

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT

LUT School of Energy Systems

Bioenergian laboratorio

LUT Scientific and Expertise Publications

Raportit ja selvitykset – Reports

129

Mika Laihanen, Antti Karhunen, Jarno Föhr & Tapio Ranta

Kaukolämmön tulevaisuuden ratkaisut

 LUT
University

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
Bioenergian laboratorio



LUT Scientific and Expertise Publications
Raportit ja selvitykset – Reports 129

Mika Laihanen, Antti Karhunen, Jarno Föhr & Tapio Ranta

Kaukolämmön tulevaisuuden ratkaisut



Kuva: Kimmo Iso-Tuisku



ISBN 978-952-412-068-5
ISSN-L 2243-3384
ISSN 2243-3384

Lappeenranta 2024

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



ALKUSANAT

Tämä julkaisu on Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston LUT:n tuottama loppuraportti tutkimushankkeesta: “Kaukolämmön tulevaisuuden ratkaisut”. Hankkeen tavoitteena kartoittaa ja analysoida tulevaisuuden kaukolämmön tuotannon ei-polttavia teknologioita.

Hanke oli LUT-yliopiston Bioenergian laboratorion tutkimusryhmän toteuttama tutkimushanke. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi prof. Tapio Ranta ja hankkeen toteutukseen osallistuivat projektipäällikkö DI Mika Laihanen, projektitutkija DI Antti Karhunen ja tutkijatohtori TkT Jarno Föhr.

Hankkeen toteutusaika oli 1.2.2022–31.12.2023. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Etelä-Savon Energia Oy ja Suur-Savon Energiasäätiö. Tutkimustyön toteuttajat kiittävät hankkeen rahoittajia työn mahdollistamisesta sekä ohjausryhmän jäseniä asiantuntevasta työpanoksesta ja aktiivisesta yhteistyöstä.

Lappeenrannassa, maaliskuu 2024

Tekijät

TIIVISTELMÄ

Tekijät: Laihanen Mika, Karhunen Antti, Föhr Jarno & Ranta Tapio	
Otsikko: Kaukolämmön tulevaisuuden ratkaisut	
Vuosi: 2024	Paikka: Lappeenranta
LUT Scientific and Expertise Publications Raportit ja selvitykset – Reports 129 68 sivua, 28 kuvaa, 4 taulukkoa	
Hakusanat: kaukolämmitys, ei-polttavat teknologiat, sekundäärilämpö, P2X, biopolttoaineet	
<p>Kaukolämpö on Suomen yleisin rakennusten lämmitysmuoto. Hankkeen tavoitteena oli kartoittaa ja analysoida vaihtoehtoisia ei-polttavia teknologioita kaukolämmön tuottamiseksi tulevaisuudessa. Kansainväliset ja kansalliset hiilineutraalisuustavoitteet sekä fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu pakottavat kaukolämmöntuottajat etsimään uusia tuotantotapoja, jotta tulevaisuudessa kuluttajille voidaan toimittaa lämpöä kilpailukykyisesti olemassa olevaa lämmönjakeluinfrastruktuuria hyödyntäen.</p> <p>Hankkeen toteutuksessa case-esimerkiksi valittiin Etelä-Savon Energia Oy:n kaukolämmön tuotanto Pursialan voimalaitoksella Mikkelissä. Paikallinen esimerkkikohte luo rajaukset vaihtoehtoisen ei-polttavan teknologian käytettävyyden arvioitiin. Kaukolämmön tuotannon vaihtoehtoisten ei-polttavien teknologioiden ennakoanalyysin perusteella tarkempaan selvitykseen valittiin seuraavat menetelmät: lämpöpumput ja sekundäärilämpö, sähkökattilat ja sähkön kysyntäjousto, geotermiinen kaukolämmön tuotanto, vetytalous ja pienydinvoima. Em. vaihtoehtoisista ei-polttavista kaukolämmön teknologioista selvitettiin toimintaperiaate, teknologinen kehitysaste, vaatimukset ja rajaukset sekä referenssikohteita.</p> <p>Hankkeen tulosten ja referenssikohteiden analysoinnin perusteella kaikissa vaihtoehtoisissa ei-polttavissa kaukolämmön tuotantoteknologioissa on omat</p>	

mahdollisuutensa ja haasteensa. Lämpöpumpputeknologian osalta esimerkkikohteen ympäristöstä puuttuu riittävän iso sekundäärilämmön lähde ja tätä teknologiaa tullaan hyödyntämään, jos alueelle tulee uusia investointeja esim. datakeskuksiin. Sähkötilaan tehtiin investointi hankkeen toteutuksen aikana ja sitä tullaan hyödyntämään yhdessä lämpökäivon kanssa, kun sähkön pörssihinta on alhainen. Geotermisen kaukolämmön osalta kohdealue ei sijaitse optimaalisella alueella syvien lämpökäivöjen osalta. Referenssien perusteella tulevaisuudessa keskitytään enemmän keskisyviin lämpökäivöihin, jolloin niiden yhteyteen tarvitaan lämpöpumput. Vedyn tuotannon yhteydessä syntyy lämpöä, jota voidaan hyödyntää kaukolämmön tuotannossa. Suomessa on useita hankkeita teknistaloudellisessa selvityksessä ja toteutuessaan ne luovat mahdollisuuden tuottaa kaukolämpöä ei-polttavalla teknologialla. Pienydinvoima on tulevaisuuden ratkaisu kaukolämmön tuotantoon. Erityisesti laitosten luvitusprosessit vaativat uudenlaista tarkastelua, jotta modulaaristen pienreaktoreiden sarjatuotanto olisi kustannustehokasta.

Tulevaisuudessa kaukolämmön tuotanto tulee monipuolistumaan ja erilaisia hybridiratkaisuja tullaan hyödyntämään laajemmin. Puupolttoaineiden käyttö tuo huoltovarmuutta kaukolämmön tuotantoon ja tulee säilymään lähivuosikymmeninä uusien vaihtoehtojen rinnalla. Digitalisaation mahdollisuudet ja erilaiset muutokset tulevat ulottumaan kaukolämmön tuotantoon, jakeluun ja käyttöön.

ABSTRACT

Authors: Laihanen Mika, Karhunen Antti, Föhr Jarno & Ranta Tapio	
Title: Future solutions of producing district heat	
Year: 2024	Place: Lappeenranta
LUT Scientific and Expertise Publications Raportit ja selvitykset – Reports 129 68 pages, 28 figures, 4 tables	
Keywords: district heating, non-combustible technologies, secondary heat, P2X, biomass fuels	
<p>District heating has the largest market share of heating premises in Finland. The aim of study is to analyse non-combustible technologies for future district heat production. The international and national carbon neutrality targets and rising prices of fossil fuels force district heat producers to study alternative production methods.</p> <p>Pursiala power plant located in the city of Mikkeli was selected as a reference boiler. This reference brings up the possibilities and challenges of new alternative non-combustible technologies. The selected and analysed non-combustible district heat production technologies were heat pumps and secondary heat, electric boiler, geothermal district heat production, power to X technology and Small Modular Reactors (SMR). The principles, level of development, requirements, limitations, and references of technologies were analysed.</p> <p>Based on the results, all alternative non-combustion production technologies have their own possibilities and challenges. Secondary heat source is not available in the reference area, and for utilisation of this technology new investments are needed, i.e. datacentres. There is a new investment for electric boiler, and it will be used for heat production when the price of electricity is low. The geothermal heat production could be possible from medium-deep boreholes together with heat pumps. Many hydrogen production studies are in-progress, and those could be very feasible options for</p>	

district heat production. The SMR reactors are solutions for the future but need suitable legislation and regulations.

In the future hybrid production in district heating will be utilised more widely. The use of wood fuels increased supply security of district heat production. It seems that the wood fuels will be part of future fuel mix.

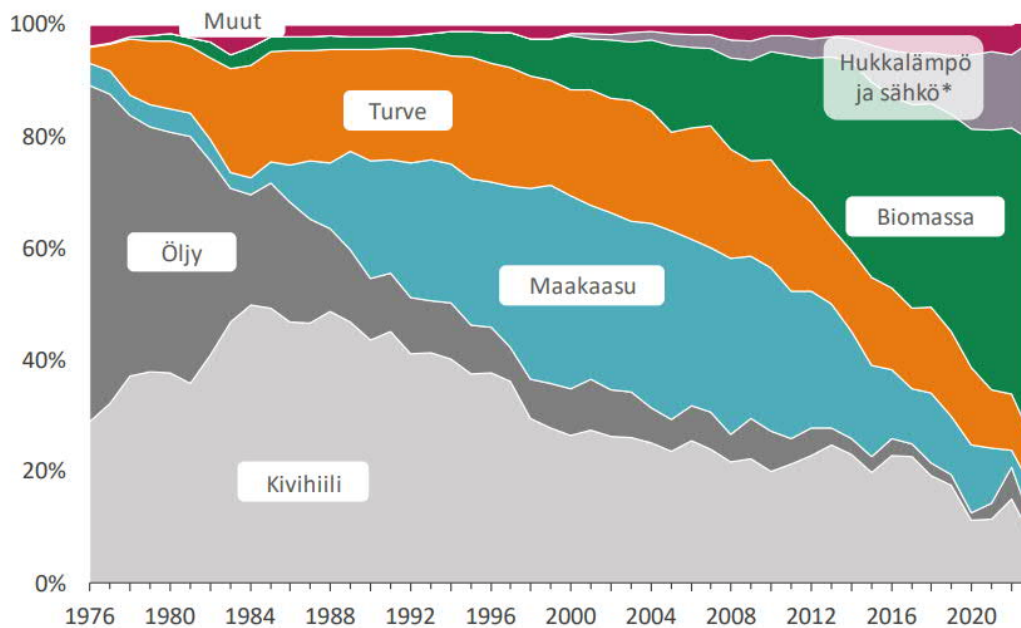
SISÄLLYSLUETTELO

1	KAUKOLÄMMÖN TULEVAISUUDEN RATKAISUT -HANKE	8
1.1	Hankkeen tausta	8
1.2	Hankkeen tavoitteet ja kohderyhmä	9
1.3	Hankkeen toteutus	9
2	KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO- JA JAKELUJÄRJESTELMÄ.....	12
2.1	Johdanto	12
2.2	Referenssikohteen polttoaineen käyttö ja lämmön tuotanto	12
3	VAIHTOEHTOISET EI-POLTTAVAT TEKNOLOGIAT KAUKOLÄMMÖN TUOTANNOSSA.....	15
3.1	Johdanto	15
3.2	Lämpöpumput ja sekundäärilämmönlähteet	16
3.2.1	Teknologia	16
3.2.2	Referenssikohteita	19
3.3	Sähkökattilat ja sähkön kysyntäjousto.....	22
3.3.1	Teknologia	22
3.3.2	Referenssikohteita	27
3.4	Geoterminen kaukolämmön tuotanto	33
3.4.1	Teknologia	33
3.4.2	Referenssikohteita	37
3.5	Vetytalous	39
3.5.1	Teknologia	39
3.5.2	Referenssikohteita	43
3.6	Modulaariset pienydinvoimalat kaukolämmön tuotannossa.....	47
3.6.1	Teknologia	47
3.6.2	Referenssikohteita	49
4	VAIHTOEHTOISTEN EI-POLTTAVIEN TUOTANTOTEKNOLOGIOIDEN SOVELTUVUUS	54
4.1	Johdanto	54
4.2	Lämpöpumput ja sekundäärilämmönlähteet	56
4.3	Sähkökattilat ja sähkön kysyntäjousto.....	57
4.4	Geoterminen kaukolämmön tuotanto	57
4.5	Vetytalous	58
4.6	Modulaariset pienydinvoimalat kaukolämmön tuotannossa.....	60
4.7	Yhteenveto soveltuvuudesta ja käytettävyydestä	61
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
	LÄHDELUETTELO	65

1 KAUKOLÄMMÖN TULEVAISUUDEN RATKAISUT -HANKE

1.1 Hankkeen tausta

Kaukolämpö on Suomen yleisin rakennusten lämmitysmuoto ja sen osuus asuin- ja palvelurakennusten lämmitysmuodoista oli 45% vuonna 2021. Perinteisesti kaukolämmön tuotannossa on hyödynnetty fossiilisia polttoaineita, mutta viime vuosina niitä on korvattu erityisesti biomassalla (Kuva 1.) Vuonna 2023 tuotettu kaukolämmön määrä oli 37,3 TWh, josta biomassa osuus oli 53%. Kuvassa 1 on esitetty kaukolämmön tuotannon polttoaineiden käytön kehittyminen. (Energiateollisuus 2024).



Kuva 1. Kaukolämmön tuotannon polttoaineet 1976–2023, *sisältää hukkalämmöt, lämpöpumput ja sähkökattilat (Energiateollisuus ry 2024)

Viime vuosina kaukolämmön tuotannon energialähteet ovat monipuolistuneet, kun uusia teknologioita on otettu laajemmin käyttöön. Tässä hankkeessa kartoitetaan ratkaisuja yhdyskuntien kaukolämmön tuottamiseksi uusiutuvilla ei-polttavilla

teknologioilla. Kansainväliset ja kansalliset hiilineutraalisuustavoitteet sekä fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu pakottavat kaukolämmöntuottajia etsimään uusia tuotantotapoja, jotta myös tulevaisuudessa kuluttajille voidaan toimittaa lämpöä kilpailukykyisesti olemassa olevaa lämmönjakeluinfrastruktuuria hyödyntäen. Suomessa erityisesti polttoturpeen, maakaasun ja kivihiilen käytön vähentyminen on luonut mahdollisuuksia uusille ratkaisuille.

Uusien kaukolämmön tuotantomuotojen ja hankkeen tarve on tunnistettu kansallisten hiilineutraalisuustavoitteiden analysoinnin yhteydessä. Hiilivapaa Etelä-Savo-hankkeen tulokset osoittivat, että maakunnan kaukolämmöntuotannossa on tulevaisuudessa hyödynnettävä enemmän uusiutuvia energialähteitä, jotta ilmastotavoitteet saavutettaisiin. Hankkeen toteuttaja on osallistunut Etelä-Savon ilmastotyöryhmän toimintaan ja JTF-suunnitelmien valmisteluun. Hankeideasta, hankkeen tarpeellisuudesta ja toteutuksesta keskusteltiin Etelä-Savon maakuntaliiton ja Etelä-Savon Energia Oy:n edustajien kanssa useamman kerran talven 2021–2022 aikana.

1.2 Hankkeen tavoitteet ja kohderyhmä

Hankkeen tavoitteena oli kartoittaa ja analysoida vaihtoehtoisten ei-polttavien teknologioiden soveltuvuutta ja käytettävyyttä kaukolämmön tuotannossa tulevaisuudessa. Hankkeen kohdealueeksi valittiin Mikkelin kaukolämpöverkon alue. Hankkeen kohderyhminä ovat Etelä-Savon kaukolämmön tuottajat (energiayhtiöt), viranomaiset, kuntien päättäjät sekä tutkimus- ja kehitysorganisaatiot. Hankkeen välillisenä kohderyhmänä ovat myös kaukolämmön kuluttajat.

1.3 Hankkeen toteutus

Kaukolämmön tulevaisuuden ratkaisut -hankkeen toteutuksessa tehtiin teknologiakartoitus ei-polttavista teknologioista kaukolämmön tuotantoon. Hankkeen toteutus oli jaettu neljään eri toimenpideosioon:

1. Nykyisen kaukolämmön tuotanto- ja jakelujärjestelmän analysointi

Osatehtävästä saatiin lähtötietoja ja raja-arvoja vaihtoehtoisten menetelmien määrittämiseen ja analysointiin. Todellisen esimerkin avulla voitiin arvioida uusien vaihtoehtojen soveltuvuutta kattavammin.

2. Vaihtoehtoisten ei-polttavien teknologioiden kartoitus

Osatehtävän toteutuksessa selvitettiin vaihtoehtoisia ei-polttavat kaukolämmön tuotantomuotoja, joita olivat mm:

- lämpöpumput ja paikallinen sekundäärilämmönlähteiden hyödyntäminen
- tulevaisuuden sekundäärilämmönlähteet
- sähkökattilat ja sähkön kysyntäjousto
- geoterminen lämpö
- vetytalous (P2X-tuotantomallit)
- pienydinvoima

Vaihtoehtoisista ei-polttavista tuotantoteknologioista selvitettiin niiden toimintaperiaatteet, teknologinen kehitysaste, soveltuvuus ja reunaehdot, kilpailukyky sekä referenssikohteita.

3. Vaihtoehtoisten ei-polttavien tuotantoteknologioiden soveltuvuus ja käytettävyys esimerkikohteessa

Osatehtävässä arvoitiin eri vaihtoehtojen soveltuvuutta ja käytettävyyttä Mikkelin tulevaisuuden kaukolämmön tuotannossa. Todellinen esimerkki tuo esille rajoitukset ja mahdollisuudet.

4. Raportointi

Julkaistavan tutkimusraportin lisäksi hankkeen toteutusta ja tuloksia on käsitelty mm. hankkeen ohjausryhmän kokouksissa, joissa oli kattava edustus maakunnan kaukolämmön tuottajista.

2 KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO- JA JAKELUJÄRJESTELMÄ

2.1 Johdanto

Vaihtoehtoisten ei-polttavien tuotantoteknologioiden soveltuvuutta arvioitiin Mikkelin kaukolämpöjärjestelmään. Todellinen paikallinen esimerkkikohte tuo esille eri tuotantovaihtoehtojen mahdollisuudet ja kehityskohteet. Esimerkkikohteen lähtötiedot ovat saatu Etelä-Savon Energia Oy:ltä.

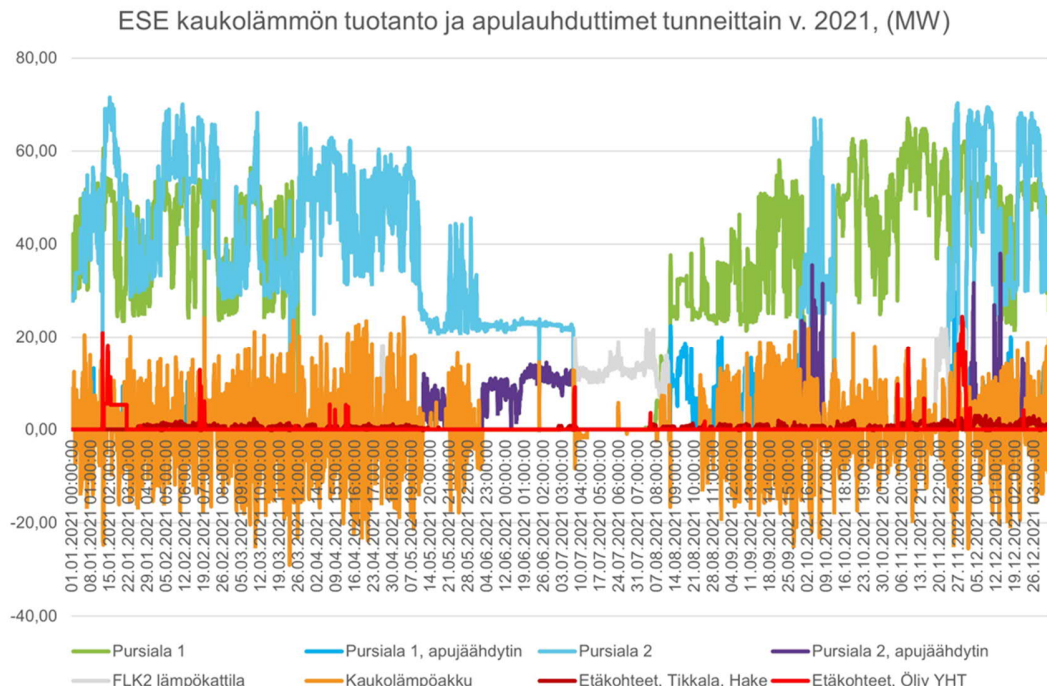
2.2 Referenssikohteen polttoaineen käyttö ja lämmön tuotanto

Mikkelissä kaukolämmön tuotanto alkoi vuonna 1958. Nykyisin kaukolämpö tuotetaan pääosin Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan voimalaitoksella. Pursialassa on kolme puupolttoaineilla ja turpeella toimivaa kattilaa sekä kaukolämpöakku. Lisäksi Mikkelin kaukolämpöverkossa on seitsemän kappaletta varalämpökeskuksia. Etelä-Savon Energia Oy:n toimialueella on kaksi erillistä pienempää kaukolämpöverkkoa Haukivuorella ja Ristiinassa.

