Huaying,

Liitteenä alustava laskelma ilma-vesilämpöpumpusta.

Lämpökerroin laskettuna ilma +7 / KL-vesi 40/90 C on n. 2,5

Vuosihyötysuhde kesäajalle tulee olemaan vielä selvästi parempi, mutta tuosta pystyy tekemään alustavia johtopäätöksiä kannattavuudesta.

Budjettihinta laitteistolle 630000 €

Voimme tarkentaa laskelmaa jos tämä vaikuttaa asiakkaalle riittävän kiinnostavalta.

Tehomitoitus on tehty toukokuun keskimääräisen mukaan (1,1 MW toukokuun keskimääräinen).

Kattaakseen koko tehontarpeen on järjestelmään lisättävä lämpöakku, jonka sopiva koko riippuu huipputehon (2,5 MW) kestosta. tarkemmin sanottuna laitteiston tehon 1,3MW ylittävä huipputehon kesto on oleellinen.

100m3 akku antaisi n. 3h 2,5MW tehoa.

Jakaisin vielä useampaan pienempään akkuun, esim. 3 eri lämpötilatasoa ja 3x30m3 akut

Tällaisen akkujärjestelmän hinta karkeasti arvioituna n. 140000 €

tarkemmin sanottuna laitteiston tehon 1,3MW ylittävä huipputehon kesto on oleellinen.

toki laitteisto voidaan mitoittaa suuremmallekin teholle tarvittaessa.

hinta skaalautuu melko lineaarisesti ylöspäin.

t:j-p

Terveisin,
Juha-Pekka Paavola

Finess Energy Oy

<http://www.finess.fi/>

Juha-Pekka

1 / 24

Hei,

Unohdin tosiaan selvittää tuota hintaa.

Arvio on laskettu ns. avaimet käteen – toimitukselle. Eli kaikki kuljetukset, asennukset ja käyttöönotto ovat mukana.

Liitteenä esimerkkikuva laitoskontista. Tässä kohteessa kontti olisi n. 2 kertaa kuvassa olevan pituinen. Lisäksi katolla oleva höyrystinpatteri olisi selvästi isompi ja voitaisiin sijoittaa kontin viereen maassa oleville perustuksille.

Tilaaajan puolelta riittää siis noitten perustusten järjestäminen.

Ja sitten toki myös kaukolämpöputket kontille ja takaisin.

Lämpöpumpukoneikon voi asentaa myös sisätiloihin (mitoituslaskelman toisella sivulla oli kuvia sisällä olevasta koneikosta).

Höyrystinpatteristo pitää kuitenkin olla ulkona, ja mielellään mahdollisimman lähellä koneikkoa.

Höyrystinpatterissa tiivistyy kondenssivettä, se pitää johtaa viemäriin eristetyllä ja saattolämmitetyllä putkella.

t:j-p

Terveisin,
Juha-Pekka Paavola

Finess Energy Oy

<http://www.finess.fi/>

 **FINESS**
Energy Saving Solutions

Lämpöpumppulaitos / lämpöeristetty kontti

- Erikseen ilmastoitu
- Normaali rakenne 80mm PU-pelti elementti (ulkopinta RAL-värit, sisäpinta valkoinen)



 FINESS