

Geotermisen primäärienergian
hyödyntäminen ja
käyttömahdollisuudet
Suomessa

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikka
Energia- ja ympäristötekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Markku Vainio

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikka

VAINIO, MARKKU:

Geotermisen primäärienergian
hyödyntäminen ja
käyttömahdollisuudet Suomessa

Energia- ja ympäristötekniikan opinnäytetyö, 46 sivua, 2 liitesivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö käsittelee geotermisen primäärienergian hyödyntämistä ja käyttömahdollisuuksia Suomessa. Kokonaisuuden selvittäminen on haasteellista, koska geotermistä energiaa voidaan talteenottaa ja hyödyntää usealla eri menetelmällä. Jos asiaa arvioidaan teollisessa mittakaavassa, niin käsitys hyödyntämisestä ja käyttömahdollisuuksista tarkentuu energian määrän suhteen. Geotermisen energian käyttömahdollisuudet perustuvat arvioihin ja ulkomailta saatuihin kokemuksiin.

Suomen ensimmäinen, geotermiseen energiaan perustuva teollisen mittakaavan lämpölaite on valmisteilla Espoon Otaniemessä ja tämän pilottituotantolaitoksen on määrä valmistua vuonna 2018. Pilottilaitoksen hankkeesta vastaa opinnäytetyön toimeksiantaja St1 Deep Heat Oy. Voimalan tuottama lämpöenergia tullaan johtamaan Fortumin kaukolämpöverkkoon, ja sillä on suunnitelmissa kattaa noin 10 %:n osuus Espoon alueen kaukolämmöntarpeesta. Voimalahanketta pidetään myös alan tiedehankkeena ja sen tarkoituksena on kehittää geotermisen lämmöntuotannon menetelmiä ja tietotaitoa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli siis tuoda esiin alaan liittyviä haasteita ja käyttömahdollisuuksia yleisellä tasolla sekä erityisesti uuteen teolliseen tuotantoon ja siitä saataviin hyötyihin liittyen. Opinnäytetyön empiirinen osuus sisältää kvantitatiiviseen tietoon perustuvan esityksen, kaukolämmön tuottamiseen tulevaisuudessa tarvittavan energian tuotannosta Suomessa. Samassa osuudessa esitetään myös geotermisen pilottivoimalan toteuttamiseen ja alan tulevaisuuden kehitykseen liittyvät teemahaastattelut ja asiantuntijalausunnat.

Yhteenvetoanalyysi perusteella voi päätellä teollisesti tuotetun geotermisen energian syrjäyttävän osittain fossiiliset polttoaineet Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Analyysin perusteella voidaan olettaa myös pilottihankkeen stimulointiprosessin toteutuvan esitetyllä tavalla ja geotermisen energian tuotannon alkavan Suomessa suunnitelmien mukaisesti.

Asiasanat: lämpöenergia, geotermisen, teollinen

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

VAINIO, MARKKU:

Exploitation and Potential Uses of
Primary Geothermal Energy in
Finland.

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering, 46 pages, 2 pages of
appendices

Spring 2017

ABSTRACT

This study deals with the exploitation and potential uses of primary geothermal energy in Finland. It has been challenging to study the issue from all angles, because geothermal energy can be recovered and exploited with versatile methods. When the case is implemented on an industrial scale, the exploitation is easier to assess in terms of the amount of the available energy. Since Finland has not had industrial-scale geothermal power plants previously, such details are based on various estimates and experiences from abroad.

Finland's first, industrial-scale heating plant based on geothermal energy is being built in Otaniemi, Espoo, and this pilot plant is expected to be completed in year 2018. The produced thermal energy will be delivered to Fortum's regional district heating network and it is planned to cover an estimated 10% share of district heating in Espoo. This project is considered a research project and, moreover, its purpose is to develop the geothermal heat production methods and know-how.

The purpose of this study was to present challenges and potential uses in general and particularly when related to the new industrial-scale geothermal energy production. The empirical part of the thesis contains a quantitative knowledge-based presentation on the energy required for the production of district heat production in Finland in the future. The same section also presents the implementation of a pilot geothermal power plant, related to the future development of the sector based on interviews and expert statements.

The summary brings together answers from the empirical part and justifies the results of the thesis. They show that industrially produced geothermal energy will displace fossil fuels in Finland by the year 2030. There is a growing demand for renewable energy production and the authorities are in favor of innovative energy projects.

Key words: energy, geothermal, industrial

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Työn tausta	2
1.2	Työn päämäärä ja rajaukset	3
1.3	Tutkimusmenetelmien esittely	4
1.4	Työn rakenne ja aikataulu	6
2	GEOTERMINEN ENERGIA	8
2.1	Geotermisen energian synty tapa	8
2.2	Geotermiset luonnonvarat	8
2.3	Kolme tyypillistä geotermisen energian lähdettä	9
2.4	Geotermisen energian talteenotto	10
2.5	Primäärienergiavarat maapallolla	10
2.6	Lämmöntuotanto ja hyötykäyttö	12
2.7	Kausienergia	14
2.8	Lämpöenergian varastointi	14
2.9	Sähköntuotanto	15
2.10	Vertailu muihin energianlähteisiin	16
3	GEOTERMINEN PRIMÄÄRIENERGIA SUOMESSA	17
3.1	Lämpöpumppujen käyttö Suomessa	17
3.2	Geotermisen EGS-voimala	17
3.3	Hydraulinen stimulointi	18
3.4	Ympäristövaikutukset	20
3.5	Geotermisen energia ja kaukolämpö	20
4	GEOTERMISEEN ENERGIAAN PERUSTUVA TEOLLISEN MITTAKAAVAN LÄMMÖNTUOTANTO SUOMESSA	21
4.1	Geotermiseen lämpöenergiantuotantoon ja lämpölaitoshankkeeseen kohdistuvat teemahaastattelut	22
4.1.1	Lämpöenergian tuotanto	23
4.1.2	Lämpölaitoshanke	29
4.1.3	Hankkeen sidosryhmien asiantuntijat	34
4.1.4	Hydraulinen stimulointi ja maanjäristysriski	37
4.2	Yhteenvetoanalyysi	39
4.3	Työn tulokset	41
4.4	Tulosten luotettavuus	42

4.5	Tulosten hyödynnettävyys ja jatkotutkimus	42
5	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	45
	LIITTEET	47

1 JOHDANTO

Muutostarve globaalissa ja kansallisessa energiataloudessa on tullut ilmeiseksi erilaisten syiden vuoksi. Valtiot ja kansat joutuvat kohtaamaan mitä erilaisimpia haasteita, joiden arvaamattomat vaikutukset ovat riippuvaisia usein niiden varallisuudesta, geopoliittisesta asemasta, kehityksestä ja etenkin maantieteellisestä sijainnista. Nykyisen ajanjakson, antroposeenin, kuluessa ihminen on aiheuttanut omilla toimillaan erilaisia muutoksia maapallolla, jotka suorastaan pakottavat ihmiskunnan kehittämään uusia ja kestäviä energian tuotantotapoja.

Ilman uusia merkittäviä menetelmiä maapallo ainoana resurssinamme kutistuu ja maailmanlaajuinen ekosysteemi, jossa elämme, on vaarassa tuhoutua. Elinympäristöt ja herkäät ekosysteemit, kuten sademetsät ja koralliriutat sekä lukemattomat muut luonnonvarat ovat vaarassa lisääntyvän kulutuksen, tuotannon ja ahneuden vuoksi. Pelkästään ihmiskunnan ravinnon ja perusenergiantarve on merkittävä ja alinomaan kasvava resurssien kuluttaja. Tämän kulutuksen vastapainoksi on tarjottu yhtenä ratkaisuna kestävää uusiutuvan energian tuotantoa, jonka menetelmät perustuvat aurinko-, vesi- ja tuulivoimaan sekä biomassaan ja geotermiseen energiaan.

Suomessa fossiilisten polttoaineiden käyttö lämpöenergian tuotantoon on edelleen merkittävässä roolissa. Bioenergian ja maalämmön hyödyntäminen on lisääntynyt huomattavasti viime vuosina ja niistä on tullut varteenotettava vaihtoehto fossiilisille polttoaineille. Suomeen rakennettavasta ensimmäisestä geotermisestä lämpölaitoshankkeesta vastaava St1 Deep Heat Oy arvioi, bio- ja geotermisen energian syrjäyttävän pääosin fossiiliset polttoaineet vuoteen 2030 mennessä maamme kaukolämpöenergian tuotannossa. Tämän johdosta on mielenkiintoista selvittää geotermiseen primärienergiantuotantoon liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia Suomessa.

1.1 Työn tausta

Kasvihuonekaasupäästöt ja niiden mukanaan tuoma ilmastonmuutos saavat aikaan maailmanlaajuisia haasteita energiantuotannossa.

Globaalin energiantuotannon polttoaineena käytetty hiili ja muut fossiiliset polttoaineet aiheuttavat edelleen huomattavia kasvihuonekaasupäästöjä. Uusiutuvan energiantuotannon kasvu puolestaan hillitsee fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja Pariisin vuoden 2015 ilmastosopimuksessa on sovittu merkittävistä päästövähennyksistä. (Energiateollisuus 2016.)

Eri valtiot vastaavat omaan energiantuotantonsa liittyvistä asioista yleensä itsenäisesti, mukaan lukien sen tuotantoon ja käyttöön liittyvät tavoitteet ja rajoitukset. Uusiutuvan energian tuotannolle, energiatehokkuuden parantamiselle ja kasvihuonekaasupäästöille on siitä huolimatta sovittu päästövähennystavoitteet. (Energiateollisuus 2016.)

Sähkön- ja lämmöntuotanto Suomessa on perinteisesti perustunut vahvasti monipuolisiin tuotantotapoihin. Alan näkemyksen mukaan tuotannon monipuolisuus tulee säilyttää, vaikka fossiilisesta energiasta lähivuosikymmeninä luovutaan. Suomen energiateollisuuden sitoutuminen ilmastoneutraaliin energiantuotantoon vuoteen 2050 mennessä luo osaltaan tarpeita uusien ja vaihtoehtoisten energiantuotantomenetelmien kehittämiseksi. (Energiateollisuus 2016.)

Suomalainen energiayhtiö St1 on merkittävä tekijä etenkin uusiutuvan energian tuotannossa pohjoismaissa ja konsernin liiketoiminta käsittää biopolttoaineisiin, tuulisähköön, geotermiseen lämmöntuotantoon sekä maalämpöjärjestelmiin liittyvät ratkaisut ja toimitukset. Yhtio painottaa vuoden 2016 energiakatsauksessaan tutkimusta, analysointia ja suunnitelmallisuutta energiamarkkinoiden muutoksessa. (St1 Nordic Oy 2016.)

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja, St1 Deep Heat Oy on Suomen ensimmäisen teollisen mittakaavan maalämpövoimalahankkeen toteuttaja. Tämän pilottihankkeen johdossa toimiva tuotantojohtaja Tero Saarno, toteaa haastattelussaan kansalaisten ja päättäjien ymmärtävän, että

valtavaan määrään erilaisia fossiiliseen energiaan perustuvia tuotantotapoja tulee korvata uusiutuvalla energialla, johon myös geoterminen energia eli maalämpö lukeutuu (Saarno 2016).

1.2 Työn päämäärä ja rajaukset

Tämä opinnäytetyö käsittelee geotermisen primäärienergian hyödyntämistä ja käyttömahdollisuuksia Suomessa. Kokonaisuuden selvittäminen on haasteellista, koska geotermistä energiaa voidaan talteenottaa ja hyödyntää usealla eri menetelmällä. Jos asiaa arvioidaan teollisessa mittakaavassa, niin käsitys hyödyntämisestä ja käyttömahdollisuuksista tarkentuu saatavan energian määrän suhteen. Koska Suomessa ei ole ollut teollisen mittakaavan voimalaitosta aikaisemmin, niin käyttömahdollisuudet perustuvat erilaisiin arvioihin ja ulkomailta saatuihin kokemuksiin.

Uusiutuvan geotermisen energian talteenottoon perustuva teollisen mittakaavan lämpölaitos on valmisteilla Espoon Otaniemessä ja tämän pilottituotantolaitoksen on määrä valmistua vuonna 2018. Voimalan tuottama lämpöenergia tullaan johtamaan Fortumin kaukolämpöverkkoon ja sillä on suunnitelmissa kattaa noin 10 % osuus espoon alueen kaukolämmöntarpeesta. Tätä hanketta pidetään myös alan tiedehankkeena ja sen tarkoituksena on kehittää geotermisen lämmöntuotannon osalta tietotaitoa niin Suomessa kuin myös kansainvälisesti.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on nostaa esiin alaan liittyviä haasteita ja käyttömahdollisuuksia yleisellä tasolla ja erityisesti uuteen teolliseen tuotantoon liittyen. Keskiössä ovat siis alaan liittyvät haasteet ja mahdollisuudet laajasti katsottuna Suomessa, joten pilottivoimalahankkeeseen liittyviä yksityiskohtia käsitellään ainostaan soveltuvilta osin. Aikaisemmin mainitut kansainväliset päästötavoitteet ja etenkin arviot fossiilisen energiankäytön vähentämisestä, asettavat perustellusti erilaisia kysymyksiä energiantuotannon tulevaisuudesta ja muutokseen liittyvistä haasteista. Tämän vuoksi tutkimusongelmaksi

muodostuivat haasteet teollisen mittakaavan geotermisen energian tuotannossa ja energian tuotantomenetelmän tulevaisuuden näkymät Suomessa.

Teoreettinen viitekehys sisältää opinnäytetyön aiheen mukaisen ja myöhemmin määritellyn primäärienergian osuuden. Kuitenkin erilaiset, aihealueen sisältämät menetelmät, ovat joskus läheisessä yhteydessä toisiinsa ja siitä johtuen tässä työssä esitellään lyhyesti myös varsinaisen primäärienergiantuotannon ulkopuolella olevia prosesseja sekä työkuvauksia. Tämä ratkaisu on tehty sen vuoksi, ettei mahdollinen tietämättömyys eri menetelmistä vaikeuta tai estä kokonaisuuden ymmärtämistä. Primäärienergian ulkopuolella olevat prosessit ja työkuvaukset on esitelty tarpeen mukaan eri yhteyksissä.

