

Timo Hänninen

GEOTERMISEN LÄMMÖNTUOTAN- NON MAHDOLLISUUDET KAUKOLÄM- PÖALALLA

Opinnäytetyö
Talotekniikka Yamk

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Timo Hänninen	Insinööri (YAMK)	Lokakuu 2020
Opinnäytetyön nimi		
Geotermisen lämmöntuotannon mahdollisuudet kaukolämpöalalla		57 sivua 4 liitesivua
Toimeksiantaja		
Mäntän Kaukolämpö ja Vesihuolto Oy		
Ohjaaja		
Jarmo Tuunanen		
Tiivistelmä		
<p>Kaukolämpö on perinteisesti tuotettu polttolaitoksissa yhdessä tai erikseen sähköntuotannon kanssa. Kansallinen ja globaali ongelma on ilmaston lämpeneminen. Lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen on kansainvälisesti, EU-tasoisesti ja kansallisesti asetettu tavoitteita. Vähäpäästöiset, hiilidioksidineutraalit ja ilmastoneutraalit lämmöntuotantoratkaisut ovat avainasemassa lämmöntuotannon kasvihuonekaasupäästöjen, erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä.</p>		
<p>Työn tavoitteena oli selvittää geotermisen lämmöntuotannon mahdollisuudet ja soveltuvuus lämmöntuotantomuotona kaukolämpöalalla. Tässä opinnäytetyössä selvitetään aluksi kaukolämmöntuotannon nykytila, tunnusluvut sekä alaa ohjaavat poliittiset toimet ja lainsäädäntö Suomessa. Lisäksi perehdytään lämmöntuotantoon ilman polttoprosessia: geotermiseen lämmöntuotantoon, aurinkolämmön tuotantoon, ylijäämälämmönlähteiden hyödyntämiseen, kaksisuuntaiseen kaukolämpöön ja pienydinvoimaan. Pääasiallinen tutkimustyö tehtiin Suomen kaukolämpölaitoksille kohdistetulla tutkimuskyselyllä, jolla selvitettiin laitosten tulevaisuuden näkemyksiä vähäpäästöisistä tai päästöttömistä lämmöntuotantomuodoista, erityisesti geotermisestä lämmöntuotannosta. Lisäksi tutkimustyössä hyödynnettiin geotermisen lämmöntuotantolaitoksen Mänttä-Vilppulan pilottiprojektin projektiaineistoa.</p>		
<p>Geotermisen lämmöntuotantolaitoksen pilottiprojekti on vielä kesken. Hankkeesta saatiin suunnittelutietoa ja rakentamiseen liittyvää taustatietoa. Hankkeen valmistumista on vaikeuttanut haasteet lämpökaivon valmistumisessa. Kohteeseen on porattu jo yksi lämpökaivo, mutta lämpökaivon putkitus ei onnistunut tavoiteltuun syvyyteen, uuden toisen reiän poraaminen on aloitettu. Pilottiprojektin alustava valmistumisaikataulu on vuoden 2020 aikana. Kaukolämpölaitoksille kohdistetusta tutkimuskyselystä saatiin selville, että vähähiilidioksidipäästöisten lämmöntuotannon eri vaihtoehdot, erityisesti ylijäämälämmön lähteiden hyödyntäminen kiinnostavat kaukolämmön tuottajia. Geotermisen lämmöntuotantoon liittyvistä tuloksista saatiin selville, että sen mahdollisuudet olisivat tulevaisuuden lämmöntuotantomuotona ja mahdollistajana hajautettuun lämmöntuotantoon. Suurimmiksi haasteiksi koettiin suuri alkuinvestointi, vähäiset käyttökokemukset ja geologinen rakenne Suomessa.</p>		
Asiasanat		
geotermisen lämpöenergia, kaukolämmitys, tulevaisuus, hiilidioksidipäästöt, kasvihuonekaasupäästöt		

Author (authors)	Degree	Time
Timo Hänninen	Master of Engineering	October 2020
Thesis title Possibilities of geothermal heat production in the district heating sector		57 pages 4 pages of appendices
Commissioned by Mäntän Kaukolämpö ja Vesihuolto Oy		
Supervisor Jarmo Tuunanen		
<p>Abstract</p> <p>Traditionally district heat has been produced with or without electric power production. Climate warming is a national and global problem. Targets have been set for reducing carbon dioxide emissions of heat production nationally, internationally and in the EU. Low emission, carbon dioxide neutral and climate neutral heat production solutions are in a key position for reducing greenhouse gas emissions and especially carbon dioxide emissions.</p> <p>In this thesis it was first examined what the current state of heat production is, key figures, policies governing this sector and legislation in Finland. In addition, heat production without burning process is examined: geothermal heating process, solar heating process, utilization of surplus heat sources, bidirectional district heating and micro-nucleus power. The main research work was done by means of a survey targeted at Finnish district heating plants to examine the future views of plants on low-emission or zero-emission forms of heat production. In addition, the research utilized the project material of the Mänttä-Vilppula pilot project of the geothermal heat production plant. The aim of the research was to find out the possibilities and suitability of geothermal heat production as a form of heat production in the district heating sector.</p> <p>The pilot project for a geothermal heat plant is still ongoing. The project provided design information and background information related to construction. The completion of the project has been hampered by challenges in the heat well. One heat well has already been drilled at the site, but the piping of the heat well did not succeed to the desired depth, new second well drilling has been started. The preliminary completion schedule for the pilot project is during 2020. The survey of district heating plants revealed that different options for low-emission heat production are of interest to district heat producers, especially the utilization of surplus heat sources. The results related to geothermal heat production indicated that its potential is being a form of heat production of the future and an enabler of decentralized heat production. The biggest challenges were perceived to be large initial investments, limited user experience and the geological structure in Finland.</p>		
<p>Keywords</p> <p>geothermal heat, district heat, future, carbon dioxide emissions, greenhouse gas emissions</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	9
2	KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO SUOMESSA	10
2.1	Kaukolämpö energialähteittäin Suomessa.....	10
2.2	Kaukolämmön hiilidioksidipäästöt Suomessa.....	11
2.3	Energia-alan tulevaisuus Suomessa.....	12
2.4	Kaukolämpöalan poliittiset ohjaustoimenpiteet ja lainsäädäntö	13
2.4.1	Ilmastopolitiikka	13
2.4.2	Energia- ja ilmastostrategia	14
2.4.3	Päästökauppa.....	15
2.4.4	Euroopan energiatehokkuusdirektiivi ja energiatehokkuuslaki.....	17
3	LÄMMÖNTUOTANTO ILMAN POLTTOPROSESSIA	17
3.1	Geoterminen lämmöntuotanto	18
3.1.1	Geotermiset energian eri muodot	19
3.1.2	Matala geoterminen lämmöntuotanto	20
3.1.3	Syvä geoterminen lämmöntuotanto	20
3.1.4	Geotermisen lämmöntuotannon hankkeet Suomessa	22
3.1.5	Geoterminen energiantuotanto muualla maailmassa.....	24
3.2	Aurinkolämmöntuotanto.....	25
3.3	Ylijäämälämmönlähteiden hyödyntäminen	28
3.4	Kaksisuuntainen kaukolämpö	30
3.5	Pienydinvoima	31
4	TUTKIMUSMENETELMÄT	34
5	GEOTERMINEN LÄMPÖLAITOS, PILOTTIHANKE	35
5.1	Toteutusjärjestely.....	35
5.2	Lämpökaivon kuvaus.....	35
5.3	Lämpölaitoksen toimintaperiaate	36
5.4	Laitoksen rakentamisen aikataulu ja rakentaminen	36

5.5	Pilottihankkeen yhteenveto	37
6	TUTKIMUSKYSELY SUOMEN KAUKOLÄMPÖLAITOKSILLE	38
6.1	Tutkimuskyselyn laajuus ja toteutus	38
6.2	Tutkimuskysymykset.....	38
6.3	Tulokset	39
6.4	Yhteenveto tutkimustuloksista	50
7	POHDINTA	52
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET	

Liite 1. Tutkimuskysymykset

Liite 2. Tutkimuskyselyn vapaa kommentointi

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kaukolämpö energialähteittäin 2019 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)	11
Kuva 2. Kaukolämpö energialähteittäin 2009 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)	11
Kuva 3. Hiilidioksidipäästöt (milj. t) 2009-2019 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)	12
Kuva 4. Hiilidioksidipäästöt tuotettua energiayksikköä kohden 1976-2019 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)	12
Kuva 5. Maan kuoret (Earth` s Interior 2018)	19
Kuva 6. Matalan ja syvän geotermisen energiantuotannon sovellusvaihtoehdot (Geotermista energiaa voidaan hyödyntää monilla eri tavoilla 2018)	20
Kuva 7. Tehostettu geotermisen rakosysteemi (Tehostetun geotermisen lämmöntuotannon toimintaperiaate 2018)	22
Kuva 8. Otaniemen hankkeen periaatekuva (St1 geotermisen lämpö havainnekuva 2019)	23
Kuva 9. Nestekiertoinen aurinkokeräin (Nestekeräimen rakenne ja osat 2020)	26
Kuva 10. Geotermisen lämpökaivon periaatekuvaus (Lämpökaivon periaatekuva 2020).....	36
Kuva 11. Tutkimuskysymys 1 tulokset.....	39
Kuva 12. Tutkimuskysymys 2 tulokset.....	40
Kuva 13. Tutkimuskysymys 3.1 tulokset.....	41
Kuva 14. Tutkimuskysymys 3.2 tulokset.....	42
Kuva 15. Tutkimuskysymys 3.3 tulokset.....	43
Kuva 16. Tutkimuskysymys 3.4 tulokset.....	44
Kuva 17. tutkimuskysymys 4.1 tulokset.....	45
Kuva 18. Tutkimuskysymys 4.2 tulokset.....	46
Kuva 19. Tutkimuskysymys 4.3 tulokset.....	47
Kuva 20. Tutkimuskysymys 4.4 tulokset.....	48
Kuva 21. Tutkimuskysymys 5 tulokset.....	49
Kuva 22. Tutkimuskysymys 6 tulokset.....	50

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Nestekeräimen ja ilmakeräimen perusominaisuudet.....	27
--	----

Käsitteet

Primäärienergia = Jalostamaton energia, kuten vesivoima, auringon säteily ja uraani.

Sekundäärienergia = Jalostettua energiaa, kuten kaukolämpö, sähkö.

Hiilidioksidineutraali lämmöntuotanto = Vähäpäästöinen energiantuotanto, jonka tuottama hiilidioksidi sitoutuu nopeasti kasvillisuuteen.

Kasvihuonekaasut = kasvihuonekaasut = vesihöyry (H_2O), hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), dityppioksidi (N_2O) ja otsoni (O_3).

Kasvihuonekaasupäästöt = Ihmisen toiminnasta aiheutuvia kasvihuonekaasuja ilmakehään. Pisin viipymisaika on hiilidioksidilla, joka voi olla jopa satoja vuosia, vesihöyryn viipymä on muutamia päiviä.

Ilmaston lämpeneminen = Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä, joka myötävaikuttaa ilmaston lämpenemiseen.

Ilmastoneutraali lämmöntuotanto = Päästötön energiantuotanto, ei lisää kasvihuonekaasupäästöjä.

Fossiiliset polttoaineet = Uusitumattomia tai hyvin hitaasti uusiutuvia luonnonvaroja, aiheuttavat energiantuotannossa merkittävän osan kasvihuonekaasupäästöistä globaalisti.

Hyötysuhde energiantuotannossa = saatu energiamäärä / syötetty energiamäärä, käytetään lyhennettä COP

1 JOHDANTO

Maailmanlaajuinen ongelma on ilmaston lämpeneminen. Lämpöenergiantuotanto on yksi osa-alue, jonka hiilidioksidipäästöjen vähentäminen hidastaa osaltaan ilmaston lämpenemistä. Nykypäivänä ihmisten kulutustottumuksia pyritään ohjaamaan vähähiilidioksidipäästöisiin energiaratkaisuihin. Päästöttömän tai vähäpäästöisten energiantuotantoratkaisujen kehittäminen voi olla ratkaisu vähentää ilmaston lämpenemistä.

Työskentelen Mäntän Kaukolämpö ja Vesihuolto Oy:ssä, joka myy kaukolämpöenergiaa noin kahdelle sadalle kiinteistölle ja toimittaa puhdasta vettä sekä johtaa pois jätevedet 2500 kiinteistöltä. Yrityksen yhtenä strategian osana on tuottaa kustannustehokkaita ja uusia innovatiivisia energiantuotanto ratkaisuja asiakkailleen. Mäntän Kaukolämpö ja Vesihuolto Oy:n liikevaihto on noin 6 M€ vuosittain, jakaantuen 2,5 M€ vesihuollon osuudeksi ja 3,5 M€ kaukolämmön osuudeksi. Henkilöstöä yrityksessä on kokonaisuudessaan 10 - 12 henkilöä, yrityksen omistaa kokonaan Mänttä-Vilppula kaupunki.

Kaukolämpöalalla on perinteisesti tuotettu energiaa polttolaitoksissa joko yhdessä tai erikseen sähköntuotannon kanssa. Maapallon ilmastonlämpeneminen tulee ohjaamaan jo nyt ja korostuen tulevaisuudessa energiantuotantolaitosten ratkaisuja hankkimaan ja kehittämään vähempipäästöisiä tai päästöttömiä energiantuotantoratkaisuja.

Yhtenä tavoitteena yrityksessämme on olla ympäristövastuuntuntoisia ja etsiä uusia innovatiivisia ratkaisuja niin kaukolämmön kuin vesihuollonkin osa-alueilla ja löytää sekä kustannustehokkaat että vähäpäästöiset ympäristöystävälliset sovellukset ja ratkaisut.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan vähähiilidioksidipäästöisiä ja päästöttömiä kaukolämmöntuotantomenetelmiä ja syvennyttään tutkimaan geotermistä kaukolämmöntuotantoa. Tarkoituksena on perehtyä, mikä on geotermisen lämpöläitoksen toimintaperiaate ja kuinka geotermisen lämmöntuotanto voi osaltaan olla yhtenä ratkaisuna tulevaisuuden lämmöntuotannossa.

Pääasiallinen tutkimustyö toteutetaan tutkimuskyselyn avulla, jolla kartoitetaan Suomen kaukolämpölaitosten tulevaisuuden näkemyksiä vähäpäästöisistä ja päästöttömistä energiantuotantomuodoista eritoten geotermisestä lämmöntuotannosta.

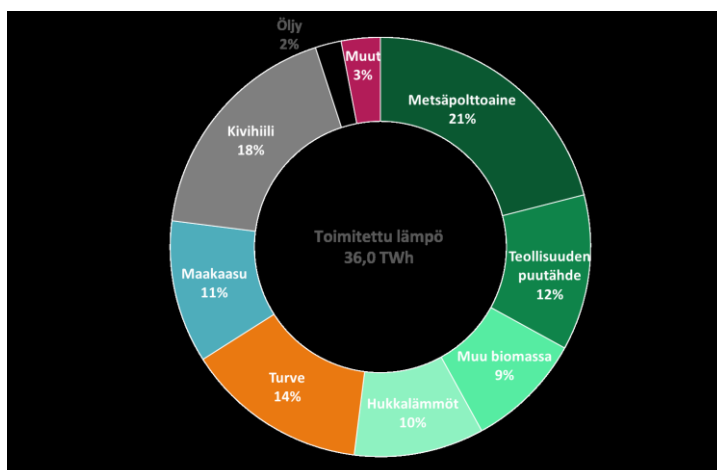
Tutkimuksen tukena hyödynnetään Mäntän Kaukolämpö ja Vesihuolto Oy:n uudesta geotermisen lämmöntuotantolaitoksen pilottihankkeesta saatavia taustatietoja.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitä annettavaa geotermisellä lämmöntuotannolla on kaukolämpöalalle tulevaisuuden haasteisiin ja muutoksiin ja erityisesti selvittää voiko geotermisen lämmöntuotanto olla apuna vähentämään lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöjä ja muita kasvihuonekaasupäästöjä.

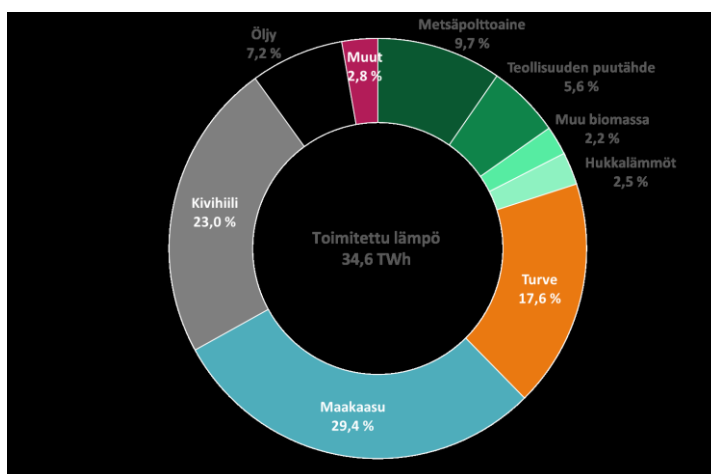
2 KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO SUOMESSA

2.1 Kaukolämpö energialähteittäin Suomessa

Vuonna 2019 kaukolämmön kokonaistuotanto Suomessa oli 36 TWh (kuva 1). Fossiilisten tuontipolttoaineiden kokonaisosuus oli 2019 31 %, vähennystä vuoteen 2009 on ollut (kuva 2) 28,6 %, tasosta 59,6 % tasoon 31 %. Uusiutuvan energian (metsäpolttoaine+ teollisuuden puutähde+ muu biomassa) + hukkalämmöt osuus on kasvanut kymmenessä vuodessa tasosta 20 % tasoon 52 % eli yhteensä 32 %. Hukkalämmöillä tarkoitetaan muuten hyödyntämättä jäävää lämpöenergiaa, kuten lämmöntalteenottoa jätevedestä, savukaasuista, kaukojäähdytyksen paluuedestä ja teollisuuden prosessilämmöistä.