Mikkelissä kaukolämmön tuotanto on keskimäärin 400 GWh vuodessa ja sen yhteydessä tuotetaan sähköenergiaa n. 140–150 GWh vuodessa. Pääosin kaukolämpö tuotetaan Pursialan 1 ja 2 kattiloilla. Lisäksi kaukolämpöakku hyödynnetään lämpöenergian varastointiin ja vuorokausikohtaisten kulutushuippujen tasaamiseen. Alla on Pursialan kattiloiden teknisiä tietoja.

- Pursiala 1: valmistunut 1990, CFB-kattila, 30 MW_e ja 60 MW_{th}, energiapuu 70% ja turve 30%, rikinsyöttö 2022.
- Pursiala 2: valmistunut 2005 (modifioitu 100% puu 2013), BFB-kattila, 32 MW_e ja 60 MW_{th}, energiapuu 100%, savukaasupesuri.
- Leijukerroskattila FLK2: valmistunut 1984, matalapainehöyrykattila, 21MW_{th}.
- Kaukolämpöakku: valmistunut 2016, 30 MW_{th} / 7000 m³.

Kohteen kaukolämmön tuotannossa huipputehotarve talvella on n. 160 MW ja kesällä minimitehontarve n. 11 MW. Alla olevassa kuvassa on Etelä-Savon Energia Oy:n kaukolämmön tuotanto vuonna 2021.

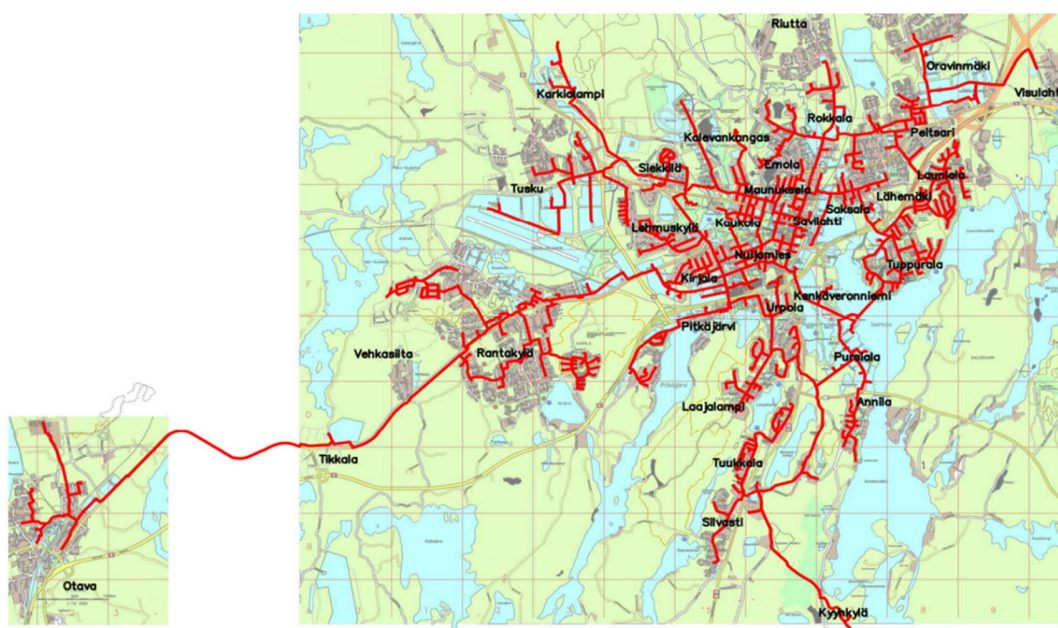


Kuva 2. Etelä-Savon Energia Oy:n kaukolämmön tuotanto 2021

Mikkelissä sähkön ja lämmön tuotannossa käytettiin polttoaineita vuonna 2021 yhteensä 795 GWh, josta puupolttoaineita oli 593 GWh, turvetta 195 GWh ja kevyttä polttoöljyä 6 GWh. Puupolttoaineista 75% oli metsäenergiaa ja 25% sivutuotteita.

Kaukolämmön kulutuksesta asuintalojen osuus oli 56%, teollisuuden 9%, toimistorakennusten 5% toimistorakennuksissa ja muiden kohteiden 20%. Lämpö- ja siirtohäviöiden osuus oli 10%.

Alle olevassa kuvassa 3 on esitetty Mikkelin kaukolämpöverkko, jonka pituus on yhteensä n. 210 km. Kaukolämpöverkko ei ole laajentunut merkittävästi viime vuosina.



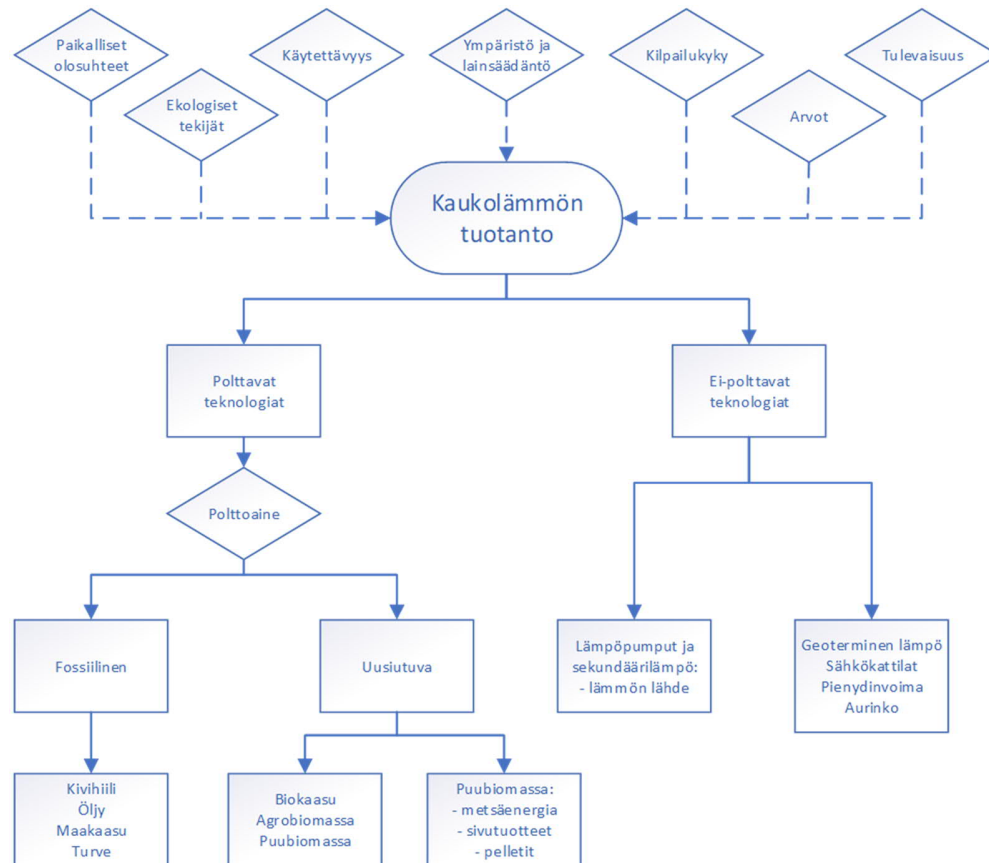
Kuva 3. Mikkelin kaukolämpöverkko (Etelä-Savon Energia Oy)

Kaukolämmön tuotannossa fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön osuus ovat vähentyneet. Tulevaisuudessa turpeesta on tarkoitus luopua kokonaan ja tässä selvityksessä kartoitetaan vaihtoisia tuotantomuotoja. Valtakunnallisesti metsäenergian käyttö on kasvanut ja kilpailu siitä kiristynyt. Metsäenergialla tullaan myös korvaamaan entistä enemmän sivutuotteita. Kesällä 2023 Pursialan voimalaitokselle oli rakenteilla 20 MW:n sähkökattila, jota tullaan hyödyntämään kaukolämmön tuotannossa edullisen sähköenergian markkinahinnan aikana. Sähkökattila tuo myös huoltovarmuutta kaukolämmön tuotantoon. Lähtötietojen kartoituksen yhteydessä tarkasteltiin myös kaukolämpöveden menolämpötilan laskun vaikutuksia laitoksen energiatehokkuuteen sekä ulkopuolisen lisälämmön vaikutuksia sähkön ja kaukolämmön tuotantoon vastapainevoimalaitoksessa.

3 VAIHTOEHTOISET EI-POLTAVAT TEKNOLOGIAT KAU- KOLÄMMÖN TUOTANNOSSA

3.1 Johdanto

Vaihtoehtoisten ei-polttavien teknologioiden kartoituksen tavoitteena oli arvioida eri teknologioiden soveltuvuutta ja käytettävyyttä esimerkkikohteen kaukolämmön tuotantoon, jotta voitaisiin mahdollisesti luopua fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Alla olevassa kaaviossa on esitelty kaukolämmön tuotantotavan valintaan vaikuttavia tekijöitä sekä vaihtoehtoisia tuotantoteknologioita. Eri teknologioita voidaan hyödyntää myös rinnakkain.



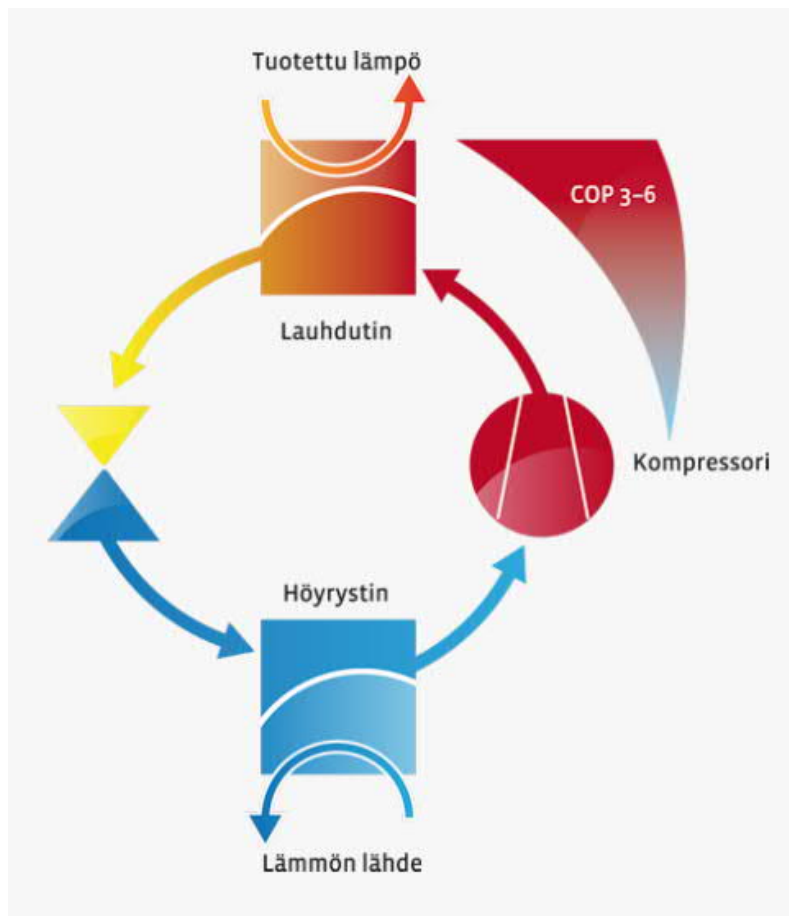
Kuva 4. Kaukolämmön tuotantotavan valintaan vaikuttavia tekijöitä sekä vaihtoehtoisia tuotantoteknologioita

Tässä tutkimuksessa tarkasteltaviksi vaihtoehtoisiksi teknologioiksi valittiin lämpöpumput ja sekundäärilämmönlähteet, sähkökattilat, geoterminen energia, vetytalous ja pienydinvoima. Valituista vaihtoehdoista tarkastellaan erityisesti teknologiaa ja referenssikohteita.

3.2 Lämpöpumput ja sekundäärilämmönlähteet

3.2.1 Teknologia

Lämpöpumpputeknologialla nostetaan matalalämpötilaisen lämmönlähteen lämpötilaa korkeammalle tasolle, jotta sitä voidaan hyödyntää esim. rakennusten lämmityksessä. Lämpöpumpulla siirretään lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan ulkoisen työn avulla. Järjestelmän tärkeimmät komponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja kiertoaineena toimiva kylmäaine. Höyrystimessä matalapaineinen ja -lämpötilainen kylmäaine sitoo itseensä lämpöä ja höyrystyy. Tämän jälkeen kylmäaineen paine ja lämpötila nostetaan kompressorissa. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa energiaa, jolloin siitä poistuu lämpöä ja se muuttuu takaisin nesteeksi. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine virtaa paisuntaventtiilin läpi höyrystimeen matalampaan paineeseen. Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Finess Oy)

Lämpöpumpun yhteydessä mainitaan yleensä COP-kerroin (Coefficient of Performance), joka tarkoittaa lämpöpumppujen kulutetun ja tuotetun energia suhdetta, eli paljonko sähköenergiaa saadaan muutettua lämpöenergiaksi. Lämpökerroin vaihtelee tyypillisesti 3–6 välillä, ollen korkeilla lämpötiloilla ja kaukolämmön tuotannossa lähempänä 2,5–3. Viime vuosina lämpöpumpputeknologia on kehittynyt ja niitä voidaan hyödyntää entistä enemmän myös kaukolämmön tuotannossa. Nykyiset teolliset lämpöpumppuratkaisut, joissa lämpötilaa nostetaan vaiheittain sarjaan kytketyillä lämpöpumpuilla, päästään jopa yli 100 °C lämpötiloihin. Kuvassa 6 on havainnollistettu lämpöpumpun mittakaavaa Helenin Katri Valan laitoksella, jossa hyödynnetään jäteveden hukkalämpöä. Ko. laitosta on esitelty tarkemmin kappaleessa 3.2.2.



Kuva 6. Lämpöpumppulaitos, Helen Katri Vala (Helen 2020)

Kiinteistökohtaisissa lämpöpumppuratkaisuissa lämmönlähteinä ovat perinteisesti olleet vesistöt, maaperä ja ilma. Suuremmissa kokoluokassa lämmönlähteenä voivat olla mm. yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden jätevedet ja teollisuuden sekundäärilämmöt. Esimerkiksi datakeskusten jäähdätyksen sekundäärilämpö pyritään hyödyntämään entistä tehokkaammin. Myös meriveden tarjoamaa potentiaalia on selvitetty, mutta tämä edellyttää jopa 70 metrin syvänteitä, jotta lämpötila on ympärivuoden vähintään 3 °C. Tällaisia syvänteitä löytyy Suomenlahdelta vasta n. 17–23 km päästä rannikosta.

Kansainväliset toimijat ovat investoineet datakeskuksiin Suomessa. Investointien perusteena on Suomen toimiva infrastruktuuri, joka tarkoittaa osaavaa työvoimaa, käyttökustannuksia vähentävää viileää ilmastoa ja suhteellisen edullista sähköenergiaa.

Datakeskuksista syntyvää hukkalämpöä (30–40 °C) voidaan pitää korkean lämpötilan sekundäärilämpönä. Datakeskuksien sähköntarve voi vaihdella muutamasta MW:sta jopa 100–150 MW:n. Jäähdytys datakeskuksissa tapahtuu ilma- tai vesijäähdytteisesti, joista vesijäähdytteisestä saadaan korkeammat lämpötilat. Ilmajäähdytys on kuitenkin yleisempi. (Vuorinen 2019)

Tulevaisuudessa lämpöpumppuja ja sekundäärilämpöä tullaan hyödyntämään entistä laajemmin ja tehokkaammin. Teknologian kehittyminen ja energian hinnan nousu laajentavat kohteiden käytettävyyttä ja hyödynnettävyyttä. Uusien investointien suunnittelussa ja käytössä jäähdytysenergia tullaan hyödyntämään osana liiketoimintaa. Lämpöpumput käyttävät sähköenergiaa ja ovat tulevaisuudessa laajemmin osana energiajärjestelmän sähköistymistä.

3.2.2 Referenssi kohteita

Suomessa on useita sekundäärilämpöä hyödyntäviä ratkaisuja jo käytössä. Viime vuosina lämpöpumpputeknologian käyttö on laajentunut teknologian kehittymisen, energian hinnannousun ja ympäristönäkökohtien takia. Seuraavissa kappaleissa on esitetty tapauskohtaisesti lämpöpumpputeknologian hyödyntämistä Suomessa.

Pääkaupunkiseudulla Helen Oy rakensi vuonna 2006 ensimmäisen jätevedenpuhdistamon hukkalämpöä hyödyntävän lämpöpumppuratkaisun Katri Valan puistoon Helsingissä. Jätevedestä saatava lämpötila on noin 6–10 °C ja sen energialla sekä lämpöpumppuratkaisulla esilämmitetään kaukolämmön paluuvesi 62 °C:n. Tämän jälkeen kaukolämmön paluuvesi lämmitetään Hanasaaren lämpökeskuksessa 80–90 °C:n. Lämpöpumppulaitoksen kokoa on kasvatettu ja tällä hetkellä lämpöpumppuja on 7 kpl, joista viimeinen käynnistyi vuonna 2023. Lämpöpumppujen lämpöteho on yhteensä 155 MW. Lämpöpumppulaitosta voidaan hyödyntää myös kaukojäähdytyksessä ja jäähdytysteho on 103,5 MW. Viimeisimmän lämpöpumppuinvestoinnin lämpöteho oli 32 MW ja jäähdytysteho 21,5 MW. Investointikustannus oli n. 30 milj. € (Helen 2020)

Vuonna 2022 Helen Oy toteutti lämpöpumppuinvestoinnin Vuosaaren voimalaitoksen yhteyteen. Lämpöpumpun kaukolämpöteho on 13 MW ja se hyödyntää voimalaitoksen omaa jäähdytyskiertoa (80 %) sekä meriveden lämpöä (20 %). Lämpöpumpun investointikustannus oli n. 15 milj. € (Helen 2019)

Salmisaaren voimalaitoksen yhteyteen Helen Oy suunnittelee n. 500 MW:n merivesilämpöpumppua, jonka investointikustannus on arvioitu n. 400 milj. € Hankkeessa lämpöpumppua varten rakennettaisiin n. 20 km mittainen tunneli Suomenlahdelle, josta merivesi pumpataan lämpöpumppulaitokselle. Hankkeen toteutuminen tukee Helenin hiilineutraalisuus tavoitteita. (Afry 2022)

Muita jäteveden sekundäärilämpöjä hyödyntäviä lämpöpumppulaitoksia on lisäksi Turussa (40 MW / 300 GWh), Espoossa Suomenojalle vuosina 2015 ja 2022 rakennetut kolme lämpöpumppua (yht. 70 MW) sekä Vaasan Pättin jätevedenpuhdistamon vuonna 2024 valmistuva kahden lämpöpumpun laitos (12 MW / 60 GWh/a).