1.3 Tutkimusmenetelmien esittely

Opinnäytetyön tutkimuksen lähestymistapa voidaan valita yleensä laadullisesta eli kvalitatiivisesta tai määrällisestä eli kvantitatiivisesta sekä niiden yhdistelmästä. Laadullinen tutkimus sallii usein huomattavasti joustavammat työmenetelmät kun taas määrällinen tutkimus vaatii tarkempaa, muodollisempaa ja järjestelmällisempää työskentelyä. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, 134.)

Koska tässä työssä tutkittavaa energiantuotantomenetelmää ei ole Suomessa aikaisemmin sovellettu teollisen mittakaavan tuotantoon, perustuvat kerätyt tutkimusaineistot osittain ulkomailta saatuihin laadullisiin kokemuksiin, arvioihin ja asiantuntijalausuntoihin sekä kuvauksiin pilottivoimalassa käytettävistä työvaiheista. Määrälliset tiedot energiantuotannon tuotantotavoista ja energianlähteistä sekä määrästä pohjoismaissa, perustuvat pilottihankkeen toteutuksesta vastaavan St1 Deep Heat Oy:n toimittamiin tutkimuksiin, raportteihin ja arvioihin.

Vaikka pilottihankkeeseen ja energiantuotantomenetelmään liittyvät, käytävissä olevat tiedot ovat rajalliset ja ne perustuvat osin arvioihin, voidaan samoihin tuloksiin ja päätelmiin päästä toisistaan poikkeavilla

lähestymistavoilla jos arviot ja aineistot on hankittu yhtä asiantuntevista lähteistä. (Jyväskylän yliopisto 2013.)

Koska opinnäytetyö käsittelee uutta ja testausvaiheessa olevaa menetelmää, siitä saatuja kokemuksia ja siihen liittyviä odotuksia, on järkevää kerätä aiheeseen liittyvää empiiristä tietoa kaikilla mahdollisilla ja saatavissa olevilla hankinta ja mittaustavoilla. Opinnäytetyön aihe ja tutkimukseen saatavat tiedot antavat siten mahdollisuuden arvioida ja verrata aineistoa sekä laadulliselta, että määrälliseltä näkökannalta.

Itse opinnäytetyön tekemisen kannalta työn luotettavuus ja pätevyys koostuvat koko työprosessin aikana tapahtuneesta jatkuvasta arvioinnista. Opinnäytetyön luotettavuus paranee jos käytettävissä ovat riittävät ja pätevät teoria-aineistot sekä analysointimenetelmät. Jos vastaaviin tuloksiin voidaan päästä toisistaan poikkeavilla tutkimusmenetelmillä, niin silloin tutkimustulokset eivät ole sattumanvaraisia. (Jyväskylän yliopisto 2013.)

Työssä kerätyn määrällisen aineiston ja tutkimustulosten luotettavuutta sekä pätevyyttä voidaan arvioida niiden johdonmukaisuudella ja toistettavissa olevilla mittaustuloksilla, jolloin puhutaan reliabiliteetista. Validiteetti puolestaan varmistetaan pätevällä analysointimenetelmällä, jolloin voidaan osoittaa analyysin kohde ja tarkoituksenmukaisuus. (Jyväskylän yliopisto 2013.)

Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida siihen liittyvillä aineistoilla ja käsitteillä. Käytettyjen käsitteiden ja aineistojen tulee sopia uskottavasti tutkimusongelman teemaan ja sisältöön. Uskottavuuden takeena tulee olla myös tulosten siirettävyyden ja yleistettävyyden, joten arvio niiden hyödynnettävyydestä muissa vastaavissa tilanteissa vahvistaa luotettavuutta. (Jyväskylän yliopisto 2013.)

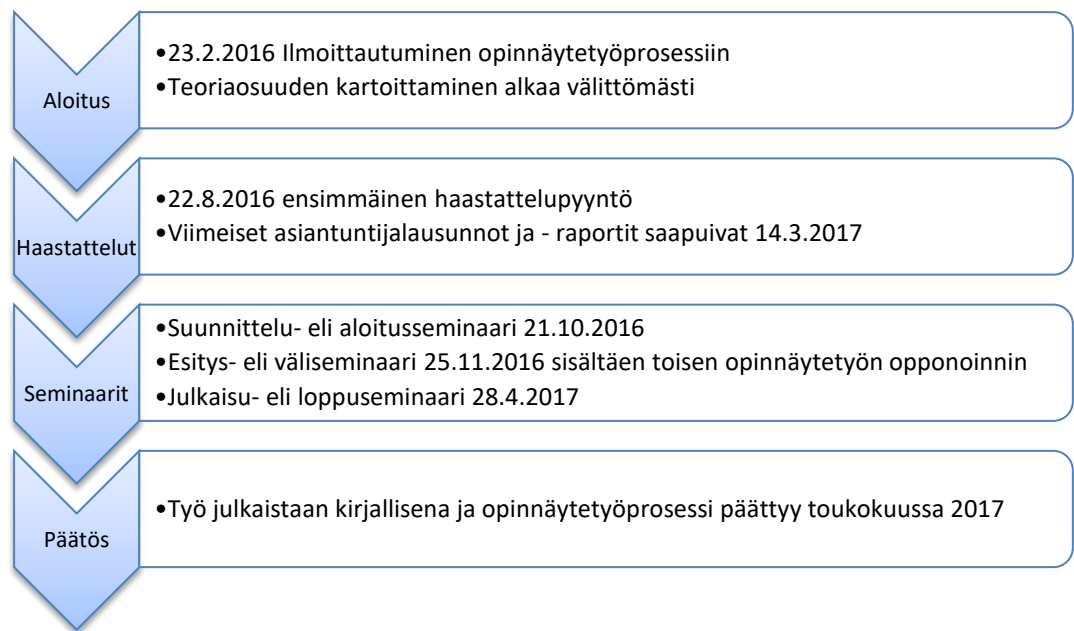
1.4 Työn rakenne ja aikataulu

Johdannon lopuksi esitellään tutkimuksen rakenne ja aikataulu, jonka avulla voidaan jäsenellä opinnäytetyön käytännön toteuttamiseen ja saatavilla olevaan tietoon liittyviä vaiheita. Työn ydinrakenne on jaettu neljään päälukuun, jotka jakaantuvat teoreettiseen ja empiiriseen osuuteen. Ensimmäinen pääluku, eli johdanto, kertoo tämän opinnäytetyön taustoista ja tarkoituksesta sekä siitä, miten käytännön työ on edistynyt ja minkälaisia asioita on pitänyt ottaa yleisesti huomioon teorian ja empiirisen tiedon hankinnassa.

Toinen ja kolmas pääluku esittelevät aiheeseen liittyvää teoriaa yleisellä tasolla sekä neljännen luvun empiiriseen osuuteen sisältyvän pilottihankkeen osalta. Koska mainittu pilottihanke on ensimmäinen laatuaan Suomessa, niin teoretieto pohjautuu sen osalta St1 Deep Heat Oy:n julkaisemaan tietoon ja ulkomaisiin alan tiedejulkaisuihin sekä -kirjallisuuteen. Toisessa pääluvussa esitellään geotermisen energian perusteet ja kolmannessa pääluvussa geotermisen energian hyödyntämistä Suomessa.

Neljännessä pääluvussa seuraa opinnäytetyön empiirinen osuus, jossa perehdytään tilastoihin, asiantuntijalausuntoihin ja -arvioihin teollisen geotermisen energiantuotannon kehityksestä, sekä tuotantoon liittyvistä työvaiheista ja menetelmistä. Empiirinen osuus sisältää työn kuluessa tehdyt teemahaastattelut, kyselyt, kuvaukset ja asiantuntijalausunnot. Empiirisen osuuden lopussa esitellään yhteenvetoanalyysi ja työn tulokset.

Opinnäytetyöprosessi alkoi helmikuussa 2016 ja eteni aluksi hitaassa tahdissa alan teorian kartoittamisesta kohti aloitus-, väli- ja loppuseminaareja. Empiirisen osuuden haastattelut ja lausuntopyynnöt toteutuivat pääosin syksyllä 2016. Opinnäytetyön oli tarkoitus valmistua vuoden 2017 alkuun mennessä, mutta käytännön asiat hidastivat valmistumisen aikataulua usealla kuukaudella. Aikataulu on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Opinnäytetyön aikataulu

2 GEOTERMINEN ENERGIA

Luonnosta peräisin olevia geotermisiä nesteitä on käytetty ruuanlaittoon ja kylpemiseen jo ennen historiankirjoituksen alkua, mutta geoterminen energia on valjastettu teolliseen käyttöön vasta 1900-luvun alussa. Yksi ensimmäisistä hyödyntämiskohteista on ollut haihdutusaltaiden lämmitys geotermisellä höyryllä, boorihappotuotannossa lähellä Lardelloa, Italiassa. Vuonna 1902 myös sähköä alettiin tuottaa geotermisen höyryn avulla ensimmäisenä juuri Lardellosa. (Tester ym. 2012, 546.)

Geotermistä energiaa saadaan oman planeettamme maaperästä. Maaperä on valtava ja alihyödynnetty, puhtaan, luotettavan lämmön sekä energian lähde. (Abdullah 2013, 275.) Geotermisestä energiasta onkin tullut merkittävä tekijä pohdittaessa yhtäläillä energiatehokasta ja turvallista energiamuotoa, joka ei lisää maapallon lämpenemistä. Kyseessä on ainoa auringosta riippumaton uusiutuva energiamuoto. (Ehrlich 2012, 409.) Jäljempänä luvussa 3 on esitetty erikseen auringosta ja maaperästä peräisin olevan lämpöenergian talteenottoon liittyviä menetelmiä ja yleisesti käytössä olevia järjestelmiä Suomessa.

2.1 Geotermisen energian synty tapa

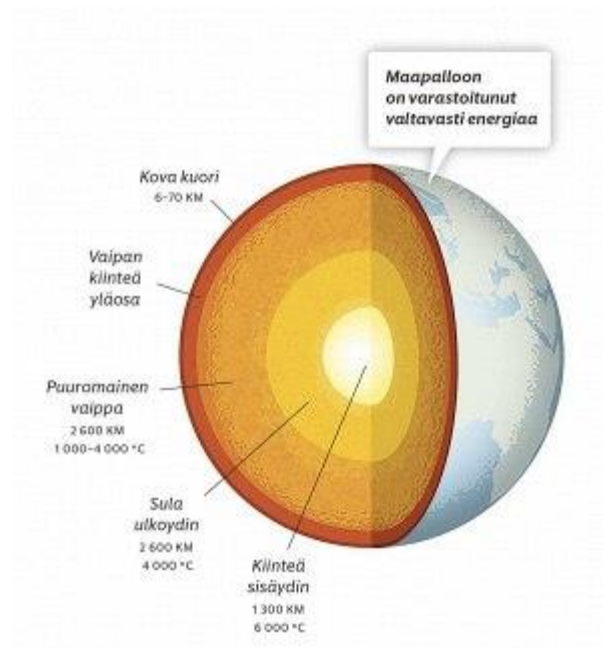
Lämpö on syntynyt maaperään vähintään kuudella erilaisella mekanismilla mutta noin 80 % siitä on muodostunut radioaktiivisen ajanjakson aikana, pääosin erittäin pitkäikäisten uraanin ja toriumin isotooppien aiheuttamasta säteilystä. Mainittu 80 %:n arvio on kuitenkin ilmeisen epätarkka, koska arvioita on esitetty 45 ja 90 %:n välillä olevista määristä. (Ehrlich 2013, 156.)

2.2 Geotermiset luonnonvarat

Maapallo voidaan jakaa geotermisiin alueisiin joihin sisältyvät myös valtameret ja niiden energiavarat (ocean thermal energy). Geotermiset luonnonvarat voidaan luokitella viiteen päätyyppiin jotka ovat

hydrotermiset konvektionlähteet, maanpaine (geopressure), HDR (hot dry rock), magma ja tulivuoret. (Abdullah 2013, 273, 275.)

Maapallon ydin on erittäin kuuma, ja syvällä maanpinnan alla on suuri määrä kuumia pesäkkeitä joista saadaan geotermistä energiaa, esimerkiksi tulivuorien, kuumien lähteiden, geysirien ja valtamerten vedenalaisen metaanin avulla. Kun pohjavesi joutuu kosketuksiin näiden kuumien pesäkkeiden kanssa, voi muodostua joko kuivaa tai märkää höyryä. (Abdullah 2013, 275.) Maapallon rakenne, energiavarat ja niiden kerrostumat esitetään kuviossa 2.



Kuvio 2. Maapallon rakenne ja energiavarat (Helsingin Sanomat 2016)

2.3 Kolme tyypillistä geotermisen energian lähdettä

Kuivahöyry (dry steam), jonka vallitseva olomuoto on höyry, muodostuu kiehumalla suolapitoisesta vedestä, syvällä huonosti läpäisevissä kalliokerrostumissa. Joitakin sähköntuotantoon valjastettuja kuivahöyryn esiintymisalueita ovat pohjois-Californian geysirit, Italian Lardello ja Japanissa sijaitseva Matsukawa. (Abdullah 2013, 275.)

Märkähöyry (wet steam), jonka vallitseva olomuoto on vesi, muodostuu pohjavedenkierron noususta, helposti läpäisevien ja laajojen sekä

korkeaenergisten kerrostumien läpi. Tyypillisesti ylöspäin suuntautunut virtaus sijaitsee varannon keskellä, josta ulosvirtaava vesi liikkuu sivuttaisesti pois päin, jonka jälkeen se kulkeutuu alaspäin suuntautuvassa virtauksessa takaisin, uudelleen varattavaksi. Maanpinnalla havaittavia märkähöyryn ilmenemismuotoja ovat kuumat lähteet, fumarolit, geysirit ja kalkkikivivarannot sekä joskus piilossa sijaitsevat maanalaiset esiintymät (blind resource). (Abdullah 2013, 276.)