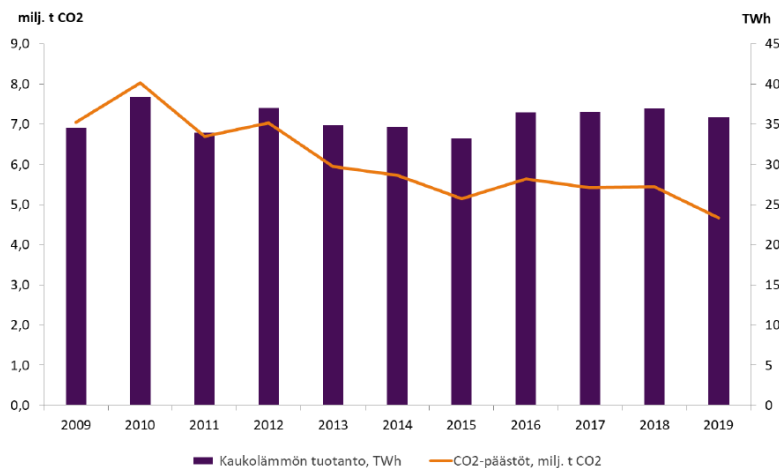
Kuva 1. Kaukolämpö energialähteittäin 2019 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)



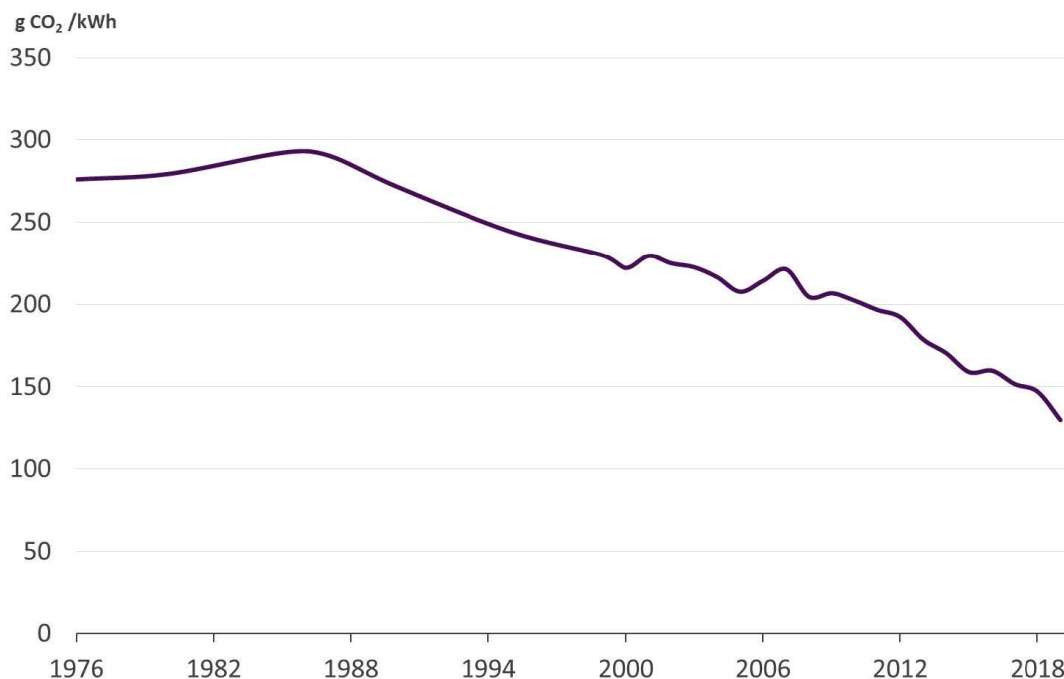
Kuva 2. Kaukolämpö energialähteittäin 2009 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)

2.2 Kaukolämmön hiilidioksidipäästöt Suomessa

Kaukolämmöntuotannon kokonaishiilidioksidipäästöt ovat pienentyneet kymmenen vuoden aikana vuodesta 2009 vuoteen 2019 34 % (kuva 3). Vuonna 2019 kokonaishiilidioksidipäästöt olivat 4,7 miljoonaa tonnia. Tuotettua lämpöenergiayksikköä kohti vuoden 2019 (kuva 4) hiilidioksidipäästöt olivat 139 grammaa hiilidioksidia/ kWh tuotettua lämpöenergiaa. Kokonaisuudessaan tuotettua lämpöenergia yksikköä kohden hiilidioksidipäästöt ovat tippuneet suuresti pidemmällä aikavälillä huippuarvon ollessa yli 290 grammaa hiilidioksidia/ kWh tuotettua lämpöenergiaa. Merkittävimpänä tekijöinä hiilidioksidipäästöjen vähennykseen ovat olleet fossiilisten polttoaineiden väheneminen ja uusiutuvan energian lisääminen lämpöenergian tuottamisessa.



Kuva 3. Hiilidioksidipäästöt (milj. t) 2009-2019 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)



Kuva 4. Hiilidioksidipäästöt tuotettua energiayksikköä kohden 1976-2019 (Energiavuosi 2019 Kaukolämpö 2020)

2.3 Energia-alan tulevaisuus Suomessa

Ilmastonmuutos tuo energia-alalle haasteita. Energiateollisuus ry on skenaariotyössään luonut tavoitetilan, miten täällä tuotetaan ja käytetään energiaa. Samanaikaisesti on huomioitu ilmastonmuutos, energiaturvallisuus ja energian säilyttäminen hyvinvoinnin perustana sekä elinkeinoelämän kilpailutekijänä. Tavoitetilan mukaan Suomessa hyödynnettäisiin vuonna 2050 nykyistä ja kehitteillä olevaa energian käyttöä parantavaa teknologiaa. Tästä esimerkkinä

ovat energiatehokas lähes nollaenergia -rakentaminen, älykkäät sähköverkot ja liikenteen sähköistyminen. Energiatehokkuutta rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä parannetaan kaukolämmön ja haja-asutusalueilla esimerkiksi lämpöpumppujen avulla. (Haasteista mahdollisuuksia, sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050 2010.)

Vision mukaan puuperäisten polttoaineiden osuus sähkön- ja lämmöntuotannossa olisi noin 70-80 TWh vuonna 2050. Metsäenergian käyttö kasvaisi 45 prosenttia sähkön ja lämmön tuotannon polttoainekäytössä vuoteen 2050 mennessä. (Haasteista mahdollisuuksia, sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050 2010.)

2.4 Kaukolämpöalan poliittiset ohjaustoimenpiteet ja lainsäädäntö

2.4.1 Ilmastopoliittika

EU:n päästökauppa määrittää suurta osaa energia-alan kasvihuonekaasupäästöjä, joten kansallisella ilmastopoliittikalla ei voi kovin paljon vaikuttaa asiaan. Tarkemmin EU:n päästökaupasta kerrotaan kappaleessa 2.4.3. Suomessa päästövähennysten kustannuksia voidaan vähentää, kun tuetaan teknologian kehittämistä, kaupallistamista ja erilaisia demohankkeita.

Suomessa on Energiateollisuus ry:n mielestä keskityttävä öljyn käytön vähentämiseen erityisesti liikenteessä ja pienlämmityksessä. Öljyn korvaaminen sähköllä ja kaukolämmöllä parantaa energiatehokkuutta ja vähentää päästöjä. Samalla loput päästöt tulisivat EU:n päästökaupan piiriin. Suomen metsien ja maaperän sitoma hiilidioksidi eli hiilinielu sitoo vuosittain noin yhdenkolmasosan kaikesta Suomessa ilmastoon päästetystä hiilidioksidista takaisin biomassaan, ja suurin osa tapahtuu metsien avulla. (Edunvalvonta ja energiapoliittika 2019.)

Ilmaston lämpenemisen rajoittaminen kahteen asteeseen on YK:n tavoite, jotta lämpenemisen vaikutukset voidaan jotenkin ennustaa ja estää tuhoisia ilmastomuutoksia. YK:n ilmastosopimus, Kioton pöytäkirja sekä Pariisin sopimus ohjaavat maailmanlaajuisia ilmastopoliittikkaa. Suomi on sitoutunut rajoittamaan kasvihuonepäästöjään Kioton pöytäkirjan ja EU:n päästötoimien mu-

kaisesti. Keinoja tavoitteisiin pääsemiseksi ovat kansallinen keskipitkän aikaväin ilmastosuunnitelma, joka ulottuu vuoteen 2030, vähähiilinen tiekartta vuoteen 2050 ja ilmasto- ja energiastrategia ja ilmastolaki. (Ilmastonmuutoksen hillintä 2017.)

Suomi pyrkii ilmasto -ja energiapolitiikalla vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä, parantamaan energiatehokkuutta ja lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuutta sekä edistämään yhteiskunnan kykyä sopeutua ilmastonmuutokseen. Suomella on tavoitteena pitkällä aikavälillä hiilineutraali yhteiskunta. Se tarkoittaa, ettei tuoteta ollenkaan nettohiilidioksidipäästöjä, jolloin syntyneet päästöt kompensoidaan eli syntyneiden päästöjen vastineeksi lisätään hiilinieluja tai vähennetään päästöjä muualla.

Vuonna 2014 laadittiin energia- ja ilmastotiekartta 2050, se on ohje, jotta saavutettaisiin hiilineutraali yhteiskunta. Keskeisimpänä ovat energian tuotanto, energiajärjestelmä ja energian kulutus. Tavoitteena tiekartassa on kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämien 80–95 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Vuonna 2015 voimaan tulleessa ilmastolaissa tämä tavoite vahvistettiin. (Ilmastonmuutoksen hillintä 2019.)

2.4.2 Energia- ja ilmastostrategia

EU:n komissio on asettanut Suomelle 39 % päästövähennystavoitteen ei-kaupalliselle sektorille vuoteen 2030 mennessä. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian tärkein tehtävä on ilmastonmuutoksen hillitseminen. Keinona on uusiutuvien energialähteiden lisääminen, energiaomavaraisuuden parantaminen, öljyn käytön vähentäminen ja kivihiilen käytön lopettaminen. (Energia- ja ilmastostrategia 2019.)

Kasvihuonekaasupäästöistä 80 % tulee energian tuotannosta, kulutuksesta ja liikenteestä. Siksi energia- ja ilmastopolitiikka liittyvät yhteen. Energiapolitiikkaan kuuluu myös energia huolto- ja toimintavarmuus, energiamarkkinoiden toiminta ja energiatehokkuuden sekä uusiutuvien energialähteiden edistäminen. Strategian lisäksi tehdään taustaraportteja, joissa ei ole poliittisia linjauksia.

Energiapäästökehitystä arvioivat skenaariolaskelmat päivitetään, ja strategian vaikutuksia arvioidaan. (Ilmasto- ja energiastrategia 2019.)

Suomi antoi EU:n komissiolle 20.12.2018 luonnoksen kansalliseksi integroiduksi energia- ja ilmastosuunnitelmaksi. Viimeistely suunnitelma annettiin vuoden 2019 lopussa. Suunnitelmaan kuuluu kaikki EU:n energiaunionin viisi ulottuvuutta, joita ovat hiilestä irtautuminen (sisältää uusiutuvan energian), energiatehokkuus, energiaturvallisuus, energian sisämarkkinat ja lisäksi tutkimus, innovaatio ja kilpailukyky. Suunnitelmassa raportoidaan viiden vuoden ulottuvuuden tavoitteet vuodelle 2030 sekä poliittiset keinot tavoitteiden saavuttamiseksi.

EU:n jäsenvaltioiden tuli myös toimittaa komissiolle myös kansallinen vähäpäästöisyysstrategia 1.1.2020 mennessä. Komissio julkaisi tiedonannon äskettäin, missä on visio EU:n pitkän aikavälin vähäpäästöisyysstrategiaksi. Pyrkimyksenä on EU:n hiilineutraalisuus vuoteen 2050 mennessä.

Suomi raportoi kerran kahdessa vuodessa nykyiset ja suunnitellut politiikkatoimet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi EU:n MMR asetuksen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EU) N:o 525/2013) 13 ja 14 artikla, asetukset järjestelmästä kasvihuonekaasupäästöjen seuraamiseksi ja niistä raportoimiseksi sekä muista ilmastomuutosta koskevista tiedoista raportoimiseksi kansallisella ja unionin tasolla. (EU:lle toimitettavat suunnitelmat ja raportit 2019.)

2.4.3 Päästökauppa

Päästökaupan tarkoituksena on, että teollisuus- ja energiantuotantolaitosten ja Euroopan sisäisen lentoliikenteen kasvihuonekaasupäästöt pysyvät koko EU:n päästökauppasektorille annetun päästökaton rajoissa. EU:n kasvihuonekaasupäästöistä 40 % kuuluu päästökauppajärjestelmän piiriin ja Suomessa alle puolet.

Päästökaupassa on tärkeää, että kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään sieltä, missä on ne ovat päästökaupan piiriin kuuluvalla toimijalla halvimpia vä-

hentää. Päästöoikeuksia on järkevämpää hakea markkinoilta, jos ne ovat halvempia verrattuna omassa tuotannossa tehtäviin päästöjen vähentämiseen. Ne päästöjen vähentämiskeinot, jotka ovat päästöoikeuden hintaa edullisemmat, kannattaa tehdä omaan energiantuotantoon.

Päästökaupan piiriin kuuluvalla tuotantolaitoksella tulee olla päästölupa, jossa on seuranta- ja raportointivelvoitteita ja velvoite palauttaa viranomaiselle päästöoikeusmäärä, minkä tulee vastata laitoksen edellisen kalenterivuoden päästöjä. Yksi hiilidioksiditonni vastaa yhtä päästöoikeutta. Päästöoikeudet annetaan ilmaiseksi, tai ne huutokaupataan. Oikeuksia voidaan ostaa ja myydä vapaasti EU:n markkinoilla. Useissa Euroopan pörseissä käydään kauppaa päästöoikeuksista.

Päästökaupan piiriin kuuluvat suuret teollisuuslaitokset, nimellisteholtaan yli 20 MW:n laitokset ja Euroopan sisäinen lentoliikenne. Suomessa siihen kuuluu myös 20 MW tai siitä pienempiäkin kaukolämpölaitoksia. Energiavirasto toimii Suomessa päästökauppaviranomaisena. (Päästökauppa 2019.)

Päästöoikeuksia on huutokaupattu vuoden 2013 alusta alkaen. Vuoden 2019 alusta alkaen huutokaupattavien päästöoikeuksien määrää vähentää markkinavakausvaranto, jonka tarkoituksena on järjestelmän mukautumiskyvyn parantaminen ja estämään päästöoikeuksien ylijäämä markkinoilla.

Mihin tahansa järjestettäviin huutokauppoihin voivat osallistua päästökaupan toiminnanharjoittajat, sijoituspalveluyritykset ja ne, jotka ovat komission huutokauppa-asetuksen perusteella oikeutettuja osallistumaan huutokauppoihin. Saksalainen EEX (The European Energy Exchange) toimii EU:n yhteisenä huutokauppapaikkana ja järjestää huutokauppoja kolme kertaa viikossa. Toiminta tapahtuu verkossa, ja käyttöliittymä on englanninkielinen. (Päästöoikeuksien huutokauppa 2019.)

Päästöoikeuksien huutokaupan yhtenä seurauksena voi olla hiilivuoto, mikä tarkoittaa teollisuustuotannon siirtymistä niihin maihin, joissa on alemmat ilmastokustannukset. Vaarana on myös globaalien päästöjen kasvu. Hiilivuodon estämiseksi eurooppalainen teollisuus- ja kaukolämmöntuotanto saavat

päästöoikeuksia osittain maksutta. (Päästökaupan toiminta ja kustannusvaikutukset 2016.)

Ne toimialat, jotka ovat riskialttiita hiilivuodolle, saavat ilmaisjakosääntöjen perusteella laskettavista määrästä 100 % ilmaisjakoa koko päästökauppakauden ajan. Muut ilmaisjakoon kuuluvat saavat 30 % laskennallisesta määrästä, osuus laskee nolnaan vuoteen 2030 mennessä. Kaukolämpöä tai kaukojäähdytystä osuuden lasku ei koske. (Kauden 2013 - 2020 ilmaisjako 2019.)

Koska päästökauppaa käydään suurimmaksi osin vain Euroopassa, on ongelmana, että siitä tulee lisäkustannuksia eurooppalaiselle yrityksille ja lisäksi kilpailuhaittaa yrityksille kansainvälisillä markkinoilla (Päästökaupan toiminta ja kustannusvaikutukset 2016).

2.4.4 Euroopan energiatehokkuusdirektiivi ja energiatehokkuuslaki

Energiatehokkuusdirektiivi (EU/27/2012) tuli voimaan 4.12.2012. Se korvasi energiapalveludirektiivin (2006/32/EY) ja CHP-direktiivin (2004/8/EY). Kansallinen toimeenpano alkoi direktiivin mukaisesti 5.6.2014. (Energiatehokkuusdirektiivi 2020.)

Tarkistettu energiatehokkuusdirektiivi (EU)2018/2002 tuli voimaan 24.12.2018. Tarkistetun direktiivin myötä tulivat EU:n energiatehokkuustavoitteet vuodelle 2030 ja tarkennetut veloitteet energiatehokkuuden edistämiseksi. Energiatehokkuuslaki, jolla energiatehokkuusdirektiivi laitettiin täytäntöön, tuli voimaan 1.1.2015. Laki energiatehokkuuslain muuttamisesta tuli voimaan vuoden 2017 alusta, lain myötä toimenpantiin energiatehokkuusdirektiivin säännökset julkisten laitosten ja elinten hankintoihin tuottein, palvelujen ja rakennusten energiatehokkuuden osalta, lisäksi julkisten sektorin roolia energiatehokkuuden edistäjänä hankintojen osalta. (Energiatehokkuusdirektiivi ja energiatehokkuuslaki 2019.)

3 LÄMMÖNTUOTANTO ILMAN POLTTOPROSESSIA

Lämpöenergiantuotantoa tehtäessä jollain menetelmällä ilman polttavaa prosessia voidaan puhua lämpöenergiantuotannosta ei-polttavalla menetelmällä.

Lämmöntuotantoprosessi ei tuolloin tuota kasvihuonekaasupäästöjä laisinkaan. Toisaalta ei-polttava lämmöntuotantotekniikka käyttää useimmiten sähköenergiaa apunaan. Lämmöntuotantoprosessissa käytettävä sähköenergiakin on mahdollista ostaa kokonaan päästöttömänä sähköenergiana.

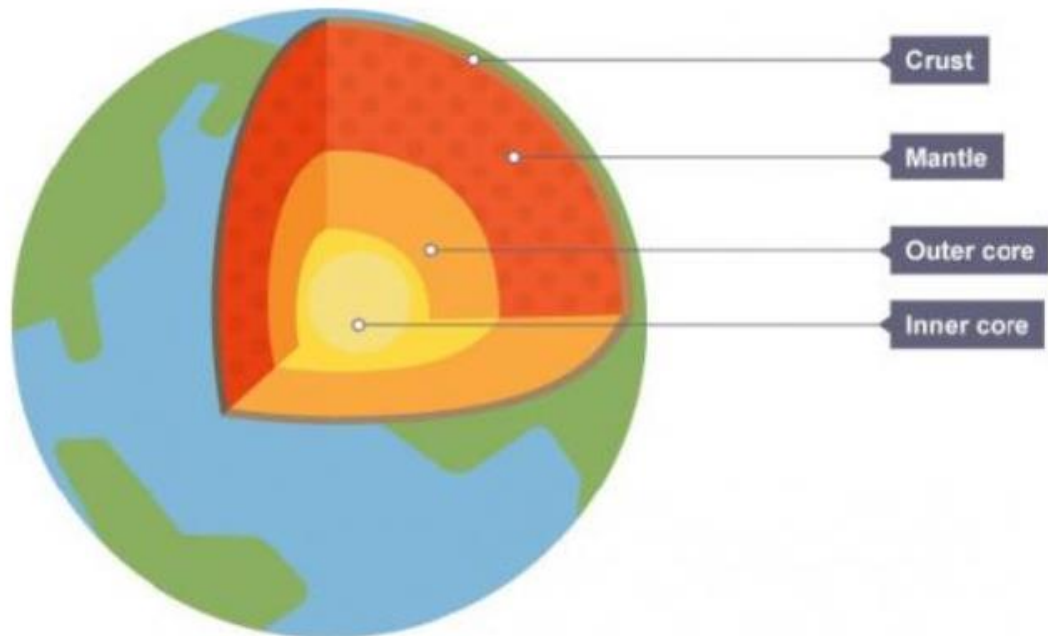
3.1 Geoterminen lämmöntuotanto

Geoterminen energia on syvällä maan sisuksissa tapahtuvien radioaktiivisten hajoamisten tuottamaa lämpöenergiaa, lämpö siirtyy maan kuoren ylimpiin kerroksiin. Maalämpö on taas auringon tuottamaa lämpöenergiaa, joka on sitoutunut maan pintakerrokseen.