Tulevaisuudessa ilma-vesilämpöpumppulaitoksia tullaan myös hyödyntämään laajemmin. Espoossa Vermossa on vuonna 2023 valmistunut 11 MW ilma-vesilämpöpumppulaitos kaukolämmön tuotantoon. Helen Oy:n Salmisaaren voimalaitoksen yhteyteen rakennetaan 14 MW:n ilma-vesilämpöpumppulaitos, jonka investointikustannus on 13,5 milj. € Ilma-vesilämpöpumppulaitoksissa COP on tyypillisesti 1–4, riippuen ulkoilman lämpötilasta. Tämän tyyppiset laitokset soveltuvat paremmin Etelä-Suomen olosuhteisiin, jossa keskilämpötila on korkeampi lämmityskauden aikana. (Helen 2023)

Datakeskukset tarjoavat uuden sekundäärilämmön lähteen hyödynnettäväksi lämpöpumpuilla kaukolämmön tuotannossa. Vuonna 2015 Mäntsälään rakennettiin Yandexin datakeskus, jonka kaukolämpöteho on 4 MW ja tämä kattoi 55 % (20 GWh) Mäntsälän kaukolämmön tarpeesta. Ukrainan sodan aikana Venäjän vastaisten pakotteitten johdosta Yandexin datakeskukselta ei ole tullut sekundäärilämpöä Mäntsälän kaukolämpöverkkoon ja kaukolämpö on tuotettu puupelleteillä. Fortum ja Microsoft suunnittelevat kolmea datakeskusinvestointia Espooseen, Kirkkonummelle ja Vihtiin, jotka

toteutuessaan kattaisivat n. 40% Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen kaukolämmöntarpeesta. Datakeskuksilta saatava lämpömäärä korvaisi n. 1 TWh kivihiiltä kaukolämmön tuotannossa. Microsoftin datakeskusinvestoinnin suuruus on miljardikokoluokkaa ja Fortumin investoinnit kaukolämpöverkkoon sekä lämmön talteenottoon ovat n. 200 milj.€ (Fortum 2022) Kymenlaaksoon Myllykoskelle suunnitellaan 60 MW:n datakeskusta entisen paperitehtaan yhteyteen. Investoijana toimii islantilainen Atnorth ja ensimmäisen rakennusvaiheen rakennustyöt voivat alkaa jo kesällä 2024. Täydessä kapasiteetissaan datakeskuksen koko on useita satoja megawatteja. Sekundäärilämpöä on tarkoitus hyödyntää lähialueen kaukolämpönä. (Kouvolan Sanomat, 2023)

Datakeskusten sekundäärilämpöjen hyödyntämisen toimintaedellytyksiä parantaa vuoden 2022 alusta voimaan tullut verouudistus, jossa datakeskukset kuuluvat sähköveron osalta alemman verotuksen piiriin. Veroedun vaikutus datakeskuksen sähkön hankintakustannuksiin vuonna 2023 oli vajaa 2 snt/kWh. Edellytyksenä verohuojennukselle on, että datakeskusten tuottama lämpö voidaan hyödyntää kaukolämpöverkossa.

Sekundäärilämmön etuina ovat yleisesti hyvä pysyvyys ja tasainen tuotanto. Toisaalta investoinnit lämmön talteenottojärjestelmään voivat olla korkeat ja lämpötilatasot sekundäärilämmöllä matalia. Olemassa olevan kaukolämpöverkon sijainti lämmönlähteestä on merkityksellinen, kuten myös lämmön tuotannon ja kulutuksen yhteensovittaminen. Edellä mainitut referenssikohteet ovat osaltaan laajentaneet sekundäärilämpöjen hyödyntämistä. Tulevaisuudessa myös pienempiä paikallisia sekundäärilämmön lähteitä tullaan hyödyntämään entistä laajemmin pienempien verkostojen kaukolämmön tuotannossa.

3.3 Sähkökattilat ja sähkön kysyntäjousto

3.3.1 Teknologia

Sähkökattilat ovat sähköenergialla toimivia lämmityskattiloita, joita voidaan hyödyntää kaukolämmön ja höyryn tuotannossa. Sähkökattilat ovat säädettävyydeltään erittäin joustavia, ne toimivat korkealla hyötysuhteella ja niiden tilantarve on pieni. Teollisessa käytössä sähkökattiloita on hyödynnetty varalämpölaitoksien ja pienteollisuuden apu- tai varakattiloina. Ydinvoiman yleistyessä sähkökattiloita rakennettiin 1980-luvun alkupuolella osaksi kaukolämpötuotantoa. (Hietala 2021) Sähkökattilat ovat kaupallisessa käytössä olevaa teknologiaa ja ne ovat luotettavia. Sähkökattiloita käytettäessä investointikustannukset ovat melko alhaiset, mutta käyttökustannukset ovat korkeat.

Tyypiltään sähkökattilat ovat joko vastus- tai elektrodikattiloita. Vastuskattiloita hyödynnetään pääasiassa kuuman veden tuotannossa, jonka perusratkaisut löytyvät esim. sähkölämmitteisten kotitalouksien lämminvesivaraajista. Elektrodikattiloita taas voidaan hyödyntää höyryn tuotannossa sekä perinteisessä kaukolämmöntuotannossa lämmönsiirtimen avulla. Vastuskattilat soveltuvat teholtaan ja jänniteiltään pienempiin asennuksiin, jolloin tehotaso on alle 10 MW ja käyttöjännite 230 / 400 / 690 V. Elektrodikattilat taas yltyvät yli 25 MW:n tehoihin ja voivat toimia sekä matala- että korkeajänniteverkoissa: 690 V – 10 kV.

Vastuskattilan toimintaperiaate yksinkertainen. Vastuskattilassa kuumaa vettä tai höyryä syntyy kattilaveden lämmittämisessä, joka toteutetaan metallisilla vastuksilla. Näitä lämmityselementtejä käyttämällä sähköenergia muutetaan lämpöenergiaksi ja tällöin metallinen vastus siirtää sähköstä saamansa energian kattilaveteen. Vastuskattilan tehoa säädellään sähkövirran avulla, jota syötetään vastuksille. Myös yksittäisen vastuksen sähkövirta voidaan katkaista, joka mahdollistaa kattilan säädön. Muita keinoja ovat paine- ja lämpötilamittaukseen perustuva tehonsäätö. Virran ja jännitteen syöttö kattiloihin hoidetaan prosessisähkökeskukselta tai kojeistolta. (Ahonen 2018)



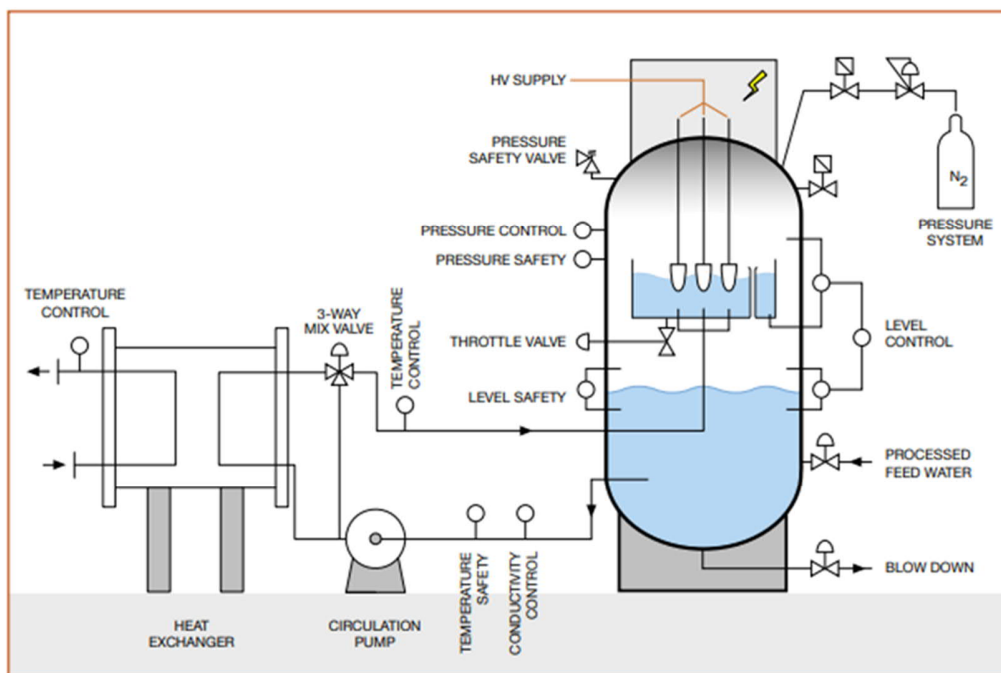
Kuva 7. Matalajännitteinen sähkövastuskattila teollisuuden tarpeisiin (PARAT Halvorsen AS 2022b).

Elektrodikattiloita käytetään yleensä suuremmissa kohteissa, kuten kaukolämmön ja höyryn tuotannossa. Elektrodikattila soveltuu teollisiin kohteisiin, joissa suuria määriä vettä on muutettava höyryksi joustavasti (Water technology report 2016). Elektrodikattiloiden teho ylittää yli 25 MW:in ja sitä suurempiin tehoihin. Elektrodikattilat toimivat joko matala- tai korkeajännitteisinä. Matalajännitteisellä tarkoitetaan noin 600 V:n jännitettä, joilla päästää parin MW:n tehoihin. Tyypillisesti suuremmat elektrodikattilat on jo kytketty 10 kV:n jännitteellä, jolloin tehona on kymmeniä MW:ja. Elektrodikattilan periaate on, että kattilan vettä kuumennetaan elektrodijärjestelmällä, jossa on kolmivaiheiset elektrodit (kuva 8). Vaihtovirtasähkö kulkee suoraan veden läpi elektrodeissa ja vesi kuumentuu prosessissa. (Garcia et al. 2012)

Vedestä muodostuu lopulta höyryä elektrodien ansiosta. Sisäinen kiertojärjestelmä tuo vettä elektrodeihin suhteessa 10:1 haihtumista varten. Lähtöä ohjataan kaasuventtiilillä, joka säätelee yläkammion tasoa. Höyry kerääntyy paineastian yläosaan ja

vapautuu päänhöyryventtiilin kautta. Kattilassa on erinomainen tehonsäätö alueella 5–100 % ja tehoa voidaan säädellä veden pinnankorkeutta säätämällä ylemmässä säiliössä. Käytännössä alempi säiliö toimii syöttövesisäiliönä ylemmälle säiliölle. Mitä korkeammalle vesi nostetaan ylemmässä säiliössä, sitä enemmän saadaan tehoa (Hietala 2021). Jos höyrynpaine nousee asetuspisteen yli, tehoa säädellään automaattisesti alas. (PARAT Halvorsen AS 2022a)

Esimerkiksi PARAT-sähköelektrodikattiloita toimitetaan vakiona jopa 60 MW:n teholla ja 85 bar:in paineella. Näitä kattiloita voidaan ohjata stand by-tilasta täyteen toimintakuntoon jopa 30 sekunnin aikana. Lisäksi PARAT on kehittänyt uuden ratkaisun takaamaan nollakuormituksen (patentti vireillä) elektrodikattiloissa valmiustilan aikana. Kattila kuluttaa nollavirtaa pääkytkimen ollessa päällä, ja tämä on uusi ja prosessia helpottava ratkaisu verkon säätelyyn. (PARAT Halvorsen AS 2022a)



Principle diagram of Electrode Boiler hot water system.

Kuva 8. Elektrodikattila kaukolämmön tuotannossa (PARAT Halvorsen AS 2022a).

Elektrodikattilan syöttövesi käsitellään kemiallisesti, jotta kattilan elektrodit ja sisäosat eivät altistuisi korroosiolle. Yleensä kemiallisessa käsittelyssä syöttöveteen lisätään kemikaalia kuten natriumsulfiittia (Water technology report 2016). Syöttövettä pidetään johtokykyisenä pH-arvon säädöllä ja lisäksi vedessä olevalle hapelle suoritetaan samalla ns. ”hapottamista”. Veden korkealla johtokyvyllä varmistetaan höyryn tuottaminen vedestä riittävällä lämpöenergialla ja hyvällä hyötysuhteen. (Merrit 2016)

Sekä vastus- että elektrodikattiloiden hyötysuhde on 99 %. Lisäksi kattiloiden lämpötila-alue on joustava ja sitä voidaan helposti säätää. Kattiloilla on myös yksinkertainen rakenne ja ne ovat luotettavia. Sähkökattilat soveltuvat lämmön tuotantoon kiinteistöissä, teollisuudessa ja kaukolämmön tuotannossa. (Garcia et al. 2012)

Elektrodikattiloita voidaan hyödyntää kaukolämmön tuotannossa, jolloin tarvitaan erillinen lämmönsiirrin kattilan ja kaukolämpöverkoston välille. Vastuskattiloita käyttämällä ei tarvita erillistä lämmönsiirrintä, koska kaukolämpövesi pystytään ajamaan suoraan kattilan läpi. Erityisesti elektrodikattilaa voitaisiin hyödyntää kaukolämmön tuotannon varakattilana sekä minimi- ja huipputehon tuotannossa. Elektrodikattila mahdollistaa nopeat reagoinnit myös vaihteleviin höyrykuormiin (Water technology report 2016).

Sähkön kulutuksen kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkön käytön rajoittamista ja käytön siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan. Kysyntäjouston avulla energian tuotantojärjestelmä toimii tehokkaammin, jolloin kalliin varavoiman käyttöä vältetään. Kulutusjoustolla tarkoitetaan sähkön käytön muuttamista hinnan ohjaamana, jolloin sähkön kulutusta lisätään, kun joustamattoman ja sääriippuvaisen tuotannon osuus sähkön tuotannossa kasvaa. Sähköenergian tuotannon ja kulutuksen on pysyttävä joka hetki tasapainossa. Uusiutuvan sääriippuvaisen sähköenergian tuotannon lisääntyessä sähkökattila on erinomainen vaihtoehto säätämään sähköverkon kuormaa, jolloin sähköä voidaan käyttää kaukolämmön tuotannossa korvaamassa tai täydentämässä muuta tuotantoa. Tällaisia tilanteita esiintyy erityisesti keväällä, kesällä ja syksyllä. Lisäksi sähkökattiloiden tarjoamaa joustoa voidaan hyödyntää kaukolämpöjärjestelmän vuorokausikohtaisten kulutushuippujen tasaamisessa.

Mikäli kaukolämpöjärjestelmän yhteydessä on kaukolämpöakku (Kuva 9.), tämä parantaa järjestelmän käytettävyyttä. Tyypillisesti kaukolämpöakku on lieriön muotoinen vesisäiliö, jonka tilavuus on yli 5000 kuutiota ja varastointikyky satoja megawattitunteja. Sähkökattilat voivat käyttää ylimääräistä sähköenergiaa, kun sääriippuvaista tuuli- ja aurinkosähköä on paljon saatavilla. Tällöin kattiloita hyödynnetään tuotantohuippujen tasaamisessa. Sähkökattiloiden etuina ovat niiden nopea käynnistys toimintavalmiiksi ja hyvä säädettävyys suuressakin kokoluokassa. Lisäksi kattiloiden huoltokustannukset ovat matalat ja kattiloiden tilantarve on pieni. Sähkökattiloiden käyttö ei aiheuta päästöjä, vaan mahdolliset päästöt syntyvät sähköenergian tuotannossa.



Kuva 9. 10 000 m³ kaukolämpöakku Seinäjoen Voima Oy:n voimalaitoksen yhteydessä (Kuva: Seinäjoen Energia 2023)

Yleensä kaukolämpö on tuotettu perinteisellä polttavalla teknologialla tai lämpöpum-
puilla ja sähköenergia on käytetty muissa käyttötarkoituksissa. Mikäli sähkökattiloita
hyödynnetään kaukolämmön vara- ja huipputehon tuotannossa niin sähköliittymän ja
sähkön siirron infrastruktuurin rakentaminen voi aiheuttaa lisäkustannuksia. Lisäksi
sähkön hinta on yleensä korkeampi talvella, jolloin kaukolämmöntarve suurin.

3.3.2 Referenssikohteita

Viime vuosina kaukolämpöyhtiöt ovat investoineet sähkökattiloihin, koska sääriippu-
vaisen sähköntuotannon määrä on kasvanut. Tämä on lisännyt sähkön hintavaihteluita
ja ajoittain on kustannustehokasta tuottaa kaukolämpöä sähköenergialla. Suunniteltu-
jen investointien perusteella uutta kapasiteettia on tulossa jopa n. 1 500 MW (Kuva
10).

Sähkökattiloissa investointibuumi



Julkistetut investoinnit*

Vaasa	160 MW
Seinäjoki	40 MW
Tampere	145 MW
Turku	50 MW
Espoo	330 MW**
Helsinki	280 MW
Vantaa	60 MW
Hyvinkää	20 MW
Kerava	30 MW
Lahti	60 MW
Lappeenranta	40 MW
Mikkeli	30 MW
Oulu	40 MW
Kajaani***	
Joensuu	20 MW
Tornio	40 MW
Anjala	60 MW
Tervasaari + muita UPM:n tehtaita***	
Tervakoski	50 MW
Haapavesi	12 MW

* Sisältään uudelleen käyttöön otetut kattilat
** Sisältää myös lämpöpumppuja
*** Kapasiteettia ei julkaistu

- ~1,5 GW julkaistuja investointipäätöksiä sähkökattiloihin
- Kapasiteetin kasvu ajoittuu suurilta osin vuosille 2023-2025
- Osoittaa, että investoinnit lähtevät voimalla liikkeelle kun olosuhteet ovat oikeat

Kuva 10. Sähkökattilainvestointeja Suomessa

Alla esitellään referensseinä sähkökattilainvestointeja Tampereella, Vaasassa ja Seinäjoella. Lisäksi erillisenä tarkastelukohteena on Elstor Oy:n lämpövarasto Kaskein Marja Oy:llä Lappeenrannassa, jossa sähköenergialla tuotettu lämpöenergia varastoidaan lämpökun metallisiin kennoihin. Ratkaisussa lämpöä tai höyryä voidaan hyödyntää myöhemmin haluttuna ajankohtana.

Tampereen Energia Oy Lielähti

Tampereen Energia Oy:n 45 MW sähkökattilan investointikustannus oli noin kolme milj. € ja sen toimitti norjalainen PARAT Halvorsen AS. Sähkökattila on otettu käyttöön alkuvuodesta 2023. Rakennuspaikaksi valikoitui Lielahden voimalaitosalue, jolloin sähkökattila parantaa läntisen Tampereen kaukolämmön toimitus- ja huoltovarmuutta huippu kuormilla. (Tampereen Sähkölaitos 2022)



Kuva 11. Sähkökattilan asennusta Lielahdessa (Tampereen Sähkölaitos 2022).

Lielahden sähkökattilaa tullaan hyödyntämään erityisesti talvipakkasilla korvaamaan fossiilisia polttoaineita silloin, kun uusiutuvaa sähköä on runsaasti saatavilla. Sähkökattila tarjoaa mahdollisuuden tasoittaa sähköntuotannon ja lämmönkulutuksen huipuja. Sähkökattilaa on tarkoitus ajaa etenkin edullisimpina pörssisähkön tunteina, jolloin se vakauttaisi myös kaukolämmön hintaa. Yleensä halvimmat tunnit ovat Suomessa niitä, jolloin tuulivoimaa on runsaasti tarjolla. Sähkökattilainvestoinnilla mahdollistettaisiin alueellisesti noin 16 000 tonnin CO₂-päästövähentymä, kun sillä korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttö kaukolämmön tuotannossa. (Tampereen Sähkölaitos 2022) Lisäksi Tampereen Energia Oy on päättänyt investoida Lielahteen kahteen 50 MW:n sähkökattilaan sekä 15 000 m³ kaukolämpöakkuun. Investoinnit vähentävät fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja vakauttavat kaukolämmön hintaa (Aamulehti 3.11.2023).