HDR-varannot (hot dry rock) on määritelty esiintymiksi jotka sijaitsevat noin kymmenen kilometrin etäisyydellä maanpinnalta, ja joiden energian talteenotto ei ole yleensä taloudellisesti järkevää, luonnollisesti muodostuneesta kuumasta vedestä tai höyrystä. Näissä kalliokerroksissa on vain vähän huokostilaa tai halkeamia, ja siksi ne sisältävät vain vähän vettä, jonka lisäksi myös läpäisevyys on vähäistä tai sitä ei ole ollenkaan. Kokeellisissa projekteissa on geotermisen energian talteenottamiseksi rikottu kalliokerrostumien rakenteita keinotekoisesti luodulla hydraulisella paineella, jonka jälkeen esiintymään on muodostettu suljettu vesikierto yhdestä kaivosta, jolloin kuumennut vesi johdetaan toiseen kaivoon. (Abdullah 2013, 276.)

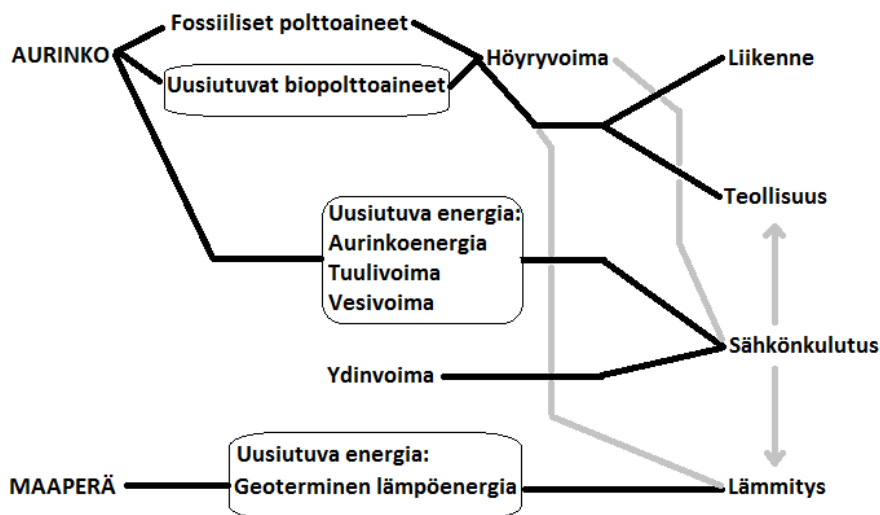
2.4 Geotermisen energian talteenotto

Energiavarojen talteenotto on toimintaperiaatteeltaan hyvin yksinkertaista ja se vastaa lähtökohtaisesti vakiintunutta öljyn- tai kaasuntuotantoa. Varantoon porataan yksi tai useampi reikä, jolloin kuuma neste virtaa tai pumpataan maanpinnalle, minkä jälkeen se johdetaan tavanomaiseen höyryturbiiniin tai suoraan lämmitysjärjestelmään. Sähköä pidetään monipuolisempana ja arvokkaampana lopputuotteena verrattuna pelkkään kuumaan veteen. Tyypillisesti porareian syvyys on 700 metristä 3000 metriin. (Ehrlich 2012, 410.)

2.5 Primäärienergiavarat maapallolla

Luonnosta saatavaan primäärienergiaan katsotaan sisältyväksi maalämpö, vesi- ja tuulivoima, auringon säteily, uraani ja erilaiset polttoaineet kuten

öljy, hiili, puu, kaasu ja turve. Ihmisen käyttöön muunnettua energiaa, kuten erilaisia jalostettuja polttoaineita, sähköä ja kaukolämpöä, kutsutaan sekundäärienergiaksi. Energiantuotantoa ja sen käyttötarkoituksia yleisesti esitetään kuviossa 3. (Suomen teollisuusopas 2017.)



Kuvio 2. Energiantuotanto ja kulutus yleisesti (Suomen teollisuusopas 2017)

Käsitteellä energiantuotanto tarkoitetaan yleensä teollista tuotantoa, joka siis tarkoittaa myös energian siirtymistä muodosta toiseen. Oleellista energiantuotannossa, eli primäärienergian muuntamisessa sekundäärienergiaksi, on menetelmän tehokkuus ja siinä mahdollisesti poistuva hyödyntämätön energian osuus. (Tester ym. 2012, 573.)

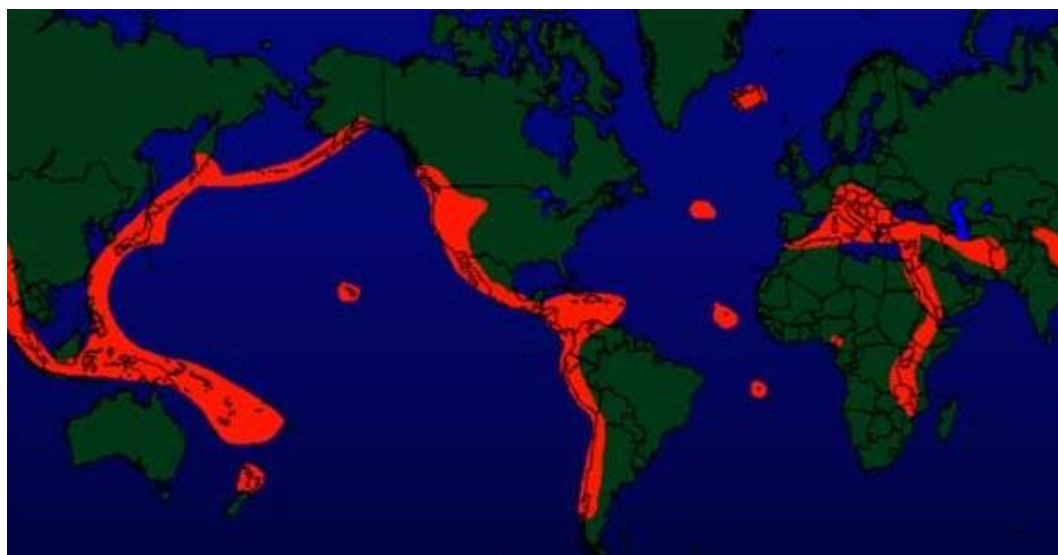
Maaperään, pohjaveteen ja kallioon sekä muuhun maa-ainekseen voi varastoitua lämpöenergiaa joko luonnollisesti tai ihmisen toiminnan seurauksena. Pohjavesiesiintymiä voi käyttää lämpöenergian varastointiin tai jopa siirtämiseen. Pohjaveden ja maaperän kerrostuneisuutta voidaan hyödyntää energian lähteenä ja sen varastoinnissa. Aivan maan pintakerroksista voidaan talteenottaa pääosin auringon säteilystä peräisin olevaa lämpöenergiaa. Pohjavesiesiintymiä voidaan hyödyntää niissä olevien lämpötilaerojen osalta. (VTT 2003.)

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä sähköntuotanto, kaukolämmöntuotanto, kausienergiasovellukset, varastointi ja muut energian tuotantotavat sekä

prosessit eivät näin ollen sisälly työn otsikon mukaiseen primäärienergiaan, mutta ne ovat kiistatta kiinteässä ja välttämättömässä yhteydessä geotermisen primäärienergian hyödyntämiseen ja käyttömahdollisuuksiin Suomessa.

2.6 Lämmöntuotanto ja hyötykäyttö

Alhaisen lämpötilan geotermisiä esiintymiä on käytetty kuuman veden tai vesihöyryn muodossa kaupallisissa suoralämmitysratkaisuissa aina maa-aineksen lämmityksestä (10 °C) keskuslämmitykseen (60- 90 °C) ja tehokuivaukseen (200 °C). Kansainvälisesti arvioiden geotermisen keskuslämmitys on ollut suosittu ratkaisu siellä, missä varteenotettavan kuuman geotermisen vesivarannon ja järkevän käyttökeskittymän välinen etäisyys on riittävän lyhyt. Islannissa Reykjavik, Ranskassa Pariisi ja monet alueet Unkarissa, Japanissa sekä Venäjällä ovat hyviä esimerkkejä tämänkaltaisesta kehityksestä. (Tester ym. 2012, 569.) Kuviossa 4 esitetään maailman kuumimmat tiedossa olevat geotermiset esiintymät.



Kuvio 3. Maailman kuumimmat tiedossa olevat geotermiset esiintymät (GENI 2016)

Islanti on johtava maa laajojen kaukolämpöratkaisujen osalta. Esimerkiksi vuonna 2010 yli 90 % Islannin rakennuksista oli lämmitetty kuumalla nesteellä joka on johdettu valtavilta geotermisiltä tuotantoalueilta.

Pariisissa puolestaan sijaitsee erittäin laaja geotermiseen energiaan

perustuva kaukolämpöjärjestelmä, joka tuottaa lämpöenergiaa yli 200 000 kotitalouteen. Vuonna 2012 Yhdysvalloissa sijaitsevista kaupungeista oli käytössä 23 geotermistä kaukolämpöjärjestelmää. (Tester ym. 2012, 569 - 571.)

Yhdysvalloissa oli kartoitettu vuoteen 2012 mennessä, alhaisten lämpöjen ja keskilämpöisten geotermisten lähteiden sijainteja, joiden lämpötilat ovat välillä 20 - 150 °C. Kerätyistä tiedoista on tehty osavaltiokohtaisia sijaintikarttoja. Tiedoista on voitu päätellä, että kartoitetulla alueella on 271 kaupunkia jotka sijaitsevat 8 kilometrin säteellä, vähintään yli 50 °C vettä sisältävästä esiintymästä. Maassa hyödynnetään geotermistä energiaa eri tuotantoaloilla, kuten malmin erotus- ja liuotusprosesseissa (110 °C), kasvien kuivatuksessa (130 °C), herkkusienten kasvatuksessa (60 °C), sellu- ja paperiteollisuudessa (200 °C), heinän kuivatuksessa (60 °C), puutavaran kuivatuksessa (60 °C) sekä piimaan kuivatuksessa (182 °C). Tämänkaltaisia lämmitys- ja kuvion 5 mukaisia talteenottojärjestelmiä, voidaan asentaa geotermisiin lähteisiin, kaivoihin tai suoraan pohjaveteen (Tester ym. 2012, 570- 571.)



Kuvio 4. USA:n ensimmäinen kaupallinen geoterminen laitos Nevadassa (Ormat Technologies 2013)

Euroopassa on tällä hetkellä yli 5000 kaukolämpöjärjestelmää, joista yli 240 perustuu kokonaan tai osittain geotermiseen energiaan. Ensimmäiset geotermisistä järjestelmistä on asennettu alueille joissa on parhaat kuumen veden esiintymät. GeoDH (geothermal district heating) tarkoittaa, että geotermistä energiaa johdetaan rakennuksiin ja tuotantolaitoksiin jakeluverkon kautta. Järjestelmät voivat olla kapasiteetiltaan pieniä (0,5- 2 MW) tai suurempia jolloin voidaan päästä 50 MW tuotantoon. Alhaisista lämpövarannoista saatua tuotantoa voidaan tehostaa suurilla pumpuilla. (GeoDH 2017.)

2.7 Kausienergia

Nykytietämyksen mukaan, lämpöenergiaa voidaan varastoida pohjaveteen tietyillä edellytyksillä, jolloin kesäaikana pohjaveteen johdettu lämpö otetaan takaisin hyötykäyttöön talvikaudella. Lämpöenergiaa voidaan johtaa pohjaveteen esimerkiksi jäähdytys- ja ilmastointijärjestelmistä. Pohjaveden pilaantumisriskin vuoksi, järjestelmän prosessissa käytetään puhdasta vettä. Järjestelmän toimivuus vaatii yleensä pohjavesivarantojen kartoittamista ja tutkimista. Kuvatusta järjestelmästä on valmisteilla Suomen ensimmäinen pilottihanke Lahden Askonalueen kaupunginosassa. (Renor 2016.)

2.8 Lämpöenergian varastointi

Koska lämpöenergian siirto ja varastointimenetelmät maaperään ovat läheisessä yhteydessä geotermisen primäärienergian hyötykäyttöön ja kausienergiaratkaisuihin, niin tässä esitellään tarvittavat lämpöenergian varastoinnin perusteet.

Termisen energian varastointi on yksi perinteisimpiä energian varastointimenetelmiä. Teollisessa mitakaavassa sellaisia ovat esimerkiksi suuret jää- ja lumivarastot, järvet ja pintavedet, rakennetut tai kallioon louhitut vesisäiliöt ja vanhat kaivokset sekä pohjavesiesiintymät. Termisen energian varastoja käytetään tasoittamaan vaihtelevaa energiankulutusta,

huippukuormien tai hukkalämmön sekä kausivaihtelun hallintaan. (VTT 2003.)

Suomessa varastointia on hyödynnetty erityisesti erilaisissa jäähdytysjärjestelmissä. Suuria lämpövarastorakenteita ovat eristetty kaivantovarasto, kalliolämpövarasto, porareikävarasto ja pojavesivarasto. Pohjaveteen voi varastoitua lämpötilaeroon perustuvaa tuntuvaa lämpöä. Myös perinteisistä polttoainevarastoista, kuten hiili-, öljy- ja turvevarastoista käytetään joskus nimitystä lämpövarasto, joten niiden nimitys voi muodostua siis myös käyttövoiman ja -tarpeen mukaan. (VTT 2003.)

2.9 Sähköntuotanto

Koska tämän opinnäytetyön teoreettinen viitekehys ja tutkimusongelma ovat rajattu geotermiseen primärienergiaan, niin sähköntuotannon osalta esitellään ainoastaan menetelmään liittyvät perusteet ja vaatimukset. Vallitsevien olosuhteiden vuoksi, sähköntuotanto Suomessa vaatisi lähes 12- 15 km syvyisen kaivon, koska lämpötilan nousu on alle 20 astetta kilometriltä ja prosessissa käytettävän nesteen lämpötilan tulisi olla yli 200 astetta (Saarno 2016).

Geotermisen energian avulla voidaan tuottaa sähköä, jos tietyt vaatimukset hyödynnettävissä olevien varantojen osalta täyttyvät. Sähköenergiaksi muuntamisella parannetaan energian laatua ja helpotetaan sen siirtoa. Prosessin tehokkuus alenee huomattavasti, geotermisistä varannoista saatavan nesteen lämpötilan ollessa alle 200 astetta, ja hyötysuhde (5- 20%) on joka tapauksessa merkittävästi alhaisempi, kuin fossiilista polttoainetta tai ydinvoimaa käyttävissä laitoksissa (35-60%). Lisäksi prosessissa käytettävän nesteen tasaisen kriittisen keskilämpötilan on oltava resurssista saatavaa maksimilämpötilaa alhaisempi. (Tester ym. 2012, 573 - 577.)