Yksinkertaisin geoterminen energialähde on kuumat lähteet, joiden lämpöenergiaa voidaan hyödyntää suoraan. Toinen tapa on porata kallioperään riittävän syvä reikä, josta johdetaan kuumaa vettä maanalaisesta vesivarastosta. Voidaan myös kierrättää reiässä sinne pumpattua vettä. Vesi lämpenee kierroksen aikana, ja sitä voidaan käyttää lämmitykseen tai sähkötuotantoon suoraan. Geotermistä energiaa ei voida käyttää suoraan kaukolämpöverkostossa, koska hyvin sisällä maankuoressa oleva vesi sisältää typpidioksidia, rikkidioksidia, metaania ja muita pitoisuuksia. Geotermisen energian käyttöönottoa haittaavat vielä porauskustannukset, koska porataan hyvin syvälle kallioperään. Geoterminen energia on vakio energialähde, sitä voidaan käyttää ympäri vuoden, eikä se ole riippuvainen ulkoisista olosuhteista, kuten tuulesta tai auringosta. (Geoterminen energia 2019.)

Maapallossa on neljä kerrosta (kuva 5). Ydin (inner core) eli ensimmäinen kerros sisältäpäin on kiinteää rautaa, sen lämpötila on noin 6000 celsiusastetta ja paksuus 2400 km. Magma, toinen kerros (outer core), on kuumaa sulaa kiveä, ja sen paksuus on noin 2400 km. Kolmas kerros eli vaippa (mantle) koostuu magmasta ja kalliosta. Sen lämpötila vaihtelee 200 celsiuksesta vaipan ylärajalla vaihdellen noin 4000 celsiukseen sisemmän kerroksen rajalle ja paksuus on noin 2900 km. Viimeinen eli uloin kerros (crust) on luonnonkiveä, joka muodostaa mantereiden ja merenpohjan. Kerroksen paksuus on 24 - 56 km ja valtamerien alapuolelle 5 - 8 km. (Geothermal explained 2018.) Keskiarvoltaan

maapallolla maan lämpötila nousee 30 celsiusta kilometriä kohden ja syvemmälle mentäessä lämpötilan kasvu on enemmän kilometriä kohden (Randeberg 2017).

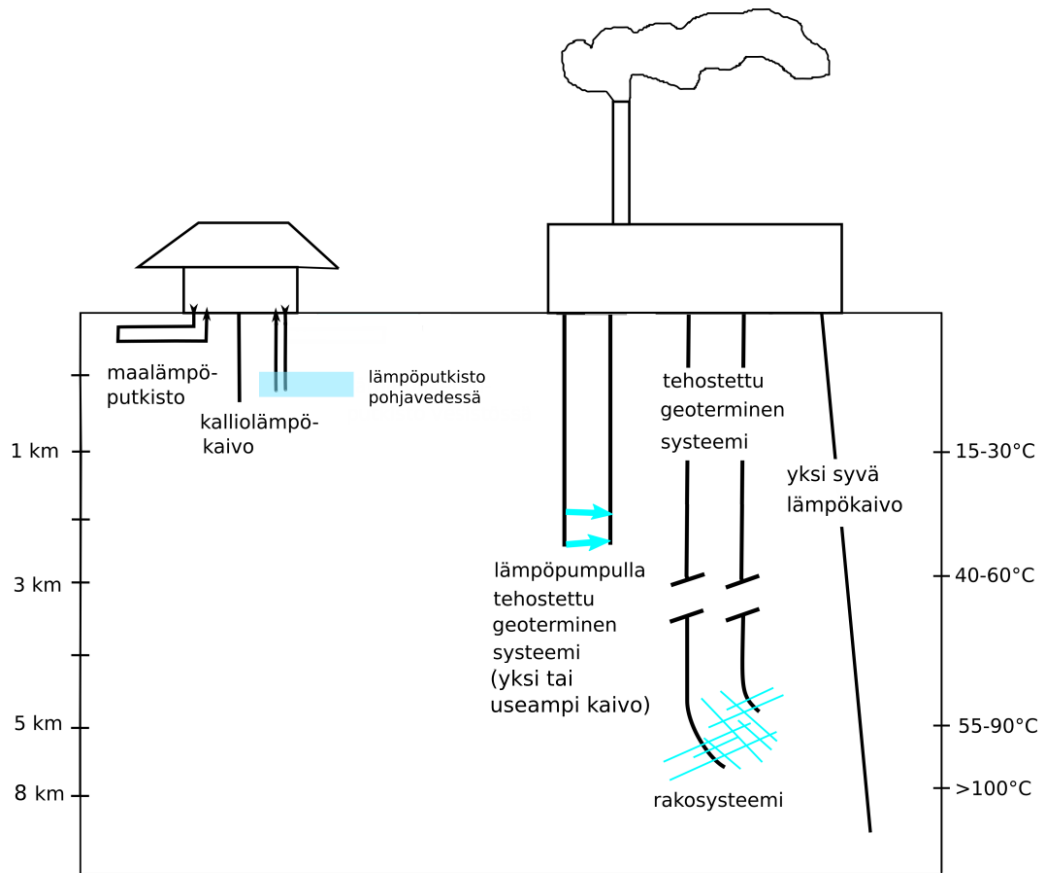


Kuva 5. Maan kuoret (Earth`s Interior 2018)

3.1.1 Geotermiset energian eri muodot

Geoterminen energia voidaan karkeasti jakaa kahteen eri kategoriaan syvään ja matalaan energialähteeseen, jolloin rajapinta vaihtelee noin 300 - 500 metrin syvyydessä. Matala energia on peräisin auringon lämmittämästä ja maaperän sisäisestä lämpöenergiasta maan tai kallioperän pintakerroksista. Yli 15 metrin syvyydessä lämpöenergia ei ole enää vuodenaikariippuvainen, vaan lämpötila nousee vuodenaikaan katsomatta.

Syvä geoterminen energia on peräisin maan radioaktiivisten isotooppien hajoamisesta syntyvästä lämpöenergiasta. Kallioperän lämpötilan nousu on Suomessa todettu olevan Etelä-Suomessa noin kaksi astetta sadalle metrille ja Pohjois-Suomessa noin 1,2 astetta sadalle metrille. Käytännössä 100 celsiusasteen lämpötilan saavuttaminen Suomessa on noin 6 - 9 km syvyydessä. (Geotermisen energian eri muodot 2020). Kuvassa 6 on kuvattu geotermisen energiantuotannon eri sovellusvaihtoehtoja, joista on kerrottu tarkemmin kappaleissa 3.1.2 ja 3.1.3.



Kuva 6. Matalan ja syvän geotermisen energiantuotannon sovellusvaihtoehdot (Geotermistä energiaa voidaan hyödyntää monilla eri tavoilla 2018)

3.1.2 Matala geoterminen lämmöntuotanto

Matala geoterminen lämpöenergia otetaan alle 500 metrin syvyydestä. Yleisesti tätä energiantuotantomuotoa kutsutaan maalämmöksi. Maalämpö voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri kategoriaan: maahan pintakerrokseen tai vesisistöön horisontaalisesti upotettaviin maalämpöputkistoihin, kallioperään porrattavaan kalliolämpökaivoon tai poraamalla lämpökaivo pohjavesiesiintymään, jolloin kalliolämpökaivo on yleisesti syvimälle ulottuva. (Geotermisen energian eri muodot 2020.)

3.1.3 Syvä geoterminen lämmöntuotanto

Kun lämpöenergiaa otetaan syvemältä kuin 500 metrin syvyydestä, puhutaan syvästä geotermisestä energiantuotannosta. Syvä geoterminen energia

poikkeaa matalasta geotermisestä energiasta aiemmin mainittujen syntyvän ja syvyyden osalta.

Syvän geotermisen lämmöntuotannon sovellusvaihtoehdot ovat seuraavat: yksi syvä lämpökaivo, lämpöpumpulla tehostettu geoterminen systeemi ja tehostettu geoterminen rakosysteemi.

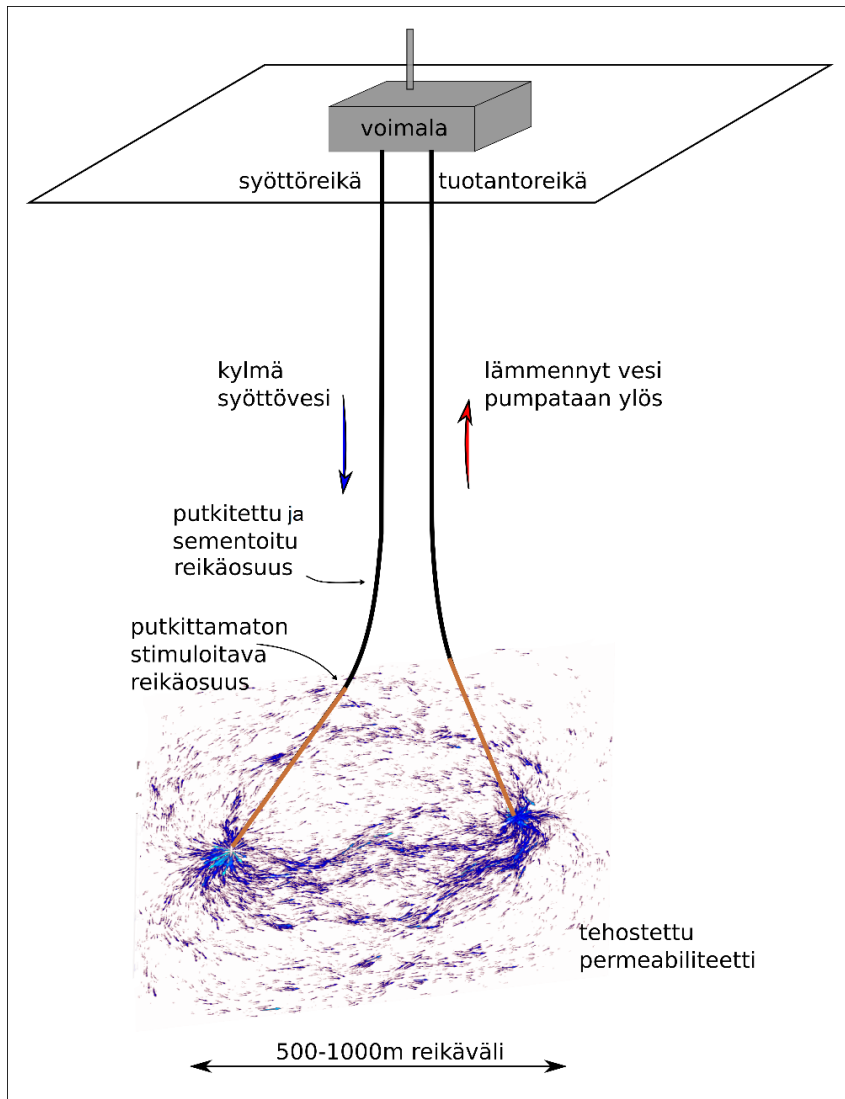
Yhden syvän lämpökaivon lämpöenergia voidaan nimensä mukaisesti tuottaa yhdestä syvästä lämpökaivosta ja saatava lämpöenergia on suoraan hyödynnettävissä primäärlämpöisenä tuotannossa ilman lämpöpumppuja. Tuotantoreiän syvyys on noin 6 - 9 km, jolloin saavutetaan yli 100 asteen lämpötila. (Geotermisen energian eri muodot 2020.)

Lämpöpumpulla tehostettu geoterminen systeemi on sovellusvaihtoehto, jossa lämpöenergia pumpataan noin 1 - 3 km syvästä lämpökaivosta ja tarvittavan tuotantolämpötilan nostamisen apuna käytetään lämpöpumppua. Tarvittaessa tässä vaihtoehdossa voi olla myös useampi lämpökaivo. Käytännössä Suomessa lämpötila vaihtelee kilometrin syvyydessä 12- 20°C välillä, kahden kilometrin syvyydessä noin 24-36°C välillä ja kolmen kilometrin syvyydessä 36-60°C välillä. (32). Lämpökaivosta saatavan, lämpöpumpulle tulevan veden lämpötilan täytyy olla hyvän kokonaishyötysuhteen kannalta yli 20°C.

Tehostettu geoterminen rakosysteemi (kuva 7) sovellusvaihtoehdossa kallio-perään porataan kaksi reikää: syöttöreikä ja tuotantoreikä, viimeiset 500 - 1000 metriä jätetään putkittamatta, jotta vesi pääsee kulkemaan syöttöreistä tuotantoreikään. Rakennusvaiheessa ensimmäisen reiän poraamisen jälkeen on stimulointivaihe, jossa reikään syötetään kovalla paineella vettä, jotta kallio-perän raot avautuvat, tarvittaessa myös toinen reikä stimuloidaan.

Tuotannossa syöttöreikään syötetään kylmä vesi ja lämmin vesi pumpataan ylös tuotantoreiästä. Syöttöreistä kallio-perään pumpattu kylmä vesi kuumeenee kallio-perän lämmön vaikutuksesta. Tuotantoreiästä kuuma vesi pumpataan ylös voimalalle, josta se syötetään lämmönsiirtimen kautta kaukolämpöverkkoon tai lämmennyttä kuumaa vettä voidaan käyttää myös sähköenergian tuotannossa joko yhdessä tai erikseen. Syöttöreiän ja tuotantoreiän sivuttaissuuntainen etäisyys kallio-perässä pohjalla on noin 500 - 1000 metriä. Veden

kierrättäminen reikien välillä on nopeampaa kuin lämmön siirtyminen ympäröivissä kivissä, mikä tarkoittaa, että tehostetulla geotermisellä rakosysteemillä on laskennallinen käyttöikä. (Geotermisen energian eri muodot 2020.)

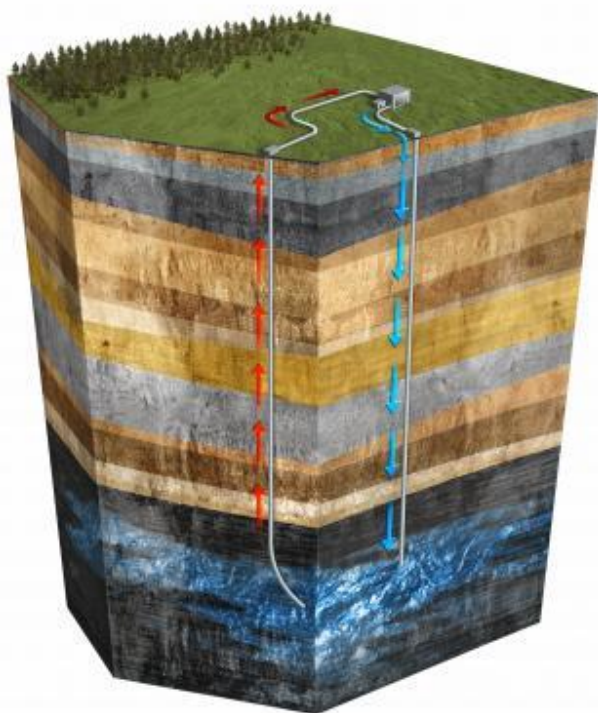


Kuva 7. Tehostettu geotermisen rakosysteemi (Tehostetun geotermisen lämmöntuotannon toimintaperiaate 2018)

3.1.4 Geotermisen lämmöntuotannon hankkeet Suomessa

Energiayhtiö St1:llä on meneillään pilottiprojektin viimeinen vaihe Espoon Otaniemessä. Ensimmäinen 6,4 km syväkaivo porattiin vuonna 2018 ja toinen 3,3 kaivo odottamaan vesistimulaation mallinuksen tuloksia. Projekti on ollut haastava, koska Suomen maaperä on kovaa graniittia. Otaniemen laitos tulee valmistuessaan olemaan maailman syvin geotermisen lämmöntuotantolaitos.

Laitos on periaatteeltaan tehostettu geoterminen rakosysteemi (kuva 8). Projektin rahoituksesta vastaavat yritykset, Työ- ja elinkeinoministeriö ja Tekes. Energiayhtiö Fortum tulee ostamaan laitoksen lämpöenergian kaukolämpöverkkoonsa. (St1 Deep Heatin geoterminen lämpölaitos 2019.) Espoon Otaniemen geotermisen lämpölaitoksen lisäksi lupaa on haettu myös Tampereelle geotermisen lämpölaitoksen rakentamiselle.



Kuva 8. Otaniemen hankkeen periaatekuva (St1 geoterminen lämpö havainnekuva 2019)

Seismologian laitos ja Helsingin yliopisto ovat laatineet selvityksen geotermisen syväporauksen riskienhallinnasta ja ympäristönäkökohdista. Selvityksen tilaajana ja rahoittajana on ympäristöministeriö. Tarve selvitykselle on nähty, koska nykylainsäädännössä ei geotermisen energian tuotannossa ole nähty ympäristölle vaaraa tai haittaa aiheuttavaksi, toisin sanoen geotermisen energiantuotannon ympäristöriskejä ei ole aiemmin tarkasteltu Suomen geologisessa ympäristössä, geotermistä energiantuotantoa ei ole määritelty EU:n teollisuuspäästädirektiivin (2010/75/EU) liitteen 1 mukaiseksi direktiivilaitokseksi eikä ympäristöluvan varaiseksi toiminnaksi. Geotermisen energiantuotanto hankkeiden käynnistyessä ja lisääntyessä Suomessa on selvitykselle ollut

selvä tarve. (Selvitys geotermisen energian syväreikäporaamisesta, siihen liittyvistä ympäristönäkökohdista sekä riskienhallinnasta 2019.)

3.1.5 Geotermisen energiantuotanto muualla maailmassa

Islannissa hyödynnetään geotermistä energiaa paljon sen maan tuliperäisyyden ansiosta. Kuumaa vettä saadaan maan pinnan läheltä. Muualla maailmassa geotermistä energiaa saadaan porattavista reistä, joiden täytyy ulottua syvälle. Ruotsissa Lundin kaupungissa on porattu 800 m syviä reikiä, joista saadaan 21-asteista vettä. (Geotermisen energia 2019.)

Ensimmäisen geotermisen energian koelaitoksen rakensi italialainen Gionori Conti vuonna 1904 Larderelloon, se tuotti virtaa vain pariin sähkölamppuun. Varsinainen 250 kW voimala käynnistyi 1913. (Geotermisen energia 2019.)

Geotermistä energiaa tuotetaan 24 maassa ja lämpövoimaloita on 70 maassa. Näitä maita ovat mm. Yhdysvallat, Filippiinit, Indonesia, Meksiko ja Italia. Ne sijaitsevat kaikki vulkaanisella alueella, joissa maakuori on ohuempaa ja geotermisen energian hyötykäyttö on kannattavaa. (Geotermisen energia 2019.)