EPV Energia Vaasa

Keväällä 2021 investointipäätöksen saanut uusi sähkökattila aloitti koeajot saman vuoden marraskuussa ja joulukuussa kattila otettiin käyttöön Vaasan Vaskiluodossa. Sähkökattilan teho on 40 MW, korkeus 6,5 m ja lieriön halkaisija 3 m. Kattilan säätö 100 prosentin tehoon tapahtuu jopa 50 sekunnissa. Kattilan menoveden maksimi lämpötila on 130 °C. (EPV Energia Oy 2021a)

Kaukolämmön tuotannossa sähkökattilan primääripiirissä lämmennyt vesi jaetaan lämmönvaihtimen välityksellä lämpövarastoon ja Vaasan kaukolämpöverkkoon. Lämpövarastona hyödynnetään käytöstä poistettuja öljyvarastoina toimineita luolia, jotka ovat tilavuudeltaan 150 000 m³ ja 60 000 m³. Kaukolämpövaraston lataus- ja purkuteho on 110 MW ja kapasiteetti 11 GWh, joka riittää korvaamaan n. 4–20 vuorokauden kaukolämmön kulutuksen. Sähkökattilaa operoidaan yhdessä Vaskiluodon voimalaitoksen ja lämpövaraston kanssa, mikä mahdollista joustavan kaukolämmön tuotannon. Sähkökattilan tuottamalla lämmöllä ja lämpövarastolla voidaan optimoida kaukolämmön

tuotantoa. Sähkökattilaa voidaan hyödyntää perinteisen voimalaitoksen varajärjestelmänä. (EPV Energia Oy 2021a)

Investoinnissa hyödynnettiin käytöstä poistetun voimalaitoksen infrastruktuuria ja tiloja. Näitä olivat esimerkiksi muuntaja, sähkökojeisto ja kattilarakennus. Sähkökattila sijoitettiin voimalaitoksen tiloihin, joka helpotti kattilan vaatiman infrastruktuurin rakentamista (Kuva 12). Sähkökattilaprojektin kustannustaso olisi ollut merkittävästi korkeampi ilman olemassa olevaa infraa. Voimalaitoksen kaukolämpöputkistoihin oli rakennettu valmiit laippaliitokset sähkökattilaa varten lämpövarastoinvestoinnin yhteydessä. (EPV Energia Oy 2021a)



Kuva 12. PARAT Halvorsen AS:n sähkökattila Vaskiluodossa (EPV Energia Oy 2021a).

Edellä mainitun investoinnin jälkeen Vaskiluodossa on vuonna 2023 otettu käyttöön 120 MW uutta sähkökattilakapasiteettia sekä laajennettu kaukolämpövarastoa. (Vaasan Voima Oy 2023).

EPV Energia Seinäjoella

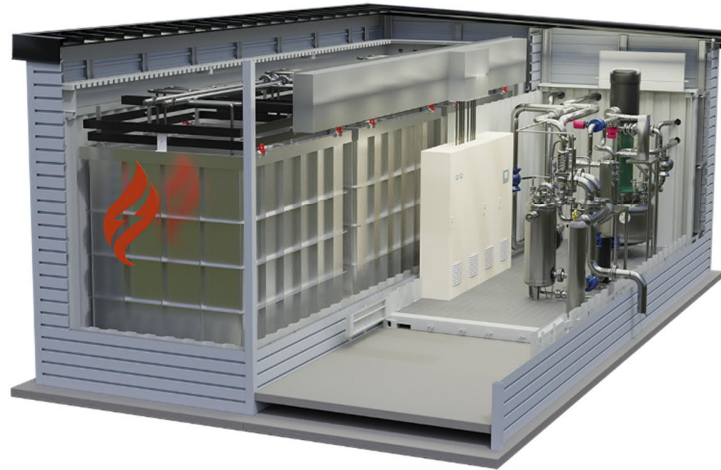
EPV Energian Seinäjoen voimalaitoksen voimalaitosalueelle on rakennettu kaukolämpöakku ja sähkökattila. Vuonna 2022 käyttöön otettu kaukolämpöakku ja sähkökattila ovat osia tulevaisuuden puhtaassa lämmöntuotantojärjestelmässä. Investoinnilla pyritään mahdollistamaan alueellisesti noin 50 000 tonnin CO₂-päästövähentymä, kun kaukolämmön tuotannossa korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. (EPV Energia Oy 2021b)

Seinäjoelle rakennetun kaukolämpöakun tilavuus on 10 000 m³. Lämpöakun varastointikapasiteetti on 400 MW ja lataus- sekä purkuteho ovat 40 MW. Sähkökattilan ja lämpöakun rakentamisen investointikustannus oli noin 5 milj. € Investointiin on saatu Business Finlandin energiatukea. (EPV Energia Oy 2021b)

Kaskein Marja Lappeenranta

Kaskein Marja Oy:n marjatuotteiden valmistuksessa aiemmin maakaasulla tuotettu höyry tuotetaan nykyisin Elstor Oy:n kehittämällä lämpöakulla. Teknologiaratkaisussa sähkö varastoidaan lämpöenergiaksi metallisiin kennoihin, joista voidaan purkaa höyryä haluttuna ajankohtana. Käytännössä kennoja, eli lämpöakkua ladataan edullisemmalla yösähköllä ja puretaan päivän aikana tuotannon ollessa käynnissä. Laitteistoa voidaan hallita ja säätää etähallinnalla.

Teknologia perustuu Elstor Oy:n kehittämään ratkaisuun. Teknologiaa on helppo ohjata ja lataus sekä purku onnistuvat samanaikaisesti. Laite optimoi itsenäisesti käyttämänsä sähköenergian kustannuksen. Elstor Oy:n perusyksikön latausteho on 0,5–2,5 MW ja varastointikapasiteetti on 5–15 MWh. Purkuteho on maksimissaan 2,0 MW ja sitä voidaan säätää alueella 0–100 %. Lämpö puretaan höyrynä tai lämpönä lämpötilan ollessa maksimissaan 200 °C ja paineen ollessa maksimissaan 16 bar. Laitteiston hyötysuhde on 95–97 %. (Elstor Oy 2023)



Kuva 13. Elstor Oy:n teknologiaratkaisu Kaskein Marja Oy:llä (Elstor Oy 2023).

Vastaavia yksiköitä hyödynnetään myös muualla elintarviketeollisuudessa ja teknologia soveltuu kaukolämmön tuotantoon (Elstor Oy 2023)

Sähkökattiloiden valmistajia

Sähkökattiloiden teknologian toimittajia ja valmistajia on useita. Merkittävimpinä voidaan mainita erityisesti keravalainen Höyrytys Oy ja norjalainen PARAT Halvorsen AS, joilla on ollut useita hankkeita Suomessa. Höyrytys Oy toimii maahantuojana Zander & Ingeströmin ja Fultonin sähkökattiloille, joiden jännitealue on 0,4–20 kV. Ruotsalainen Zander & Ingeströmin kattilat toimivat 40 MW:n teholla ja Fulton-sähkökattilat taas pienellä tehoalueella 100 kW asti. Höyrytys Oy:n maahantuomien kattiloiden säädettävyys on 5–100 %. PARAT-kattiloissa on hieman suuremmat jännitteet (24 kV) ja tehot (60 MW). PARAT on toimittanut elektrodikattiloita 1990-luvulta lähtien. (Höyrytys Oy 2022 ja PARAT Halvorsen AS 2022a) Muita sähkökattiloita valmistavia

yrittäjiä ovat esim. amerikkalainen kattilavalmistaja Vapor Power (maksimi teho 34 MW) ja sveitsiläinen VAPEC AG (maksimi teho 90 MW ja jännite 36 kV).

3.4 Geoterminen kaukolämmön tuotanto

3.4.1 Teknologia

Geoterminen lämpöenergian pääasiallisena lähteenä on maaperän sisältämä luonnollinen lämpö, jota syntyy esim. pitkäaikaisten radioaktiivisten isotooppien hajoessa maankuoren yläosissa. Tuliperäisillä alueilla, kuten Islannissa, sitä on käytetty sähkön ja lämmön tuotantoon jo pitkään, koska se on kilpailukykyinen ja kustannustehokas tuotantomuoto. Suomi sijaitsee geologiselta iältään vanhalla Fennoskandian kilvellä, jossa maan sisäinen lämpötilavaikutus on keskimääräistä pienempi.

Geoterminen lämpö voidaan karkeasti jakaa kolmeen tyyppiin (Kuva 14):

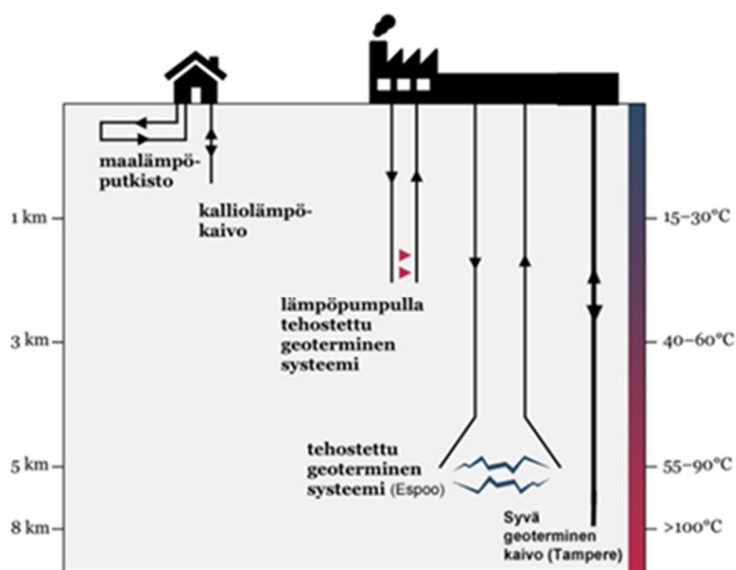
- Perinteisessä maalämmössä on n. 150–300 m syvä lämpökaivo ja lämpöpumppu.
- Keskisyvässä geotermisessä energiassa on n. 1–3 km syvä lämpökaivo ja yksi tai useampi lämpöpumppu.
- Syvässä geotermisessä energiassa on n. 6–8 km syvä lämpökaivo ja kaukolämpöä tuotetaan ilman lämpöpumppua.

Perinteistä maalämpöä on hyödynnetty kiinteistökohtaisissa lämmitysratkaisuissa. Tulevaisuudessa varsinkin keskisyvä geoterminen energia voi olla teknistaloudellisesti varteenotettava vaihtoehto kaukolämmön tuotannossa. Maaperän lämpötila keskisyvästä kaivosta mahdollistaa helpommin 70–100 °C tuottamisen lämpöpumpuilla. Keskisyvissä kaivoissa on pienemmät riskit poraustekniikalle ja lämmönkeruuputkistolle verrattuna syviin kaivoihin.

Syvien kaivojen haasteena ovat olleet mm. ennakoitua korkeammat porauskustannukset ja kallioperän rikkonaisuus. Syvemmälle porattaessa haasteina ovat olleet

soveltuvan porauskaluston ja henkilöstön saatavuus, poranterien kuluminen, sortumisriskit ja maa-aineksen nosto. Syvissä energiakaivoissa voi olla kaksi erillistä porausreikää (syöttö- ja tuotantokaivo), joiden välissä olevaa kalliota on hydraulisesti stimuloitu. Menetelmässä porausreikään pumpataan vettä korkealla paineella, kiven rakojen avartamiseksi. Tavoitteena on saada vesi virtaamaan reiästä toiseen paremmin.

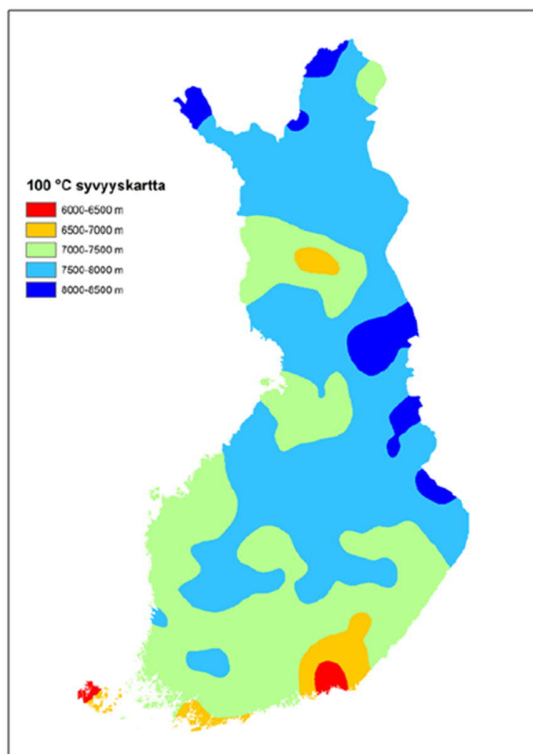
Geotermistä energiaa eri syvyyksistä



Lähde: Seismologian Instituutti ja Tampereen Sähkölaitos

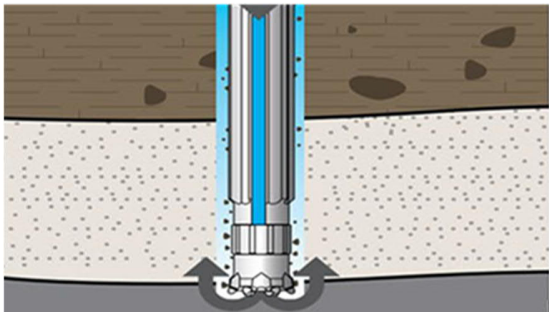
Kuva 14. Geotermisten energiakaivojen tyypit syvyyden perusteella (Kaupunkilämpö 2023)

Kuvassa 15 on esitetty Geologian tutkimuskeskuksen arvio teoreettisesta syvyydestä Suomessa, josta voidaan tuottaa 100 °C lämpötilaista vettä ilman lämpöpumppua. Suomesta on kuitenkin erittäin vähän mitattua tietoa olosuhteista yli 2 km syvyydessä. Suomessa lämpötilagradientti n. 8–25 °C/km, kun se maapallolla keskimäärin on n. 33 °C/km. Suomessa geotermisen energian tuotanto-olosuhteissa on eroja maan eri osissa. On arvioitu, että eteläisen Suomen graniittinen kallioperä soveltuu hyvin geotermisen lämmön tuotantoon.



Kuva 15. 100 °C lämpötilaraja Suomessa (GTK 2019)

Geotermisen lämmön tuotannossa porausteknologia perustuu joko perinteiseen kierreporaukseen eli rotaatioon tai perkussioon, eli hakkaavaan liikkeeseen. Perkussioon perustuvat ilma- ja vesivasaarateknologiat (Kuva 16) soveltuvat erityisesti vakaiden kivilajien poraaminen, jota on esim. suomalainen graniitti. Porauksessa energia välitetään maan pinnalta porausreikään veden- tai ilmanpaineen avulla. Eri porausteknologioita voidaan myös yhdistää. Porauksessa kuluu paljon sähköenergiaa ja esimerkiksi Otaniemessä porien sähköteho oli 6,5 MW. (St1) Porattaessa riski sortumiselle on korkea, joten porausreiät putkitetaan tasaisin välein ja porausta jatketaan pienemmällä terällä.



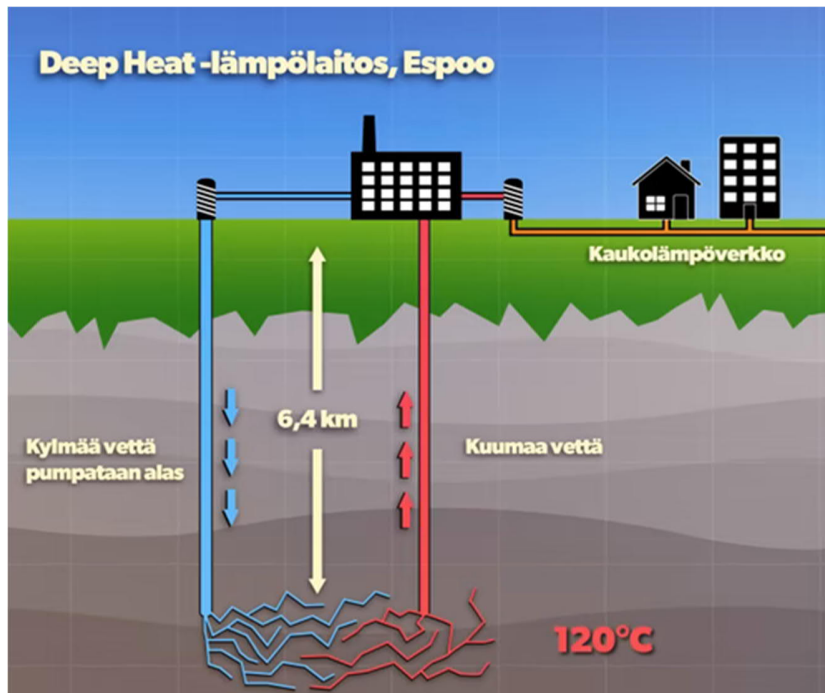
Kuva 17. Hakkaavaan liikkeeseen perustuva ilma- / vesivasarateknologia

Viime vuosina maalämpöä ja lämpöpumppuja on hyödynnetty entistä laajemmin kiinteistökohtaisissa lämmitysratkaisuissa. Vuonna 2021 asuin- ja palvelurakennuksissa lämpöpumppujen markkinaosuus oli 17%, kun kaukolämmön osuus oli 45% (Energiateollisuus 2024). Geotermisen energian hyödyntämistä kaukolämmön tuotannossa Suomessa on kokeiltu muutamassa pilot-hankkeessa, mutta hankkeiden tulokset eivät olleet niin lupaavia kuin odotettiin. Kokemusten perusteella näyttää siltä, että tulevaisuudessa keskitytään enemmän keskisyvän geotermisen lämmön hyödyntämiseen kaukolämmön tuotannossa yhdessä lämpöpumppujen kanssa. Tällöin hankkeiden riskit ovat paremmin hallittavissa. Tulevaisuudessa geotermisen energian kiinnostavuutta lisää erityisesti mahdollisuus hiilidioksidivapaan kaukolämmön tuotantoon. Geotermisen energian edellytyksiä aluetasolla selvitetään entistä enemmän ja esimerkiksi Etelä-Savossa on toteutettu geoenergiaselvitys vuonna 2023. (FCG 2023)

3.4.2 Referenssi kohteita

Suomessa on toteutettu muutamia suurempia geotermistä energiaa hyödyntäviä hankkeita, mutta tällä hetkellä niiden toteutus on keskeytetty. Seuraavassa on esitelty Otaniemen St1 Deep Heat ja Tampereen kaupunkilämmön hankkeita.

Espoon Otaniemen Deep Heat oli geolämpöhanke, joka alkoi vuonna 2015. Pilot- ja tuotekehitysprojektissa olivat mukana energiayhtiöt St1 ja Fortum. Vuoteen 2020 mennessä alueelle oli porattu kaksi 6,4 km ja 6,1 km erillistä porausreikää, joista arvioitiin saatavan n. 40 MW lämpöenergiaa, jonka lämpötilataso on yli 100 °C. Reikien poraukset toteutettiin EGS-teknologialla (tehostettu geoterminen lämmöntuotanto), jossa erilliset syöttö ja tuotantokaivot siirtävät vettä reiästä toiseen (Kuva 18.). Tuotantokaivojen välissä olevaa kallioperää stimuloitiin ja avarrettiin keinotekoisilla maanjäristyksillä, jotta veden virtaus kasvaisi. Ensimmäiset 4,5 km porattiin ilmavasarateknologialla, jonka jälkeen vaihdettiin vesivasarateknologiaan ja lopussa käytettiin perinteistä kierreporausta.