2.10 Vertailu muihin energianlähteisiin

Geoterminen energia on jo kaupallisesti varsin kilpailukykyistä, etenkin niillä alueilla joissa sijaitsee korkealuokkaisia geotermisiä pohjavesiesiintymiä. Lisääntyvä kiinnostus geotermisen energian suoraan hyötykäyttöön kaukolämpöjärjestelmissä ja jäähdytyksessä, sekä yhdistetyn lämmön ja energian tuotannon sovelluksissa (CHP), luo monia mahdollisuuksia matalamman tason geotermisten esiintymien hyödyntämiseen. (Tester ym. 2012, 604, 607.)

Kansalaisten, päättäjien ja viranomaisten positiivinen asenne puhtaan ja uusiutuvan energian hyödyntämiseen luo sopivan ympäristön geotermisen energian tuotannon kasvulle ja kehitykselle. Koska geotermiset esiintymät eivät ole keskenään samanlaisia, haasteet liittyvät usein poraustyön kalleuteen, taloudellisesti hyödynnettävissä olevien esiintymien kartoittamiseen ja lämpöenergian muuntamisen hyötysuhteeseen. (Tester ym. 2012, 604, 608.)

3 GEOTERMINEN PRIMÄÄRIENERGIA SUOMESSA

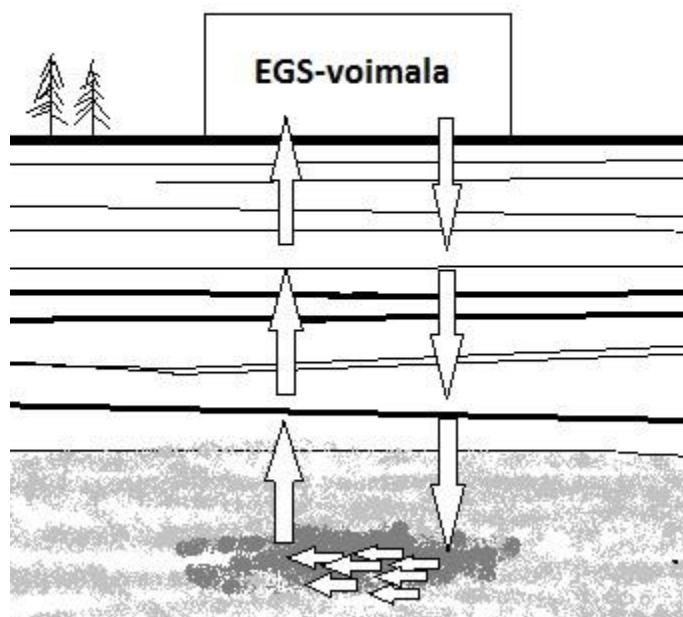
Geoterminen primäärienergia, usein myös geoenergia tai maalämpö, on ollut Suomessa varteenotettava lämmitysvaihtoehto jo pitkään, ja sitä on hyödynnetty 1970-luvulta lähtien (St1 2017). Luonnosta saatavaa muuntumatonta energiaa kutsutaan primäärienergiaksi (Suomen teollisuusopas 2017).

3.1 Lämpöpumppujen käyttö Suomessa

Suomen lämpöpumppuyhdistyksen mukaan Suomessa myytiin vuonna 2015 noin 60 000 lämpöpumppua. Maa-ainekseen, kalliioon, veteen tai ilmaan varastoitunutta, pääosin auringosta peräisin olevaa lämpöenergiaa, voidaan siirtää lämpöpumppujen avulla rakennusten ja veden lämmittämiseen. Suomessa jo käytössä olevat 730 000 lämpöpumppua, tuottavat lämpöenergiaa noin 5 terawattituntia vuodessa. Suomessa asennettiin vuonna 2015 yli 9 000 maalämpöpumppua (SULPU ry 2016.)

3.2 Geoterminen EGS-voimala

Suomessa ei ole tuotettu aikaisemmin energiaa, geotermisestä energianlähteestä teollisessa mittakaavassa. EGS-käsite tarkoittaa keinotekoista kuumaa lähdettä (Tiede 2008). HDR (hot dry rock)-nimellä aikaisemmin tunnetut lähteet on määritelty nykyään enemmän tieteellisellä ja toimintaa kuvaavalla nimityksellä EGS (enhanced geothermal system). Suurimmat geotermisen energian lähteet sijaitsevat kuumen kallion esiintymissä, teknisesti saavutettavissa olevassa syvyydessä (noin 10 km), jotka eivät kuitenkaan sisällä riittävää nestettä, eivätkä rakenteensa puolesta tarvittavaa läpäisevyyttä ja huokoisuutta, jotta kaupallinen sekä teollinen tuotanto olisi kannattavaa. EGS-voimalan toimintaperiaate tiivistyy pyrkimykseen lisätä energian tuotantoa, näistä alhaisen läpäisevyyden kuumista esiintymistä, luomalla kalliioon verkosto avoimia murtumia ja kierrättämällä niihin läpi kaivojen välityksellä vettä, jolla jäljitellään monia luonnollisia kuumen veden lähteitä. (Tester ym. 2012, 595- 596.)



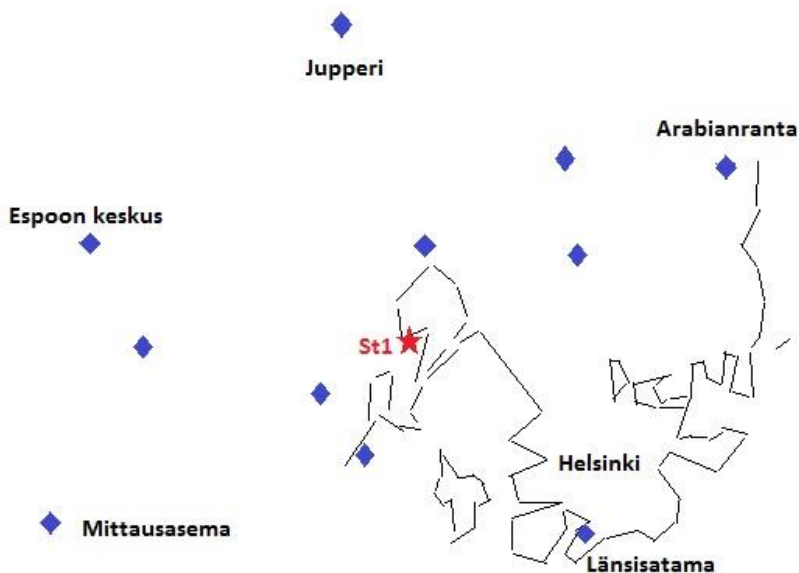
Kuvio 5. EGS-voimalan vesikierron periaate (Tester ym. 2012, 596)

Pääperiaate on siis parantaa (enhance) kallion luonnollista läpäisevyyttä hydraulisesti (hydraulinen stimulointi), avaamalla vanhoja halkeamia tai luoda uusia, sekä yhdistää ne tuotantokaivoihin. Tällöin energia voidaan ottaa talteen, kierrättämällä laitoksesta paineistettua vettä kuvion 6 esittämässä suljetussa kierrossa, kaivoa pitkin alas läpi halkeamaverkoston, jossa se kuumenee ja palautuu toista kaivoa pitkin takaisin ylös tuotantolaitokseen, eli EGS-voimalaan, jossa näin talteen otettu lämpöenergia johdetaan vaihtimen kautta hyötykäyttöön. (Tester ym. 2012, 596.)

3.3 Hydraulinen stimulointi

Pilottivoimalan alueella, Espoon Otaniemessä on suoritettu hydrauliseen stimulointiin ja siitä mahdollisesti aiheutuvaan seismiseen toimintaan kohdistuvia selvitys- ja valvontatoimenpiteitä. Alueesta ja sen historiasta on tehty seismisen toiminnan todennäköisyyteen liittyvä analyysi, jossa alueella ja sen ympäristössä aikaisemmin tapahtuneiden mikrojäristysten vaikutusten on todettu olleen vähäisiä. (Malin 2016a.)

St1 on rakentanut pilottivoimalan alueelle ja sen ympäristöön kuvion 7 esittämän, suuntaa antavan kartan mukaisen mittausasemaverkoston, joka käsittää kymmenen 340 metrin syvyydessä sijaitsevaa mikrojärityksiä rekisteröivää tunnistinta. Verkosto ulottuu Espoon keskuksesta Helsingin Arabianrannan kaupunginosaan, sekä Länsisatamasta aina Jupperin korkeudelle. Lisäksi Tapiolan golfradalle tehtyyn 1000 m syvyiseen kooreikään (kartassa St1), on asennettu sen pohjalta alkaen 75 metrin välein 12 tunnistimen ryhmä. (Malin 2016b.)



Kuvio 6. Mikrojärityksiä rekisteröivä tunnistinverkosto (Malin 2016b)

Tunnistinverkoston avulla pystytään mittaamaan tarkasti hydraulisen stimuloinnin ja porausprosessin etenemistä, sekä valvomaan ja rekisteröimään seismisiä tapahtumia. On tärkeää kuitenkin huomata, että tiedossa olevat maanjäristykset tämän kaltaisen laitoksen yhteydessä, Sveitsin Baselissa ja Ranskan Soultzissa, ovat tapahtuneet järjestysherkällä paikalla, jossa on siis tapahtunut huomattavan voimakaita maanjäristyksiä historian saatossa. (Malin 2016b.)

3.4 Ympäristövaikutukset

Geotermisen energian ja rakennettavan voimalaitoksen ympäristövaikutukset liittyvät pääosin voimalaitosalueen valmisteluun, poraustyöstä aiheutuvaan meluun ja porauksessa käytettävien nesteiden hallintaan. Mahdolliset onnettomuudet tämän kaltaisissa voimalaitoksissa ovat harvinaisia. (Boyle 2013.)

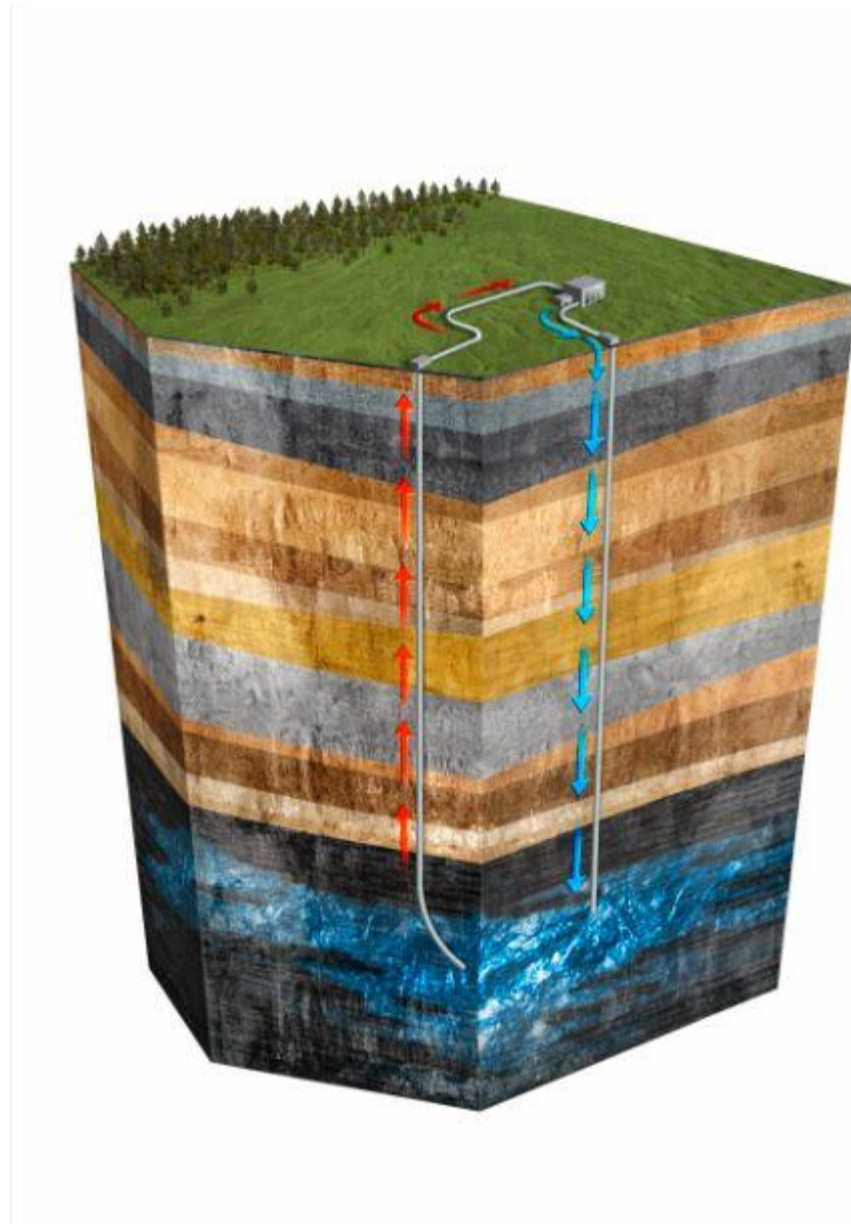
3.5 Geoterminen energia ja kaukolämpö

Suomessa geotermistä energiaa ei ole hyödynnetty teollisessa mittakaavassa aikaisemmin. Sen avulla on mahdollisuus vähentää kaukolämmön tuottamia paikallisia päästöjä ja lisätä lämmöntuotannon joustavuutta. Geoterminen energia ei aiheuta päästöjä ja sitä voidaan hyödyntää kaukolämpöverkoissa. (Fortum 2014.)

Ruotsi on Suomen edellä geotermisen energian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannon energianlähteenä. St1 energiakatsauksessa vuodelta 2016, arvioidaan geotermisen energiantuotannon kehityksen Suomessa seuraavan kohti Ruotsin esimerkkiä vuoteen 2030 mennessä. (St1 Nordic Oy 2016.)