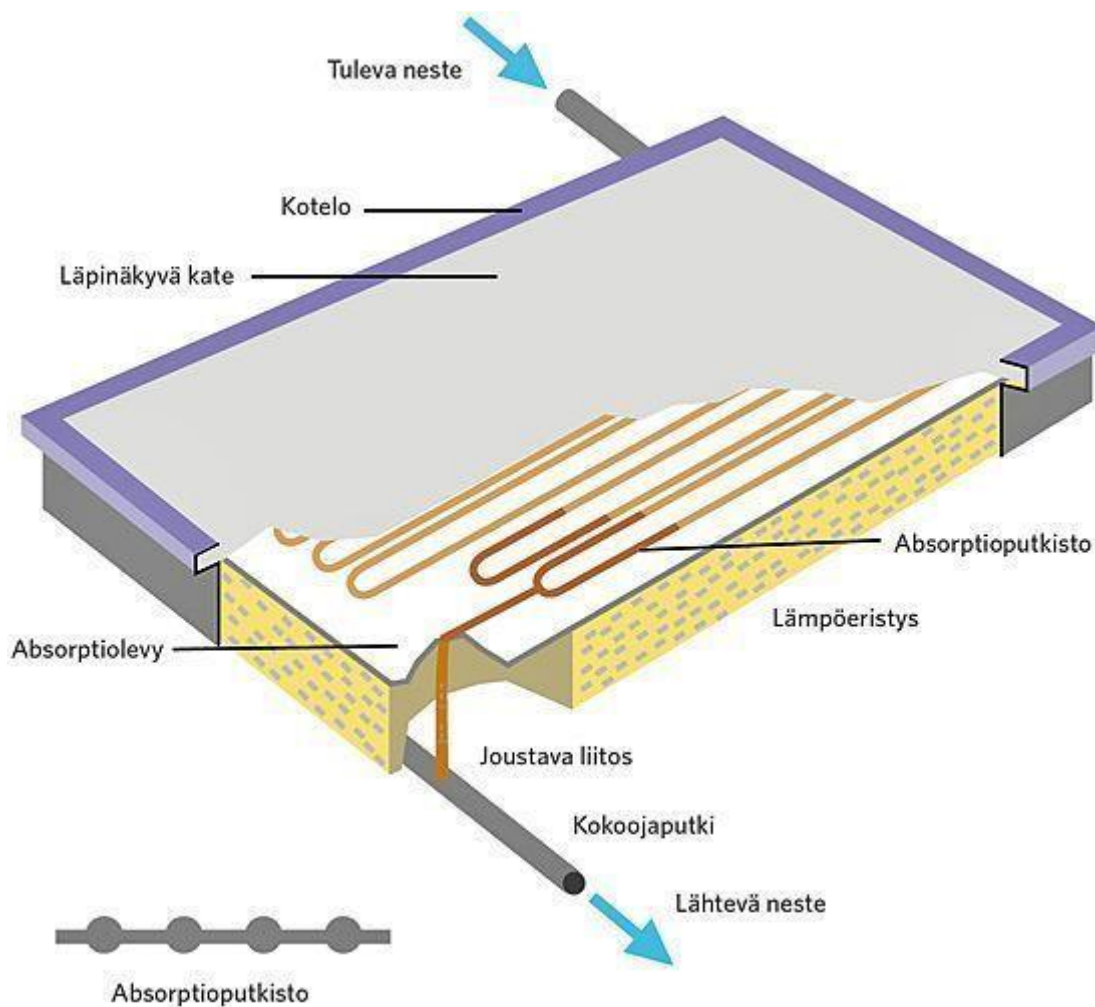
Ranskassa Soultz-sous-Forêtsin voimala toimii Reinin hautavajouma-alueella kalliossa, missä lämpötila on korkea. Saksassa Landaun ja Insheimin voimalat ovat lähellä toisiaan ja niin ikään Reinin hautavajoama alueella. Saksan Landaussa voimalan ympärillä on ollut maannousua, mikä on keskeyttänyt voimalan toiminnan. Sveitsin Baselissa hanke epäonnistui, koska tuotantolaitoksen säräytysvaihe aiheutti maanjäristyksen, jälkijäristyksiä oli vielä vuoden ajan noin 3500 kpl. (Maanalaista energiaa 2019.) Etelä-Saksassa on toiminut vuodesta 2009 alkaen geotermisen energia- ja lämmöntuotantolaitos, jonka toimintaperiaate on tehostettu geotermisen rakosysteemi, kahden reiän tuotantoperiaate. Toteutunut tuotantoreiän veden lämpötila on 122°C. Tuotantolaitos käyttää geotermisen energian lisäksi myös fossiilista polttoainetta, lähinnä maakaasua, kuitenkin alueen lämmitystarpeesta noin puolet tuotetaan geotermisellä energialla. (Geothermal electricity generation combined with a heating network 2009.)

3.2 Aurinkolämmöntuotanto

Auringosta saatavaa energiaa voidaan hyödyntää aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivisesti hyödynnetään suoraan auringon valoa ja lämpöä ilman erillisiä laitteita. Auringosta saatava lämpöenergia voidaan varastoida suoraan rakenteisiin. Rakennusten sijoittamisella ja suuntaamisella etelään päin voidaan hyödyntää auringon lämpöenergiaa. Rakennusten lämmitystarvetta voidaan vähentää myös sijoittamalla isot ikkunat etelään (kaakko-lounas) sekä valitsemalla ikkunoiden lasit sellaisiksi, joissa hyvän on lämmöneristävyys ja korkea g-arvo (valon kokonaisläpäisykerroin). Aurinkoenergian passiivista hyödyntämistä on myös aurinkosuojauksen käyttäminen joko varjostavalla rakenteella sekä kaihtimilla.

Aktiivisesti aurinkoenergiaa käytetään muuntamalla auringonsäteilyenergia aurinkokeräimillä lämpöenergiaksi tai aurinkopaneeleilla sähköenergiaksi. Aurinkokeräimillä tuotettua lämpöenergiaa voidaan varastoida vesivaraajaan, lämpökaivoon ja käyttää kaukolämmöntuotantoon. (Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen 2020.)

Aurinkokeräinjärjestelmään kuuluu aurinkokeräin, eristetty lämmönsiirtoputkisto ja lämpövaraaja. Lämmönsiirtolinjassa sijaitsee pumppu ja ohjausyksikkö. Varaajassa on aurinkolämpökierukka, paisunta-astia sekä pumppuyksikkö turvalaitteilla. Aurinkokeräimien päätyyppejä ovat neste- ja ilmakiertoiset keräimet. Nestekiertoisen keräimen lämmönsiirtoputkistossa kulkeva lämmönsiirtoneste sisältää vettä ja glykolia. Glykoli estää nesteen jäähtymisen. Nesteeseen on lisätty myös korroosionestoaineita, jolla estetään putkiston korroosiota. (Aurinkolämpöjärjestelmät 2020.) Nestekiertoisen aurinkokeräimen lämmönkeruu on hyvä, kun keräimen sisään tuleva neste on mahdollisimman viileää. Tällöin energiavaraajassa on oltava matala lämpötila tai vastaavasti paluulämpötilan on lämmitysverkossa oltava matala. Keräimen hyötysuhde heikkenee, jos keräimen ja ympäristön välillä on suuri lämpötilaero ja auringon säteilyteho on pieni. (Aurinkokeräinten hyötysuhteet 2020.) Kuvassa 9 on kuvattu nestekiertoisen aurinkokeräimen toimintaperiaate: keräimeen tuleva kylmä neste lämpenee keräimen sitoman auringon lämpöenergian avulla. Keräimen sitoma lämpöenergia siirtyy absorptioputkiston välityksellä kylmään tulevaan nesteeseen ja poistuu lämpimämpänä lähtevänä nesteenä.



Kuva 9. Nestekiertoinen aurinkokeräin (Nestekeräimen rakenne ja osat 2020)

Vertailuna nestekiertoisiin keräimiin (taulukko 1) ilmakiertoisissa keräimissä lämmönsiirtoaineena käytetään ilmaa. Ilmalla on nestettä huonommat lämmönvastaanotto- ja siirtokyvyt, jolloin täytyy rakentaa absorptioelementtejä, missä on suuri lämmönsiirtopinta paremman toimivuuden varmistamiseksi. Ilman hyvät puolet nesteeseen verrattuna ovat, ettei se jäädy. Ilma on turvallista, se lämpenee nopeammin eikä synny korroosio-ongelmaa. Alhainen lämpökapasiteetti ja huono säädettävyys ovat ilman huonoja puolia. (Ilmakeräimet 2020.)

Taulukko 1. Nestekeräimen ja ilmakeräimen perusominaisuudet

	Nestekeräin	Ilmakeräin
Lämmönsiirtoaine	Etyleeniglykolivesiseos	Ilma
Lämmönsiirtoaineen ominaislämpökapasiteetti c= KJ(kg * °C)	yli 1,8 , vaihtelee liuoksen pitoisuuden mukaan	1,01
Korrosioherkkyys	Aiheuttaa	Ei aiheuta
Jäätyminen	neste, jolla jäätymispiste	kaasu eikä jäädy
Säädettävyys	hyvä	haastavampi

Aurinkojärjestelmä soveltuu käyttöveden lämmitykseen, lattialämmitykseksi pesu- ja saunatiloihin ja ulkouima-altaiden lämmitykseen kesäaikana. Kaukolämmön tuotannossa voidaan hyödyntää aurinkolämpöjärjestelmää liittämällä se osaksi tuotantoa joko rakennuskohtaisesti tai keskitettynä ratkaisuna. Toiminta on vielä kokeilu- ja selvitysasteella. Auringosta saatava lämmön tuotanto keskittyy kesäkuukausiin, mutta lämmöntarve taas talveen. Aurinkolämpö on kannattavaa, silloin kun sen tuotantokustannukset ovat kesäkuukausina pienemmät kuin muut kaukolämmön tuotantotavat. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen aurinkolämmöllä voi olla kannattavaa kesäaikaan.

Auringosta saatavaa energiaa voidaan kerätä myös ilman keräimiä. Sun-ZEB-konseptissa (Sun = aurinko, ZEB = Zero Energy Block) eli nollaenergia-alueita voidaan kaupunkirakenteessa yhdistää kaukolämpö- ja kaukojäähdytysjärjestelmällä. Kesäaikana rakennuksiin kerääntynyt lämpö ohjataan kaukojäähdytysjärjestelmän avulla lämpöpumppulaitokselle, josta energia palautuu rakennuksiin lämpimänä käyttövetenä. Lämmityskaudella Sun-ZEB-alue käyttää alueen kaukolämpöä. (Kaukolämmön tuottaminen aurinkolämmöllä 2020.)

Tuotanto voi olla teollista silloin, kun järjestelmän keräinpinta-ala on 50 - 500 m². Aurinkolämmön hyödyntäminen sopii yrityksille, joissa käytetään suuria määriä matalahkossa lämpötilassa olevia nesteitä. Pesulat, panimot ja uimahallit ovat hyviä esimerkkejä, joissa voi hyödyntää aurinkolämpöä. Esimerkki-kohteina Suomessa toteutetuista hankkeista ovat vuonna 2011 Poriin valmistunut uimahalli, jossa katolla 200 m² aurinkokeräimiä ja rakennuksen kuparijul-

kisivusta 80 m² lämpöä keräävää pinta-alaa. Toisena hankkeena kaukolämmöntuottamisesta 356 m² aurinkokeräinjärjestelmällä Tupoksen Ankkurilahdessa pilottihanke. 2018 kesällä asennettu järjestelmä tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon noin 160MWh, ja se vastaa noin 10 % alueen kaukolämpöverkon lämmöntarpeesta. (Teollinen aurinkolämpö 2020.)

3.3 Ylijäämälämmönlähteiden hyödyntäminen

Ylijäämälämmöksi kutsutaan energiavirtaa, joka poistuu tuotantolaitoksesta erilaisten poistoilmojen, jäädytysveden, savukaasujen tai koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmön mukana. Siitä käytetään myös nimitystä hukka- tai jäte-lämpö. Tavoitteena on, että ylijäämälämpöä tulisi vähän ja eri prosesseissa ylijäävä sekundäärienergia voitaisiin hyödyntää muissa prosesseissa.

EU:n energiatehokkuus direktiivi (EED) tuli voimaan 4.12.2012. Artiklassa 14 jäsenvaltioiden oli laadittava 13.12.2015 mennessä arvio tehokkaasta yhteistuotannosta ja tehokkaasta kaukolämmön ja -jäähdytyksen hyödyntämismahdollisuuksista. Arvio koskee lauhdevoimaloita ja ylijäämälämpöä merkittävästi tuottavia teollisuuslaitoksia kooltaan yli 20 MWh sekä jäähdytysverkostoa tai sen energiatuotantolaitosta kooltaan yli 20 MWh.

Ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää myymällä sitä energiayhtiöille, jos sitä ei voida hyödyntää omassa tuotannossa. Ylijäämälämmön hyödyntäminen riippuu lämpötilatasosta, lämpötehon suuruudesta, lämpövirran väliaineesta ja faasista eli olomuodosta, väliaineen kemiallisista ominaisuuksista ja väliaineen puhtaudesta. Matalalämpöinenkin ylijäämälämpö käy biopolttoaineiden kuivatuksen kasvihuoneisiin sekä kalankasvattamoille. (Ylijäämälämmön hyödyntäminen 2020.)

Suomessa runsas kolmannes teollisuuden käyttämästä energiasta menee hyödyntämättömänä hukkaan. Energiavaltaisilta teollisuudenaloilta tulee eniten ylijäämälämpöä, näitä ovat metsä-, elintarvike-, kemian- ja metalliteollisuus. Muita aloja ovat lauhdevoimalat, öljynjalostus, puu- ja sahatavaran valmistus, kaatopaikkojen ja jätevedenpuhdistamojen tuotannossa muodostuva lämpö.

Ylijäämälämmön lämpötila määrää sen, kuinka paljon sitä voidaan siirtää kaukolämpöverkoston ja minkälaisella tekniikalla. 55-asteinen ja sitä korkeampi lämpö voidaan ohjata lämmönsiirtimeillä suoraan kaukolämpöverkoston paluuvien lämmittämiseen. Alle 55-asteinen ylijäämälämpö pitää nostaa lämpöpumpun avulla kaukolämpöverkoston lämmitykseen soveltuvaksi joko menotai paluuverkoston eri verkoston lämpötilantarpeen mukaisesti (kaukolämpöverkoston menoveden lämpötila on noin 65 - 120 astetta ja paluuvien 40 - 60 astetta Celciusta). Tehokkainta ja kannattavinta ylijäämälämmön käyttö on kohteissa, joissa ylijäämälämmön muodostuminen ja lämpöenergian käyttö ovat samanaikaisia ja lähellä toisiaan. Energia-teollisuus ry:n tilastoissa ylijäämälämmön osuus Suomen kaukolämmön tuotannossa oli n. 2 % vuonna 2012. Ylijäämälämmön hyödyntämisteknikoita ovat lämpöpumppu, ORC-tekniikka, käyttö sellaisenaan ja lämmöntalteenotto.

Teollisia lämpöpumppuja käytetään kuivaus-, pesu-, haihdutus- ja tislauksprosesseissa. Lämpöpumpun avulla prosessivesi voidaan lämmittää tai jäähdyttää. Lämpöpumpulla voidaan ylijäämälämmön lämpötilaa nostaa sopivaksi, jotta sitä voidaan käyttää kaukolämpöverkoston meno tai paluupuolella. Lämpöpumppuratkaisut, joita käytetään teollisuudessa, on suunniteltu ja mitoitettu kohteen tarpeisiin. Lämpöpumppujen tehokkuuden mittayksikkö on lämpökerroin COP. Se ilmaisee, kuinka moninkertainen on lämpöpumpusta saatu lämpöenergia verrattuna sen tarvitseman energian määrään.

ORC-laitos (Organic Rankine Cycle) tuottaa sähköä ylijäämälämmöstä, mutta ylijäämälämpötilan olisi oltava yli 100-asteista ja käytettävissä 6000 - 8000 tuntia vuodessa. ORC-prosessissa on kiertoaineena orgaaninen aine, joka höyrystyy ja lauhtuu prosessin eri vaiheissa vesikierron tavoin. ORC-prosessin lämmönlähteitä ovat biopolttoaineet ja pienet biovoimalaitokset, kaatopaikka-kaasut ja teollinen jätelämpö. ORC-voimalaitoksissa on käytössä termoöljykattila, minkä teho on 1 - 50 MW. ORC-prosessin hyötysuhde voi olla 98 prosenttia. ORC-sovelluksia on käytössä kaasumoottoreissa. Kaasuturbiinien savukaasujen lämmöstä voidaan saada talteen lisäsähköä jopa 20 - 35 prosenttia. ORC-prosessin avulla hyödynnetään sementtitehtaiden ylijäämälämpöä ja metalli- ja lasitehtaiden sulatusuunien poistokaasuja.

Kiinteän puuperäisen biopolttoaineen kuivatus nostaa polttoaineen lämpöarvoa korkeammaksi, joten se palaa paremmin sekä luovuttaa lämpöenergiaa enemmän verrattuna kosteaan polttoaineeseen. Kuivatuksen ansiosta polttoaineen tarve vähenee 10 - 15 prosenttia. Biomassan kuivatus korkeassa lämpötilassa yli 175 asteessa nostaa VOC-päästöjä (Volatile organic compound, joka tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä). Kuivatusmenetelmät vaikuttavat hiukkaspäästöihin. Kuivauksessa käytetään mekaanista tai termistä menetelmää. Menetelmän valintaan vaikuttaa käytettävissä oleva lämmönlähde, haihdutuskapasiteetti, haluttu loppukosteus ja kuivurin tarvitsema pinta-ala.

Mekaaninen menetelmä esimerkiksi prässäys soveltuu kosteille polttoaineille. Mekaanisia menetelmiä käytetään polttoaineen esikuivatukseen, mutta ne eivät kuivata polttoainetta riittävän kuivaksi. Teollisissa kohteissa käytetään termistä eli lämpöön perustuvaa menetelmää. Korkean lämmönlähteen kuivureita ovat rumpu- ja virtauskuivurit ja matalan lämmönlähteen kuivureita ovat viira- ja kerroskuivurit. (Ylijäämälämmön hyödyntäminen 2020.)

3.4 Kaksisuuntainen kaukolämpö

Energiateollisuus ry:n ja Sitran teettämästä raportista ilmenee, että kaksisuuntaiselle kaukolämmölle on tarvetta. Asiakas voi kaksisuuntaisessa kaukolämpöverkossa ostaa kaukolämpöenergiaa tai myydä omaa ylimääräistä lämmöntuotantoaan. Teollisuuden ylijäämälämpö ja kerrostalon aurinkokeräimillä tuotettua lämpöenergiaa voidaan siirtää kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon. Käytännön kannalta ongelmana on pientuotannon kilpailukyvyyn suhde ole-massa olevaan kaukolämmön tuotantoon. (Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat 2016.)

Kaukolämpöverkot ovat erilaisia ja mahdollisten asiakkaiden tarpeet erilaisia, joten on vaikeaa kehittää kaikkiin verkkoihin sopivaa yhtenäistä mallia. Yhtenä tärkeänä tekijänä kaksisuuntaisuuden lisäämisessä on energiatehokkuus. Pyrittäessä täysin päästöttömään energiatuotantoon voidaan kaksisuuntaisella kaukolämmöllä lisätä kaukolämmön rahallista tunnearvoa ja parantaa sen hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa. (Kaksisuuntainen kaukolämpö 2016.)

3.5 Pienydinvoima

Suomessa Lappeenrannan yliopiston ydintekniikan laboratoriossa on kehitteillä modulaarinen, pieni kaukolämpöreaktori SMR (Small Modular Reactor). Lämpöteholtaan se on muutamia kymmeniä megawattia, kun vertailun vuoksi Olkiluotoon tulevan kolmannen ydinreaktorin lämpöteho 4300 MW ja sähköteho 1600 MW. Ydinvoimatekniikan mallinnuksen professori Juhani Hyvärisen mielestä modulaariset pienet ydinvoimalat voisivat tuottaa keskisuuren kaupungin tarvitseman kaukolämmön. Kehitteillä olevan reaktorin jäähdytys tapahtuu kierrättämällä vettä pumpuilla. Reaktorin pumput voivat pysähtyä häiriötilanteessa ja reaktori sammua. Tarvittava jäähdytys tapahtuu painovoimaisesti. Reaktorin kuumentunut vesi kiehuu ja höyry nousee ylöspäin ja kohdattessaan kylmiä seinäpintoja se lauhtuu ja laskeutuu takaisin alas vetenä. Pienreaktorin sydämen lämpötila on paremmin hallittavissa kuin ison ydinvoimalan. Pienydinvoimala on kustannustehokas sarjatuotantomahdollisuutensa vuoksi. Uraanipolttoainetta ei saada Suomesta, mutta voimalan osat ja osaaminen on saatavilla Suomessa. (Modulaarinen pieni kaukolämpöreaktori 2019.)