Kuva 18. Espoo Deep Heat (St1 2023)

Fortum irtautui Deep Heat -hankkeesta helmikuussa 2022. Hankkeen keskeytymisen syynä oli, että lämpökaivojen välinen vesivirtaus oli suunniteltua pienempi. Lämmön hyödyntämiseksi kaukolämpönä olisi tarvittu lämpöpumput lämpötilatason nostamiseksi. Tämä olisi heikentänyt merkittävästi tuotannon kannattavuutta suhteessa vaihtoehtoisiin tuotantomenetelmiin. Deep Heat koelaitoksen kokonaiskustannus oli n. 70 milj. € joka oli kaksinkertainen ennakoarvioihin verrattuna. Tällä hetkellä Espoon lämpökaivoja hyödynnetään tutkimuskäytössä.

Vuonna 2021 Tampereen Tarastenjärvelle aloitettiin poraamaan geotermistä lämpökaivoa vesivasarateknologialla. Hankkeen toteutuksessa oli 15 suomalaista energia-alan yhtiötä. Projektin tavoitteena oli testata geotermisen lämmön soveltuvuutta kaukolämmön tuotantoon, Etelä-Korealaista porausteknologiaa sekä saada tietoa geotermisen lämmön kustannuksista verrattuna muihin uusiutuvan kaukolämmön tuotantoteknologioihin. Hanke toteutettiin yhden 3 kilometrin kaivon ratkaisuna, jolloin ei ollut tarvetta

kallioperän stimuloinnille. Ennalta arvioitiin, että yhden kaivon ratkaisussa laitoksen teho jää pienemmäksi verrattuna kahden kaivon vaihtoehtoon. Kaivon poraus keskeytettiin kesällä 2022 ja tällöin porausreiän syvyys oli 2,2 km. Tässä syvyydessä lämpötila kaivon pohjalla on noin 37–39 °C. 2,2 km syvyydessä tuli vastaan laaja kalliope-
rässä oleva louhos, joka pitäisi suojata putkittamalla. Putkituksen kustannukset olisivat kuitenkin ylittäneet alkuperäisen budjetin, joten hanke päätettiin keskeyttää. (Kaupunkilämpö 2023).

Hankkeen esimerkkikohteiden analyysien perusteella geotermisen lämmön hyödyntämisen kustannusten arviointi on tapauskohtaista ja kustannukset voivat vaihdella huomattavasti eri kohteiden välillä. Tähän vaikuttavat mm. poraussyvyys, poraustekniikka ja lämmönkeruuputkiston tarve. Näiden kokemusten perusteella tulevaisuudessa yhtenä vaihtoehtona on keskittyä keskisyvien geotermisten lämpökaivojen laajempaan hyödyntämiseen. Näissä lämmönlähteen lämpötila on alhaisempi, mutta kaukolämpöä voidaan tuottaa lämpöpumppujen avulla.

3.5 Vetytalous

3.5.1 Teknologia

Vetyä (*kemiallinen merkki H*) pidetään tulevaisuuden polttoaineena. Vetyä voidaan käyttää monipuolisesti raaka-aineena, polttoaineena, energian kantajana ja väliaineena energian varastointiin. Suomen hallitus on hyväksynyt periaatepäätöksen vedystä, jonka mukaan Suomella olisi edellytykset valmistaa 10 % EU:n vihreästä vedystä vuonna 2030. Suuren mittakaavan vedyn tuotanto edellyttää runsasta puhtaan sähkön saatavuutta, joka toteutettaisiin tuulivoimalla. Suomen kilpailuetuina ovat toimintaympäristön ennakoitavuus, lupamenettelyjen sujuvuus ja maankäytön suunnittelu. (TEM/2023/14)

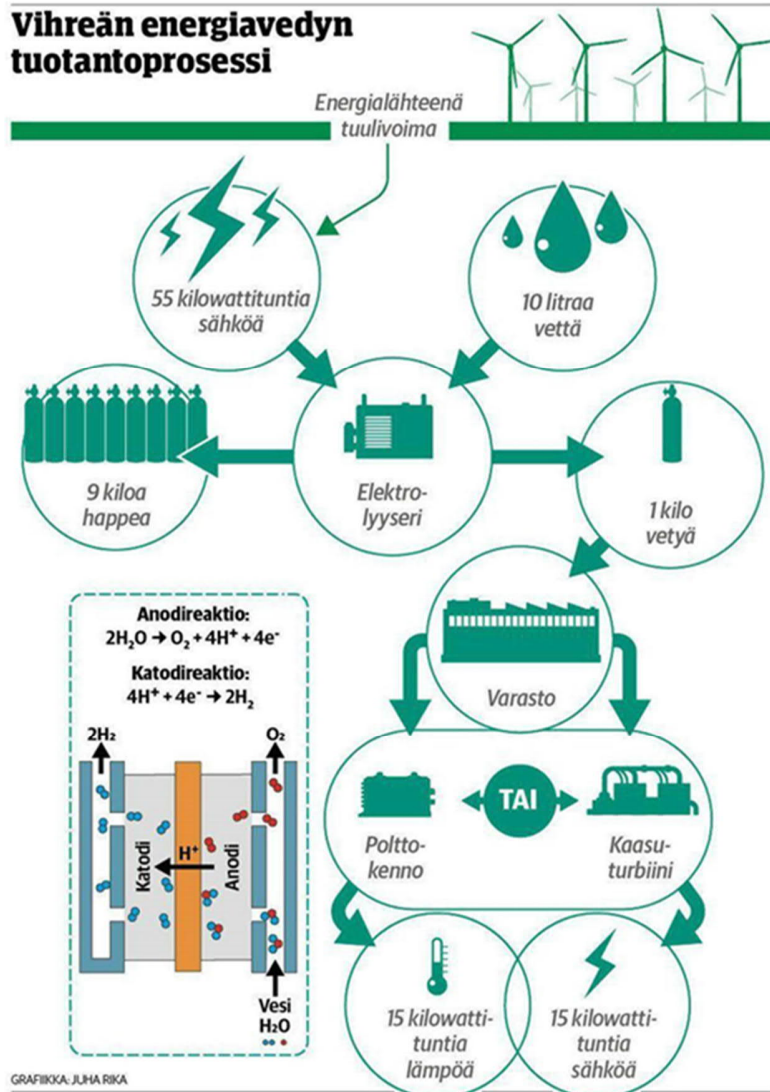
Vihreä vety, joka on tuotettu esim. uusiutuvalla aurinko- tai tuulivoimalla, on ollut Suomessa esillä viime vuosina. Vihreästä vedystä voidaan tuottaa mm. polttoaineita,

lannoitteita ja orgaanisia kemikaaleja. Perinteisesti vetyä on tuotettu maakaasusta höyryreformoimalla. Vihreää vetyä voidaan tuottaa elektrolyysillä hajottamalla veden vesimolekyylit vedyksi ja hapeksi, kaava alla.



Vedyn tuotannon hyötysuhde elektrolyysillä on noin 60–70 %, eli noin kolmannes käytetystä sähköenergiasta muuttuu lämmöksi. Elektrolyysistä saatava sekundäärilämmön lämpötila on n. 30–70 °C, joka voidaan hyödyntää nykyisessä kaukolämmöntuotannossa. Vihreän vedyn tuotannossa sekundäärilämmön hyödyntäminen esim. kaukolämpönä parantaa prosessin kannattavuutta. Kuvassa 19 on esitetty vihreän vedyn tuotantoprosessi.

Vihreän energiavedyn tuotantoprosessi



Kuva 19. Vihreän vedyn tuotantoprosessi (Kymen Sanomat 2022)

Kun vihreän vedyn tuotantoon yhdistetään biopohjaisen hiilidioksidin (CO_2) talteenotto, voidaan tuottaa synteettistä metaania (CH_4) tai metanolia (CH_3OH) esimerkiksi liikenteen tarpeisiin. Ominaisuuksiltaan synteettinen metaani vastaa liikennekäytössä maa- ja biokaasua (CH_4). Biopohjainen hiilidioksidi tarkoittaa biomassan poltosta syntyvää hiilidioksidia. Hiilidioksidin talteenotolla on laitoskohtaisesti merkittävä CO_2 -päästövähennyspotentiaali. Biometaanin ja -metanolin valmistus tarvitsee raaka-aineeksi hiilidioksidia. Tarvittava hiilidioksidi voidaan erottaa esim. metsäteollisuuden, sementin valmistuksen tai kaukolämmön tuotannon polttoprosessien savukaasuista. Jos hiilidioksidi otetaan talteen uusiutuvien polttoaineiden polton savukaasuista, niin

puhutaan vihreästä hiilidioksidista. Vetyjalosteiden, kuten metaanin ja metanolin, tuotannossa Suomen etuna on ympärivuotinen hiilidioksidin saatavuus. Alla on esitetty biometaanin valmistuksen kemiallinen kaava:

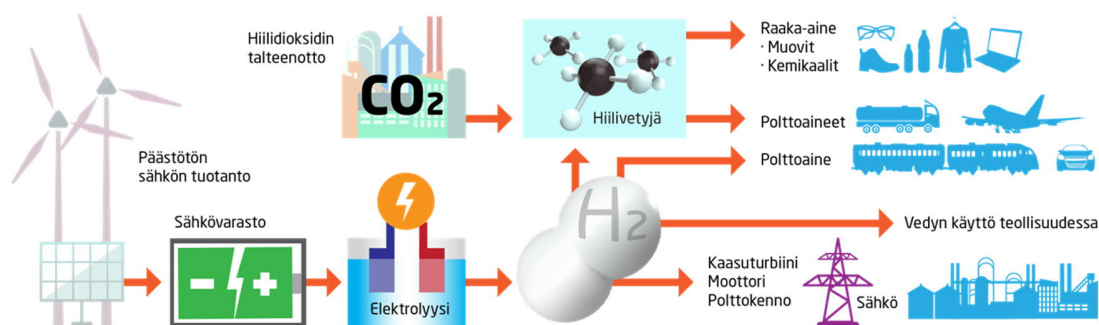


Alla on esitetty metanolin valmistuksen kemiallinen kaava:



Metanolia voitaisiin käyttää polttoaineena raskaassa liikenteessä. Käytön yleistyminen edellyttää uutta kattavaa polttoaineen jakeluinfrastruktuuria. Näillä synteettisillä polttoaineilla voidaan korvata fossiilisesta öljystä valmistettuja liikennepolttoaineita. Lisäksi vedystä voidaan valmistaa esim. synteettistä vihreää ammoniakkia (NH_3), jota voidaan käyttää myös esim. laivoissa polttoaineena tai lannoitteiden valmistuksessa.

Synteettisten polttoaineiden valmistuksessa tärkeä tuotantotekijä on uusiutuva sähköenergia. Tuotannossa elektrolyysit kuluttavat merkittävän määrän sähköä ja tätä varten Suomeen on yhdessä vedyn tuotantolaitosten kanssa suunnitteilla lisää tuulivoimaa. Esim. Nordic-Ren Gas Oy:n tavoitteena on hankkia yli 1 200 MW uutta kotimaista tuulivoimalla tuotettu sähköenergiaa vihreän vedyn ja synteettisten polttoaineiden tuotantoa varten. (Nordic Ren-Gas 2022) Suomessa oli vuoden 2023 lopussa 1601 tuulivoimalaa, joiden tuotantokapasiteetti oli yhteensä 6 956 MW. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2023) Seuraavassa kuvassa on esitelty vetytaloutta ja lopputuotteen käyttökohteita.



Kuva 20. Vetytalous ja lopputuotteen käyttökohteita (Energiateollisuus ry 2022)

Suomen ilmasto- ja energiastrategian vedynvalmistuksen tuotantokapasiteetin tavoite vuodelle 2030 on 1 000 MW. Tällä hetkellä Suomessa on suunnitteilla n. 950 MW vihreän vedyn tuotantokapasiteettia (HS 2022). Ensimmäinen kohde on rakenteilla Harjavaltaan ja laitoksen kapasiteetti on 20 MW.

3.5.2 Referenssi kohteita

Suomeen on suunnitteilla useita vihreän vedyn valmistuslaitoksia, joista Harjavallan P2X Solutionsin laitos on jo rakenteilla ja valmistuu vuoden 2024 aikana. Laitos rakentuu Harjavallan suurteollisuuspuistoon, jossa toimivat mm. Nornickel Harjavalta, Boliden sekä Kemira. Laitoksen kapasiteetti on 20 MW ja investointi oli n. 70 milj. € johon on saatu 26 milj. € investointituki. Laitoksen on määrä tuottaa vihreää vetyä ja synteettistä metaania teollisuuden ja liikenteen tarpeisiin. P2X Solutions yhtiön tavoitteena on saavuttaa jopa 1 000 MW elektrolyyserikapasiteetti Suomeen vuoteen 2031 mennessä. (P2X 2023) Myös Joensuuhun on suunnitteilla P2X yhtiön 30–50 MW tuotantolaitos, joka tuottaisi vuosittain arviolta 6 000 tn vihreää vetyä ja 10 000 tn synteettistä metaania tai 24 000 tn synteettistä metanolia.

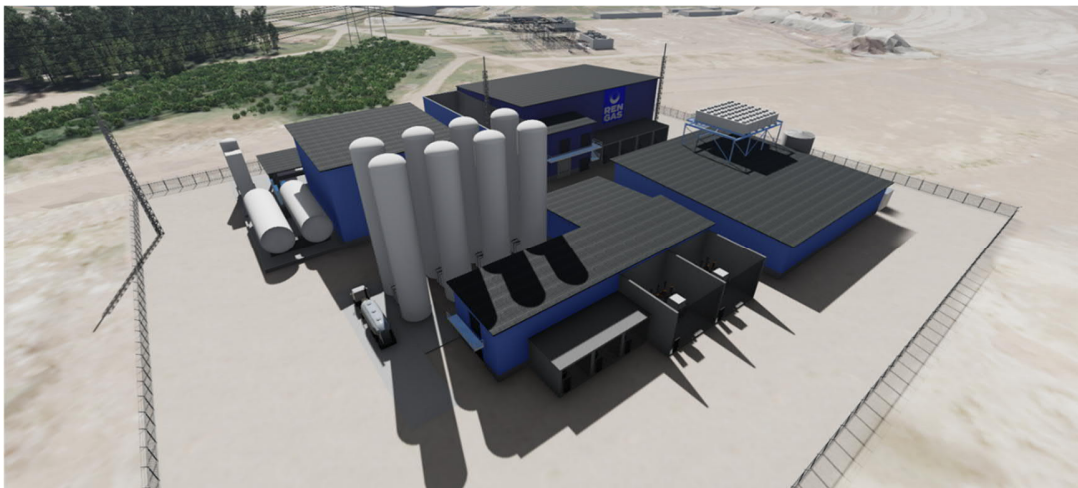
Kokkolaan Flexens Oy suunnittelee 300 MW ja 500 milj. € investointia vihreän vedyn ja vihreän ammoniakkin tuotantoon. Ammoniakkia voitaisiin käyttää alkuvaiheessa

lannoiteteollisuudessa ja myöhemmin meriliikenteen polttoaineena. Ammoniakin tuotannon kemiallinen kaava on esitetty alla. Ammoniakin tuotanto ei tarvitse hiilidioksidia.



Vaasaan on suunnitteilla Westenergyn synteettisen metaanin tuotantolaitos, jonka kapasiteetti on 7 300 tn. Laitoksen raaka-aineena hyödynnettäisiin jätteenpolttolaitoksen CO₂ -päästöjä. Länsirannikolle tuotantolaitosten yhteyteen on lisäksi suunniteltu pohjoismaista vedynsiirtoverkkoa, joka yhdistäisi tuotantoa ja loppukäyttöä.

Nordic Ren-Gas Oy suunnittelee Suomeen vihreän vedyn tuotantolaitoksia Tampereelle, Lahteen, Kotkaan, Poriin ja Mikkeliin. Pisimmällä suunnittelussa on Tampereen laitos, joka on saanut Työ- ja elinkeinoministeriöltä (TEM) 45,8 milj. € investointituen. Yhteensä suunniteltujen laitosten metaaniteho on n. 300 MW, joka vastaa n. 600 MW elektrolyyseritehoa. Valmistuessaan laitokset tuottaisivat vihreää vetyä, synteettistä metaania ja tuotannon sekundäärilämpö hyödynnettäisiin kaukolämpönä. Kuvassa 21. on esitetty periaatekuva tuotantolaitoksesta. (Nordic Ren-Gas, 2023)



Kuva 21. Vihreän vedyn tuotantolaitos (Nordic Ren-Gas Oy 2023)

Mikkeliin suunnitellun tuotantolaitoksen metaaniteho on 20 MW ja elektrolyyseriteho 40 MW. Suunnitellun laitoksen vuotuinen vihreän vedyn tuotantomäärä on n. 6 000 tn ja synteettisen metaanin n. 12 000 tn. Metaanin valmistuksessa vedyn lisäksi raaka-aineena tarvitaan hiilidioksidia n. 40 000 tn vuodessa suunnitelluilla tuotantomäärillä. Tarvittava hiilidioksidimäärä voitaisiin erottaa Pursialan voimalaitoksen puun polton savukaasuista. 40 000 tonnin hiilidioksidimäärä vastaa noin 92 GWh puupolttoainemäärän polttoa. Puupolttoainemäärän arvioissa puun hiilidioksidin ominaispäästönä on käytetty 112 g_{CO2}/MJ. Tuotannon yhteydessä syntyy sekundäärilämpöä, joka hyödynnettäisiin kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämmön määräksi on arvioitu n. 200 GWh vuodessa, joka vastaan 8000 h/a käyttöajalla n. 25 MW keskitehoa. (Nordic Ren-Gas 2023)

Taulukossa 1 on esitelty Suomeen suunniteltuja vihreän vedyn investointeja. Usealle tuotantolaitokselle on tehty ympäristövaikutusten arviointi, mutta todennäköisesti ainakin osa laitoksista valmistuu myöhemmin kuin taulukossa arvioitu. Suomen ilmasto- ja energiastrategian vedynvalmistuksen tuotantokapasiteetin tavoite vuodelle 2030 on 1 000 MW. Tällä hetkellä Suomessa on suunnitteilla n. 950 MW vihreän vedyn tuotantokapasiteettia (HS 2022).

Taulukko 1. Suunnitellut vihreän vedyn tuotantolaitokset (Helsingin Sanomat 19.12.2022)

Paikkakunta	Yhtiö	Arvioitu valmistuminen	Inv. arvo, milj. €	Lopputuote
Harjavalta	P2X	2024	70 milj. €	Vihreä vety ja synteettinen metaani
Kristiinankaupunki	CP Finland	2025	450 milj. €	Synteettinen metaani
Lempäälä	Flexens	2026		Puhdasta vetyä
Lahti	Ren-Gas	2026		Synteettinen metaani
Tampere	Ren-Gas	2026		Synteettinen metaani
Mikkeli	Ren-Gas	2026		Synteettinen metaani
Naantali	Green North Energy	2026		Vihreä ammoniakki
Lappeenranta	St1	2026		Synteettinen metanoli
Kotka	Ren-Gas	2027		Synteettinen metaani
Pori	Ren-Gas	2027		Synteettinen metaani
Kokkola	Flexens	2027	500 milj. €	Vihreä ammoniakki
Lappeenranta	UPM	-	-	UPM tarpeisiin
Porvoo	Neste	-	-	Jalostamolle
Vaasa	EPV	-	-	Säätövoimaksi
Vantaa	Vantaan Energia	-	-	Synteettistä kaasua liikenteeseen ja maakaasun korvaamiseen

Vedyn tuotanto on uutta liiketoimintaa, jonka tuotannon yhteydessä syntyvää sekundäärilämpöä voidaan hyödyntää kaupunkien kaukolämmön tuotannossa. Investointien käynnistyminen edellyttää myönteistä toimintaympäristöä, taloudellisia kannustimia ja yhteistyötä eri toimijoiden välillä. (TEM/2023/14)

3.6 Modulaariset pienydinvoimalat kaukolämmön tuotannossa

3.6.1 Teknologia

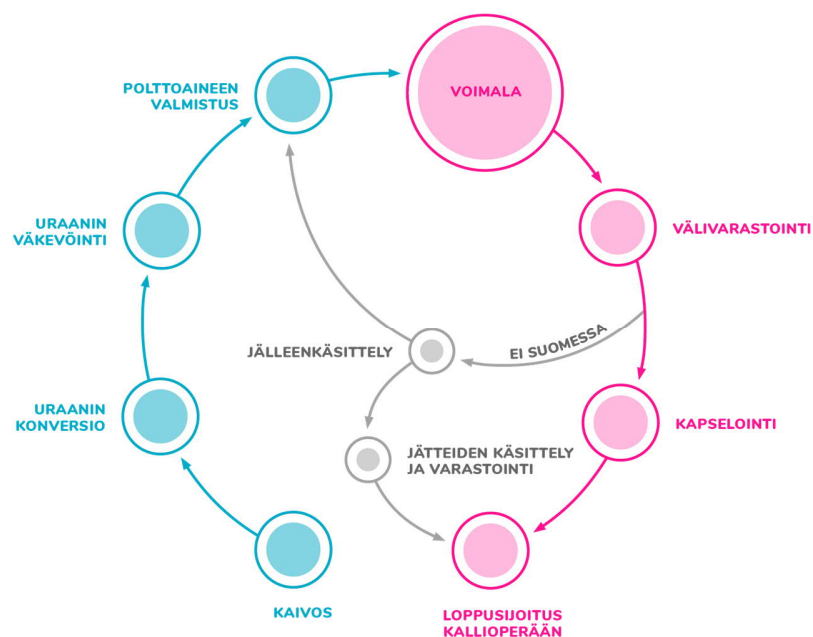
Perinteisesti ydinvoimalla on tuotettu sähköenergiaa suurissa peruskuormaa tuottavissa lauhdevoimalaitoksissa. Pienydinvoimaksi kutsutaan alle 300 MW:n ydinvoimalaitoksia ja tätä teknologiaa on hyödynnetty vuosikymmeniä sotilaskäytössä, esim. sukellusveneissä ja lentotukialuksissa. Yhdyskunnissa kiinnostus pienydinvoimaan on lisääntynyt erityisesti 2010-luvun loppupuolella, kun on etsitty ratkaisua CO₂-päästöttömään ja hiilidioksidineutraaliin kaukolämmöntuotantoon. Myös huoltovarmuuskohdat ovat puoltaneet uusien teknologioiden kehittämistä.

Yhdyskuntien kaukolämmön tuotantoon suunniteltuja pienydinvoimaloita kutsutaan SMR-reaktoreiksi (SMR = Small Modular Reactor). Teknologiassa pyritään modulaariseen ja yksinkertaisempaan rakenteeseen, joka mahdollistaisi tulevaisuudessa laajemman sarjatuotannon ja tätä kautta matalammat investointikustannukset.

Suomessa nykyinen ydinenergialaki vaatii, että eduskunnan tulee vahvistaa jokaiselle ydinvoimalaitokselle myönteisen periaatepäätös. Kaikkien laitosten tulee käydä läpi monivaiheinen luvitusprosessi, jonka kesto on useita vuosia. Nykyisten määräysten mukaisesti suuret reaktorit ovat sijoitettu kauas asutuksesta. Nykyinen luvitusprosessi aiheuttaa kohtuuttoman suuret kustannukset pienydinvoimalle. Tälle hetkellä selvitetään luvitusprosessin yksinkertaistamista ja tavoitteena on saada pienydinvoiman luvitusprosessin kestoksi 1–2 vuotta. TEM valmistelee lakimuutosta pienydinvoiman edellytysten parantamiseksi ja lisäksi Säteilyturvakeskus (STUK) päivittää säännöstöään vastaamaan paremmin pienydinvoimaa. Lakimuutosten taustalla on ajatus, että laitokset rakennettaisiin sijoituspaikalla valmiista tyyppihyväksytyistä moduuleista. Tällä hetkellä pienydinvoiman toteutuksen pullonkaulana ei ole teknologian valmius, vaan soveltuvat lainsäädännön puute.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin pelkästään kaukolämpöä tuottavaan pienydinvoimaan. Tällaiset laitokset soveltuisivat kokonsa puolesta (esim. 25–50 MW_{th}) hyvin suurten ja keskisuurten kaupunkien kaukolämmön tuotantoon. Pelkästään kaukolämpöä tuottavissa reaktoreissa vesi lämmitetään n. 150 °C, joka mahdollistaa yksinkertaisemman rakenteen laitosturvallisuus huomioiden. Pienydinvoimalaisten reaktorimoduulit voidaan sijoittaa maan alle vesialtaksiin, jossa passiivinen jäähdytysjärjestelmä huolehtii reaktorin jäähdytyksestä. Veden kierto altaassa voi perustua esim. veden luonnolliseen kiertoon. Tällöin laitos voitaisiin jäähdyttää ja ajaa alas ilman sähköä. Kaukolämmön tuotannossa ydinvoimalaitoksen tuotantoa voidaan säätää ja minimikuorman on arvioitu olevan n. 40 %. (Energiforsk 2023, Tulkki 2017)

Polttoaineena uraanin energiasisältö on erittäin korkea ja sen saatavuus on hyvä, koska sillä on useita toimittajia. Suomessa käytettävä uraani hankintaan tällä hetkellä pääasiassa Kazakstanista, Kanadasta ja Australiasta. Suomessa Talvivaaran kaivoksella tuotetaan ainoana Euroopassa uraania ja sen tuotantomäärä on n. 200 tn/a. Tässä määrässä uraanipitoisuus on 0,72 %. Polttoaine-elementteihin uraani rikastetaan 2–5 % pitoisuuteen. Suomessa ei omaa polttoaine-elementtien valmistusta ole, vaan ne valmistetaan Saksassa, Espanjassa tai Ruotsissa. (TVO) Pienydinvoimalassa polttoaine vaihdetaan muutaman vuoden välein ja kerralla vaihdettava määrä on joitain satoja kilogrammoja. Pienissä reaktoreissa radioaktiivista ainetta on 100-200 kertaa suurta yksikköä vähemmän (Hyvärinen 2022). Reaktorista poistetut polttoaineniput jäähdytetään laitoksella useamman vuoden ajan, josta ne siirretään välivarastoon. Geologisessa loppusijoituksessa polttoaineniput haudataan kuparikapseleissa syvällä kallioperään. Kuvassa 22 on esitetty uraanin polttoainekierto.

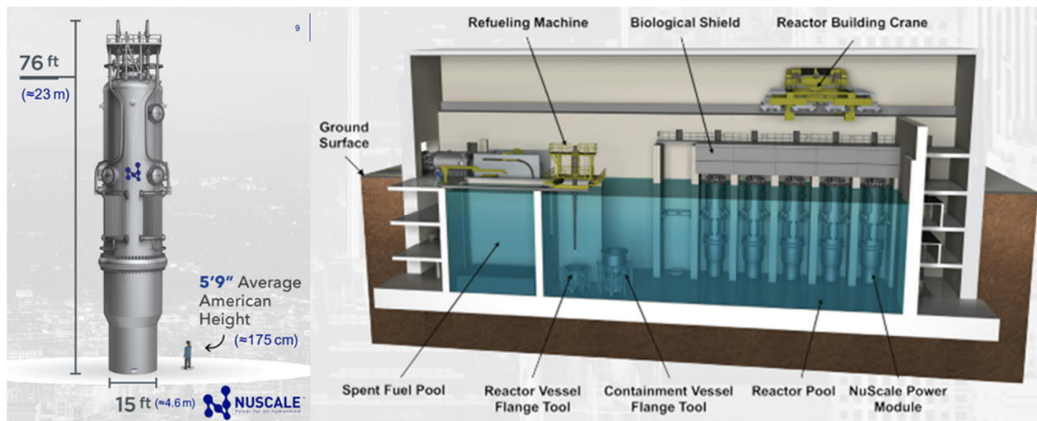


Kuva 22. Uraanin polttoainekierto (TVO)

3.6.2 Referenssi kohteita

Maailmalla pienydinvoima keskittyy pääasiassa sähköä tuottaviin yksiköihin, kun taas Suomessa pienydinvoima nähdään potentiaalisena tulevaisuuden vaihtoehtona kaupunkien kaukolämmön tuotannossa.

Yhdysvalloissa ydinturvallisuusvirasto hyväksyi tammikuussa 2023 ensimmäisen SMR-reaktorin. Tavoitteena on, että Nuscale 50 MW_e valmistuu 2030 mennessä. Nuscale-kokoluokan reaktorin lämpöteho on 160 MW_{th}, mutta laitos tuottaa ainoastaan sähköä. Lisäksi reaktorista on suunnitteilla moduulikooltaan suurempi 77 MW_e reaktori. Nuscale reaktoreissa turvallisuus perustuu veden luonnolliseen kiertoon, jolloin häiriötilanteessa se sulkee ja jäähtyy itse itsensä. Kuvassa 23 on esitetty reaktorin mittasuhteita sekä reaktoreiden sijoitus altaaseen. Nuscale yhtiön tavoitteena on asentaa yksittäisiä moduuleita riviin, jolloin laitoksen kokonaissähköntuotantoa voidaan kasvattaa. (Nuscale)



Kuva 23. SMR-reaktorin mittasuhteet (Nuscale)

Sähköenergiaa tuottavia reaktoreita SMR-kokoluokassa valmistavaa myös yhdysvaltalais-japanilainen GE Hitachi ja näitä laitoksia on suunnitteilla mm. Kanadaan, Iso-Britanniaa, Viroon sekä Ruotsiin. Yksittäisessä laitoksessa sähköteho on 300 MW_e.

Kiinassa on jo tuotannossa 210 MW_e korkean lämpötilan kaasujäähdytteinen kuulareaktori, joka tuottaa ainoastaan sähköä. Kyseessä on HTR-PM -tyyppinen demonstraatiolaitos.

Taulukkoon 2 on esitelty maailmalla suunnitteilla ja valmisteilla olevia SMR-reaktoreita. (Energiforsk)

Taulukko 2. Suunnitteilla ja valmisteilla olevia SMR-reaktoreita (Energiforsk)

Nimi / Yritys	Reaktorin tyyppi	Reaktorin teho	Jäähdytin/Moderaattori	FOAK arvio	Käyttökohteet
UK SMR / Rolls Royce	Painevesi	1358 MWt / 470 MWe	Kevytvesi	2030	Sähkö ja lämpö
BWRX-300 / GE Hitachi	Kiehutusvesi	870 MWt / 300 MWe	Kevytvesi	2028	Sähkö ja lämpö
Nuward	Integroitu painevesi	2x540 MWt / 2x170 MWe	Kevytvesi	2033	Sähkö ja lämpö
VOYGR / NuScale	Integroitu painevesi	4, 6 tai 12x250 MWt / 77 MWe	Kevytvesi	2029	Sähkö ja lämpö
Xe-100 / X-Energy	Kaasujäähdyt. korkean lämmön kuulakeko	200 MWt / 80 MWe (x4)	Helium / Grafiitti	2027	Sähkö ja prosessilämpö
MMR / USNC	Ydinparisto (20 vuoden lataus)	15 MWt / 5 MWe (x2)	Helium / Grafiitti	2020-luvulla	Sähkö ja prosessilämpö
Natrium / TerraPower & GE-Hitachi	Natrium, nopea reaktori	345 MWe	Natrium	2020-luvulla	Sähkö ja prosessilämpö
HTR-PM / CNNC	Kaasujäähdyt. korkean lämmön kuulakeko	250MWt/ 105 MWe	Helium / Grafiitti	2021	Sähkö ja prosessilämpö
IMSR / Terrestrial Energy	Sulasuola-allas	400 MWt / 190MWe	Fluoridisuola / Grafiitti	2020-luvulla	Sähkö ja prosessilämpö

VTT:n LDR-50					
LDR-50 / VTT	Termospullo	50 MWth	Kevytvesi	2020-luvulla	Kaukolämpö, meriveden puhdistus

LDR-50 on VTT:n kehittämä kaukolämmön tuotantoon ja meriveden puhdistukseen soveltuva, hieman termospulloa muistuttava minireaktori-konsepti. Yhden yksikön lämpöteho on 50 MW, ja yksiköitä voi olla laitoksessa useampia. Sen passiivisen lämmönpoistojärjestelmän suunnittelu voitti kolmannen palkinnon EU Komission ydinvoimainnovaatiokilpailussa. Reaktoreita voisi olla kaupallisen mittakaavan tuotannossa 2030-luvulla, FOAK jopa 2020-luvulla.

Suomessa erityisesti VTT ja LUT-yliopisto ovat tutkineet kaukolämmön tuotantoa pienydinvoimalla. VTT on arvioinut, että lämpöä tuottava yksikkö (Nuscale: 160 MW_{th}, Steady Energy 50 MW_{th}) voisi olla sopiva kokoluokka suomalaisten kaupunkien kaukolämmön tuotantoon. (Tulkki 2017)

Tällä hetkellä VTT-lähtöinen yritys Steady Energy Oy on kaupallistamassa kaukolämmöntuotantoon soveltuva LDR-50 reaktoriyksikköä, jonka kaukolämpöteho olisi 50 MW. Reaktori toimii n. 150 °C lämpötilassa ja alle 10 bar paineessa. Yhdellä polttoainelatauksella reaktoriyksikkö toimisi noin kaksi vuotta. Laitoksia on suunniteltu mm. Helsinkiin ja Kuopioon. Kaupallistamisen tavoitteena ja edellytyksenä on uudistaa nykyistä ydinenergialakia, jotta voidaan hakea laitokselle sijoituspaikka- ja teknologia-luvat. (Steady Energy Oy 2023, LDR-50 2023)

LUT-yliopistossa on tutkittu 15–30 MW:n tehoista kaukolämpöä tuottavaa kaasujäähdytteistä pienydinvoimalaitosta. Laitoksen mahdollinen sijoituspaikka voisi olla Lappeenrannan Energia Oy:n toimialueelta, jolloin sitä voitaisiin hyödyntää myös yliopiston tutkimustoiminnassa. Suunniteltu laitos olisi sijoitettu maan alle ja se olisi kooltaan noin kahden autotallin kokoinen (Kuva 24.). Tällä hetkellä LUT-yliopiston SMR-tutkimuksissa selvitetään mm. reaktorin rakennus-, ylläpito- ja käyttökustannuksia, joiden avulla voidaan arvioida laitoksen kilpailukykyä lämmöntuotannossa. Pienydinvoiman tarkemmat kustannukset selviävät laitosten rakentamisen yhteydessä. (Hujala 2022, Hyvärinen 2022)



Kuva 24. Havainnekuva LUT-yliopisto Luther 24 MW_{th} SMR-reaktorin (Hyvärinen 2022)

Taulukossa 3 on esitelty eri kokoluokan ydinreaktoreiden lämpö- ja sähkötehoja sekä arvioita investointikustannuksista (Hyvärinen 2022). Huomioitavaa on, että suuremmissa sähköä tuottavissa lauhdelaitoksissa ei tuoteta kaukolämpöä.

Taulukko 3. Eri kokoluokan ydinvoimalaitosten tehoja, kustannusarvioita sekä arvio teknologian kaupallisuudesta (Hyvärinen 2022)

	Type	Thermal MW	Electric MW	Cost of one, M€	Conv. eff.	€/kWe	€/kW-heat	Availability
Olkiluoto 3	EPR	4300	1600	9 000	37 %	5 600	2 100	On sale
Barakah	APR1400	4000	1400	6 100	35 %	4 400	1 530	On sale
SMRs	BWRX-300	870	300	1 000	34 %	3 300	1 150	Coming soon
	NuScale	200	60	250	30 %	4 200	1 250	Certified in US
District heating	LUTHER	24	N/A	50		N/A	2 100	Concept

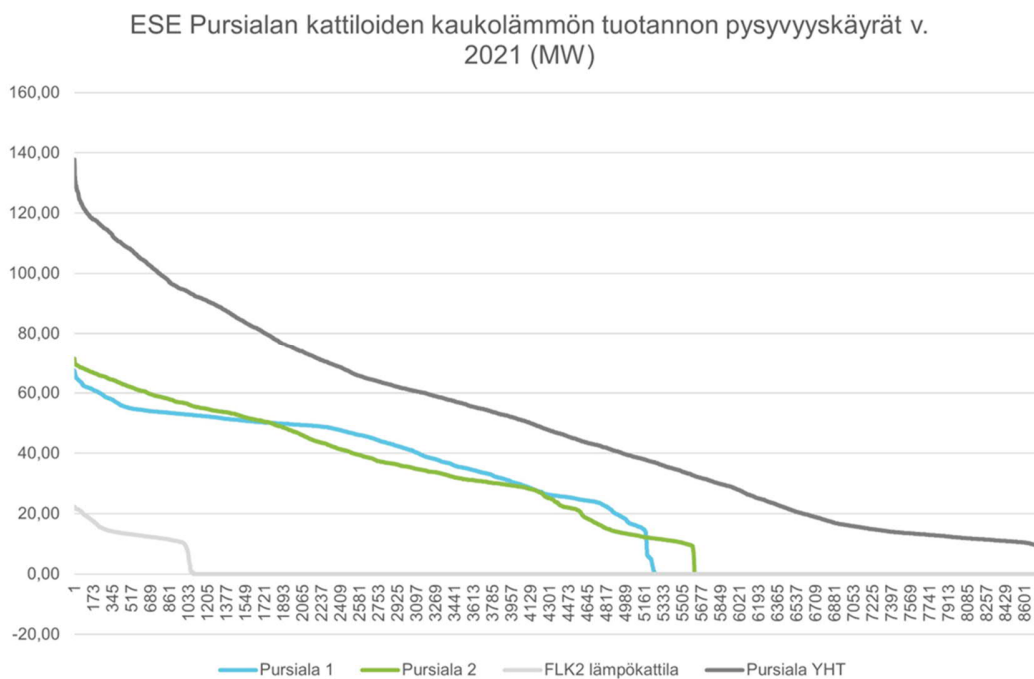
Useissa yleisissä energiakeskusteluissa on esitetty, että Suomen ensimmäinen pieneydinvoimalaitos kaukolämmön tuotannossa voisi olla toiminnassa 2030-luvulla. Tästä ensimmäisestä investoinnista saatavat käyttökokemukset tulevat helpottamaan seuraavien laitosten toteutumista.

Ydinenergian hyödyntäminen länsimaissa on aina herättänyt vahvoja mielipiteitä puolesta ja vastaan. Viime vuosina ydinvoiman käyttöä ovat puoltaneet hiilidioksidipäästöttömän tuotannon kasvu. Suomessa vuonna 2020 toteutetun kyselytutkimuksen mukaan ydinvoiman yleinen hyväksyttävyyden on viime vuosina noussut siten, että positiivisesti siihen suhtautuu 49 % ja kielteisesti 16 % (Energiateollisuus ry / Kantar TNS 2020). Pieneydinvoiman paikallisesta hyväksyttävyydestä on tekeillä Jenny Kuusisen diplomityö, jonka aiheena on ”Paikallinen mielipide pieneydinvoiman sijoittamisesta Mikkelin alueelle”. Lopullinen paikallinen hyväksyttävyyden selviää uusien laitosten luvitusvaiheessa.

4 VAIHTOEHTOISTEN EI-POLTTAVIEN TUOTANTOTEKNOLOGIOIDEN SOVELTUVUUS

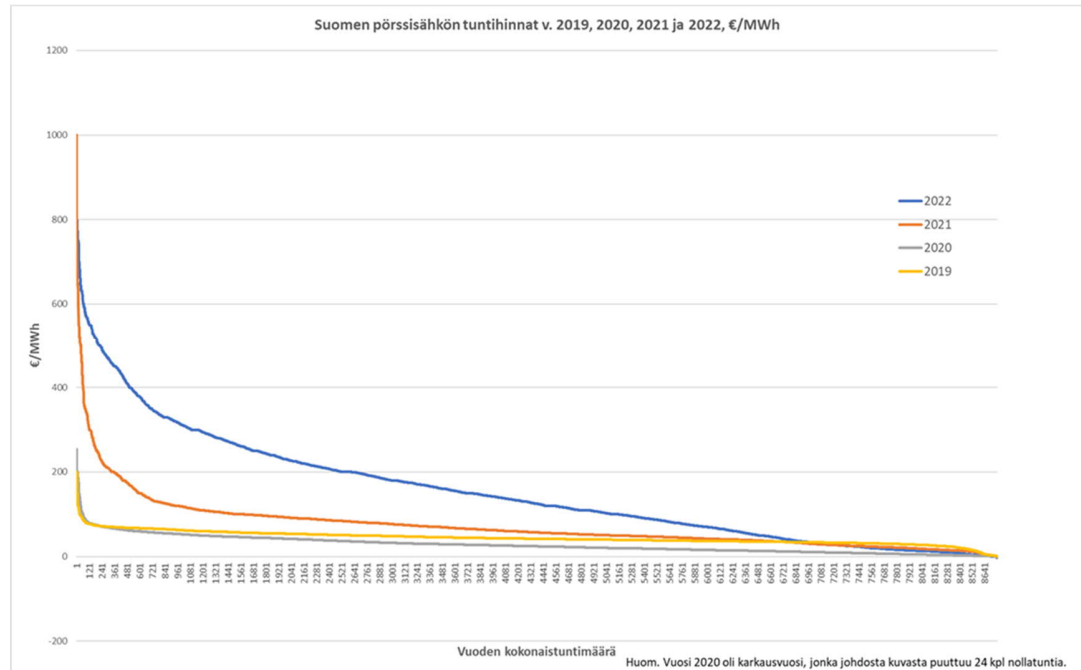
4.1 Johdanto

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa ei-polttavien kaukolämmön tuotantoteknologioiden mahdollisuutta esimerkkikohteeksi valitun Mikkelin kaukolämmön tuotannossa. Vaihtoehtoinen tuotantoteknologia korvasi ensisijaisesti Pursiala 1 kattilan (30 MW_e / 60 MW_{th}) kaukolämmön tuotantoa. Tällä hetkellä kattilan polttoaineina käytetään energiapuuta (70 %) ja polttoturvetta (30 %). Seuraavissa kappaleissa on arvioitu tutkimukseen valittujen teknologioiden soveltuvuutta Mikkelin kaukolämmön tuotannossa. Alla olevassa kuvassa on esitetty Etelä-Savon Energian Pursialan voimalaitoksen kaukolämmön tuotannon pysyvyyskäyrät kattiloittain vuodelta 2021.



Kuva 25. Pursialan kattiloiden kaukolämmön tuotannon pysyvyyskäyrät 2021 (MW)

Useat vaihtoehtoiset ei-polttavat tuotantoteknologiat käyttävät sähköenergiaa entistä enemmän. Alla olevassa kuvassa on esitetty pörssisähkön tuntihinnat vuosilta 2019–2022. Kuvassa vuosittaiset pörssisähkön tuntihinnat (€/MWh) ovat lajiteltu korkeimmasta matalimpaan.



Kuva 26. Suomen pörssisähkön tuntihinnat vuosilta 2019–2022 (€/MWh) lajiteltuna korkeimmasta matalimpaan

Kuvasta nähdään, että vuoden 2022 sähkön pörssihinta on ollut selvästi korkeammalla tasolla verrattuna vuosiin 2019–2021. Vuosina 2021 ja 2022 tuntikohtaiset vaihtelut olivat selkeästi suurempia kuin 2019 ja 2020. Tämä johtuu poikkeuksellisista häiriöistä energiemarkkinoilla sekä sääriippuvaisen sähköntuotannon määrän kasvusta. Tulevaisuudessa sähköenergian hintataso tulee vaikuttamaan sähköenergiasadonnan kaukolämmön tuotannon kannattavuuteen ja kilpailukykyyn.

4.2 Lämpöpumput ja sekundäärilämmönlähteet

Suomessa sekundäärilämmön lähteitä ja lämpöpumppuja hyödynnetään entistä laajemmin kaukolämmön tuotannossa. Kehityksen taustalla ovat lämpöpumppujen kehittyminen ja energian hinnan nousu, jotka ovat mahdollistaneet uusien vaihtoehtojen hyödyntämisen. Taustalla on myös halu korvata polttavaa teknologiaa ja hyödyntää olemassa olevia sekundäärilämmön lähteitä entistä tehokkaammin.

Mikkelin osalta haasteena on, että kaukolämpöverkoston alueella ei ole merkittäviä sekundäärilämmönlähteitä, joita voitaisiin hyödyntää suuremmissa mittakaavassa kaukolämmön tuotannossa. Suomessa on useasti hyödynnetty jätevesien sekundäärilämpöä kaukolämmön tuotannossa yhdessä lämpöpumppujen kanssa. Tällaisia ratkaisuja on käytössä esim. Helsingissä, Turussa ja Espoossa. Myös Mikkelissä jätevedenpuhdistamo on potentiaalinen lämmönlähde, jonka laajempi hyödyntäminen edellyttäisi verkostoinvestointeja, koska jätevedenpuhdistamo sijaitsee noin 3–4 kilometrin etäisyydellä voimalaitoksesta. Jätevedenpuhdistamolla on käytössä 2x600 kW lämpöpumput, joiden lämmönlähteenä on puhdistettu jätevesi. Tuotettua lämpöä hyödynnetään luolastossa sijaitsevan puhdistamon lämmityksessä.

Tulevaisuudessa uusi potentiaalinen sekundäärilämmönlähde voisi olla esim. datakeskus, joiden sijoituspaikkoja kartoitetaan ympäri Suomea. Näissä ratkaisuissa lämmön hyödyntäminen on olennainen tekijä. Muita mahdollisia uusia ratkaisuja ovat pienet lämpöpumput erityiskohteista, sekä kaksisuuntaisen kaukolämmön hyödyntäminen. Kaksisuuntainen kaukolämpö mahdollistaa lämpöä käyttävien asiakkaiden ryhtymisen lämmön myyjiksi ja tällä toimintamallilla voidaan lisätä olemassa olevan kaukolämpöverkon hyödynnettävyyttä. Ilma-vesilämpöpumpputeknologiaa aletaan hyödyntää Etelä-Suomessa, jossa lyhyempi ja leudompi talvi parantavat järjestelmän käytettävyyttä. Teknologian laajempi hyödyntäminen vaatii myös kilpailukykyistä sähköenergiaa.

4.3 Sähkökattilat ja sähkön kysyntäjousto

Hankkeen toteutuksen aikana useat kaukolämpöyhtiöt ovat investoineet sähkökattiloihin. Kattiloiden tuotantokapasiteetti on ollut tyypillisesti 20–60 MW. Sähkön syötön osalta kattilat tarvitsevat joko keskijännite- tai suurjänniteliittymän. Investointien taustalla on halu hyödyntää pörssisähkön alhaisia hintoja ja lisäksi sähkökattilat tuovat kysyntäjoustoja sähköjärjestelmään. Sähkökattiloiden investointikustannus on suhteellisen alhainen ja kattilat ovat nopeasti rakennettavissa. Sähkökattilat ovat osa hybridiratkaisua, jota tullaan hyödyntämään kaukolämmön tuotannossa muiden vaihtoehtojen rinnalla.

Hankkeen toteutuksen aikana referenssikohteeseen päätettiin investoida sähkökattila, jonka kaukolämmön tuotantoteho on 40 MW. Kattilan rakentaminen alkoi vuonna 2023 ja sitä hyödynnetään, kun sähköenergian pörssihinta on alhainen. Sähkökattilalla voidaan korvata polttavalla teknologialla tuotettua kaukolämpöä. Sähköenergian hintataso ja vaihtoehtoisen tuotannon kustannus tulevat määrittämään sähkökattilan vuotuisen käyttöajan. Sähkökattila toimii myös varajärjestelmänä kaukolämmön tuotannossa. Helpon säädettävyyden ja korkean hyötysuhteen ansiosta sähkökattilan avulla, yhdessä olemassa olevan lämpöakun (7 000 m³) kanssa, voidaan tasata kaukolämmön vuorokausikohtaisia kulutushuippuja. Lisäksi sähkökattila tuo joustoja kaukolämmön tuotantoon erityisesti keväisin ja syksyllä. Kesäaikaan sähkökattilalla voidaan tuottaa koko kaukolämmöntarve, kun kaukolämmön kulutus on alle 20 MW. Useassa muussa energiayhtiössä toimitaan vastaavalla tavalla.

4.4 Geoterminen kaukolämmön tuotanto

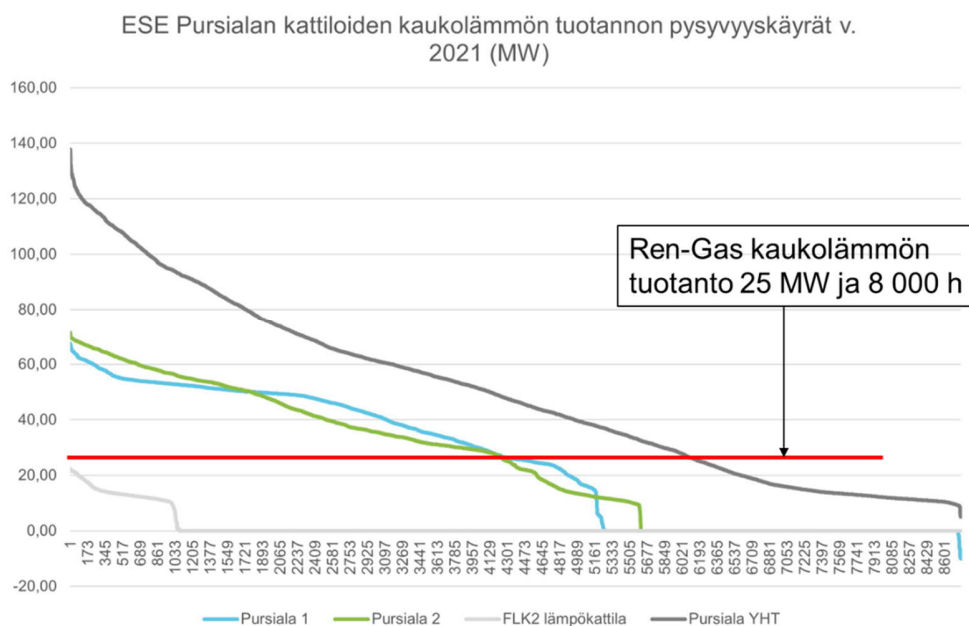
Tarkasteltavan referenssikohteen ympäristössä geotermisen lämmön laajamittainen hyödyntäminen näyttää epätodennäköiseltä. Kiinteistökokoluokan maalämpöratkaisut ovat yleistyneet, mutta valtakunnallisesti geotermistä lämpöä ei ole hyödynnetty kaukolämmön tuotannossa.

Hankkeen toteutuksen aikana on selvitetty geotermisen energian tuotannon edellytyksiä Etelä-Savossa (FCG 2023). Selvityksen mukaan Etelä-Savossa geotermisen energian hyödyntämiseen lämmön tuotannossa tarvitaan lämpöpumppuja. Syvät energia-kaivot (6–8 km) ovat korkeiden porauskustannusten takia epätodennäköinen ratkaisu, jolloin keskittyminen keskisyviin kaivoihin (1–3 km) voisi olla todennäköisempi ratkaisu. Mikkelin geotermisen energian hyödyntämisen haasteina ovat mm. maapinnan paksuus, pohjavesialueiden sijainti sekä lisäksi potentiaalisimmat kohteet sijaitsevat kaukana nykyisestä kaukolämpöverkostosta. Keskisyvien kaivojen osalta kannattaa odottaa kokemuksia muiden kotimaisten referenssikohteiden osalta.

4.5 Vetytalous

Vetytalous osalta Suomessa on useita tehdashankkeita suunnitteluvaiheessa ja yhden suunnitellun laitoksen sijaintipaikka olisi Mikkelissä. Vedyn tuotannon yhteydessä syntyy sekundäärilämpöä, jonka hyödyntäminen on laitoshankkeiden toteutumisen edellytyksenä. Nordic Ren-Gas Oy suunnittelee Power-to-Gas -tuotantolaitosta Mikkeliin ja se tuottaisi uusiutuvaa synteettistä metaania, vetyä ja sekundäärilämmöstä tuotettua kaukolämpöä. Alustavan aikataulun mukaan ensimmäisen vaiheen rakentaminen ajoittuisi vuosille 2023–2026, mutta todennäköisesti toteutus viivästyy alkuperäisestä suunnitelmasta.

Suunnitellussa vihreän vedyn tuotantolaitoksessa syntyy sekundäärilämpöä, jonka lämpötilataso on n. 30–70 °C. Tästä saatavan kaukolämmön määrä olisi n. 200 GWh vuodessa. Tällöin kaukolämmön tuotannon keskiteho olisi 25 MW, jos laitoksen vuotuinen käyttöaika olisi 8 000 tuntia. Alla olevassa kuvassa on esitetty Nordic Ren-Gas Oy:n kaukolämmön tuotanto ja Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan kattiloiden pysyvyyskäyrä.



Kuva 27. Nordic Ren-Gas Oy:n tuotantolaitokselta saatavan kaukolämmön määrä pysyvyyskäyrällä

Vuonna 2021 Pursialan voimalaitoksen kaukolämmön tuotanto oli yhteensä 424 GWh, josta Pursiala 1 osuus oli 218 GWh ja 2:n osuus 216 GWh. Vihreän vedyn tuotantolaitoksen hukkalämmöllä voitaisiin laskennallisesti korvata toisen kattilan kaukolämmön tuotanto, joka vähentäisi puun ja turpeen käyttöä n. 250 GWh. Jos toisen kattilan kaukolämmön tuotanto korvattaisiin sekundäärilämmöllä, niin tällöin menetetään CHP-kattilan sähköntuotanto. Kesäaikana sekundäärilämmöllä voitaisiin tuottaa koko kaukolämmön tarve.

Mikkeliin suunnitellun metaanin tuotantolaitoksen raaka-aineeksi tarvitaan vetyä ja hiilidioksidia. Tarvittava hiilidioksidimäärä on 40 000 tonnia, joka voitaisiin erottaa Pursialan voimalaitoksen toisen kattilan puun polton savukaasuista. Tämä 40 000 tonnin hiilidioksidimäärä vastaa noin 92 GWh puupolttoainemäärän polttoa. Hiilidioksidin kausivarastoinnin avulla tuotantolaitoksella voidaan tuottaa metaania myös kesäaikana, jolloin hiilidioksidia ei ole saatavilla polttoprosessista.

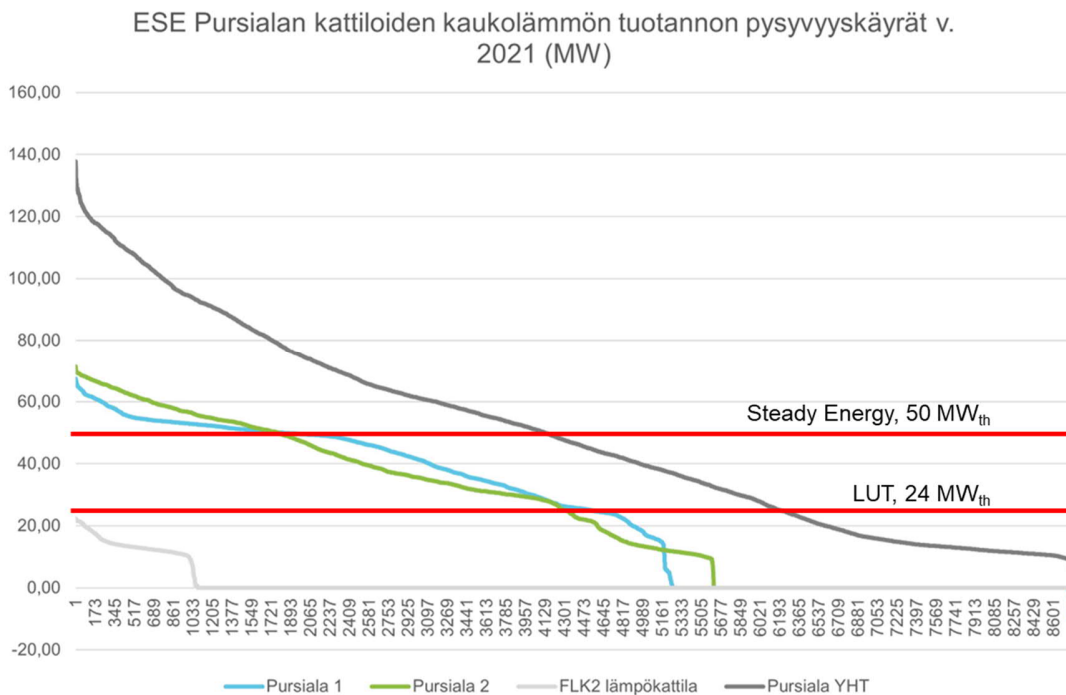
Toteutuessaan Power-to-Gas-tuotantolaitos tarjoaisi uuden mahdollisuuden Mikkelin kaukolämmön tuotantoon ja sillä voitaisiin korvata merkittävä määrä nykyistä polttoon

perustuvaa tuotantoa. Hyödynnettävän sekundäärilämmön pysyvyys- ja lämpötilatasot tarkentuvat käynnissä olevissa suunnitelmissa.

4.6 Modulaariset pienydinvoimalat kaukolämmön tuotannossa

Modulaariset pienydinvoimalat ovat kaukolämmön tuotannon tulevaisuuden ratkaisu, jonka kehittämistä useat energiayhtiöt seuraavat. Toteutuessaan pienydinvoima tarjoaisi uuden vaihtoehdon perinteisille polttoon perustuville ratkaisuille. Erityisesti laitosten luvitusprosessit vaativat uudenlaista tarkastelua, jotta modulaaristen pienreaktoreiden sarjatuotanto olisi kustannustehokasta.

Kuvassa 28 on esitetty suomalaisten toimijoiden suunnittelemien pienydinvoimalaitosten kaukolämmön tuotantomäärät suhteessa Pursialan voimalaitoksen vuoden 2021 toteutuneisiin kaukolämmön tuotannon pysyvyyskäyriin.



Kuva 28. Pienydinvoiman tuotantomäärät suhteessa Pursialan voimalaitoksen kaukolämmön tuotantoon vuonna 2021

Molemmissa ratkaisuissa kaukolämpöä tuotettaisiin tasaisella teholla, vaikkakin laitoksia voidaan ajaa n. 40% minimiteholla. Pienemmässä 24 MW:n yksikössä vuotuinen kaukolämmön tuotanto voisi korvata Pursiala 1 kattilan tuotannon ja yhdessä Pursiala 2 kattilan kanssa vuotuinen kaukolämmön tarve saataisiin tuotettua lähes kokonaan. Lisäksi sähkökattilaa ja kaukolämpöä voidaan hyödyntää hetkellisten kulutus- huippujen tarpeissa sekä kesäajan pienemmillä kuormilla. Suuremman 50 MW:n tuotantoyksikön tapauksessa käyttötunnit täyden kuorman ajossa olisivat n. 4 000 h, jonka jälkeen kaukolämpöä tuotettaisiin osakuormalla. Lisäksi tarvitaan muuta tuotantoa yli 50 MW:n tehoille sekä kesäajan n. 15–20 MW:n minimikuormille.

Ensimmäinen kaupallisen kokoluokan laitos tulee olemaan suunnannäyttävä pienydinvoiman hyödyntämisessä suurten ja keskisuurten kaupunkien kaukolämmön tuotannossa.

4.7 Yhteenveto soveltuvuudesta ja käytettävyydestä

Hankkeen tulosten ja referenssikohteiden analysoinnin perusteella kaikissa vaihtoehdoissa ei-polttavissa kaukolämmön tuotantoteknologioissa on omat mahdollisuutensa ja haasteensa. Alla olevassa taulukossa on vertailtu uusien kaukolämmön tuotantoteknologioiden soveltuvuutta ja ominaisuuksia. Päätöksenteossa eri kriteereitä on runsaasti, mutta taulukkoon on valittu keskeisimpiä. Taulukossa kriteereitä on arvioitu numeroilla 3, 2 ja 1. Numero 3 tarkoittaa positiivista vaikutusta tai vahvuutta, 2 on neutraali ja 1 tarkoittaa kehityskohdetta. Taulukossa eri teknologioita on pyritty vertaamaan objektiivisesti keskenään hankkeen tulosten perusteella.

Taulukko 4. Eri teknologiavaihtoehtojen vertailu

3, 2, 1	Lainsäädännölliset tekijät	Taloudelliset tekijät		Kehitystaste	Yrityssidonnaisuus, kumppani
		Investointi	Käyttökustannus		
Lämpöpumput ja sekundäärilämpö	3	2	2	3	1
Sähkökattilat	3	3	1	3	3
Geoterminen energia	2	1	3	1	3
Vetytalous	2	2	2	2	1
Pienydinvoima	1	1	3	1	2

Taulukossa esitetyt vertailut ovat suuntaa antavia ja eri kohteissa paikalliset olosuhteet voivat muuttaa eri tekijöiden painotuksia. Tulevaisuudessa painotukset voivat muuttua. Alla on lyhyesti kerrottu tarkennuksia eri kriteereihin ja valintoihin.

- Lainsäädännölliset tekijät: 3 tarkoittaa olemassa olevaa lainsäädäntöä esim. laistosten luvitukseen. 1 tarkoittaa tekeillä olevaa uudistusta.
- Taloudelliset tekijät: 3 tarkoittaa suhteellisesti matalampaa investointi- tai käyttökustannusta ja vastaavasti 1 tarkoittaa suhteellisesti korkeampaa kustannusta.
- Kehitystaste: 3 tarkoittaa käytössä olevaa teknologiaa ja 1 tarkoittaa kehitteillä olevaa teknologiaa, jolla ei ole välttämättä olemassa olevia referenssejä.
- Yrityssidonnaisuus: 3 tarkoittaa pientä sidonnaisuutta, jolloin energiayhtiö voi toteuttaa uudistuksen itsenäisesti. 1 vaatii yleensä yhteistyöyrityksen ja kumppani voi olla esim. uusi sekundäärilämmön lähde.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulevaisuudessa perinteinen kaukolämmön tuotanto tulee uudistumaan ja erityisesti uusia tuotantomuotoja perinteisen polttavan teknologian rinnalle tullaan ottamaan laajemmin käyttöön. Ensimmäisenä muutokset kohdistuvat fossiilisten polttoaineiden käyttöön. Muutoksella varmistetaan kaukolämmön ekologisuus, kilpailukyky sekä kaukolämpöverkoston käytettävyyden myös tulevaisuudessa osana toimivaa energiajärjestelmää.

Sähkökattilat ovat osa kaukolämmön tuotannon nykyistä hybridiratkaisua ja useat kaukolämmön tuottajat ovat investoineet niihin. Sähkökattiloita hyödynnetään yhdessä lämpöakkujen kanssa edullisen sähköenergian hinnan aikana kulutushuippujen tasaisessa ja kesäaikana. Tuuli- ja aurinkosähkön tuotannon lisääntyessä sähkökattilat ovat osa sähkön kulutusjoustoja. Sähkökattiloiden osalta tulevaisuuden haasteena voi olla edullisen ja kilpailukykyisen sähkön riittävyys tulevaisuudessa yhteiskunnan sähköistyessä.

Lämpöpumppuja ja sekundäärilämmön lähteitä hyödynnetään tulevaisuudessa entistä tehokkaammin. Paikallisella tasolla toiminnan laajuuden määrittävät käytettävissä olevat sekundäärilämmön lähteet. Tämä mahdollisuus voi myös tuoda uusia investointeja alueella, jolloin esim. datakeskusten sekundäärilämmön hyödyntäminen on huomioitu jo suunnitteluvaiheessa. Lämpöpumppujen hyödynnettävyyttä parantaa kaukolämmön menoveden lämpötilatason alentaminen, jota selvitetään aktiivisesti useassa energiayhtiössä. Lämpöpumpputeknologiaa tarvitaan myös keskisyvän geotermisen lämmön hyödyntämisessä.

Vedyn tuotantolaitoksen toteutuminen on iso mahdollisuus Mikkelin kaukolämmön tuotannon uudistuksessa. Tuotantoprosessissa syntyvän sekundäärilämmön hyödyntäminen kaukolämpönä on osa toteutettavaa ratkaisua ja tästä syntyvällä kaukolämmöllä voitaisiin korvata merkittävä määrä nykyistä turpeen ja metsähakkeen käyttöä. Toteutuessaan vetylaitos toisi uutta liiketoimintaa Etelä-Savon alueelle.

Tulevaisuudessa ydinvoimalla toimivat pienet kaukolämpöreaktorit voivat olla uusi potentiaalinen ratkaisu suurten ja keskisuurten kaupunkien hiilineutraaliin kaukolämmön tuotantoon. Toteutuminen vaatii muutoksia lainsäädäntöön kansallisella tasolla, ja kokemukset ensimmäisistä laitoksista määrittävät toiminnan reunaehdot.

Hankkeen tavoitteena oli analysoida ei-polttavia tuotantoteknologioita kaukolämmön tuotantoon. Toteutuessaan uudet ratkaisut korvaisivat esimerkiksi kivihiilen, maakaasun, turpeen ja biomassan käyttöä kaukolämmön tuotannossa. Ensimmäisinä korvautuvat fossiiliset polttoaineet, joiden käytön vähentämistä on vauhdittanut Ukrainan sota. Viime vuosina puupolttoaineiden osuus kaukolämmön tuotannossa on jopa kasvanut ja sen korvaaminen tulee olemaan haasteellisinta. Tämän johdosta puupolttoaineet säilyvät tulevina vuosina uusien ratkaisujen rinnalla. Niiden hyödyntäminen tuo myös huoltovarmuutta energiajärjestelmien toimivuuteen sekä elinvoimaa haja-asutusalueelle. Myös pienempien kaukolämpöverkkojen peruskuormalaitoksissa puupolttoaineita tullaan hyödyntämään jatkossakin. Puupolttoaineiden käyttö tuo hintavakautta ja ennakoitavuutta vaikkakin polttoaineiden hinta on noussut viime vuosina.

Tutkimuksessa esimerkkikohteena oli Mikkelin kaukolämpöverkko ja vaihtoehtoisten kaukolämmön tuotantomenetelmien käytettävyyttä arvioitiin tässä toimintaympäristössä. Myös muilla energiayhtiöillä on vastaavia suunnitelmia kaukolämmön uudistamisessa ja kehittämisessä. Tulevaisuuden päätöksenteossa taloudellisten kriteerien rinnalle nousevat aiempaa voimakkaammin esille myös ympäristölliset, ekologiset ja sosiaaliset näkökohdat. Tämä koskettaa sekä lämmön tuottajia, että kuluttajia.

Uusia vaihtoehtoisia tuotantomenetelmiä kehitetään edelleen tulevaisuudessa ja mahdolliset muutokset voivat tapahtua nopeasti. Kokemukset ensimmäisistä esimerkkikohteista lisäävät tietoa uusista mahdollisuuksista. Digitalisaation ja automaation kehittyminen tuovat uusia teknologisia innovaatioita, joiden avulla energiareсурseja voidaan hyödyntää entistä tehokkaammin. Erilaiset muutokset tulevat ulottumaan myös kaukolämmön tuotantoon, jakeluun ja käyttöön.

LÄHDELUETTELO

Aamulehti. Tampereen Energia investoi sähkökattiloihin. 3.11.2023.

Afry. AFRY tekee perussuunnittelun Helenin meriveden lämmöntalteenottoprojektin lämpöpumppulaitokseen Salmisaassa. 10.10.2022. Saatavissa: <https://afry.com/fi-fi/uutiset/lehdist%C3%B6tiedote/afry-tekee-perussuunnittelun-helenin-meriveden-lammontalteenottoprojektin>

Ahonen T. Sähkökattilan investoinnin esiselvitys. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan tutkinto-ohjelma. 2018. 106 s. Saatavissa:

Elstor Oy. Elstor mahdollistaa siirtymisen päästöttömään höyryn ja lämmön tuotantoon. 2023. Saatavissa: <https://elstor.fi/>

Energiateollisuus ry. Energia-alan biodiversiteettikartta. 7.6.2022. Saatavissa: <https://energia.fi/julkaisut/energia-alan-biodiversiteettikartta/>

Energiateollisuus ry. Energiavuosi 2023 – Kaukolämpö. 25.1.2024. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023_ennakograafit-1.pdf

Energiforsk / Energiateollisuus ry. Pienreaktorit ja niiden käyttökohteet. 2023. Saatavissa: <https://www.energiforsk.se/media/27323/small-nuclear-reactors-and-where-to-use-them.pdf>.

EPV Energia Oy. Uusi sähkökattila otettiin käyttöön Vaskiluodossa Vaasassa. 8.12.2021, 2021a. [Viitattu 4.11.2022]. Saatavissa: <https://www.epv.fi/2021/12/08/uusi-sahkokattila-otettiin-kayttoon-vaskiluodossa-vaasassa/>

EPV Energia Oy. Uusi kaukolämpöakku- ja sähkökattilainvestointi Seinäjoen voimalaitosaluella. 6.9.2021, 2021b. [Viitattu 4.11.2022]. Saatavissa: <https://www.epv.fi/2021/09/06/uusi-kaukolampoakku-ja-sahkokattilainvestointi-seinajoen-voimalaitosaluella-2/>

Etelä-Savon Energia Oy. Kaukolämmön saatavuus Mikkelissä. Saatavissa: <https://ese.fi/lampo/kaukolampo-mikkeli/>

FCG. Etelä-Savon geoenergiaselvitys. 7.11.2023. Etelä-Savon maakuntaliitto. Saatavissa: <https://www.esavo.fi/resources/public//Kehittaminen/Maakuntakaava/vaihekaava3/Etel%C3%A4-Savon%20geoenergiaselvitys-raportti.pdf>

Finess Oy. Teollisuuslämpöpumput. Saatavissa: <https://finess.fi/laitteet/lampopumput/teollisuuslampopumput/>

- Fortum. Fortum Oyj lehdistötiedote 17.3.2022. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2022/03/microsoft-ja-fortum-yhteistyohon-microsoft-rakentaa-suomeen-dakeskusalueen-josta-tuotetaan-paastotonta-kaukolampoa-fortumin-asiakkaille-paakaupunkiseudulla>
- Garcia, N., Krook-Riekkola, A., Lopez, A., Olsen, L. & Vatopoulos, K. Best available technologies for the heat and cooling market in the European Union. 2012. European Commission. Saatavissa: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC72656>
- Helsingin Sanomat. 2022 oli käänne investoinneissa vetyyn. 19.12.2022.
- Helen Oy. Vuosaaren uusi, ainutlaatuinen meriveden lämpöä hyödyntävä lämpöpumppu. 4.4.2019. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2019/merivesilampopumppu>
- Helen Oy. Helen jatkaa investointeja hiilineutraaliuteen: Helsinkiin uusi, maailman suurimpiin kuuluva lämpöpumppu, joka mahdollistaa kivihiilen käytön vähentämisen. 14.4.2020. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2020/uusi-lampopumppu>
- Helen Oy. Uusi ilma-vesilämpöpumppulaitos Helenin Salmisaaren voimalaitosalueelle. 2.3.2023. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2023/uusi-ilma-vesilampopumppulaitos-helenin-salmisaaren-voimalaitosalueelle>
- Hietala R. Sähkökäyttöinen kaukolämpölaitos. Oulun ammattikorkeakoulu. 2021. 51 s. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/497452>
- Hujala Elina, et. al. Uusien ydinenergiateknologioiden mahdollisuudet ja kehitystarpeet – Pienet modulaariset sarjavalmisteiset ydinreaktorit eli SMR:t. LUT-yliopisto. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:43. 30.5.2022. 88 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-189-6>
- Hyvärinen Juhani. Lappeenrantaan suunnitellaan pienydinvoimalaa. LUT-yliopisto. 15.12.2022. Saatavissa: <https://www.lut.fi/fi/uutiset/lappeenrantaan-suunnitellaan-pienydinvoimalaa>
- Höyrytys Oy 2022. Höyryä, lämpöä ja sähköä joustavasti eri tarpeisiin. Sähkökattilat. [Viitattu 7.11.2022]. Saatavissa: <https://hoerytys.fi/laitteet/sahkokattilat/>
- Kaupunkilämpö. Kaupunkilämpö-poraushanke. Viitattu 21.11.2023. Saatavissa: <https://kaupunkilampo.fi/>
- Kouvolan Sanomat. Myllykosken tehtaan alueelle jättimäinen datakeskus – Investoinnin arvo on vähintään miljardi euroa. 7.12.2023. Saatavissa: <https://www.kouvolansanomat.fi/paikalliset/6401734>

Kymen Sanomat. Kotkaan kaavaillaan vetyteollisuutta. 31.3.2022.

LDR-50. LDR-50 kaukolämpöreaktori. Saatavissa: <https://www.ldr-reactor.fi/>

Leppäharju Nina, Keskisyvien lämpökaivojen energiapotentiaali ja hyödyntäminen Suomessa. 8.6.2021. Webinaari. Saatavissa: <https://www.hiilineutraali-suomi.fi/download/noname/%7B988AB8D9-F59B-4F78-9134-0C0FCFDD63E7%7D/168143>

Leppäharju Nina, Geoenergia – Mahdollisuudet ja haasteet 2020-luvulla. 21.11.2019. Saatavissa: https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2021/05/B3-Nina-Leppa%CC%88harju-Sulpu20v_GTK.pdf

Merrit, C. 2016. Process Steam Systems. A Practical Guide for Operators, Maintainers and Designers. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

National Maglab. Kettle – 1891. Museum. 2014. Nettisivusto. [Viitattu 1.11.2022]. Saatavissa: <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/kettle>

Nordic Ren-Gas Oy / Afry. Puhtaiden P2X-kaasupolttoaineiden ja CO₂-vapaan kaukolämmön yhteistuotantolaitos, Mikkeli. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. 10/2023.

Nordic Ren-Gas Oy. Nordic Ren-Gas Oy:n Power-to-Gas- hankkeelle myönnetty historian suurin vihreän siirtymän energiainvestointituki. 21.12.2022. Saatavissa: <https://ren-gas.com/ajankohtaista/nordic-ren-gas-oy-n-power-to-gas-hankkeelle-myonnetty-historian-suurin-vihrean-siirtyman-energiainvestointituki/>

Nuscale. VOYGR Power Plant. Saatavissa: <https://www.nuscalepower.com/en/products/voygr-smr-plants>

PARAT Halvorsen AS. PARAT IEH. High Voltage Electrode boiler for Steam and Hot water. 2022a. Nettisivusto. [Viitattu 3.11.2022]. Saatavissa: <https://www.parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>

PARAT Halvorsen AS. PARAT IEL. Electric Element Boiler, Low Voltage. Nettisivusto. 2022b. [Viitattu 3.11.2022]. Saatavissa: <https://www.parat.no/en/products/industry/parat-iel-low-voltage-electrical-boiler/>

P2X Solutions Oy. P2X Solutionsin vihreän vedyn tuotantolaitoksen peruskivi muurattiin Harjavallassa. 20.1.2023. Saatavissa: <https://p2x.fi/p2x-solutionsin-vihrean-vedyn-tuotantolaitoksen-peruskivi-muurattiin-harjavallassa/>

Seinäjoen Energia Oy. Joustavampaa ja puhtaampaa energiantuotantoa kaukolämpökäytöllä ja sähkökattilalla. 15.2.2023. Saatavissa: <https://seinajoenenergia.fi/joustavampaa-ja-puhtaampaa-energiantuotantoa-kaukolampoakulla-ja-sahkokattilalla/>

- St1, St1's Otaniemi geothermal pilot project's deep geothermal wells to be used for research. 24.1.2023. Saatavissa: <https://www.st1.com/st1s-otaniemi-geothermal-pilot-projects-deep-geothermal-wells-to-be-used-for-research>
- Steady Energy Oy. Helen and Steady Energy aim to introduce nuclear heat production in Finland. 3.10.2023. Saatavissa: <https://www.steadyenergy.com/resources/helen-and-steady-energy-aim-to-introduce-nuclear-heat-production-in-finland>
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Tuulivoima Suomessa 2023. 31.12.2023 Saatavissa: https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot-2023-3.pdf
- Tampereen Sähkölaitos. Tampereelle Pirkanmaan suurin vedenkeitin. Nettisivusto. Julkaistu 10.5.2022. [Viitattu 4.11.2022]. Saatavissa: <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/tampereelle-pirkanmaan-suurin-vedenkeitin/>
- Teollisuuden Voima – TVO. Uraanin hankinta. Saatavissa: <https://www.tvo.fi/tuotanto/uraaninhankinta.html>
- Tulkki V. District heat with small modular reactors (SMR). VTT Oy. 2017.
- Vaasan Voima Oy. Suomen suurin sähkökattila – lämpövarastoyhdistelmä käyttöön-Vaasassa. 17.11.2023. Saatavissa: <https://www.vaasanvoima.fi/suomen-suurin-sahkokattila-lampovarastoyhdistelma-kayttoon-vaasassa/>
- Valtioneuvoston periaatepäätös TEM/2023/14. Valtioneuvoston periaatepäätös vedystä. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f8080db83>
- Vuorinen Laura. Kannattavuusmalli datakeskuksen hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkossa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. 2019. 116s.
- Water technology report 2016. Electrode Boilers. Wordpress.com. Nettisivusto. [Viitattu 4.11.2022]. Saatavissa: <https://watertechnologyreport.wordpress.com/tag/electrode-boiler/>

ISBN 978-952-412-068-5

ISSN-L 2243-3384

ISSN 2243-3384

Lappeenranta 2024

...the most crucial elements, which have been identified in the framework agreement between the European Union and the United Kingdom (TCE) and the...

The Trust

Trustees