4 GEOTERMISEEN ENERGIAAN PERUSTUVA TEOLLISEN MITTAKAAVAN LÄMMÖNTUOTANTO SUOMESSA

Suomen ensimmäinen geotermiseen energiaan perustuva lämpölaitos toteutetaan energiayhtiö St1:n ja Fortumin aloittamassa yhteistyöhankkeessa. Pilottituotantolaitos rakennetaan Fortumin olemassa olevalle lämpölaitosalueelle Espoon Otaniemessä. Tuotantolaitoksesta saatava energia on määrä johtaa kaukolämpöverkkoon, ja Fortum arvioi kattavansa sillä jopa kymmenesosan Espoon alueen kaukolämmöntarpeesta. (Fortum 2014.)



Kuvio 7. Pilottilaitoksen vesikierto (Fortum 2014)

Tämä pilottilaitos ei käytä lainkaan polttoaineita joten se ei myöskään kuormita ilmakehää vahingollisilla päästöillä. Kaksi, kilometrien syvyistä kaivoa, mahdollistavat veden kierrättämisen kuvion 8 mukaisesti maaperässä siten, että vesi pumpataan toisesta kaivosta alas ja sen lämmentyä riittävästi, palautuu se toista kaivoa pitkin maanpinnalle. Tämän jälkeen kuumen veden antama lämpö siirretään lämmönvaihtimien kautta suoraan kaukolämpöverkkoon. (Fortum 2014.)

Lämpöenergia hankitaan ja otetaan talteen kierrättämällä laitoksesta paineistettua vettä, suljetussa kierrossa kaivoa pitkin alas, läpi halkeamaverkoston jossa se kuumenee. Tämän jälkeen se palautuu toista kaivoa pitkin takaisin ylös tuotantalokseen, eli EGS-voimalaan, jossa näin talteen otettu lämpöenergia johdetaan vaihtimen kautta hyötykäyttöön, eli tässä tapauksessa kaukolämpöverkkoon. (Tester ym. 2012, 596.)

4.1 Geotermiseen lämpöenergiantuotantoon ja lämpölaitoshankkeeseen kohdistuvat teemahaastattelut

Teemahaastattelu sopii aineistokeruumenetelmäksi etenkin sen vuoksi, koska kyseessä olevaan pilottihankkeeseen liittyvistä haasteista ei ole sen parempaa tietoa opinnäytetyöprosessin haastattelujen alkaessa. Tämä menetelmä mahdollistaa, järjestelmälliseen ja tarkasti yksilöityihin kysymyksiin perustuvaan haastatteluun verrattaessa, avoimemman lähestymistavan. Haastateltava voi muodostaa vastauksensa joustavasti käsitellyn teeman puitteissa. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1997, 205.)

Teemahaastatteluissa hyödynnettiin tutkimussuunnitelman mukaisia, aineiston keräämiseen tarkoitettuja haastattelumenetelmiä ja teemoihin jaettuja kysymyssarjoja. Prosessin edetessä kävi ilmeiseksi, että tähän opinnäytetyöhön tarvitaan kaksi erilaista teemakysymyskaavaketta jotka esitetään tämän raportin liitteenä. Liitteen 1 mukainen teemakysymyssarja kohdistuu kyseessä olevaan lämpölaitoshankkeeseen ja sen aloittamiseen liittyviin haasteisiin. Liitteen 2 mukainen teemakysymyssarja on kohdennettu hankkeen sidosryhmille ja kysymykset liittyvät hankkeen

ympäriällä oleviin haasteisiin. Näiden lisäksi selvitettiin erikseen hankkeen tekniseen toteutukseen sisältyvää kallioperän hydraulista stimulointia sekä siihen liittyviä haasteita.

Haastattelut toteutettiin käytännön syistä johtuen puhelimitse ja lähettämällä teemahaastattelun kysymykset sähköpostitse sidosryhmille. Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja, tuotantojohtaja Tero Saarno St1 Deep Heat Oy:stä, joka on esitetystä lämpölaitoshankkeesta vastaava yritys, antoi asiantuntijahaastattelun puhelimitse 9.11.2016. Hankkeeseen liittyviä sidosryhmiä, kuten valtionhallinnon viranomaisia, kunnan lupaviranomaisia, energia-alan toimijoita ja tähän tekniseen energiaratkaisuun liittyvää valtakunnallista yhdistystä, lähestyttiin sähköpostitse haastattelupyynnöllä, johon oli liitetty asianomaiset teemakysymykset.

Työ- ja elinkeinoministeriön energiaosaston erityisasiantuntija Kati Veijonen ja Espoon kaupungin rakennusvalvontakeskuksen lupainsinööri Seppo Tiensuu vastasivat heille lähetettyihin kysymyssarjoihin sähköpostitse. Professori Ilmo Kukkonen, Helsingin yliopiston fysiikan laitokselta, antoi kallioperän hydrauliseen stimulointiin ja kyseiseen työvaiheeseen liittyviin haasteisiin kohdistuvan asiantuntijalausannon sähköpostitse 6.3.2017. Muilta sidosryhmiltä ei tullut vastausta.

4.1.1 Lämpöenergian tuotanto

Geotermisen energian tuotantoa, siihen liittyviä haasteita ja tulevaisuuden näkymiä Suomessa, selvitettiin teolliseen tuotantoon toteutettavan pilottihankkeen ja siihen yhteydessä olevien sidosryhmien osalta, haastatteleamalla ja pyytämällä tutkimusraportteja sekä asiantuntijalausuntoja.

9.11.2016 suoritettiin St1 Deep Heat Oy:n pilottilaitoksen hankkeesta vastaavan tuotantojohtaja Tero Saarnon haastattelu, joka toteutettiin aikatauluista johtuen puhelimitse. Haastattelukysymykset oli toimitettu haastateltavalle etukäteen sähköpostitse. Haastattelusta saadut

vastaukset kirjoitettiin muistiin haastatteluhetkellä ja tästä käytännöstä oli sovittu haastateltavan kanssa siten, että taltiointi oli mahdollista.

Tero Saarnon haastatteluun sisältyi suoraan pilotivoimalan rakentamiseen kohdentuvat, liitteen 1 mukaiset teemakysymykset, sisältäen myös samat liitteen 2 mukaiset kysymykset, jotka esitettiin myöhemmin hankkeen sidosryhmille. Lämpöenergian tuotannon osalta kysyttiin hankkeeseen liittyvistä haasteista ja arvioita tuotannon määrästä.

Haastateltavalta kysyttiin tällä hetkellä tiedossa olevia tulevaisuuden haasteita Suomessa. Kysymystä täsmennettiin kohdentamalla sitä teknisiin haasteisiin, ympäristövaikutuksiin sekä taloudellisiin, sosiaalisiin, eettisiin, asenteellisiin ja poliittisiin seuraamuksiin. Tero Saarno kertoi aikaisempien kokemustensa perusteella hankkeiden luvituksen hankaloituvan. Hänen mielestään luvitusprosessi pitkittyy, koska viranomaiset saavat enemmän tietoa ja se on omiaan hidastamaan myös tulevia hankkeita. Haastateltava totesi, etteivät maankuoren rakenteen vaihtelut aiheuta erityisiä haasteita laitosten sijoittelulle Suomessa. Hän kertoi myös, että yleinen mielipide puoltaa uusiutuvaan energiaan perustuvien laitosten kehittämistä ja rakentamista.

Luvitus hankaloituu kuten käynyt esimerkiksi tuulipuistoissa, aurinkovoimaloissa ja energiahankkeissa aikaisemmin.

Mitä enemmän tietoa viranomaisilla niin luvitusprosessi pitkittyy ja hidastuu, viranomaiset saavat lisää työtä ja luvitus hidastuu.

Luvitusprosessin hankaloituminen hidastaa projektia.

Maankuoren koostumuksen vaihtelut Suomessa tapahtuvat pintakerroksissa joten eivät ole merkittäviä vastaavien laitosten sijoittelun osalta.

Ihmiset ymmärtävät, että fossiilisista polttoaineista on päästävä eroon joten kaikki uudet uusiutuvan energian ratkaisut on tervetulleita vanhojen lisäksi.

Tarkoitan siis jotta se valtava määrä fossiilisia tuotantotapoja saadaan korvattua.

Haastateltavalta kysyttiin näkemystä geotermisen energiantuotannon kehityksestä Suomessa. Haastateltava kertoi geotermisen energian olevan tulevaisudessa merkittävässä roolissa. Hän totesi molempien, matalien sekä syvien lämpökaivojen lukumäärän tulevan lisääntymään.

Geotermisen energia tulee olemaan merkittävässä roolissa.

Maatalat kaivot lämpöpumppusovelluksilla ja syvät kaivot tulevat lisääntymään.

Haastateltavalta kysyttiin uuden energiantuotantomuodon vaikutuksista energiapolitiikkaan, energiatalouteen ja verotukseen. Haastateltava kertoi rakenteilla olevan järjestelmän soveltuvan liitettäväksi jokaisen kaupungin kaukolämpöverkkoon. Hän ilmoitti niiden lukumääräksi noin 150 kappaletta. Haastateltava totesi lisäksi uuden tuotantotavan olevan poliittisesti ja läpi puoluerajojen mielekäs. Hän kertoi tarkempien tuotantolukujen ja -arvioiden olevan saatavilla St1 energiakatsauksessa.

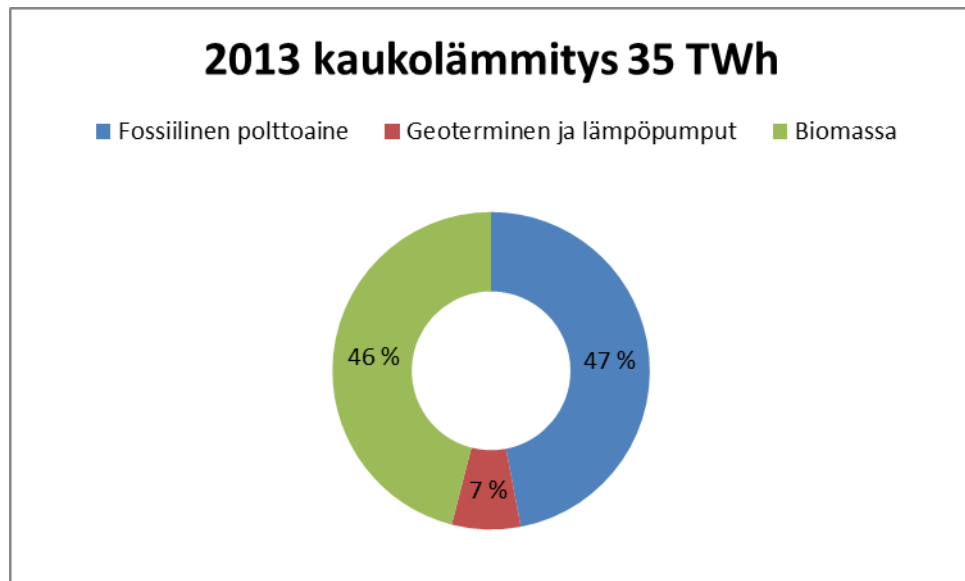
Joka kaupunkiin jossa on kaukolämpöverkko, voisi liittää kyseisen järjestelmän, joita Suomessa noin 150 kappaletta.

Poliittisesti läpi puoluerajojen on todettu hyväksi tavaksi tuottaa energiaa.

Tähän kohtaan voi etsiä vastauksia St1 energiakatsauksesta.

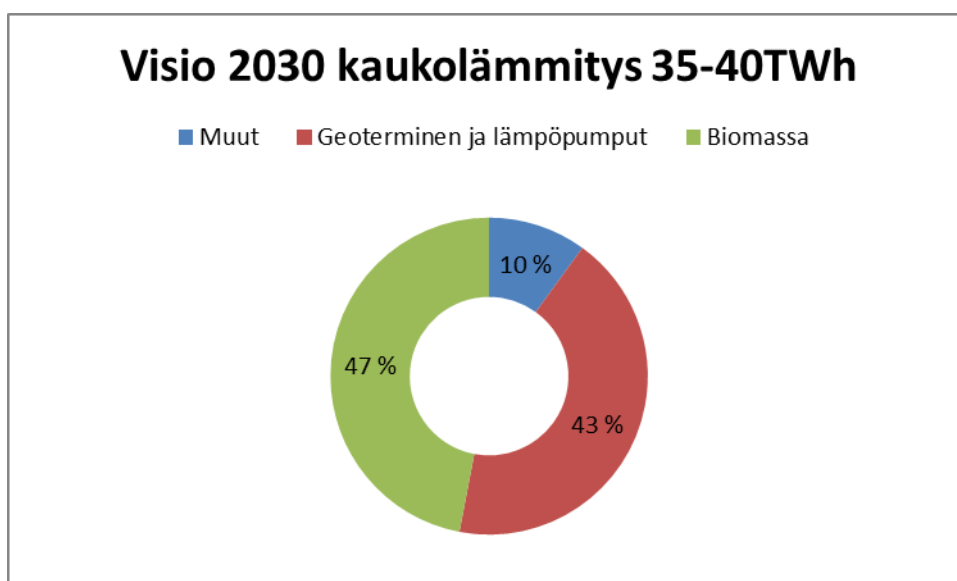
Tero Saarnon mukaan tulevaisuuden lämmitysratkaisut perustuvat geotermiseen energiaan, lämpöpumppuihin ja biomassaan. Nämä energianlähteet tulevat siis korvaamaan suurelta osin fossiiliset

polttoaineet vuoteen 2030 mennessä. Seuraavissa kuvioissa 9 ja 10, on esitetty haastateltavan mainitseman St1 energiakatsauksen sisältämiin tilastoihin ja arvioihin perustuvat vuotuiset tuotantomäärät, sekä prosentuaaliset osuudet kaukolämmön tuottamiseen tarvittavista energianlähteistä Suomessa. (St1 Nordic Oy 2016.)