FinNuclear ry:n Lauri Mäkelän selvityksessä on perehdytty SMR-reaktoreihin eli pienydinvoimaloihin. IAEA:n määritelmässä SMR:iin luetaan sähköteholtaan alle 300 MW suuruiset reaktorit. IAEA:n (International Atomic Energy Agency) on kansainvälinen atomienergiajärjestö.

Pienestä koosta johtuen pienydinvoimaloilla on niin sanotut passiiviset turvaominaisuudet, jolloin ihmisen tai järjestelmän ei tarvitse puuttua aktiivisesti reaktorin toimintaan. Pienydinvoimala voidaan rakentaa maan alle, kelluvalle lautalle tai off-shore-ratkaisuna. Ne voidaan koota kooltaan rajatuista osista eli moduuleista. Osat voitaisiin valmistaa niihin erikoistuneilla tehtailta ja lautoilla. Niiden pienempi koko ja modulaarinen rakenne tekevät niistä nopeammin valmistuvia ja alkuinvestoinniltaan edullisempia kuin isot voimalat.

Energiantuotannon hajauttaminen alueellisesti on mahdollista pienydinvoimalan avulla, siitä on hyötyä kaukolämmön tuotannossa ja sellaisissa maissa, missä on heikko sähköverkko. Suomessa on jo edellä mainittu Lappeenran-

nan yliopiston SMR pieni kaukolämpöreaktori. Se on kooltaan pieni eli mikroreaktori, jonka lämpöteho on noin 24 MW. Sitä voitaisiin hyödyntää kaukolämmöntuotannossa, ja sen avulla hiilidioksidipäästöjä olisi mahdollista vähentää. Monilla mailla on kehitysvaiheessa tai jo valmiina SMR-reaktoreita.

Venäläinen kelluva ydinvoimala Akademik Lomonosov käyttää ydinjäätymurtajiin suunniteltua SMR-reaktoria KLT-40S. Voimalassa on kaksi KLT-40S-reaktoria ja teho on 70 MW. Sen on tarkoitus tuottaa energiaa Koillis-Siperiassa olevalle Pevekin kaivoskaupungille. Myös Kiina ja Yhdysvallat suunnittelevat samanlaisia lauttoja.

Argentiinassa ryhdyttiin rakentamaan vuonna 2014 CAREM-reaktoria (Central Argentina de Elementos Modulares). Tämä reaktori on integroitu kevytvesireaktori, jossa jäähdyttimenä toimiva vesi on luonnonkierrolla. Sen sähköteho on 25 MW ja lämpöteho noin 100 MW. (SMR-selvitys 2019.)

Suurin osa maailmassa toimivista ydinreaktoreista on vesijäähdytteisiä, koska niiden tekniikka on toimivaa ja hallinnassa, myös pienreaktorien oletetaan olevan vesijäähdytteisiä. Muita reaktoryypppejä ovat kaasujäähdytteiset, nopeat reaktorit, joissa jäähdytteinä on sulaa natriumia tai lyijyä. Sulasuolareaktorit ovat olleet lähinnä tutkimuskäytössä. (Edellytykset pienreaktorien turvalliselle käytölle 2019.)

Yhdysvaltain NuScale:lla on lisensointiprosessivaiheessa SMR:istä. Yksittäisen moduulin sähköteho olisi 60 MW. Suunnitteilla olevassa voimalassa olisi 12 SMR-moduulia ja sähköteho 681 MW. Kansainvälisen energiajärjestön raportissa (Nuclear Power in a Clean Energy System) on käsitelty ydinvoiman roolia päästötavoitteiden saavuttamisessa. Ydinvoima on nyt suurin matalahillinen energialähde, ja vuonna 2018 sillä tuotettiin 10 prosenttia kaikesta maailmassa tuotetusta sähköstä. Ilmastotavoitteen saavuttamiseksi vuoteen 2040 mennessä tulisi 85 % maailman sähköstä tuottaa hiilineutraalisti. Suomen sähköntuotanto on suurelta osin hiilidioksidivapaata, mutta kaukolämmöntuotannosta noin puolet tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla tai turpeella. Tästä syystä lämmitys tuottaa enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin sähköntuotanto. SMR-reaktorit voisivat tuottaa tulevaisuudessa kaukolämpö, jolloin hiilidioksidipäästöt vähenisivät.

Laaja-alainen julkisen ja yksityisen alan yhteistyö on Suomessa tärkeää, mikäli halutaan, että suomalaisyritykset saavat hyötyä SMR-liiketoiminnasta. SMR:llä on hyviä tulevaisuuden näkymiä, mutta on paljon esteitä, kuten luvat (ydinvoimalaki), lisensointi, liiketoimintamallit, toimitusketjut, tuotantolaitokset ja logistiset kysymykset. Ne on ratkaistava ensin, ennen kuin pienydinvoimala voidaan ottaa käyttöön. (SMR-selvitys 2019.)

Suomen säteily- ja turvallisuusvirasto STUK on julkaissut syksyllä 2019 raportin pienreaktoreiden turvallisen käytön edellytyksistä. Myös pienreaktori sisältää radioaktiivista polttoainetta, josta voisi onnettomuustilanteessa aiheutua varaa ihmisille, ympäristölle ja omaisuudelle. Suomessa valtioneuvosto myöntää luvan ydinreaktorin rakentamiselle, käyttämiselle ja käytöstä poistamiseen.

STUK haluaa valmistautua tulevaan, vaikka täällä ei ole vielä yhtään SMR:ta rakenteilla, vaan vasta kokeiluasteella. SMR-yritysten kehittämisessä tehdään kansainvälisiä investointeja ja asiasta ovat ydinvoimayhtiöiden lisäksi kiinnostuneita kaupungit, kunnat ja prosessiteollisuus. Kaukolämmöntuotannossa pienreaktorit tulevat sijaitsemaan lähellä asutusta, tällöin suojavyöhykkeen ja varautumisalueen koko on harkittava, koska reaktorista aiheutuu asuinalueille mahdollinen turvallisuusriski. Viranomaisten on valmistauduttava pienreaktorien lupaprosesseihin, turvallisuuden arviontiin ja valvontaan. Myös kansainvälinen keskustelu pienreaktoreiden turvallisuudesta ja lupakäytännöistä on tärkeää varautumisessa. (Edellytykset pienreaktorien turvalliselle käytölle 2019.)

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuskohteet keskittyivät kahteen osioon. Ensimmäisenä osiona tutkitaan Mänttä-Vilppulassa Kolhon taajamassa olevan geotermisen lämmöntuotantolaitoksen pilottihanketta ja siitä saatavia tausta- ja projektitietoja. Toisena osiona oli tutkimuskysely Suomen kaukolämpölaitoksille, joka oli kohdistettu pääasiassa geotermiseen lämmöntuotantoon liittyviin kysymyksiin.

Pilottihankkeen tutkimusosioissa käsitellään hankkeen toteutusjärjestely, kuvaus, toimintaperiaate, rakentamiseen liittyvät asiat, tarkemmat suunnitteluarvot ja johtopäätökset.

Tutkimuskysely-osiossa käsitellään toteutus, kysymykset, vastaukset ja johtopäätökset keskittyen vähäpäästöisiin, hiilidioksidineutraaleihin kaukolämmöntuotannon tulevaisuuden kysymyksiin painottuen erityisesti geotermiseen lämmöntuotantoon.

5 GEOTERMINEN LÄMPÖLAITOS, PILOTTIHANKE

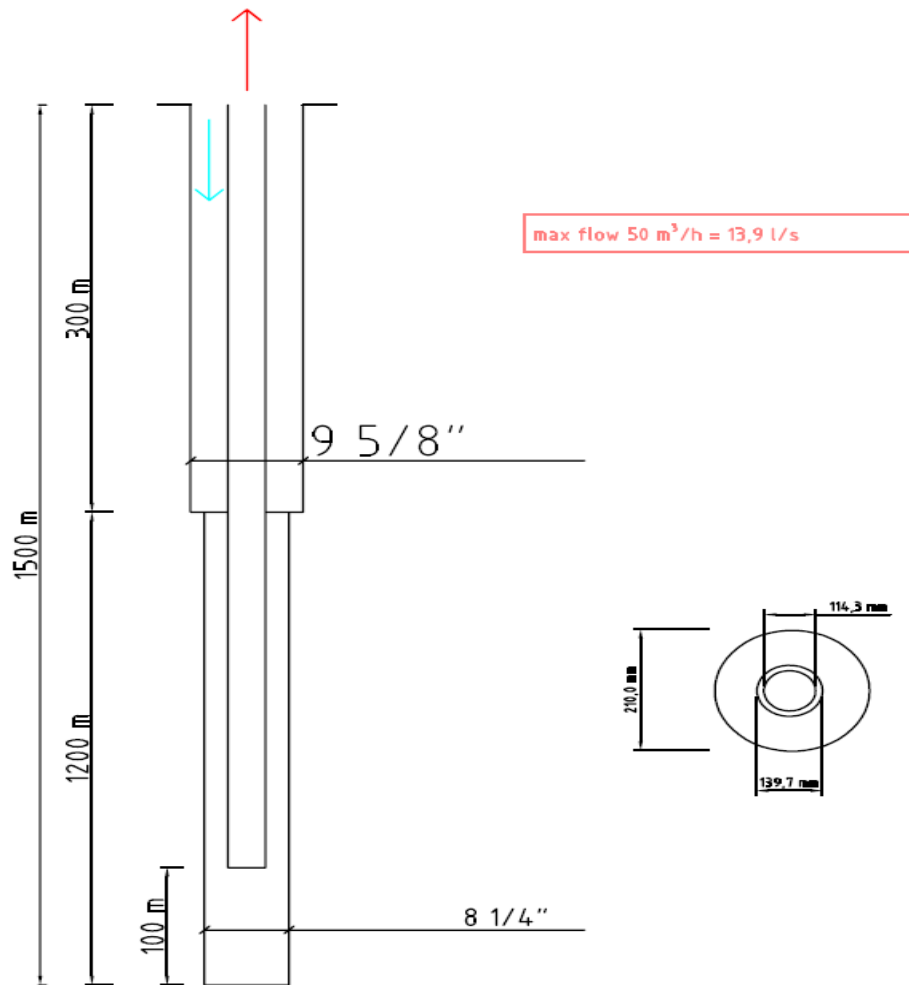
5.1 Toteutusjärjestely

Tutkittavan laitoksen toteutustapa on seuraava: Mäntän Kaukolämpö ja Vesi-
huolto Oy on sitoutunut ostamaan energiaa geotermisen lämpölaitoksen ra-
kennuttavalta yritykseltä ja korvaamaan olemassa olevan pellettilämpölaitok-
sen kaukolämpöenergiantuotannon valmistuvalla geotermisen lämpölaitoksen
energian tuotannolla. Mäntän Kaukolämpö ja Vesi- ja Vesihuolto Oy ei toisin sanoen
itse investoi kyseiseen laitokseen vaan toimii ainoastaan lämpöenergian osta-
jana.

5.2 Lämpökaivon kuvaus

Rakennettavan lämpökaivon suunnittelusyvyys on 1500 metriä (kuva 10).
Lämpökaivon periaate on yksiputkinen järjestelmä, jossa on lämpöpumpulle
tulevan (tulovesi) kaivoveden lämpötila tulisi olemaan 25 - 30°C ja pumpuilta
poistuvan veden (paluuvesi) lämpötila olisi noin 5 - 8 astetta viileämpi kuin tu-
levan veden lämpötila.

Lämpökaivon ensimmäiset 16 metriä eli niin sanottu pehmeän maan osuus
paalutetaan 400 mm kokoisella teräsputkella, paalutus tehdään noin 2 metriä
kallion sisään. Seuraavaksi aina 300 metriin saakka porataan 300 mm kokoi-
nen reikä, reikään upotetaan 9 5/8" eli noin 244 mm ulkohalkaisijaltaan oleva
teräsputki, teräsputken ja poratun reiän välinen tila injektoidaan betonoimalla.
Betonointi estää pohjaveden sekoittumisen lämpökaivon veteen, lisäksi beto-
nointi auttaa myös kalliota koossa pitävänä aineena, koska kohteen kallio on
rikkonainen. Seuraavat 1200 metriä aina 1500 metriin saakka porataan 215 -
218 mm kokosilla terillä, putkitus tehdään 8 1/4" eli 210 mm ulkohalkaisijaltaan
olevalla teräsputkella. Lopuksi kaivoon asennetaan ulkohalkaisijaltaan 139,7
mm muoviputki, sisähalkaisijaltaan 114,3 mm. Asennussyvyys on muoviput-
kella on 1400 metriä. Lämpökaivon putkituksen valmistumisen jälkeen kaivo
täytetään vedellä, vettä kierrätetään kaivopiirissä, suurin mahdollinen tilavuus-
virta lämpökaivon ja lämpöpumpun välillä on 50 m³/h eli 13,9 l/s.



Kuva 10. Geotermisen lämpökaivon periaatekuvaus (Lämpökaivon periaatekuva 2020)

5.3 Lämpölaitoksen toimintaperiaate

Lämpölaitoksen toimintaperiaatteena on lämmitellä kohteessa sijaitsevan kaukolämpöverkoston paluuvettä. Lämpölaitos on kokoluokaltaan noin 400 kW suuruinen etäohjattava yhdellä putkella toteutettava laitos, joka tuottaa lämpöenergiaa lämpökaivosta lämpöpumpulla avustettuna. Kyseinen laitos pystyy tarvittaessa tuottamaan jopa 130-asteisen veden kaukolämpöverkostoon. Laitoksen suunniteltu hyötysuhde (COP) olisi parhaimmillaan jopa luokkaa 5, laitoksen rakentajan lupaehto vuosihyötysuhteeksi (SCOP) on 3,3. Hankintakustannukseltaan koko laitoksen investointihinta on luokkaa 700000 €. (Geotermisen lämpölaitoksen hankekuvaus 2017.)

5.4 Laitoksen rakentamisen aikataulu ja rakentaminen

Laitoksen rakentaminen alkoi kesällä 2018, ja suunniteltu valmistuminen ja käyttöönotto oli tarkoitus olla vuoden 2018 loppuun mennessä. Tällä hetkellä

laitosta ei ole vielä käyttöönotettu vaan kyseisen laitoksen lämpökaivon putkituksessa on ollut haasteita. Kohteeseen on porattu jo kaivo, mutta putkitusvaiheessa lämpökaivon kallioperä sortumat aiheuttivat haasteita ja estivät putkituksen suunniteltuun syvyyteen. Tarkoituksena on porata uusi lämpökaivo ja putkittaa se suunniteltuun noin 1,5 km syvyyteen vuoden 2020 aikana. Vuoden 2019 aikana laitoksen toimintaperiaatetta ja toimintaa päästiin testamaan, mutta toteutunut lämpökaivon putkitussyvyys oli liian matala, vain noin 400 metriä, ja ainoastaan periaatteellinen toiminta päästiin testaamaan toimivaksi lämpöpumpun osalta. Lämpöpumpulle tulevan veden lämpötila oli tuolloin noin 10°C.

5.5 Pilottihankkeen yhteenveto

Geotermisen lämpölaitoksen pilottiprojekti on ollut käynnistyessään mielenkiintoinen asia pienelle paikkakunnalle. Projektin etenemistä ja valmistumista ovat haitanneet ongelmat lämpökaivon porauksen suhteen, erityisesti putkitusvaiheessa syntyneet sortumat, jotka ovat estäneet suunnitellun toteutuksen ja laitoksen käyttöönottamisen. Projektin nykyinen tila on valoisa ja uuden lämpökaivon poraaminen on aloitettu, mahdollisesti koko hanke valmistuu vuoden 2020 aikana, minkä jälkeen saadaan tarkempaa tietoa hankkeen onnistumisesta.

6 TUTKIMUSKYSELY SUOMEN KAUKOLÄMPÖLAITOKSILLE

6.1 Tutkimuskyselyn laajuus ja toteutus

Tutkimuskysely toteutettiin Suomen kaukolämpölaitoksille tehtävällä tutkimuskyselyllä, kyselyn jakamisen toteutti Energiateollisuus ry. Kysymyksiin vastaminen suoritettiin täysin anonyymisti. Kysely jaettiin yhteensä 99 kaukolämpöyhtiölle ja vastanneita yhtiöitä oli yhteensä 42, jolloin vastausprosentti oli 42,4 %.

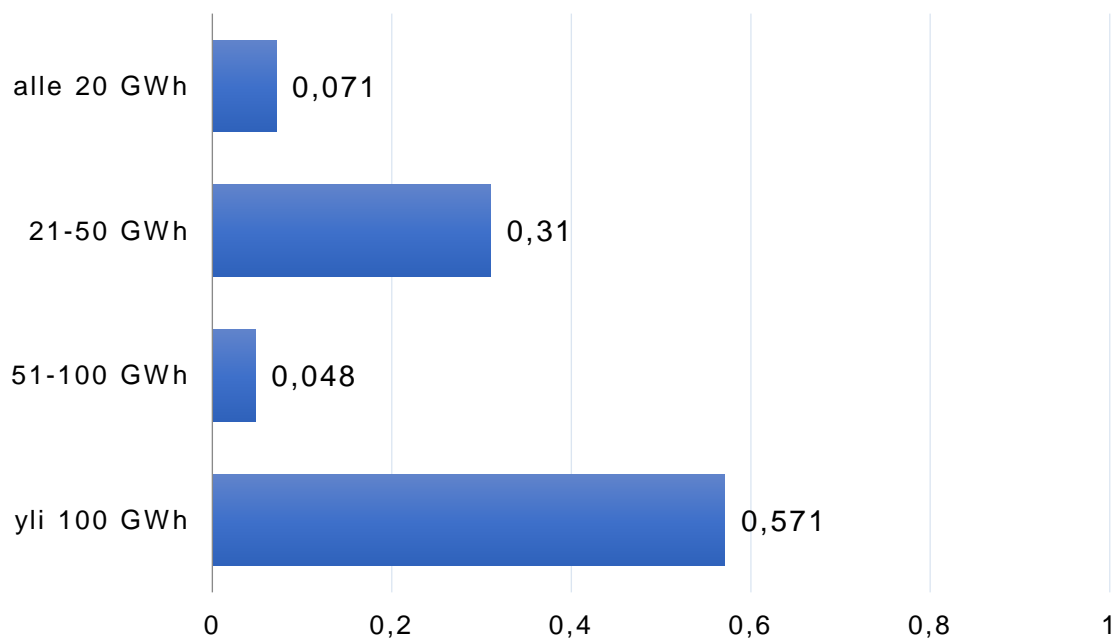
6.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksinä oli yhteensä kuusi monivalintakysymystä ja lisäksi kyselyyn sisältyi seitsemäntenä kohtana kyselyn sisältöön ja aiheeseen liittyvä vapaa kommentointi. Tutkimuskysymykset ovat liitteessä 1 ja vapaan kommentoinnin sisältö selviää liitteestä 2.

Tutkimuskyselyn kaksi ensimmäistä kysymystä olivat alan yleiskysymyksiä, liittyen lämmönmyynnin kokoluokkaan ja investointeihin vähä/hiilidioksidineutraalista lämmöntuotannosta. Kysymyksessä kolme kysyttiin todennäköisyyttä investoida geotermisiin lämmöntuotantovaihtoehtoihin, aurinkolämpöön tai ylijäämälämmön lähteiden hyödyntämiseen seuraavan viiden vuoden aikana. Kysymyksessä neljä kysyttiin vastaavaa todennäköisyyttä investoida kuin kysymyksessä kolme, mutta seuraavan kymmenen vuoden aikana. Kysymyksissä viisi ja kuusi kysyttiin geotermisen lämmöntuotannon mahdollisuuksia ja haasteita. Vapaa kommentoinnin sisältö oli täysin vapaa ja sai liittyä tutkimuskyselyn asetteluun, muotoiluun ja sisältöön. Lisäksi vapaan kommentoinnin osiossa sai antaa myös kommentteja vähä/hiilidioksidineutraalista lämmöntuotannosta ja erityisesti geotermisestä lämmöntuotannosta.

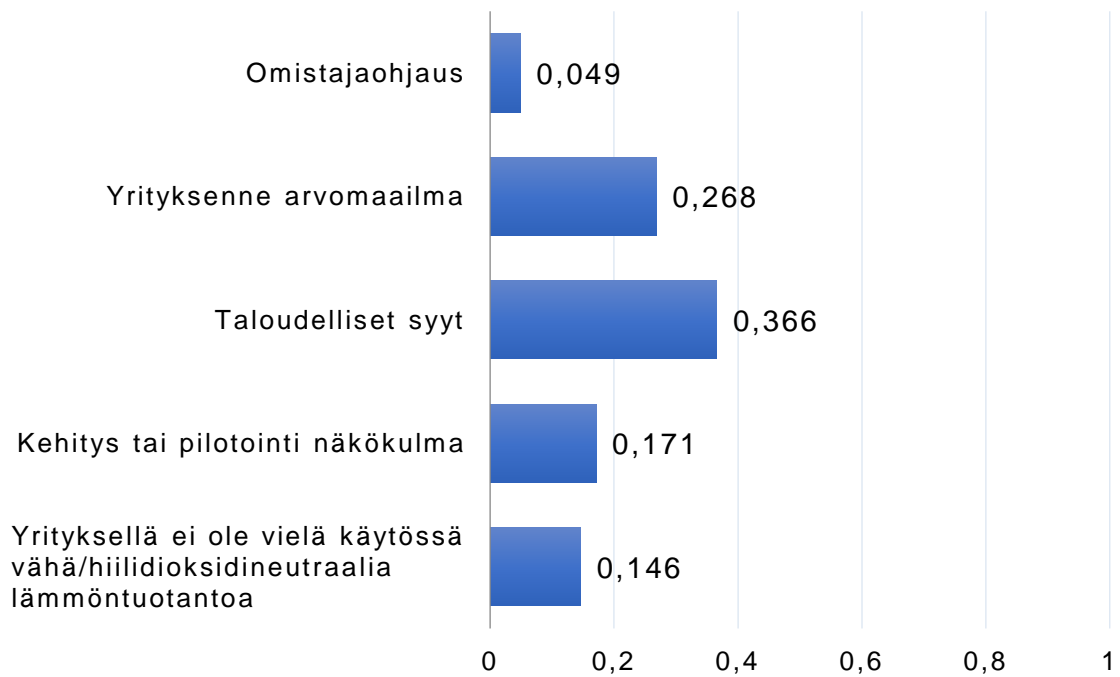
6.3 Tulokset

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä (kuva 11) tiedusteltiin *laitosten lämmönmyynnin kokoluokkaa*. Yli 50 % vastanneista kuului kokoluokaltaan yli 100 GWh:n vuosimyynnin kokoluokkaan, 31 % vastanneista laitoksista kuuluivat 51 - 100 GWh:n kokoluokkaan ja loput vastanneista kahteen pienempään kokoluokkaan.



Kuva 11. Tutkimuskysymys 1 tulokset

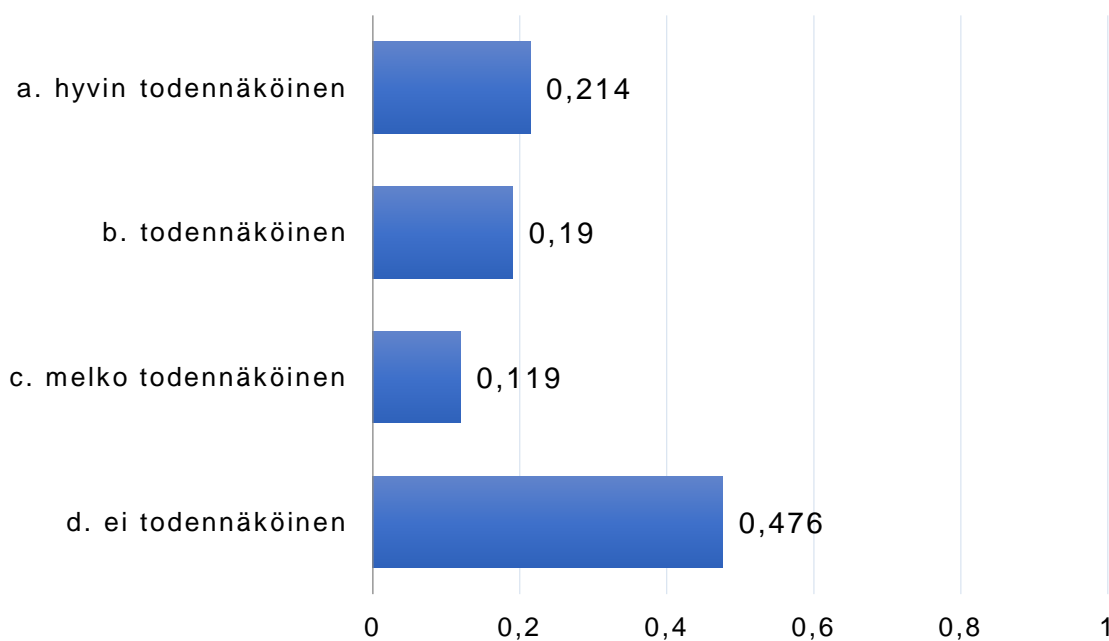
Toisessa tutkimuskysymyksessä (kuva 12) yritysten *suurimpina vaikuttavina tekijöinä valita vähä/hiilidioksidineutraali lämmöntuotanto polttolaitoksen rinnalle tai kokonaisuudessaan* koostui seuraavasti: 37 % vaikutti taloudelliset syyt, 27 % ajatteli yrityksen arvomaailman vaikuttavan valintaan eniten. 17 % vastanneista piti kehitystä ja pilotoinnin näkökulmaa vaikuttavana tekijänä, 5 % valintaan vaikutti omistajaohjaus ja 15 % ei ollut vielä käytössä vähä/hiilidioksidineutraalia lämmöntuotantoa.



Kuva 12. Tutkimuskysymys 2 tulokset

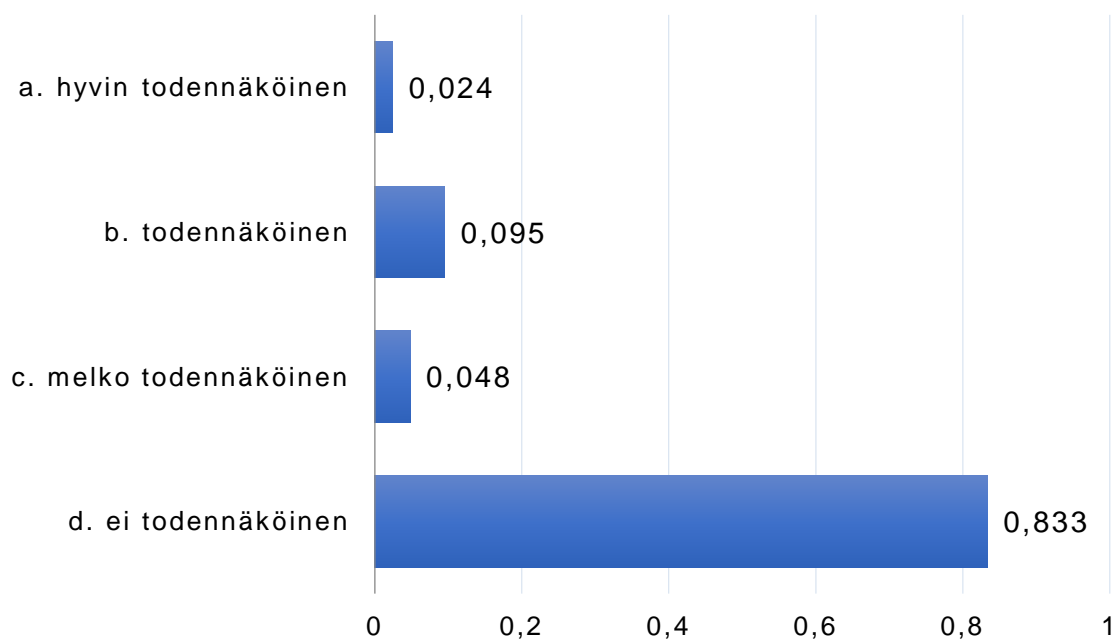
Kolmas tutkimuskysymys koostui neljästä valintavaihtoehdoista, joissa kysyttiin yritysten todennäköisyyttä investoida seuraavan 5 vuoden aikana seuraaviin lämmöntuotantovaihtoehtoihin. Vaihtoehdot ja tulokset on kuvattu kuvissa 13-16 (tutkimuskysymykset 3.1- 3.4)

Tutkimuskysymyksen 3.1 (kuva 13), *geoterminen lämmöntuotanto (keskisyvä ratkaisu, (pumpputekniikka mukana energian tuottamisessa)* mukaisesti tulos kertoi, että yritykset investoisivat seuraavan viiden vuoden aikana suurimaksi osaksi (48 %) epätodennäköisesti tämän vaihtoehdon. 21 % vastanneista hyvin todennäköisesti voisi valita tämän lämmöntuotannonvaihtoehdon. 19 % todennäköisesti ja noin 12 % vastanneista ja melko todennäköisesti valitsi viiden vuoden sisällä tämän vaihtoehdon.



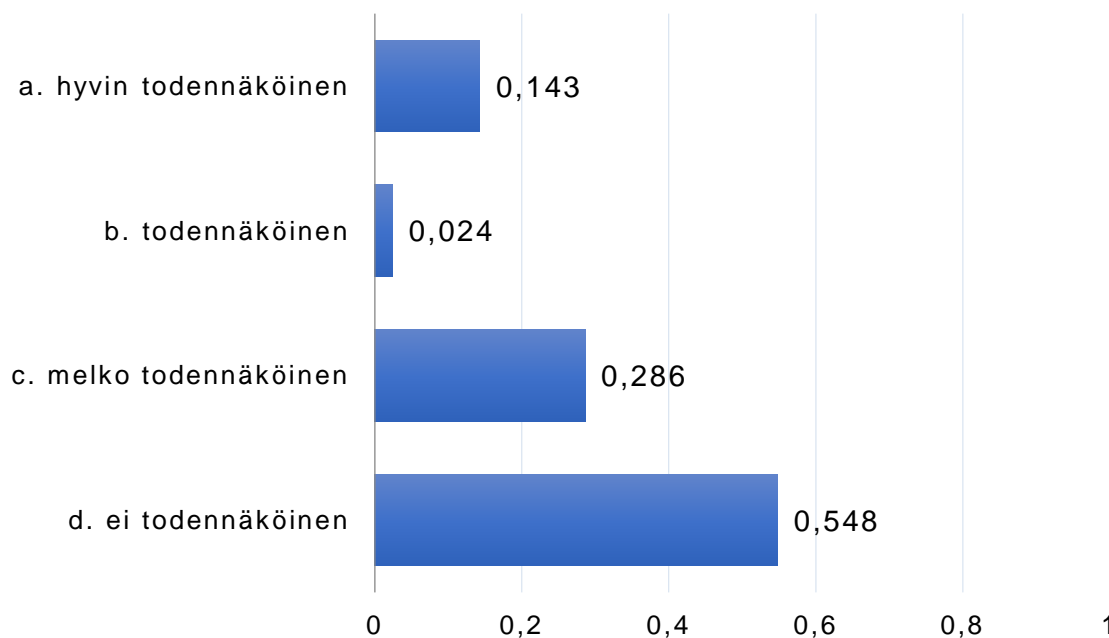
Kuva 13. Tutkimuskysymys 3.1 tulokset

Tutkimuskysymyksen 3.2 (kuva 14) mukaisesti geoterminen lämmöntuotanto (syvä ratkaisu, energia suoraan primäärilämpöistä): 83 % vastanneista ei todennäköisesti investoisi tähän vaihtoehtoon, 10 % todennäköisesti, 5 % melko todennäköisesti ja ainoastaan 2 % hyvin todennäköisesti investoisi tähän vaihtoehtoon viiden vuoden sisällä.



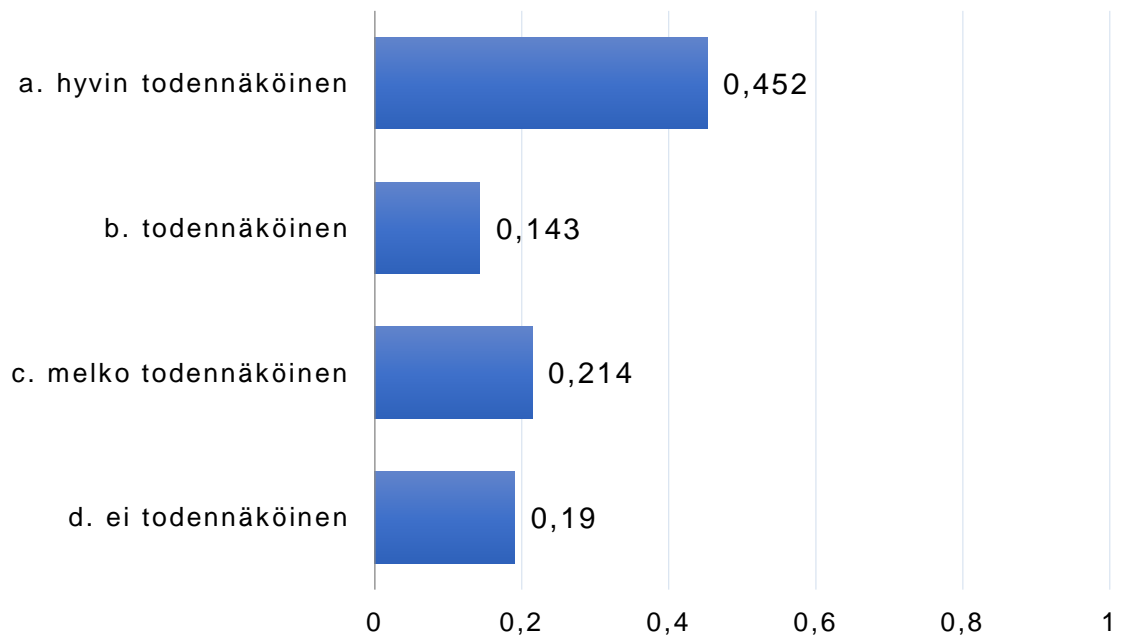
Kuva 14. Tutkimuskysymys 3.2 tulokset

Tutkimuskysymyksen 3.3 (kuva 15) mukaisesti *aurinkolämpöä* pidettiin 55 % epätodennäköisenä investointina, 29 % investoisi melko todennäköisesti, 2 % todennäköisesti ja 14 % investoisi hyvin todennäköisesti aurinkolämpöön viiden vuoden sisällä.



Kuva 15. Tutkimuskysymys 3.3 tulokset

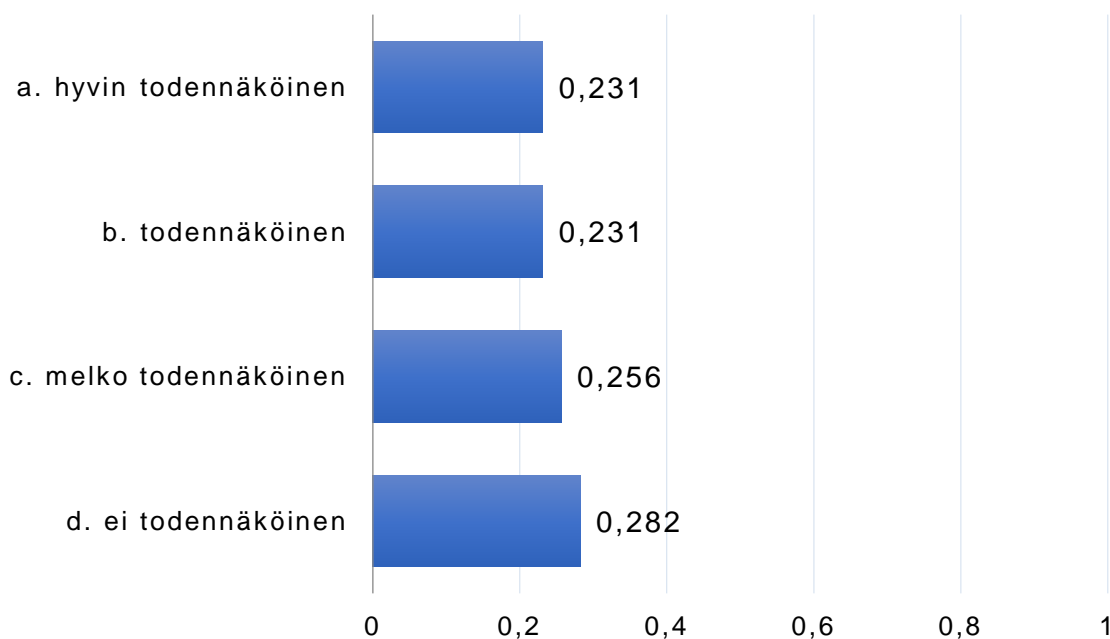
Tutkimuskysymyksen 3.4 (kuva 16) mukaisesti *ylijäämälämmön lähteiden hyödyntäminen* nousi 45 % hyvin todennäköiseksi investoinniksi. 21 % vastan-
neista melko todennäköisesti, 14 % todennäköisesti ja loput noin 19 % vastan-
neista pitivät vaihtoehtoa epätodennäköisenä investointina viiden vuoden si-
sällä.