Kuvio 8. Suomessa kaukolämmitykseen käytetty energia vuonna 2013 (St1 Nordic Oy 2016)

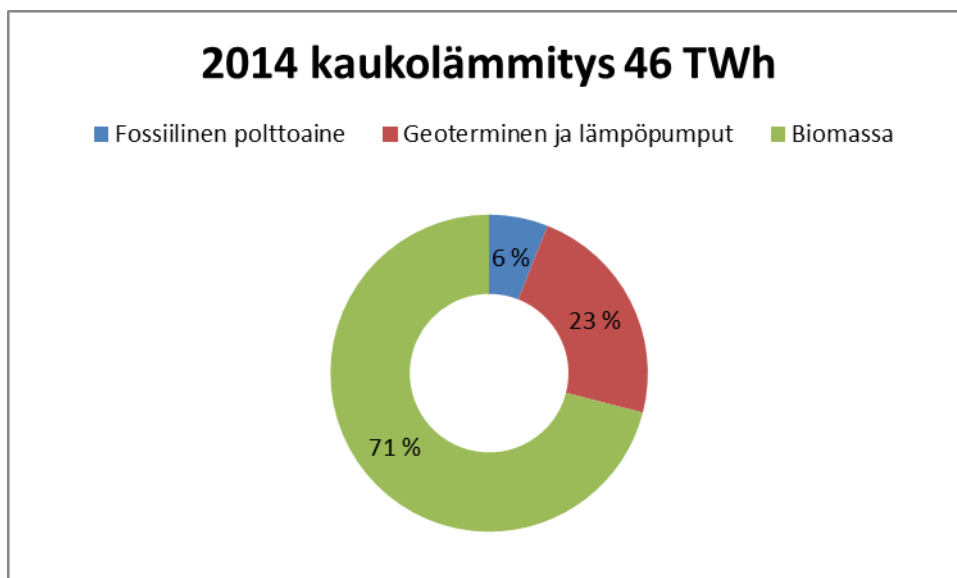
Kuvio 9 esittää Suomessa kaukolämmön energianlähteenä käytettyjen energianlähteiden prosentuaaliset osuudet kokonaiskulutuksesta vuonna 2013.



Kuvio 9. Arvio Suomessa kaukolämmitykseen käytettävien energianlähteiden osuuksista vuonna 2030 (St1 Nordic Oy 2016)

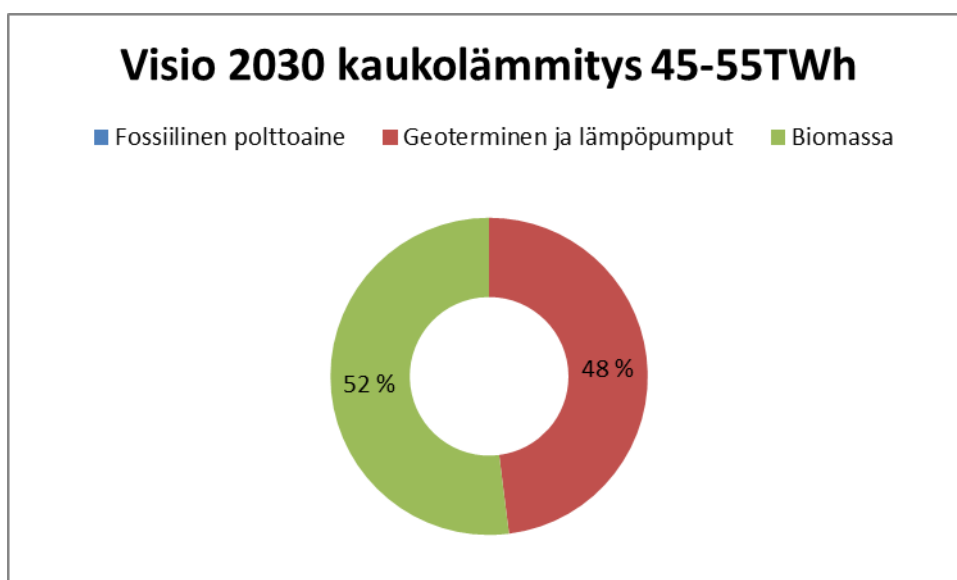
Kuviossa 10 esitetään St1 energiakatsauksen tämän hetkiseen tietämykseen perustunut visio, Suomen kaukolämmön kokonaiskulutuksen kattavaan tuotantoon käytettävistä energianlähteistä ja niiden osuuksista vuonna 2030. Huomattavaa on, että geotermisen energian ja lämpöpumppujen suhteellisen osuuden arvioidaan kasvavan jopa 36 prosenttiyksikköä. Energiakatsauksessa todettiin myös, että fossiilisen polttoaineen korvaaminen paikallisella uusiutuvalla energialla, on omiaan lisäämään huomattavasti energiantuotantoon liittyvää liiketoimintaa ja alan työllisyyttä Suomessa (St1 Nordic Oy 2016).

St1 energiakatsauksessa esitettiin vertailu pohjoismaisesta energiantuotannosta Ruotsissa ja Norjassa, joista Ruotsin energiatalous muistutti kaukolämmöntuotannon osalta enemmän tilannetta Suomessa. Norjan osalta esimerkiksi sähkölämmitys ja erilainen energiapolitiikka tekivät vertailusta epäoleellisen tässä yhteydessä. Seuraavissa kuvioissa 11 ja 12, esitetään vertailun vuoksi vastaavat tiedot Ruotsin osalta. (St1 Nordic Oy 2016.)



Kuvio 10. Ruotsissa kaukolämmitykseen käytetty energia vuonna 2014 (St1 Nordic Oy 2016)

Ruotsi on Suomen edellä geotermisen energian hyödyntämisessä kaukolämmöntuotannon energianlähteenä. St1 energiakatsauksessa vuodelta 2016 arvioitiin geotermisen energiantuotannon kehityksen seuraavan Ruotsin esimerkkiä vuoteen 2030 mennessä. Ruotsissa lämmöntuotanto perustuu siis jo laajasti uusiutuvaan energiaan ja siihen käytettävän fossiilisen polttoaineen määrä on vähäinen Suomeen verrattuna. (St1 Nordic Oy 2016.)



Kuvio 11. Arvio Ruotsissa kaukolämmitykseen käytettävien energianlähteiden osuuksista vuonna 2030 (St1 Nordic Oy 2016)

Katsauksessa arvioitiin kaukolämmön säilyttävän osuutensa lämmitysvaihtoehtoissa, koska kasvava geotermisen energian osuus lisää tuotannon kustannustehokkuutta. (St1 Nordic Oy 2016.)

4.1.2 Lämpölaitoshanke

Haastateltavalta kysyttiin, minkälaisia olennaisia haasteita ilmeni ennen hankkeen työmaavaiheen aloitusta. Kysymystä täsmennettiin kohdentamalla sitä lainsäädäntöön, viranomaisen myöntämiin lupiin, rahoitukseen, toteutussuunnitelmaan, tekniikkaan ja niitä vastaaviin muihin haasteisiin. Hankkeen alusta alkaen mukana ollut tuotantojohtaja Tero Saarno, totesi haasteiden olevan hankkeen luvituksessa, koska vastaavia laitoksia ei ole rakennettu aikaisemmin Suomessa. Hän kertoi ulkomailla rakennetuista voimaloista saatujen esimerkkien hyödyntämisestä pilottivoimalan luvitusprosessissa ja totesi sen kestäneen noin 6 kuukautta. Haastateltavan mukaan neuvottelut, suunnitelmat ja laitevalinnat olivat tiedossa jo hyvissä ajoin, mutta investointituen päätös vei enemmän aikaa. Haastateltava kertoi ensimmäisten ideoiden synnystä vuonna 2011 ja hankkeen etenemisestä varsinaiseen porausvaiheeseen vuonna 2016.

St1 takaa, että laitos saadaan toteutettua.

Haasteet on luvituksessa.

Tällaista laitosta ei ole olemassa joten luvitusprosessia ei myöskään ole olemassa.

Luvitusprosessiin on haettu maailmalta esimerkkejä, koetettiin välttää huonoja esimerkkejä.

Luvituskeskusteluissa mukana ympäristöministeriö, Etelä-Suomen AVI, Etelä-Suomen ELY ja Espoon kaupunki.

Espoon kaupunki myöntää luvan ja on valvova lupaviranomainen.

Luvituskeskustelut kestivät noin 6 kuukautta.

Samaan aikaan odotettiin päätöstä TEM:in investointituesta joka kesti kauemmin.

Ranskasta ja Saksasta saatiin 80-luvun alusta rakennetuista laitoksista hyvät sekä huonot esimerkit.

Suunnitelmat, laitevalinnat ja neuvottelut oli jo tehty joten valinnat, suunnitelmat ja hinnat olivat jo tiedossa.

2011 ensimmäiset ideat, 2014 loppuvuodesta hanke julkistettiin, 2015 tehtiin koeporaus ja 2016 alkaen varsinainen poraus.

Haastateltavalta kysyttiin myös mahdollisista teknisistä haasteista, jotka ovat ilmenneet työmaavaiheen aikana tähän mennessä. Haastateltava totesi porausvaiheen toteutuneen suunnitelmien mukaan, vaikka joitakin laiterikkoja tapahtui kesällä 2016. Sen jälkeen vasaran muotoilua muutettiin, jolloin työ edistyi aikataulun mukaisesti.

Poraustapa ja tekniikka on toteutunut suunnitelman mukaan.

Laiterikkoja on ollut porauskaluston kanssa.

Vasara maan alla ei kestänyt.

Koko viime oli kesä tahkoamista.

Tuli juttuja mitä kukaan ei osannut kuvitella.

Vasaran designia muutettiin toimittajan kanssa.

Tällä hetkellä edistytään aikataulun mukaan” ”todistaa, että poraustekniikan ja poraustavan valinta on oikea.

Haastateltavalta kysyttiin ovatko hankkeen kestävyys ja siihen liittyvät eettiset näkökannat aiheuttaneet haasteita ympäristön, talouden tai sosiaalisen ulottuvuuden osalta. Kysymystä täsmennettiin kohdentamalla

sitä tehtyihin tutkimuksiin tai arvioihin työllisyysvaikutuksista, siirryttäessä energiamuodosta toiseen. Kysymyksessä tiedusteltiin myös hankkeen mahdollisesti aiheuttamia ympäristövaikutuksia, saasteita, melua, tärinää, kuljetuksia tai muita vaikutuksia. Tämän lisäksi haastateltavalta tiedusteltiin taloudellisia vaikutuksia, kuten liiketoiminnan muutoksia, fossiilisen energiantuotannon vähenemistä tai erityisiä vaikutuksia sidosryhmille. Haastateltava totesi päästöjen olevan vähäisiä ja ne aiheutuvat ainoastaan tarvittavan sähkön, sekä lupaehtojen rajoissa olevien melu ja pölyhaittojen muodossa.

Ympäristöluvassa on maininta että ei aiheuta päästöjä toimiessaan.

Ainoastaan tarvittavan sähkön osalta.

Porausmelu ja pölyhaittoja, porausluvassa meluraja lähimmän rakennuksen seinälle joka on yleinen käytäntö kaupunkialueella.

Haastateltava vastasi seuraavaksi työllisyysvaikutuksia koskevaan kysymykseen ja kertoi muutoksista lähinnä työtehtävien sisällössä sekä jonkin asteisesta työn lisääntymisestä.

Alueella Fortumin neljä 40 MWh kaasukattilaa joiden käyttö vähenee, henkilökuntaa tarvitaan uudessa laitoksessa sama määrä joilla työtunnit lisäänty.

Fortumin osalta työtunnit vähenee koska vähemmän käyntejä kohteessa.

Haastateltava totesi fossiilisen energiantuotannon vähenevän noin kymmenesosan uuden tuotantolaitoksen ansiosta.

Vähentää venäläisen kaasun käyttöä.

Uusi laitos on Espoon kaukolämmön kivihilli ja kaasu peruskuormaa ajava laitos ja se leikkaa noin kymmenen

prosenttia molempien polttoaineiden vuotuisesta tarpeesta, eli siitä energiamäärästä jota vuoden aikana käytetään.

Haastateltava kertoi muiden riskien ja vaikutusten olevan erittäin epätodennäköisiä. Hän totesi seismisen toiminnan osalta parhaan tiedon löytyvän alan asiantuntijoilta.

Riski maanjärityksille on Euraasian laatan ja meidän Suomen kohdalla täysin turha pelko.

Faktat tähän saat esim. katsomalla luonnollisten maanjäritysten voimakkuuksia ja esiintymistiheyksiä Suomessa.

Ihminen voi ainoastaan indusoida maanjärityksiä, jotka olisivat muutenkin tulossa jossain kohtaa eli tavallaan kiihdyttää niiden tuloa.

Tähän voisi olla hyvä haastateltava geofysiikan laitoksen professori Ilmo Kukkonen ja geofyysikko professori Peter Malin Dallasista Yhdysvalloista.

Haastateltavalta kysyttiin hankkeen etenemisestä ja siihen liittyvistä suurimmista haasteista. Häneltä tiedusteltiin energian tuotannon käynnistämisen osalta työvaiheen haastavuudesta, energian jakelun ja varastoinnin haasteista, pilottilaitoksen tulevaisuudesta ja merkityksestä sekä mahdollisesta varasuunnitelmasta. Haastateltava kertoi porattavien kaivojen välisen virtauksen olevan suurimpia haasteita. Kaikki käytössä olevat laitteet ovat pääosin tavanomaisia ja maalämmön johtaminen kaukolämpöverkkoon on sinänsä yksinkertainen prosessi.

Porauksen jälkeen suurimpana haasteena on saada vesi virtaamaan kaivosta toiseen eli kaivojen välinen kommunikaatio.

Tarkoituksena on, että löydetään olemassa olevia rakoja ja stimuloidaan vesipaineella olemassa olevia rakovyöhykkeitä.

Maanpäälliset laitteet ovat olemassa olevaa tekniikkaa.

Laitteet on mitoitettu ja materiaalivalinnat on tehty laitoksen tarpeen mukaisesti.

Järjestelmässä on kaksi kiertoa jossa maalämpö johdetaan levylämmönvaihtimilla kaukolämpöverkkoon.

Haastateltava kertoi geotermisen energian mullistavan kaukolämmön tuotannon Suomessa ja vähentävän osaltaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

Sähkötuotannon kannalta Suomessa fysikaaliset ominaisuudet vaatisivat noin 12 - 15 kilometriä syvät kaivot, koska lämmön nousu noin 19 astetta kilometriltä ja lämpötilan tulisi olla vähintään 200 astetta.

Onnistuessaan tulee mullistamaan sen miten kaukolämpöä voi Suomessa tuottaa.