Kuva 16. Tutkimuskysymys 3.4 tulokset

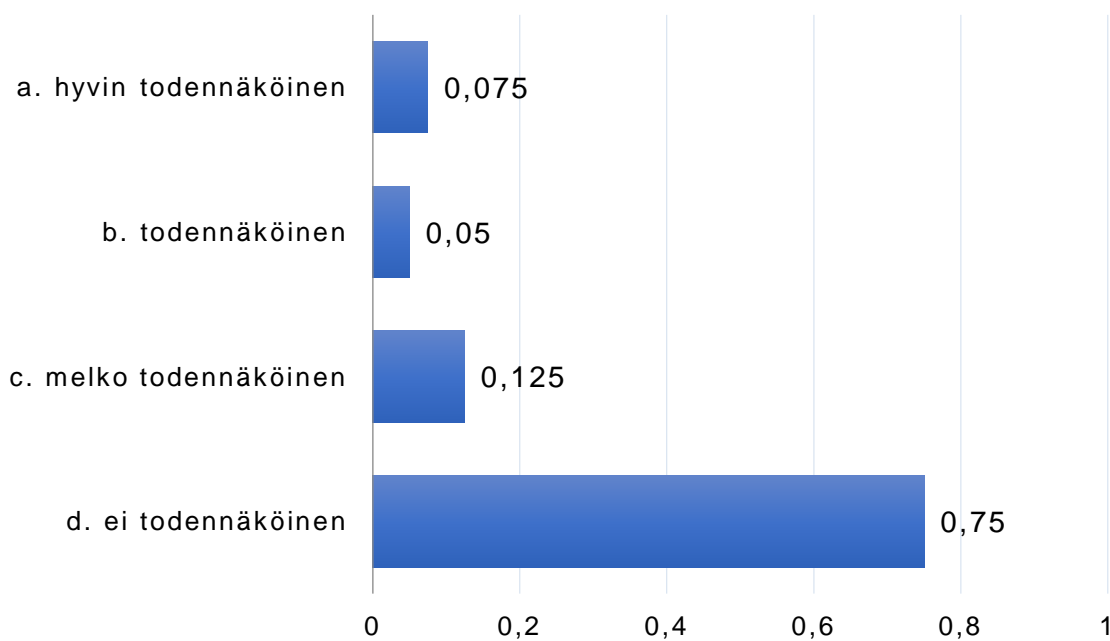
Neljäs tutkimuskysymys koostui myös neljästä valintavaihtoehdoista, joissa kysyttiin yritysten todennäköisyyttä investoida seuraavan 10 vuoden aikana vastaavin lämmöntuotantovaihtoehtoihin kuin kysymyksessä kolme. Tulokset on kuvattu kuvissa 17–20 (tutkimuskysymykset 4.1- 4.4).

Tutkimuskysymyksen 4.1 (kuva 17) *geoterminen lämmöntuotanto (keskisyvä ratkaisu, (pumpputekniikka mukana energian tuottamisessa)* mukaisesti yritysten todennäköisyys investoida kymmenen vuoden sisällä tähän lämmöntuotantomuotoon oli jakaumaltaan hyvin tasainen. 28 % oli sitä mieltä, että epätodennäköisesti investoisi, 26 % melko todennäköisesti, 23 % todennäköisesti ja loput 23 % hyvin todennäköisesti investoisi seuraavan kymmenen vuoden sisällä.



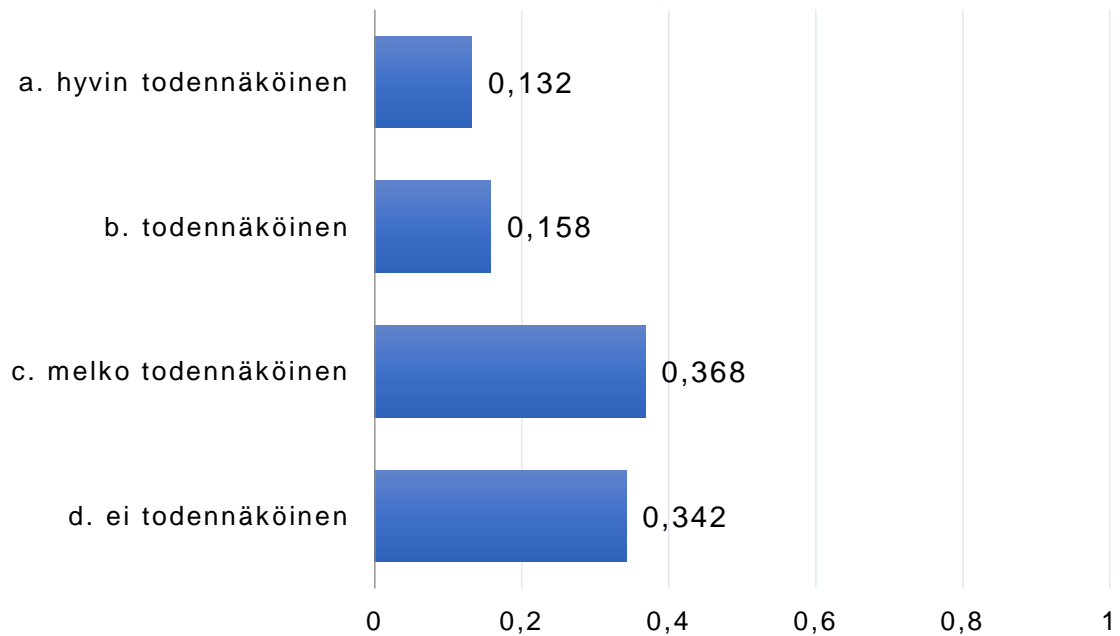
Kuva 17. tutkimuskysymys 4.1 tulokset

Tutkimuskysymyksen 4.2 (kuva 18) *geoterminen lämmöntuotanto (syvä ratkaisu, energia suoraan primäärilämpöistä)* mukaisesti 75 % vastanneista näkee tämän epätodennäköisenä investointina. 13 % melko todennäköisenä, 5 % todennäköisenä ja loput lähes 8 % vastanneista hyvin todennäköisesti investoivat tähän lämmöntuotantoon 10 vuoden sisällä.



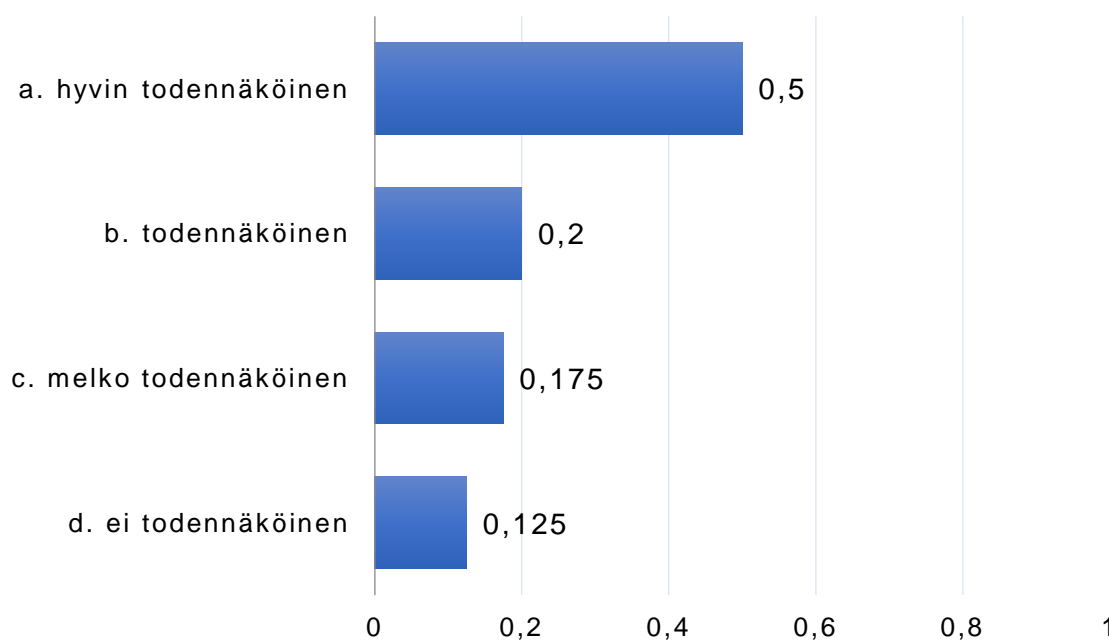
Kuva 18. Tutkimuskysymys 4.2 tulokset

Aurinkolämpö. Tutkimuskysymyksen 4.3 (kuva 19) mukaisesti 37 % investoisi aurinkolämpöön melko todennäköisesti ja 34 % näki investoinnin epätodennäköisenä. 16 % todennäköisesti ja 13 % vastanneista hyvin todennäköisesti investoisi 10 vuoden sisällä aurinkolämpöön.



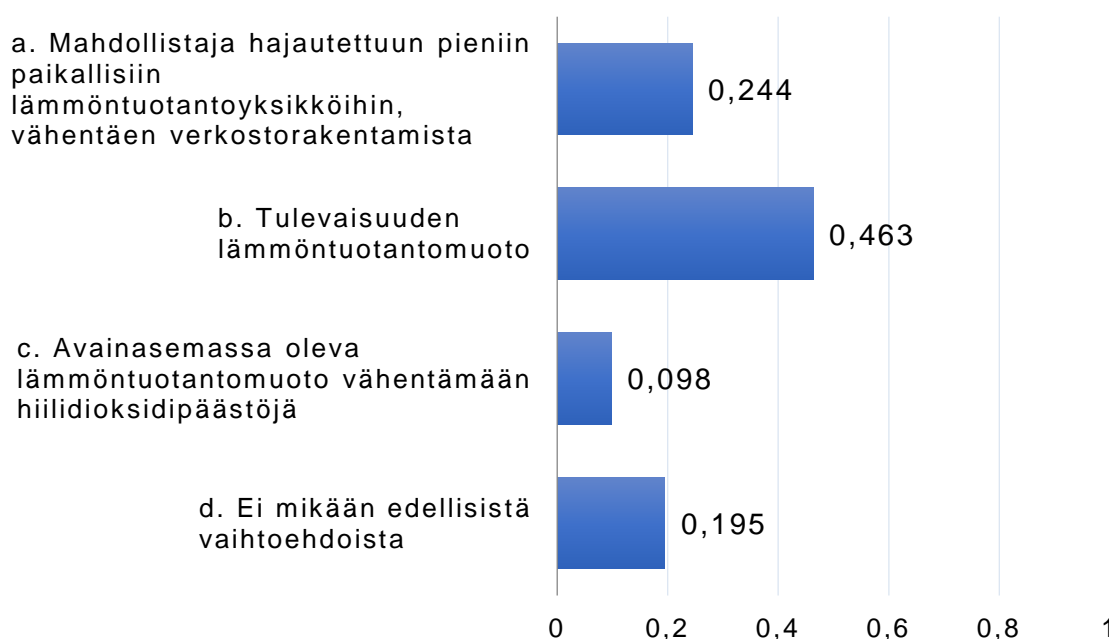
Kuva 19. Tutkimuskysymys 4.3 tulokset

Ylijäämälämmönlähteiden hyödyntäminen (esimerkiksi jäteveden, kaukolämmön paluuveden tai jonkin muun energialähteen pumppaaminen tai muuntaminen lämpöenergiaksi). Tutkimuskysymyksen 4.4 (kuva 20) mukaisesti *ylijäämälämmönlähteiden hyödyntämisessä* puolet eli 50 % investoisi tähän hyvin todennäköisesti. 20 % todennäköisesti, 18 % melko todennäköisesti ja loput noin 13 % vastanneista näkivät tämän epätodennäköisenä investointina 10 vuoden sisällä.



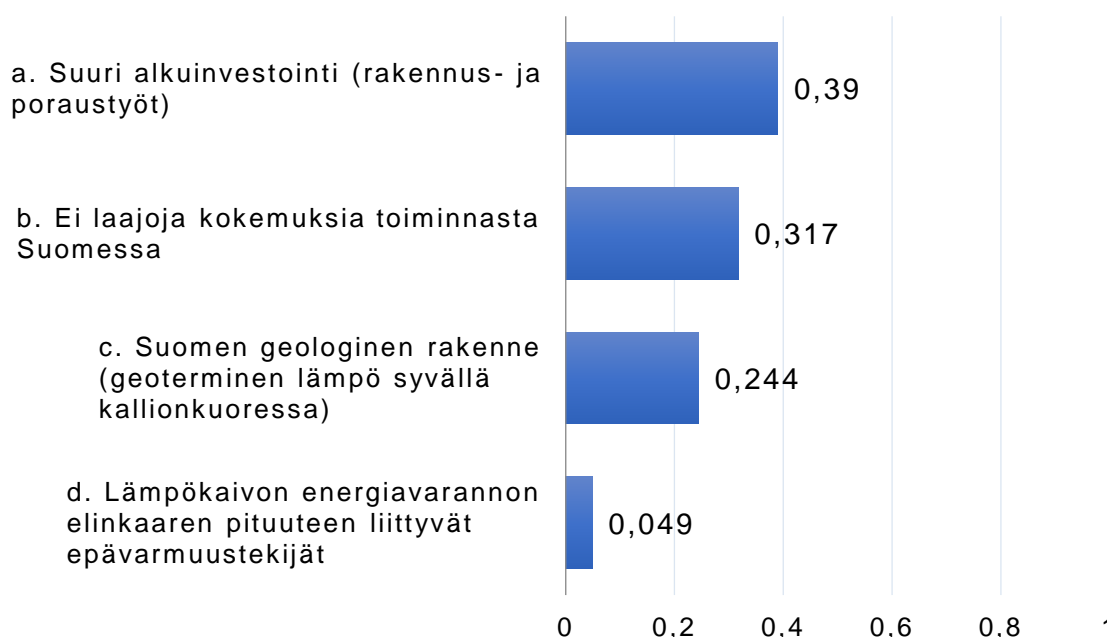
Kuva 20. Tutkimuskysymys 4.4 tulokset

Viidennessä tutkimuskysymyksessä (kuva 21) kysyttiin mielipidettä, mikä kuvaa parhaiten *geotermisen lämmöntuotannon mahdollisuuksia Suomessa*. Vastanneista noin 46 % oli sitä mieltä, että geoterminen lämmöntuotantomuoto on tulevaisuuden lämmöntuotantomuoto. Noin 24 % vastanneista oli sitä mieltä, että vastaus olisi ”mahdollistaja hajautettuun pieniin paikallisiin lämmöntuotantoyksiköihin, vähentäen verkostorakentamista”. Vähän alle 10% vastanneista koki geotermisen lämmöntuotannon olevan avainasemassa oleva lämmöntuotantomuoto vähentäen hiilidioksidipäästöjä. Loput hieman alle 20 % oli sitä mieltä, ettei mikään aiemmista vaihtoehdoista.



Kuva 21. Tutkimuskysymys 5 tulokset

Kuudennessa tutkimuskysymyksessä (kuva 22) suurimpana *haasteena koettiin geotermiselle lämmöntuotannolle* 39 % mielestä suuri alkuinvestointi, noin 32 % koki, ettei ole laajoja kokemuksia toiminnasta Suomessa. 24 % mielestä haasteena koettiin Suomen geologinen rakenne ja 5 % vastanneista ajatteli haasteelliseksi epävarmuustekijät lämpökaivon energiavarannon elinkaaren pituudessa.



Kuva 22. Tutkimuskysymys 6 tulokset

6.4 Yhteenveto tutkimustuloksista

Tutkimuskyselyn tarkoituksena oli selvittää vähähiilidioksidipäästöisten, hiilidioksidineutraalien ja erityisesti geotermisen lämmöntuotannon tulevaisuuden näkymiä kaukolämmön tuottajalaitoksilta.

Kyselyn vastausprosentti oli 42,4 %, 99 lähetettyä kyselyä ja 42 vastannutta. Kyselyyn vastanneista laitoksista yli puolet (57 %) oli suuria yli 100 GWh:n kokoisia laitoksia. Kyselyn perusteella vastanneiden laitosten syyt valita nykyinen vähähiilidioksidipäästöinen tai hiilidioksidineutraali lämmöntuotantomuoto olivat suurimmalta osaltaan taloudelliset ja arvomaailmaan liittyvät seikat, kaikilla ei vielä ollut käytössä vähähiilidioksidipäästöistä lämmöntuotantomuotoa.

Yritysten investoinneista vähäpäästöisiin, hiilidioksidineutraaleihin lämmöntuotantomuotoihin seuraavan 5 vuoden ja 10 vuoden aikana saatiin kyselyn perusteella seuraavia johtopäätöksiä. 5 vuoden aikajänteellä geotermiseen keskisyvään pumpputekniikalla avustettuun lämmöntuotantoon lähes 50 % vastanneista ei todennäköisesti investoisi, syvään geotermiseen lämmöntuotantoon yli 80 % ei todennäköisesti investoisi, aurinkolämpöön ei yli 50 % todennäköisesti investoisi ollenkaan, puolestaan ylijäämälämmönlähteiden hyödyntämiseen lähes puolet hyvin todennäköisesti investoisi. Kymmenen vuoden aikajänteellä geotermiseen keskisyvään pumpputekniikalla avustettuun lämmöntuotantoon vastaukset jakautuvat lähes tasan eli noin neljannes kustakin vaihtoehdosta: hyvin todennäköisestä ei todennäköiseen vaihtoehtoon. Syvään geotermiseen lämmöntuotantoon vieläkin 75 % ei todennäköisesti investoisi. Aurinkolämpöön noin kolmannes ei todennäköisesti investoisi mutta kuitenkin kolmannes melko todennäköisesti, ylijäämälämmönlähteiden hyödyntämiseen tasan puolet investoisi hyvin todennäköisesti.

Yhteenvetona kyselyn perusteella Suomessa on jo melko paljon käytössä vähähiilidioksidipäästöistä lämmöntuotantotekniikkaa, vastanneiden laitosten kohdalla ainoastaan 15 %:lla ei ollut käytössä mitään vähäpäästöistä, hiilidioksidineutraalia lämmöntuotantomenetelmää. Kiinnostus investoimaan vähäpäästöisiin, hiilidioksidineutraaliin lämmöntuotantomenetelmään vaihteli geotermisen, aurinkolämmön ja ylijäämälämmönlähteiden välillä, mutta moni laitos oli valmis investoimaan sekä 5 että 10 vuoden sisällä joihinkin näistä vaihtoehtoista, suurimmalta osin kiinnostus kohdistui ylijäämälämmönlähteiden hyödyntämiseen. Geotermisen lämmöntuotannon mahdollisuuksista ja haasteista Suomessa saatiin kyselyn perusteella seuraavia tuloksia: mahdollisuuksista nousi suurimpana tekijänä hieman alle 50 %, että geotermisen lämmöntuotanto olisi tulevaisuuden lämmöntuotantomuoto. Haasteina pidettiin suurimmaksi osaksi suurta alkuinvestointia, vähäisiä kokemuksia ja Suomen geologista rakennetta.

7 POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä annettavaa geotermisellä lämmöntuotannolla voi olla kaukolämpöalalle. Kasvihuonekaasupäästöjen ja erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentäminen lämmön- ja energiantuotannossa tulee korostumaan tulevaisuudessa. Päästöjen vähentämiseen voi olla myös lämmön- ja energian tuottajilla sekä muilla päästöjen aiheuttajilla oma tahtotila, mutta erilaiset kasvihuonekaasuja ja erityisesti hiilidioksidipäästöjä vähentämään ohjaavat poliittiset ohjaustoimenpiteet ja lainsäädäntö ohjaavat hiilidioksidin- ja ilmastoneutraaleihin lämmön- ja energiantuotantoratkaisuihin yhä enemmän nyt ja tulevaisuudessa.

Geotermisen lämmöntuotantolaitoksen pilottiprojektista Mänttä-Vilppulassa saatiin selville, että porattaessa syvälle kallioperään voi odottamattomia haasteita ja ongelmia syntyä, jolloin projektin valmistuminen viivästyy ja aiheuttaa mahdollisesti muutoksia alkuperäisiin suunnitelmiin. Kuitenkin pilottiprojekti on valmistumassa vuoden 2020 aikana ja antaa varmasti hyvää tutkimustietoa geotermisestä lämmöntuotannosta valmistuessaan. Toteutuessaan suunnitellusti erittäin hyvällä, jopa luokkaa 5 hyötysuhteella kyseinen laitos olisi erittäin kustannustehokas lämmöntuotantokulujen suhteen. Investointina laitos on iso panostus ja pitkäaikainen pääomasijoitus. Mäntän Kaukolämpö ja Vesihuolto Oy:llä ei yrityksenä ole sidottuja omia pääomia pilottihankkeeseen tehdyn sopimusjärjestelyn vuoksi. Pilottihanke on vielä kesken, ja hankkeen valmistuessa saadaan tarkempia tietoja toimivuuden, hyötysuhteen ja toimintavarmuuden suhteen. Myös muista geotermisen lämmöntuotannon hankkeista Suomessa saadaan niiden valmistuessa lisää tietoa ja käyttökokemuksia, jotka mahdollisesti edesauttavat uusien hankkeiden käynnistymistä tulevaisuudessa Suomessa.

Tutkimuskysely osoitti, että geotermisen lämmöntuotannon investointihalukkuus ainakin syvään teknologiaan oli melko vähäistä sekä viiden että kymmenen vuoden aikajänteellä. Keskisyvän lämpöpumpulla avustettuun geotermiseen lämmöntuotantoon investointihalukkuus oli 10 vuoden sisällä korkeampi kuin 5 vuoden sisällä. Geotermisen lämmöntuotannon vähäiset käyttökokeemukset, mahdolliset suuret investoinnit ja Suomen geologinen rakenne olivat suurimpina haasteina investointien käynnistämisen osalta, mutta geotermisen

lämmöntuotanto on mahdollisesti yksi hyvinkin kiinnostava tulevaisuuden lämmöntuotantomuoto osana hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, mikä edesauttaisi hajautettuihin pienempiin paikallisiin energiantuotantoyksiköihin. Tutkimuskyselyn vastausprosentin jäädessä alle 50 %:iin tutkimustuloksia ei voi pitää täysin aukottomina. Kuitenkin tämän tutkimuksen tulokset kaukolämpöyhtiöiden näkemyksistä hiilidioksidineutraaleihin lämmöntuotantomuotoihin ovat mielestäni alan yleisin ajatusmallin ja keskustelun mukaisia eli näitä lämmöntuotantomuotoja pidetään tulevaisuuden kannalta tärkeinä, ja joiden käyttööntamiseen myös ohjataan lainsäädännön ja poliittisten ohjaustoimien osalta.

Geoterminen energia- ja lämmöntuotanto on Suomen mittakaavassa melko uusi asia ainakin syvien tuotantolaitosten osalta. Kuitenkin Suomessa on muutamia hankkeita jo käynnissä, ja hankkeista saatavien mahdollisesti positiivisten kokemusten myötä voi lämmöntuotantoalan toimijoille syntyä lisäkiinnostus uusiin tuleviin investointeihin geotermiseen energian- ja lämmöntuotantoratkaisuihin. Suomen valtion syksyn 2020 energiapoliittiset päätösesitykset, energiaveron korotukset ja erityisesti turpeen energiaveron korotus tulevat jatkossa asettamaan lämmöntuotantoyhtiöille ja toimijoille uudenlaisia haasteita ja varmasti ohjaavat toimijoita investoimaan myös ei-polttavaan lämmöntuotantoon. Mahdollisesti geoterminen lämmöntuotanto voi olla yksi varteenotettava vaihtoehto.

LÄHTEET

Aurinkokeräinten hyötysuhteet. 2020. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampo-jarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet [viitattu 24.2.2020].

Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. 2020. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen [viitattu 23.2.2020].

Aurinkolämpöjärjestelmät. 2020. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampo-jarjestelmat [viitattu 24.2.2020].

Earth`s Interior. 2018.Phil Heron. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://philheron.com/2018/10/26/delving-into-the-earths-deep-interior-the-future-of-plate-tectonics/> [viitattu 23.10.2019].

Edellytykset pienreaktorien turvalliselle käytölle. 2019. Säteilyturvakeskus. PDF-dokumentti. Saatavana: http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/139152/Edellytykset_pienreaktorien_turvalliselle_kaytolle.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 18.2.2020].

Edunvalvonta ja energiapolitiikka. 2019. Energiateollisuus ry. WWW-dokumentti. Saatavana: https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/ilmastopolitiikka [viitattu 31.10.2019].

Energia- ja ilmastostrategia. 2019. Energiateollisuus ry. WWW-dokumentti. Saatavana: https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/energia_ja_ilmastostrategia [viitattu 31.10.2019].

Energiatehokkuusdirektiivi ja energiatehokkuuslaki. 2019. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://tem.fi/energiatehokkuusdirektiivin-toimeenpano> [viitattu 7.7.2020].

Energiatehokkuusdirektiivi. 2020. Motiva. WWW-dokumentti Saatavana: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/energiatehokkuusdirektiivi> [viitattu 3.8.2020].

Energiavuosi 2019 Kaukolämpö. 2020. Energiateollisuus ry. PDF-dokumentti. Energiateollisuus ry:n jäsenyritysten materiaalia. [viitattu 3.3.2020].

EU:lle toimitettavat suunnitelmat ja raportit. 2019. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://tem.fi/eulle-toimitettavat-suunnitelmat-ja-raportit> [viitattu 4.11.2019].

Geoterminen energia. 2019. Energiateollisuus ry. WWW-dokumentti. Saatavana: https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/geoterminen_voima [viitattu 8.11.2019].

Geotermisen energian eri muodot. 2020. Seismologian instituutti. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://www.helsinki.fi/fi/seismologian-instituutti/maanjaristykset/geotermisen-energia-ja-indusoidut-maanjaristykset/geotermisen-energian-eri-muodot#section-72432> [viitattu 8.1.2020].

Geotermisen lämpölaitoksen hankekuvaus. 2017. Intella Oy. suunnitelma-aineisto

Geotermista energiaa voidaan hyödyntää monilla eri tavoilla. 2018. Seismologian instituutti. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://www.helsinki.fi/sites/default/files/thumbnails/image/vaihtoehdoja.png> [viitattu 10.10.2019].

Geothermal electricity generation combined with a heating network. 2009. Bine, Information service. WWW-dokumentti. Saatavana: <http://www.bine.info/en/topics/renewable-energy-sources/geothermal-energy/publikation/geothermische-stromerzeugung-im-verbund-mit-waerme-netz/> [viitattu 10.10.2019].

Geothermal explained. 2018. U.S. Energy Information Administration (EIA). WWW-dokumentti. Saatavana: <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal> [viitattu 20.8.2019].

Haasteista mahdollisuuksia, sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050. 2010. Energiateollisuus ry, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Turun kauppakorkeakoulu, Tulevaisuuden tutkimuskeskus. PDF-dokumentti. Saatavana: https://energia.fi/files/238/Hiilineutraali_visio_vuodelle_2050.pdf [viitattu 18.11.2019].

Ilmakeräimet. 2020. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet [viitattu 24.2.2020].

Ilmasto- ja energiastrategia. 2019. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia> . [viitattu 4.11.2019].

Ilmastonmuutoksen hillintä. 2017. Ympäristöhallinto. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillinta [viitattu 31.10.2019].

Ilmastonmuutoksen hillintä. 2019. Syke. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/161b48de-bc6a-44ef-97fe-83d184fc257a/suomen-ilmastopolitiikalla-pyritaan-vahentamaan-kasvihuonekaasupaastoja.html> [viitattu: 31.10.2019].

Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat. 2016. Sitra. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://www.sitra.fi/uutiset/kaksisuuntainen-kaukolampo-luo-asiakkaille-lammon-myyntimarkkinat/> [viitattu 20.2.2020].

Kaksisuuntainen kaukolämpö. 2016. Energiateollisuus ry. PDF-dokumentti. Saatavana: https://energia.fi/files/599/Kaksisuuntainen_KL_Tutkimustiedote_20160817.pdf [viitattu 18.2.2020].

Kauden 2013-2020 ilmaisjako. 2019. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://tem.fi/kauden-2013-2020-ilmaisjako1> [viitattu 7.11.2019].

Kaukolämmön tuottaminen aurinkolämmöllä. 2020. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinko-lampo/aurinkolampojarjestelmat/kaukolammon_tuottaminen_aurinkolammolla [viitattu 24.2.2020].

Lämpökaivon periaatekuva. 2020. Intella Oy. Suunnitelma-aineisto.

Maanalaista energiaa. 2019. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, Geotekninen osasto. PDF-dokumentti. Saatavana: <https://www.hel.fi/static/kv/Geo/Julkaisut/julkaisu97.pdf> [viitattu 11.11.2019].

Modulaarinen pieni kaukolämpöreaktori. 2019. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/modulaarinen-pieni-kaukolamporeaktori-smr-onko-ydinvoimala-turvallinen-lahella-asuinaluetta [viitattu 20.2.2020].

Nestekeräimen rakenne ja osat. 2020. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavana: http://motiva.fi/files/11374/550/Nestekeräimen_rakenne_ja_osat.jpg [viitattu 19.2.2020].

Päästökaupan toiminta ja kustannusvaikutukset. 2016. Elinkeinoelämän keskusliitto. PDF-dokumentti. Saatavana: https://ek.fi/wp-content/uploads/Paastokauppa_Tietopaketti_2016.pdf [viitattu 7.11.2019].

Päästökauppa. 2019. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://tem.fi/paastokauppa> [viitattu 7.11.2019].

Päästöoikeuksien huutokauppa. 2019. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://tem.fi/paastooikeuksien-huutokauppa-2013-2020> [viitattu 7.11.2019].

Randeberg, E. 2017. Geothermal drilling-technologies and opportunities. PDF-dokumentti. Saatavana: <http://www.eeagrants.agh.edu.pl/wp-content/uploads/2017/08/11-IRIS-Geothermal-drilling.pdf> [viitattu 10.10.2019].

Selvitys geotermisen energian syväreikäporaamisesta, siihen liittyvistä ympäristönäkökohdista sekä riskienhallinnasta. 2019. Seismologian instituutti. PDF-dokumentti. Saatavana: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/301878/Selvitys_geotermisen_syväreian_poraamisesta_siihen_liittyvistä_ympäristönäkökohdista_seka_riskienhallinnasta_Report68.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 18.2.2020].

SMR-selvitys. 2019. Finnuclear. PDF-dokumentti. Saatavana: https://finnuclear.fi/wp-content/uploads/2019/10/201908_SMR-selvitys-Finnuclear-ry.pdf [viitattu 26.2.2020].

St1 Deep Heatin geotermisen lämpölaite. 2019. St1. WWW-dokumentti. Saatavana: <http://energiakokeilut.fi/yriykset/st1-deep-heatin-geotermisen-lampolaitos> . [viitattu 8.1.2020].

St1 geoterminen lämpö havainnekuva .2019. St1. WWW-dokumentti. Saatavana: http://energiakokeilut.fi/sites/default/files/styles/large/public/2016-09/ST1_MAALAMPOKUVA_4_300.jpg?itok=YfDVQlws [viitattu 8.1.2020].

Tehostetun geotermisen lämmöntuotannon toimintaperiaate. 2018. Seismologian instituutti. WWW-dokumentti. Saatavana: <https://www.helsinki.fi/sites/default/files/thumbnails/image/egskonsepti.png> [viitattu 10.10.2019].

Teollinen aurinkolämpö. 2020. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampo-jarjestelmat/teollinen_aurinkolampo [viitattu 24.2.2020].

Ylijäämälämmön hyödyntäminen. 2020. Motiva. PDF-dokumentti. Saatavana: https://www.motiva.fi/files/13515/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Ylijaamalampoenergia-analysit.pdf [viitattu 24.2.2020].

LIITTEET

Liite1:

Tutkimuskysymykset

1. Yhtiönne perustiedoista halumme tietää laitoksenne lämmönmyynnin kokoluokan (GWh/a)?

- alle 20 GWh
- 21-50 GWh
- 51-100 GWh
- yli 100 GWh

2. Mikä vaikutti yrityksenne ratkaisuun valita polttolaitoksenne rinnalle tai kokonaan vähä/hiilidioksidineutraalin lämmöntuotanto? (valitse yksi tai useampi)

- Omistajaohjaus
- Yrityksenne arvomaailma
- Taloudelliset syyt
- Kehitys tai pilotointi näkökulma
- Yrityksellä ei ole vielä käytössä vähä/hiilidioksidineutraalia lämmöntuotantoa

3. Kuinka todennäköisenä pidät, että yrityksenne investoi seuraavan 5-vuoden aikana johonkin seuraavista lämmöntuotantovaihtoehdoista?

- hyvin todennäköinen
- todennäköinen
- melko todennäköinen
- ei todennäköinen

3.1 Geoterminen lämmöntuotanto (keskisyvä ratkaisu, pumpputekniikka mukana energian tuottamisessa)

3.2 Geoterminen lämmöntuotanto (syvä ratkaisu, energia suoraan primääri-lämpöistä)

3.3 Aurinkolämpö

3.4 Ylijäämälämmönlähteiden hyödyntäminen (esimerkiksi jäteveden, kauko-lämmön paluuv veden tai jonkin muun energialähteen pumppaaminen tai muuntaminen lämpöenergiaksi)

4. Kuinka todennäköisenä pidät, että yrityksenne investoi seuraavan 10-vuoden aikana johonkin seuraavista lämmöntuotantovaihtoehdoista?

- hyvin todennäköinen
- todennäköinen

- melko todennäköinen
- ei todennäköinen

4.1 Geoterminen lämmöntuotanto (keskisyvä ratkaisu, pumpputekniikka mukana energian tuottamisessa)

4.2 Geoterminen lämmöntuotanto (syvä ratkaisu, energia suoraan primääri-lämpöistä)

4.3 Aurinkolämpö

4.4 Ylijäämälämmönlähteiden hyödyntäminen (esimerkiksi jäteveden, kauko-lämmön paluuv veden tai jonkin muun energialähteen pumppaaminen tai muun-taminen lämpöenergiaksi)

5. Geoterminen lämmöntuotanto on varsinaisesti melko vanha lämmön-tuotantomuoto mm. Islannissa keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa, mi-kä seikka mielestänne parhaiten kuvaa geotermisen lämmöntuotannon mahdollisuuksia Suomessa?

- Mahdollistaja hajautettuun pieniin paikallisiin lämmöntuotantoyksiköihin, vähentäen verkostorakentamista
- Tulevaisuuden lämmöntuotantomuoto
- Avainasemassa oleva lämmöntuotantomuoto vähentämään hiilidioksidipäästöjä
- Ei mikään edellisistä vaihtoehtoista

6. Geotermisen lämmöntuotannon suurin haaste mielestänne Suomessa?

- Suuri alkuinvestointi (rakennus- ja poraustyöt)
- Ei laajoja kokemuksia toiminnasta Suomessa
- Suomen geologinen rakenne (geoterminen lämpö syvällä kallionkuo-ressa)
- Lämpökaivon energiavarannon elinkaaren pituuteen liittyvät epävarmuustekijät

7. Vapaa kommentointi

Liite 2:

Tutkimuskyselyyn vapaa kommentointi

- *Olemme olleet mukana geotermisen lämmön tutkimuksissa ja alkukiinnostus asiaan oli todella kova. Kuitenkin asioiden selkiytyttyä, ainakin toistaiseksi asia on ainoastaan "hypetyksen" tasoilla. Meidän kaltaisille pienille lämpöyhtiöille geoterminen lämpö ei ole realistinen ratkaisu, koska kuitenkin iso osa "lämmöstä" tehdään lämpöpumpuilla. Korkealämpöiset lämpöpumput (esim. ammoniakkipumput) taas vaativat todella paljon kalliita huoltoja ja ylläpitoa. Lisäksi nykyiset verkot ovat mitoitettuja (suositusten mukaisesti) 115°C menolämpötiloille, joten lämpöpumpun jälkeen pitää olla joka tapauksessa priimaus. Eli siinä tapauksessa lämpölaitoksella tulee olla sekä lämpöpumput ja kattilat. Eli kaksinkertaiset investoinnit ja kaksinkertaiset huollot. Toistaiseksi keskitymme hiilineutraaliin lämmöntuotantoon, jonka teemme 100% kotimaisella ja paikallisella uusiutuvalla polttoaineella. Näin saamme myös pyöritettyä paikallista kiertotaloutta.*
- *Kun lisätään porauksen onnistumiseen ja elinkaaren pituuteen liittyvät riskit suureen alkuinvestointiin, investointipäätös vaatii tällä hetkellä todellisen tahtotilan katsoa pitkälle tulevaisuuteen.*
- -
- *Kyselyyn on hankala vastata oikeasti oikein. Kaikkiin kohtiin olisi voinut lisätä vapaan kohdan, jossa olisi saanut kertoa taustoja. Nyt opinnäytteen vastausten analysointi jättää erittäin karkean ja osin väärän kuvan yritysten suunnitelmista. Vastauksiin ei pysty esimerkiksi tuomaan tiedoksi mitä yritys on jo tehnyt. Esim. Hukkalämpöjen hyödyntämiset eri muodoissaan tai erilaiset aurinkolämpöratkaisut, yms ovat olleet kaupallisessa käytössä jo pitkään. Kaikkien aihe-alueiden osalta tulee tapahtumaan kehitystä ja siten maailma muuttuu nopeasti.*
- *Tulevaisuuden suurin (toivottavasti) vähäpäästöinen ja luotettava kaukolämmön tuotantotapa saattaa olla myös SMR ydinreaktorit. Siinä rinnalla kilpailee syväporaus maalämpö systeemit. Maalämpöjen ongelma on Suomessa olematon kokemus siinä mittakaavassa jota kaukolämmön tuottaminen vaatii. SMR reaktoreita rakennetaan ulkomailla jo, ja niitä on asennettu laivoihin jo 40- vuotta. Mikäli aidosti haluttaisiin että maalämpö on kaukolämmön tuoton mitta-luokassa aito vaihtoehto, asian kehittelyllä on todella kiire. Seuraavan 4-10 vuoden aikana Suomessa uusitaan valtava määrä pieniä/keski-suuria kattiloita, joihin maalämpö olisi oiva vaihtoehto. Kehitystyön vauhti vaan näyttää olevan järkyttävän huono. Pahasti pelkään että tämä asia jää kaiken muun jalkoihin, ja asiasta ei tule mitään.*

- *Kysymyksen asettelu oli tehty investointilähtökohdista, tosiasiallisesti on myös vaihtoehtoisia rahoitusmalleja hyödyntää erilaisia tuotantoteknologioita: energiaa palveluna, leasing jne. => jos kysymys olisi, että kuinka todennäköisesti yrityksenne hyödyntää geolämpöä seuraavien vuosien aikana saisi eri vastauksen*
- *Teollisuuden ja jäähdytyksen tuotannon kautta tulevat hukkalämmöt tarjoavat kilpailukykyisen ja luonnollisen vaihtoehdon polttoon perustavalle lämmöntuotannolle. Kaukolämpöverkko tarjoaa optimaalisen paikan johon voidaan ottaa vastaan erilaisia hukkalämpöjä. Kaikki kaukolämpöä tuottavat laitokset tulisi hyväksyä matalampaan sähköveroluokkaan, jotta hankkeita saadaan euroedellä eteenpäin.*
- *Meillä on jo laajamittaista lämmöntalteenottoa sekä datakeskuksesta että omistamamme vesiyhtiön jätevedenpuhdistamolta*
- *Turussa on jo yli 10 vuotta otettu lämpöä talteen jätevedestä. Myös suusi osa hyödynnettävästä ns hukkalämmöstä on otettu käyttöön koko verkon alueelta.*
- *Hienoa, että geotermisen lämmön laajanmittakaavan hyödyntämisessä on otettu ratkaisevat ensiaskeleet kohti tulevaisuuden ratkaisuja. Meillä näille ei ole välitöntä tarvetta johtuen jo valmiista hiilineutraaleista hukkalämpöihin perustuvista ratkaisuista, mutta seuraamme mielenkiinnolla*