Kaukolämmön tuotanto on pohjautunut 60-luvulta alkaen jonkin polttamiselle.

Haastateltava vastasi mahdolliseen varasuunnitelmaan liittyvään kysymykseen, uskovansa hankkeen toteutuvan suunnitelmien mukaisesti ja sisältävän ainoastaan tiettyjä taloudellisia riskejä.

On vahva usko, että hanke toteutuu suunnitelman mukaan.

Tuleeko lämpöä niin paljon, että on taloudellisesti järkevää, linkittyy suoraan kaivojen väliseen kommunikaatioon.

Tässä yhteydessä haastateltava totesi, että porareikä on koko pituudeltaan putkitettu ja sen halkaisija on maanpinnalla 120 cm ja 7 kilometrin syvyydessä 21 cm.

4.1.3 Hankkeen sidosryhmien asiantuntijat

Geotermisen energian tuotantoa, siihen liittyviä haasteita ja tulevaisuuden näkymiä Suomessa selvitettiin lisäksi aiheen ja hankkeen sidosryhmien osalta. Liitteen 2 mukaiset teemakysymykset toimitettiin työ- ja elinkeinoministeriöön, Fortumin energian myyntiorganisaatioon, Espoon rakennusvalvontaviranomaisille ja Suomen lämpöpumppuyhdistys ry:lle. Opinnäytetyöprosessin aikana vastauksia saatiin sähköpostitse vain työ- ja elinkeinoministeriöstä ja Espoon rakennusvalvontaviranomaiselta.

Vastaaja oli erityisasiantuntija Kati Veijonen työ- ja elinkeinoministeriön energiaosastolta. Tässä yhteydessä vastaaja jakoi oma-aloitteisesti haasteet teknis-taloudellisiin ja ympäristöriskeihin, sekä antoi vastauksia kysymyksen muodossa.

Vastaajalta kysyttiin näkemystä geotermisen energian tuotantoon ja hyödyntämiseen liittyvistä haasteista Suomessa. Vastaaja totesi epäilevänsä tietyltä osin käytettävää tekniikkaa ja siitä mahdollisesti johtuvaa taloudellista tai ympäristöön liittyvää riskiä. Vastaaja kertoi kuitenkin luottavansa hankkeesta tehtyihin selvityksiin, niiden laajuuteen ja alan asiantuntijoihin.

Teknis-taloudelliset haasteet:

Tekniikkaa ei ole aiemmin käytetty Suomessa.

Pystytäänkö poraamaan suunniteltuun syvyyteen?

Pystytäänkö saamaan yhteys maan alla kahden porareiän välille?

Onko poraaminen hitaampaa kuin on ennakoitu?

Pystytäänkö energiaa tuottamaan suunniteltu määrä?

Ja näistä kaikista johtuen taloudellinen epävarmuus, eli saadaanko investointi toteutettua suunnitellulla budjetilla ja onko sen tuotto kuten arvioitu.

Ympäristöriskit:

Tälle syvyydelle ei olla koskaan aikaisemmin porattu eikä vesikiertoa yritetty tuossa syvyydessä.

Aiheutuuko tekniikan käytöstä ympäristöriskejä joihin ei ole voitu varautua?

Katson, että hankkeen toteuttaja on tehnyt erittäin laajat esiselvitykset ja valmistelut ja koonnut toteutuksen tueksi asiantuntijajoukon, jotta riskit voitaisiin minimoida.

Vastaajalta kysyttiin näkemystä geotermisen energian merkityksestä tulevaisuudesta Suomessa. Kati Veijonen totesi kyseisellä tekniikalla olevan kysyntää hankkeen onnistuessa. Hän painotti myös tekniikan vientipotentiaalia, soveltuvuutta tiheästi asutuille alueille ja uudella tekniikalla tuotetun uusiutuvan energian kehitystyön tärkeyttä.

Mikäli hanke pystytään toteuttamaan onnistuneesti tekniikan ja kannattavuuden osalta, uskon että sopivia käyttökohteita on vähintään kymmeniä.

Lisäksi vientipotentiaalia.

Geotermisen energia on uusiutuvaa energiaa ja koska maan pinnalla on laitteistosta varsin pieni osa, se sopisi hyvin tiheästi asutuille alueillekin.

Pidän erittäin tärkeänä että yritykset toteuttavat tällaisia hankkeita.

Kehitystä ei tapahdu, jos kaikki tekevät vain sitä, mitä on ennenkin tehty.

Seuraava vastaaja on lupainsinööri Seppo Tiensuu Espoon kaupungin rakennusvalvontakeskuksesta. Vastaajalta kysyttiin näkemystä geotermisen energian tuotantoon ja hyödyntämiseen liittyvistä haasteista Suomessa. Lupainsinööri Seppo Tiensuu kertoi rakennusvalvontaviranomaisten olevan huolissaan mahdollisesta määnjäritysvaarasta. Hän totesi myös tämän hetkisen lainsäädännön ja ohjeistuksen olevan riittämätöntä.

Mielestämme keskeisin asia on maanjäritysvaara erityisesti rakennettaessa tiheästi rakennetuille alueille, Sveitsin Baselissa vastaavan voimalaitoksen yhteydessä tapahtunut maanjäritys.

Rakennusvalvonnan kannalta valtiovallan lainsäädäntö ja ohjeistus ei tunne toistaiseksi tämän kaltaisia syvälämpökaivoja.

Tämän hetkinen ohjeistus ja lupakäytäntö koskee vain muutaman sadan metrin syvyyteen ulottuvia maalämpökaivoja.

Vastaajalta kysyttiin myös näkemystä geotermisen energian merkityksestä Suomessa tulevaisuudessa. Seppo Tiensuu totesi saasteettomalla energialla olevan valtavasti erilaisia hyödyntämiskohteita jos aikaisemmin mainitut riskit voidaan hallita.

Valtavasti mahdollisuuksia on olemassa hyödyntää maan alla syvällä olevaa saasteetonta energiaa, kunhan yllä mainitut riskit saadaan hallintaan.

4.1.4 Hydraulinen stimulointi ja maanjäristysriski

Teemahaastatteluissa esiin tulleet hydraulisen stimuloinnin aiheuttamat haasteet, eli ihmisen mahdollisesti aikaan saamat seismiset riskit, selvitettiin alan huippuasiantuntijoiden avustuksella. Haastattelu ja lausuntopyyntö aiheesta lähetettiin 6.3.2017 Helsingin yliopistoon, Geofysiikanlaitoksen professorille Ilmo T. Kukkoselle sekä Yhdysvalloissa asemapaikkaansa pitävälle, Saksan Geotieteiden keskuksen (GFZ German Research Centre For Geosciences) professorille, Peter Eric Malinille.

Molemmat asiantuntijat lähettivät ystävälliset vastauksensa siten, että professori Peter Eric Malin toimitti St1 Deep Heat Oy:n pilottilaitokseen tehtyihin selvityksiin liittyvät raportit, jotka huomioidaan tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa, sekä seuraavan professori Ilmo T. Kukkonen antaman tarkastelun, hankkeen perustamisvaiheen yhteydessä suoritettavasta hydraulisesta stimuloinnista ja mahdollisesti ilmenevästä seismisyydestä.

Professori Ilmo T. Kukkonen kertoi lausunnossaan, että hydraulista stimulointia suoritettaessa seismisiä tapahtumia syntyy aina. Kun stimulointi suoritetaan hallitusti, niin kyseisistä seismisistä tapahtumista ei ole haittaa ihmisille, eikä rakennuksille. Tällöin ponnistus tehdään jo olemassa olevan rakovyöhykkeen kohdalla. Hän totesi kuitenkin, että Baselin tapauksessa käytettiin jatkuvaa painetta, joka johti seismisiin tapahtumiin ja havaittaviin järjestyksiin. Jos käytettävä paine ja pumppaus ovat syklisiä niin stimulointi aiheuttaa vähemmän suuria seismisiä tapahtumia.

Professori Ilmo T. Kukkonen totesi lausunnossaan, että hallittu stimulointi edellyttää kallioperän jännitystilän tuntemista ja tietoa kivilajien lujuusominaisuuksista. Hänen mukaansa stimulointia voidaan seurata seismisellä havaintoverkolla, jolloin tapahtumat ja niiden suunta voidaan kartoittaa. Hallitun stimuloinnin avulla voidaan siten kartoittaa rakojen avautumista sekä niiden suuntaa, jolloin yhteys syväkaivojen välillä

saadaan aikaiseksi, kun toisen syväkaivon suuntaus suunnitellaan näiden havaintojen perusteella. Hän kertoi, että hallittu stimulointi parantaa parhaimmillaan kallion vedenjohtavuutta merkittävästi, vaikka virtaus ei ole välttämättä vakio paikasta toiseen.

Geotermisen EGS-hankkeen yhteydessä, indusoitua seismisyyttä voi syntyä, kun kallion vedenjohtavuutta parannetaan pumppaamalla vettä korkealla paineella kallioon. Yleensä ehjään kiteiseen kiveen ei yritetä luoda vedenjohtavuutta, vaan ponnistus tehdään jo ennestään olemassa olevan rakovyöhykkeen kohdalla. Jos yritetään stimuloida ehjää kalliota, on ylitettävä ehjän kallion murtolujuus. Se on noin 3 kertaa suurempi kuin olemassa olevan rakoilun stimulointiin tarvittava kriittinen paine.

Jos hydraulista stimulointia käytetään, seismisiä tapahtumia syntyy. Sitä hydraulinen stimulointi (murtaminen) on. Seismiset tapahtumat ovat hallitussa stimuloinnissa kuitenkin niin pieniä, ettei niistä ole haittaa ihmisille eikä rakennuksille. Jännitystilan alaisessa kalliossa hydraulinen ylipaine aiheuttaa pienintä pääjännityssuuntaa vastaan kohtisuorien rakojen avautumista. Kun rako avautuu, se voi myös liikahtaa ja liikahduksen jälkeen raon avauma jää suuremmaksi. Tähän pyritään niin, ettei stimulointi aiheuta liian suuria yksittäisiä liikahduksia.

Se kuinka stimulointi tehdään hallitusti, on mielenkiintoinen kysymys. Baselin tapauksessa käytettiin jatkuvaa ylipainetta ja pumppausta muodostumaan, mikä johti seismisten tapahtumien kasvuun ja muutamiin selvästi havaittaviin järjestyksiin. Stimulointi aiheuttaa kuitenkin vähemmän suuria tapahtumia, jos pumppaus ja paine ovat syklisiä. Ts., kallioon annetaan fluidipulssi jonka annetaan levitä muodostumaan ennen kuin annetaan uusi pulssi.

Hydraulisen stimuloinnin hallitseminen edellyttää tietoja kallioperän jännitystilasta (suuntaus, suuruus) ja tietoja kivilajien ja rakojen lujuusominaisuuksista. Jännitystilän suunta ja pääkomponenttien suhteet määräävät mm. sen, minkä suuntaisia rakoa ylipäänsä voidaan stimuloida (pysty vs. vaakaraot). Kun stimuloinnin aikana seurataan seismisellä havaintoverkolla (seismisillä asemilla) missä tapahtumia esiintyy, voidaan kartoittaa mihin suuntaan ja missä stimulointi avaa rakojen. Sen perusteella voidaan suunnitella toisen syvän reiän suuntaus.

Probleemaan liittyy vedenjohtavuuden kannalta myös se, että vedenjohtavuus ei ole kalliiossa, eikä rakovyöhykkeissä vakio paikasta toiseen. Se vaihtelee ja on yleensä log-normaalisti jakautunut. Tämä aiheuttaa virtauksen kanavoitumista ja heterogeenisyyttä. Käytännössä stimulointi parantaa vedenjohtavuutta hyvässä tilanteessa 1-2 suuruusluokkaa.

4.2 Yhteenvetoanalyysi

Kansainväliset päästörajoitukset ja ympäristön suojeluun liittyvät sopimukset tiukentavat energiantuotantoon liittyviä sääntöjä. Fossiilisiin polttoaineisiin perustuva energiatalous on vaihtumassa hitaasti, mutta varmasti kohti uusiutuviin energianlähteisiin perustuvaa energiataloutta. Ilmastonmuutos, suurkaupunkien ilmansaasteet, terveydelliset riskit ja julkinen paine suorastaan pakottavat energiayhtiöt huomioimaan tämän kehityksen. Uusiutuviin energianlähteisiin liittyy myös uusi mahdollisuus kannattavalle liiketoiminnalle. Monet energiayhtiöt ovatkin kehittäneet niihin liittyviä menetelmiä ja järjestelmiä jo useiden vuosien ajan.

St1 on edelläkävijä uusiutuvien energianlähteiden ja biopolttoaineiden kehittämisessä sekä hyödyntämisessä Suomessa, Ruotsissa sekä Norjassa. St1 tuottaa jo nyt merkittäviä määriä biopolttoaineita ja teollista tuulivoimaa pohjoismaissa. St 1 energiakatsauksesta voi todeta

pohjoismaiden energiatalouteen liittyvät faktat ja niiden perusteella saa käsityksen myös energiantuotannon tulevaisuudesta alueella.

Suomi seuraa monessa asiassa Ruotsia ja on varsin selvää, että kaukolämmön energiantuotannon osalta näissä maissa tullaan menettelemään samansuuntaisesti. Molemmat maat joutuvat ostamaan energiantuotantoon liittyviä raaka-aineita, joten on myös aivan selvää, että uusille omavaraisille energiantuotantotavoille on kysyntää. Tämän johdosta geoterminen lämpöenergiantuotanto kiinnostaa sen hyödyntäjiä, tuottajia ja energiataloudesta vastaavia sidosryhmiä.

Edellisessä alaluvussa esitettyjen kaukolämmön tuotantotapojen ja tuotantomäärien perusteella, voidaan arvioida geotermisen energian tulevaisuuden näkymiä Suomessa ja Ruotsissa. Niiden perusteella voi päätellä, teollisesti tuotetun geotermisen energian syrjäyttävän osittain fossiiliset polttoaineet Suomessa, vuoteen 2030 mennessä. Sen puolesta puhuvat myös uusien tuotantomenetelmien kehittäminen, alan kasvavat investoinnit ja työllisyysnäkymät sekä alan tutkimuksen lisääntyminen. Asiantuntijat pitävät geotermistä energiaa myös varsin kilpailukykyisenä vaihtoehtona juuri kaukolämmön energianlähteenä.

EGS-voimalan pilottihankkeesta vastaava, St1 Deep Heat Oy:n tuotantojohtaja Tero Saarno piti geotermisen energian käyttömahdollisuuksia Suomessa lupaavina. Hänen mukaansa hanke tulee mullistamaan sen, miten kaukolämpöä voi Suomessa tuottaa tulevaisuudessa. Väite on varsin uskottava koska kaukolämmön tuotanto on perustunut Suomessa laajasti ja pitkään, vuosikymmenien ajan, erilaisten fossiilisten polttoaineiden polttamiseen.

Geotermisen pilottivoimalahankkeen sidosryhmien asiantuntijat työ ja elinkeinoministeriöstä sekä Espoon kaupungin rakennusvalvontakeskuksesta katsoivat, että jos pilottihanke toteutuu tekniikan ja kannattavuuden osalta onnistuneesti sekä tiedossa olevat riskit pystytään hallitsemaan, niin geotermisen energian hyödyntämisessä on valtavasti erilaisia mahdollisuuksia. Suomessa tällä hetkellä käytössä

olevien kaukolämpöverkkojen lukumäärä on varsin suuri, joten järkevää käyttöpotentiaalia on ilmeisen riittävästi.

Uusiutuvan energian tuotannolle on kasvavaa kysyntää ja viranomaiset kannattavat innovatiivisia energiahankkeita. Tämä johtuu paljolti siitä, että uusille, hyväksi havaituille, taloudellisille, kestäville ja hyödyllisille menetelmille on kysyntää myös ulkomailla. Vientituotteena geotermisen energian tuotantojärjestelmät sopivat hyvin myös tiheästi asutuille alueille koska pääosa laitteistosta sijaitsee maan alla.

Hydraulisen stimuloinnin ja seismisen toiminnan osalta, esitettiin laajasti erilaisiin tutkimus ja seuranta järjestelmiin sekä työprosesseihin liittyviä tietoja ja kuvauksia. Kallioperän tutkimuksella kivilajien lujuusominaisuuksista, jännitystilojen suunnista ja maaperän pääkomponenttien suhteista, voidaan päätellä stimuloinnin oikeansuuntainen kohdistaminen sekä samanaikaisesti seismisillä havaintoasemilla sen vaikutukset syvällä maan kuoressa. Työvaiheesta saatujen asiantuntijalausuntojen ja raporttien perusteella voidaan päätellä, että stimulointi ei tapahdu umpimähkäisesti, vaan sitä voidaan seurata ja hallita hyvinkin tarkasti maan pinnalta käsin. Tämän perusteella voidaan päätellä myös pilottihankkeen stimulointiprosessin toteutuvan suunnitellusti ja geotermisen energian teollisen tuotannon alkavan Suomessa suunnitelmien mukaisesti.

4.3 Työn tulokset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli nostaa esiin alaan liittyviä haasteita ja käyttömahdollisuuksia yleisellä tasolla ja erityisesti uuteen teolliseen tuotantoon liittyen. Tästä johtuen, tutkimusongelmaksi muodostuivat haasteet teollisen mittakaavan geotermisen energian tuotannossa ja energiantuotantomenetelmän tulevaisuuden näkymät Suomessa.

Teoreettisen viitekehyksen kartoittaminen, teoriaan liittyvien kysymysten ja vastausten löytyminen, käsitteiden yhdenmukaisuus, teemahaastattelut,

asiantuntija lausunnot, työkuvaukset ja raportit, sekä niiden analysointi ja tehtyjen päätelmien johdonmukaisuus antavat aiheen päätellä, että opinnäytetyön edetessä saatiin riittävät vastaukset asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Opinnäytetyön tuloksena voi näin ollen esittää, teollisesti tuotetun geotermisen energian syrjäyttävän osittain fossiiliset polttoaineet Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Uusiutuvan energian tuotannolle on kasvavaa kysyntää ja viranomaiset kannattavat innovatiivisia energiahankkeita. Analyysin perusteella voidaan päätellä myös pilottihankkeen stimulointiprosessin toteutuvan suunnitellusti ja geotermisen energian tuotannon alkavan Suomessa suunnitelmien mukaisesti.

4.4 Tulosten luotettavuus

Opinnäytetyössä käsitellyyn energiantuotantomenetelmään ja pilottihankkeeseen liittyvät, käytävissä olevat tiedot ovat kohtuullisen rajalliset ja ne perustuvat osin arvioihin. Siitä huolimatta voidaan tässä työssä saatuihin tuloksiin ja päätelmiin päästä toisistaan poikkeavilla lähestymistavoilla, kun arviot ja aineistot hankitaan yhtä asiantuntevista ja pätevistä lähteistä. Teoreettisen ja empiirisen tiedon välillä ei ole havaittu ristiriitoja ja käsitteet ovat olleet yhdenmukaiset. Tulosten luotettavuuden puolesta kertoo myös se, että tietoja hankittiin ja työprosesseja kuvattiin jo ulkomailla toiminnassa olevista laitoksista.

4.5 Tulosten hyödynnettävyys ja jatkotutkimus

Tässä opinnäytetyössä kerätyt tiedot, asiantuntijalausunnot ja työvaiheisiin liittyvät kuvaukset luovat pohjaa jatkotutkimukselle sekä alan kehitykselle Suomessa. Maamme ensimmäisen EGS-voimalan pilottihankkeesta saadut kokemukset edistävät vastaavien hankkeiden toteuttamista muualla maassamme. Kansalaisten, päättäjien ja viranomaisten positiiviset käsitykset geotermisen energian tuotantotavasta ja saatavan energian ympäristöystävällisyydestä ovat omiaan lisäämään sen

tuotantomääriä ja vastaavasti vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

Jatkotutkimuksena tähän aiheeseen voi olla valmistuvan pilottivomalan koko hankkeen tai siihen liittyvän osan tutkimus. Tekniseltä kannalta katsottuna, kiinnostavia aiheita ovat poraus- ja stimulointiprosessi sekä järjestelmän liittäminen osaksi kaukolämpöverkkoa. Tämän lisäksi uuden teollisen tuotantomenetelmän osalta kiinnostavat jatkotutkimuskohteet ovat esimerkiksi hankkeeseen liittyvät rahoitusjärjestelyt, lupaprosessit, viranomaisyhteistyö ja koko hankkeen hallinto.

5 YHTEENVETO

Geoterminen energia tulee korvaamaan käytännössä pääosin fossiiliset polttoaineet kaukolämmön energianlähteenä Suomessa. Tämän opinnäytetyön kuluessa kävi varsin selväksi, tarve tutkia ja pilotoida uusia energiantuotantomenetelmiä. Tutkimuksen aikana ilmeni myös seikkoja, kuten suomalaisten toimittajien kokemusten puute ja aikaisempien kansallisten alan hankkeiden puuttuminen kokonaan, jotka ovat omiaan aiheuttamaan haasteita tämän kaltaisiin projekteihin liittyvissä lupakäytännöissä.

Koska Suomi on ja haluaa myös pysyä innovatiivisten maiden kärkijoukossa, tulee geotermisen energian tuotantoa pyrkiä edistämään kansallisena kärkihankkeena. Tämä tarkoittaa käytännössä positiivista suhtautumista uuteen tuotantomenetelmään ja hankkeisiin liittyvien toimenpiteiden sujuvoittamista. Geotermisen energian tuotantoon liittyvät sidosryhmät, kuten valtion ja kunnan viranomaiset, voivat edesauttaa alan kehittymistä edelleen rakentavalla suhtautumisella ja kitkattomalla yhteistoiminnalla tulevaisuuden hankkeissa.

Kuten aikaisemmin todettiin, alan osaaminen, innovaatiot ja tuotantovälineet voivat kehittyä menestyväksi vientituotteeksi. Tuloksissa kerrottiin myös järjestelmän soveltuvuudesta tiheään asutuille alueille, joita maapallolta löytyy lisääntyvässä määrin. Järjestelmien ja työprosessien kehittäminen sekä tutkimus vaativat suuria pääomia, joten hankkeiden rahoituksen varmistaminen on tärkeää. Valtiovalta ja päätöksentekijät voivat varmistaa oikeilla toimilla geotermisen energiantuotannon tulevaisuuden Suomessa.

LÄHTEET

Kirjalliset lähteet

Abdullah, M. O. 2013. Applied Energy. An Introduction. Florida: CRC Press.

Boyle, G. (toim.) 2013. Renewable Energy. Power For a Sustainable Future. Oxford: Oxford University Press.

Ehrlich, R. 2013. Renewable Energy. A First Course. Florida: CRC Press.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 1997. Tutki ja kirjoita. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Malin, P. E. 2016a. Simple Probabilistic Hazard Analysis – Otaniemi Microearthquakes A mini workshop for interested civic leaders. Peter Eric Malinin 2.12.2016 Aalto yliopiston kampuksella johtaman työpajan raportti.

Malin, P. E. 2016b. St1's Seismic Microscope: Looking beneath Otaniemi for keys to safe and successful geothermal energy development. Dallas: ASIR.

Tester, J.W., Drake, E.M., Driscoll, M.J., Golay, M.W. & Peters, W.A. 2012. Sustainable Energy. Choosing Among Options. Massachusetts: The MIT Press.

Sähköiset lähteet

Energiateollisuus ry. 2016. Energiantuotanto [viitattu 1.12.2016].
Saatavissa: http://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto

Fortum. 2014. Lehdistöiedote 28.11.2014 [viitattu 6.4.2017]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-ja-st1-aloittavat-geotermisen-lammontuotannon-pilottihankkeen-espoossa.aspx>

GENI. 2016. Hottest known geothermal regions [viitattu 25.4.2017].
Saatavissa: <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/geothermal.shtml>

GeoDH. 2017. Geothermal District Heating [viitattu 1.2.2017]. Saatavissa: <http://geodh.eu/>

Helsingin Sanomat. 2016. Espoossa yritetään valjastaa käyttöön maapallon alkuperäinen energia [viitattu 21.5.2017]. Saatavissa: <http://www.maalampofoorumi.fi/index.php?topic=5852.0>

Jyväskylän yliopisto. 2013. Tutkimuksen toteuttaminen [viitattu 20.10.2016]. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/tutkimusprosessi/tutkimuksen-toteuttaminen>

Ormat Technologies. 2013. Geothermal EGS Demonstration [viitattu 25.4.2017]. Saatavissa: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/photos/geothermal-egs-demonstration-photo-library>

Renor. 2016. Ympäristö [viitattu 2.4.2017]. Saatavissa: <http://www.renor.fi/renor-oy/ymparisto/>

St1 Nordic Oy. 2016. St1 Nordic Energy Outlook [viitattu 31.10.2016]. Saatavissa: http://www.st1.fi/files/16209/ST1_nordic_energy_outlook.pdf

Suomen teollisuusopas. 2017. Energian lähteet [viitattu 3.4.2017]. Saatavissa: http://www.teollisuusopas.com/yleistietoa/energiateollisuus/energian_lahteet/

VTT. 2003. Energian varastoinnin nykytila [viitattu 10.12.2016]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>

Haastattelut

Saarno, T. 2016. St1 Deep Heat Oy:n tuotantojohtaja Tero Saarnon haastattelu 9.11.2016.

LIITTEET

Liite 1

Opinnäytetyön nimi:

Geotermisen primäärienergian hyödyntäminen ja käyttömahdollisuudet Suomessa

Markku Vainio, Lahden ammattikorkeakoulu, energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Asiantuntijan haastattelu 9.11.2016

Tero Saarno

Tuotantojohtaja

St1 Deep Heat Oy

+358 50 373 1923

Purotie 1/PL 100, 00381 Helsinki

Alustava haastattelurunko:

Pilottihanke

Mitä olennaisia haasteita oli ennen hankkeen työmaavaiheen aloitusta?

- lainsäädäntö, viranomaiset, luvat, rahoitus, toteutussuunnitelma, tekniikka tms.

Mitä olennaisia teknisiä haasteita on ollut työmaavaiheen aikana tähän mennessä?

Ovatko hankkeen kestävyys ja siihen liittyvät eettiset näkökannat aiheuttaneet haasteita ympäristön, talouden tai sosiaalisen ulottuvuuden osalta?

- onko tutkittu tai arvioitu esim. työllisyysvaikutuksia siirryttäessä energiamuodosta toiseen?
- aiheuttaako ympäristövaikutuksia, saasteita, melua, tärinää, kuljetuksia tai muita?
- aiheuttaako taloudellisia vaikutuksia kuten liiketoiminnan muutoksia, fossiilisen energiantuotannon vähenemistä tai erityisiä muutoksia sidosryhmille?

Hankkeen eteneminen:

- mitkä ovat suurimmat edessä olevat haasteet?
- mikä on energian tuotannon käynnistämisen osalta haastavin työvaihe?
- mikä on energian jakelun (tai varastoinnin) osalta haastavinta?
- mikä on laitoksen tulevaisuus ja merkitys?
- onko olemassa plan B?

Geotermisen energia Suomessa

Mitkä ovat nyt tiedossa olevat haasteet tulevaisuudessa Suomessa?

- tekniset
- ympäristövaikutukset
- taloudelliset
- sosiaaliset
- eettiset
- asenteelliset
- poliittiset

Mikä on asiantuntijan näkemys geotermisen energiantuotannon kehityksestä Suomessa?

Mitkä ovat vaikutukset energiapolitiikkaan, energiatalouteen ja verotukseen?

Liite 2

Teemakysymysliite 6.1.2017

Opinnäytetyön nimi:

Geotermisen primäärienergian hyödyntäminen ja käyttömahdollisuudet Suomessa

Markku Vainio, Lahden ammattikorkeakoulu, energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Teemakysymykset on lähetetty sidosryhmien edustajille sähköpostitse.

- 1. Voisitteko kertoa oman näkemyksenne geotermisen energian tuotantoon ja hyödyntämiseen liittyvistä haasteista Suomessa?**
- 2. Voisitteko kertoa oman näkemyksenne geotermisen energian merkityksestä tulevaisuudesta Suomessa?**

Vastaajan nimi, asema ja työpaikka: