

Tutkimusraportti

HIILINEUTRAALIT ENERGiaratkaisut JA LÄMPÖPUMPPUTEKNOLOGIA (HYBE)

Alueellisen energiantuotannon ratkaisut

Hankkeen päätutkija

Juha Franssila

Muut tutkijat

Elisabeth Anetjärvi

Janne Hirvonen

Tutkimusryhmän johtaja

Piia Sormunen

TIIVISTELMÄ

Alueellisen energiantuotannon ratkaisut nähdään yhtenä potentiaalisena vaihtoehtona rakennetun ympäristön päästökuorman pienentämiseen ja uusiutuvien energianlähteiden roolin kasvattamiseen rakennusten energiantuottajina. Tutkimus on toteutettu osana Tampereen yliopiston viisivuotista tutkimusohjelmaa ”Hiilineutraalit energiaratkaisut ja lämpöpumpputeknologiat (HybE)”. Hankkeen tutkijat ovat osa Rakennetun ympäristön tiedekunnan Rakennustekniikan yksikköä. HybE:n tavoitteena on kehittää ratkaisuja rakennusten päästökuorman pienentämiseksi. Tämän raportin tarkoituksena on tuottaa uutta tietoa siitä, miten alueellisia energiaratkaisuita voidaan Suomessa toteuttaa tällä hetkellä ja mahdollisesti tulevaisuudessa.

Alueellisten energiantuotannon ratkaisuiden kehittyminen on tällä hetkellä nopeaa ja alalle ei toistaiseksi ole muodostunut vakiintuneita toimintatapoja. Tästä syystä aihe tarjoaa mielenkiintoisen mahdollisuuden tarkastella aiheen nykytilan haasteita ja kehittää alan käytänteitä. Tutkimuksessa hyödynnettiin konstruktivistista metodiikkaa, jonka tarkoituksena on löytää ratkaisuita reaali maailman ongelmiin. Raportissa tehtiin aiheeseen yleisemmän tason markkinatarkastelu ja yksityiskohtaisempi case-analyysi. Hankkeen case-kohteena toimi Laakson yhteissairaalahankkeen alueellinen energiaratkaisu. Tutkimuksen tuloksissa esitellään alueellisen energiantuotannon toteutusmalleja ja niiden erityispiirteitä. Case-tarkastelulla tuodaan esiin, mitä alueellisen energiaratkaisun suunnittelussa tulisi ottaa huomioon ja millaisia valintoja sen toteuttamisessa voidaan tehdä.

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
2	Kirjallisuuskatsaus.....	3
2.1	Energiayhteisöt alueellisina energiaratkaisuina	3
2.1.1	Alueellista energiantuotantoa energiayhteisöjen avulla.....	3
2.1.2	Energiayhteisöt Suomessa	5
2.2	Lämmöntuotanto ja -jakelu.....	7
2.3	Alueellisen lämpöenergian teknisiä ratkaisuita	9
2.3.1	Matalalämpöinen kaukolämpöverkko.....	9
2.3.2	Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko	9
2.3.3	Ylijäämälämmön kierrätys	11
2.3.4	Geoenergia ja maalämpö ratkaisut	12
2.4	Alueellisten energiaratkaisuiden liiketoimintamallien suunnitteluvaihtoehtoja	13
3	Tutkimusmenetelmä.....	15
3.1	Tutkimuksen toteuttaminen	15
3.2	Aineiston kerääminen ja analysointi.....	16
4	Tulokset	18
4.1	Tunnistetut alueelliset energiatuotannon mallit	18
4.1.1	Toteutusmallit.....	18
4.1.2	Haasteet.....	21
4.2	Laakson yhteissairaalahankkeen energiaratkaisu.....	23
4.2.1	Hankkeen esittely	23
4.2.2	Alueellisten energiaratkaisujen vertailu	24
4.2.3	Geotermisen energiajärjestelmän erityispiirteet	26
4.2.4	Liiketoimintamallin valinta	27
5	Johtopäätökset	29
	Lähteet.....	30

1 JOHDANTO

Käynnissä olevat regulaatiouudistukset ohjaavat rakennettua ympäristöä yhä kestävämpään suuntaan. Sääntelyyn liittyviä uudistuksia ja kehitystä tapahtuu niin kansallisesti kuin Euroopan unionin tasolla, Keskeisenä osa-alueena uudistuksissa ovat kiinteistöjen energiankäyttö ja -tuotanto. Erityisesti EU:n uusiutuvan energian direktiivissä painotetaan kiinteistöjen merkitystä tulevaisuuden energiantuottajina. Tällä hetkellä Suomi on yksi Euroopan edelläkävijä uusiutuvan energiantuotannossa ja alueellisten energiaratkaisuiden säädöskehityksessä, mutta aiheeseen liittyy edelleen useita haasteita kuten oikean ratkaisun valinta erilaisiin käyttötarkoituksiin, sille määritettävien sääntöjen kehittäminen kansallisen regulaation puitteissa, omistajuusmuodon määrittäminen ja energiaoperaattoreiden roolituksen ja liiketoimintamallien vakiintumattomuus (Valta 2022).

Alueellisella energiaratkaisulla voidaan viitata energiaa kuluttavaan alueeseen, jonka tarve katetaan tietyllä energiaratkaisulla tai usein näiden yhdistelmällä. Laajuudeltaan alueella voidaan viitata vähintään kahden kiinteistön muodostamaan kokonaisuuteen ja laajimmiltaan kaupunginosan kokoiseen yksikköön. (Tampereen energia & Sweco 2023) Lähtökohtana alueellisille energiaratkaisuille on tavoite pyrkiä kustannustehokkaisiin ratkaisuihin, joiden avulla pystytään edistämään kiinteistöjen tuottaman päästökuorman pienentämistä. Alueellisille energiaratkaisuille ei kuitenkaan ole vielä muodostettu täysin yhtenäistä määritelmää ja esimerkiksi ENASU-projektin määritelmä kattaa myös pienemmän kokoluokan energiayhteisöt, joka voidaan nähdä alueellisten energiaratkaisuiden alakäsitteenä. Energiayhteisöiden tavoitteena on edistää yhteisön omavaraisuutta energiaan liittyen ja aiheesta löytyy laajasti tuoreita tutkimuksia, vaikka käsite on määritelty tieteellisessä kirjallisuudessa ensimmäisen kerran jo 70-luvulla (Valta 2022; De São José et al. 2021; Tampereen yliopisto et al. 2021). Esimerkiksi energiayhteisöiden liiketoimintamallit on tunnustettu moninaisiksi (Tampereen yliopisto et al. 2021) ja hankkeiden toteuttaminen voi näytettyä tilaajan tai kiinteistönomistajan näkökulmasta kompleksiselta ja haasteelliselta.

Suomessa on kuitenkin otettu useista edistysaskeleita energiayhteisöihin liittyen ja esimerkiksi Tampereen Hiedanrannan kaupunginosassa on pyritty viemään alueellisia energiaratkaisuita käytäntöön sähkön tuotantoon keskittyvien energiayhteisöiden avulla. Kokonaisuudessaan aihealueeseen liittyy kuitenkin vielä paljon epäselvyyttä ja alalle ei ole toistaiseksi muodostunut yhtenäisiä käytäntöjä alueellisten energiaratkaisuiden toteuttamiselle, jolloin niille on pyritty muodostamaan ratkaisuita hankekohtaisesti. Tämän lisäksi alueelliseen energiaratkaisuiden toteuttamiseen liittyy kaupungin energiantuotanto ja sen erityispiirteet, jolloin koko Suomen alueelle yleistettävää ratkaisua on haastava muodostaa. Onnistuneiden esimerkkien esiintuominen on tässä vaiheessa alueellisten energiayhteisöiden kehittymistä keskeistä, jotta säädöskehitystä saadaan ohjattua haluttuun suuntaan ja hankkeissa tehty kehitystyö saadaan hyödynnettyä alalla laajemminkin. Tulevaisuuden trendi vaikuttaa olevan, että alueelliset energiaratkaisut tulevat yleistymään merkittävästi niin Suomessa kuin myös globaalisti.

Hankkeen tarkoituksena on tuottaa uutta tietoa siitä, miten alueellisia energiaratkaisuita voidaan toteuttaa tällä hetkellä ja mahdollisesti tulevaisuudessa Suomessa. Tavoite on lisätä ymmärrystä alueellisten

energiantoteutusmallien hyödyntämismahdollisuuksista. Hankkeen tavoitteesta on johdettu seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Miten alueelliset energiatuotantomallit voidaan määritellä ja miten niitä on toteutettu?
2. Mitä toteutusmalleja energiayhteisöihin ja alueellisiin energiaratkaisuihin liittyy?
3. Mitä energiantuotantoratkaisuja kannattaa hyödyntää eri alueellisilla skaaloilla?
4. Mitä tulevaisuuden kehityssuuntia ja mahdollisuuksia aiheessa voidaan tunnistaa?

Tutkimuskysymyksiin muodostettiin vastaus kirjallisuusselvityksen, asiantuntijahaastatteluiden ja case-kohdetarkastelun avulla. Tutkimuksen haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina ja niiden tarkoituksena oli syventyä tarkastelemaan alueellisten energiaratkaisuiden markkinatilannetta ja tuoda esiin niiden toteutusmalleja. Tutkimus keskittyy haastatteluissa tarkastelemaan ensisijaisesti Suomen kontekstia, mutta kirjallisuuskatsauksessa pyrittiin myös tarkastelemaan aihetta kansainvälisestä näkökulmasta. Tarkempi kuvaus tutkimuksen toteuttamisesta löytyy luvusta kolme.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

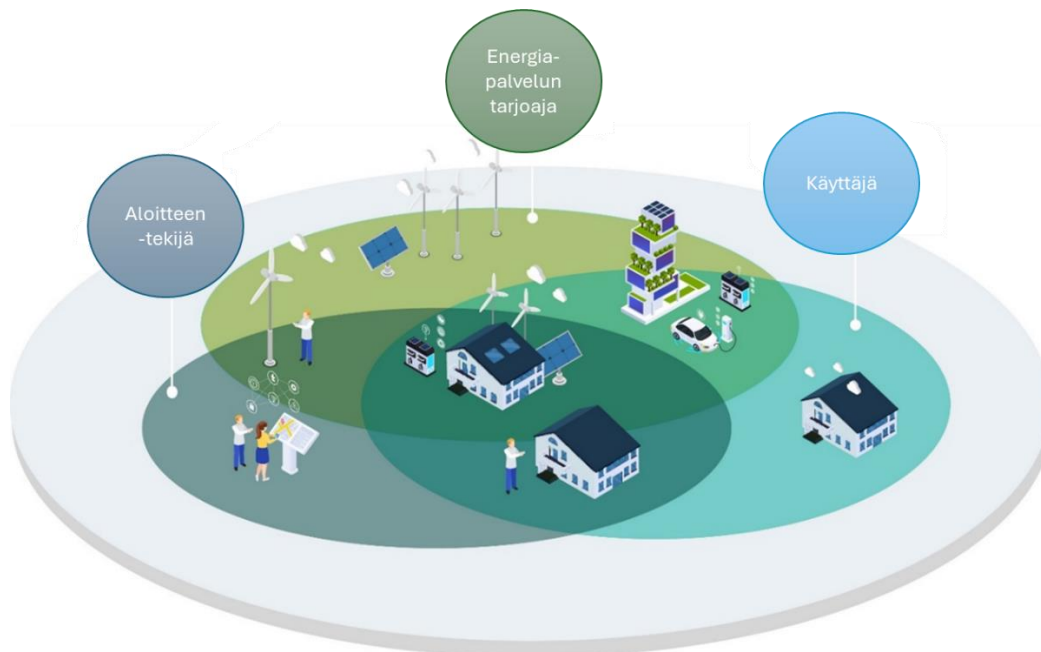
2.1 Energiayhteisöt alueellisina energiaratkaisuina

2.1.1 Alueellista energiantuotantoa energiayhteisöjen avulla

Euroopan unioni pyrkii ohjaamaan uusiutuvan energian direktiivi uudistuksen avulla energiayhteisöiden muodostumista (Euroopan komissio 2025). Pelkistettynä energiayhteisöllä tarkoitetaan sähkö- ja/tai lämpöenergiaa tuottavaa kuluttajista tai pk-yrityksistä koostuvaa yhteenliittymää, joka tuottaa energian keskitetysti omiin tarpeisiin ja myy mahdollisen ylijäämäenergian julkiseen verkkoon. Energiayhteisöitä voidaan muodostaa eri kokoluokissa esimerkiksi kerrostalon aurinkoenergiajärjestelmän avulla, jonka energia kulutetaan taloyhtiön yleisten tilojen käyttöön aina laajempiin yhteenliittymiin, joissa voi olla mukana useampi eri kiinteistö ja energiantuotanto voidaan toteuttaa kiinteistökohtaisesti tai keskitetysti. Laajemmassa kokonaisuudessa tarvitaan energiayhteisölle sisäinen verkko, jonka avulla tuotettua energiaa voidaan siirtää sitä oikeaan kulutuspaikkaan. (Gjorgievski et al. 2021)

Hajautetun energiantuotannon käyttöönoton, energiatehokkuuden parantamisen ja muiden kestävien energiakäytäntöjen myötä kuluttajat tarjoavat merkittävää arvoa energia-alan muutoksessa. Alueellisen energiantuotannon yhteydessä puhutaan usein energiayhteisöistä. Energiayhteisöissä kuluttajat voivat yhdessä toteuttaa yksilöllisiä ja yhteisiä taloudellisia, ympäristöllisiä ja sosiaalisia tavoitteitaan, ja samalla edistää energiajärjestelmän hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. (Gjorgievski et al. 2021)

Energiayhteisö voi sisältää erilaisia kokoonpanoja, toimijoiden tyyppejä ja käytettyjä teknologioita (Iazzolino et al. 2022). Energiayhteisön toimija voi olla esimerkiksi yksityinen henkilö, kotitalous, oppilaitos, kansalaisjärjestö, julkinen sähköyhtiö, yritys tai kunta. Toimijoiden roolit riippuvat kuitenkin paikallisista olosuhteista ja energiayhteisön tavoitteista. (Gjorgievski et al. 2021) Yksilöt ja yritykset ovat tärkeässä roolissa systeemissä, koska energiantuotannon hajottaminen mahdollistaa uusien liiketoimintamallien kehittymisen. Loppukäyttäjä voi joko tuottaa uusiutuvaa energiaa omiin tarpeisiinsa, varastoida tai myydä energiaa markkinoille. Loppukäyttäjät voivat myös toimia ryhmänä, joka tuottaa, varastoi ja myy energiaa muiden loppukäyttäjien kanssa. (Iazzolino et al. 2022)



Kuva 1 Energiayhteisön roolit (Gjorgievski et al. 2021)

Gjorgievski et al. (2021) luokittelivat energiayhteisön jäseniksi käyttäjän, energiapalvelun tarjoajan ja aloitteentekijän (Kuva 1). Kuluttaja on toisen toimijan tarjoaman energiahyödykkeen tai -palvelun edunsaaja. Vaikka kuluttaja ei ole investoinut eikä omista energian tuotanto- ja varastointiyksiköitä, hän voi hyötyä joko ympäristöllisesti, taloudellisesti tai sosiaalisesti liittymällä energiayhteisöön. (Gjorgievski et al. 2021)

Energiapalveluntarjoajan roolissa voi olla kuka tahansa energiaan liittyvien palveluiden, kuten energian tuottamiseen, jakeluun, varastointiin ja toimittamiseen sekä muihin energiapalveluihin, kuten rakentamiseen, tarjoamiseen, kunnostukseen, laitteiden asennukseen ja huoltoon. Energiapalveluntarjoajat voivat omistaa ja käyttää, joko yksittäin tai yhdessä, energian tuotantoon, jakeluun, varastointiin sekä tieto- ja viestintätekniikkaan liittyvää infrastruktuuria. Tuotanto- ja varastointilaitteet voivat sijaita paikan päällä (esim. lämpöpumput) tai sen läheisyydessä (esim. kaukolämpö, lämmön varastointi tai paikallisyhteisön omistamat aurinko- ja tuulivoimalat) tai muualla (esim. yhteisön omistamat suuret tuulivoimalat). (Gjorgievski et al. 2021)

Tuottajakuluttajat voivat toimia myös energiapalveluntarjoajina, koska he ovat kuluttajien ja energiapalvelujen tarjoajien risteyksessä. Vaikka ne tuottavat ensisijaisesti energiaa omaan kulutukseensa, he voivat myös jakaa tai käydä kauppaa energiaa muiden yhteisön jäsenten kanssa vertaiskauppajärjestelmän kautta. Näin ollen tuottajakuluttajat toimivat energiapalvelujen tarjoajina, kun he ovat verkon tuottajia. Aloitteentekijät ovat toimijoita, jotka panevat liikkeelle yhteisöprojektin organisoinnin tai koordinoinnin. Niillä on keskeinen rooli energiayhteisössä, sillä aloitteentekijöiden puute voi estää hankkeen toteuttamisen. Yhteisön toimijoina he voivat olla yhteisön energiapalvelun edunsaajia tai eivät. Kuluttajat ja tuottajat voivat myös toimia aloitteentekijöinä. (Gjorgievski et al. 2021)

2.1.2 Energiayhteisöt Suomessa

Energiayhteistyömallilla tarkoitetaan erilaisia mahdollisuuksia energiantuotannon toteuttamiseen, jossa alueellinen skaala liikkuu yhden kiinteistön tarkastelusta alueeseen laajemmin. Tavoitteena on yleisesti kustannussäästöjen hakeminen ja hiilipäästöjen pienentäminen. Toteutusmalleja voidaan tunnistaa neljä:

1. Kiinteistöjen liittäminen osaksi alueen sähkö- ja kaukolämpöverkkoa
2. Taloyhtiö tai kiinteistönomistaja investointi omaan energiaratkaisuun, esimerkiksi maalämpö tai aurinkoenergiaan
3. Uusiutuvan energian hankinta on mahdollista palveluna, jolloin ulkopuolinen toimija huolehtii energian tuotannosta ja jakelusta kokonaisratkaisuna ilman, että alueen tai kiinteistön omistajan tarvitsee itse investoida järjestelmään
4. Paikallisella energiayhteisössä sen jäsenet voivat investoida energiajärjestelmään (esim. aurinkoenergia) ja jakaa tuotot useamman käyttöpaikan kesken. Taloyhtiön tapauksessa voidaan puhua joukkoinvestoinnissa, jossa kulut ja hyödyt jaetaan kaikkien osakkaiden kesken. (Fagerström 2023)

Energian jakamista rajoittaa sähköenergian osalta sähkömarkkinalaki, mutta sen sijaan lämpö- tai jäähdytysenergian jakaminen usean kiinteistön välillä on sopimustekninen kysymys. Sähkömarkkinalaki mahdollistaa sen, että taloyhtiö voi jakaa tuottamaansa sähköä osakkailleen, ja jakelu voi ulottua myös useamman eri kiinteistön alueelle. Energiayhteisömallissa rajoittavina tekijöinä tulisi kuitenkin ottaa huomioon:

- yhteenliittymään kuuluvat kiinteistöt ovat saman tahon omistuksessa tai vuokrattuja samalle toimijalle
- tonttien tulisi sijaittava vierekkäin eli niiden on rajauduttava toisiinsa
- yhteisö on kytketty sähköverkkoon yhden yhteisen liittymän kautta. (Fagerström 2023)

Poikkeuksena tälle tapaukselle toimii **hajautettu energiayhteisömalli**. Kiinteistönomistaja voi osallistua esimerkiksi tuulivoimahankkeeseen hankkimalla siitä omistusosuuden ja ostaa tuotettua sähköä omaan käyttöön ennalta sovittuun hintaan. Mallissa kuitenkin kustannuksia nostaa maksettaviksi tulevat sähkönsiirtomaksu, koska kiinteistöllä ei ole omistusta sähköjakelijan verkosta. (Fagerström 2023)

Sähköntuotanto- ja jakelu

Suomessa energiayhteisöjä on toteutettu eniten sähköntuotantoon ja jakeluun. Motivan nettisivuilla on esitetty jako kiinteistön sisäiseen ja kiinteistönrajat ylittävään energiayhteisöön. (Energiayhteisömallit - Motiva 2024)

Kiinteistön sisäinen energiayhteisö muodostuu yleensä yhdestä kiinteistöstä tai kiinteistöryhmästä, jossa sekä sähköntuotanto, kulutus että mahdolliset energiavarastot sijaitsevat samalla alueella. Toteutusvaihtoehdot perustuvat sähköntuotantotapaan: energiayhteisö voi toimia joko hyvityslaskennan tai takamittaroinnin periaatteella. Hyvityslaskentaa käytetään esimerkiksi paikallisissa energiayhteisöissä ja aktiivisten asiakkaiden ryhmissä. Tässä mallissa tuotettu sähkö käytetään ensisijaisesti siinä käyttöpaikassa, johon tuotantolaitos on liitetty, ja mahdollinen ylimenevä sähkö jaetaan muille käyttöpaikoille ennalta määriteltyjen osuuksien mukaan. (Energiayhteisömallit - Motiva 2024)

Paikallinen energiayhteisö on oikeushenkilö, joka voi tuottaa, kuluttaa, varastoida ja jakaa energiaa sekä tarjota energiapalveluita jäsenilleen tai osakkailleen. Yhteisön jäsenenä voi olla yksityishenkilöitä, yrityksiä, kuntia tai muita paikallisia toimijoita. Sähköntuotanto voidaan jakaa yhteisön sisällä hyvityslaskennan avulla. Edellytyksenä on, että kaikkien jäsenten sähkönkäyttöpaikat sijaitsevat samalla kiinteistöllä tai kiinteistöryhmällä ja ovat liitetty samaan sähköliittymään. (Energiayhteisömallit - Motiva 2024)

Aktiivisten asiakkaiden ryhmä koostuu sähkön loppukäyttäjistä, kuten kuluttajista ja yrityksistä, jotka eivät muodosta erillistä oikeushenkilöä. Ryhmän jäsenet sopivat keskenään vastuista ja velvoitteista perustamissopimuksessa. He voivat hyödyntää hyvityslaskentaa samalla tavoin kuin paikallisessa energiayhteisössä, edellyttäen, että käyttöpaikat sijaitsevat samalla kiinteistöllä tai kiinteistöryhmällä ja ovat liitetty samaan sähköverkkoon. (Energiayhteisömallit - Motiva 2024)

Usein **paikallinen energiayhteisö** on suositeltavin vaihtoehto energiayhteisön perustamiseen. Mikäli esimerkiksi taloyhtiö ei ole valmis toteuttamaan yhteistä sähköntuotantohanketta, yksittäiset osakkaat voivat muodostaa aktiivisten asiakkaiden ryhmän ja näin mahdollistaa aurinkosähkön jakamisen keskenään hyvityslaskennan keinoin. (Energiayhteisömallit - Motiva 2024)

Kiinteistönrajat ylittävä energiayhteisö mahdollistaa sähköntuotannon hyödyntämisen toisella tontilla tai kiinteistöllä sijaitsevassa kulutuskohteessa. Tällainen ratkaisu voi olla tarpeen esimerkiksi silloin, kun tuotanto-olosuhteet, kuten auringonvalon saanti, ovat paremmat toisella tontilla kuin missä sähköä käytetään. Tuotettu sähkö siirretään kulutuskohteeseen erillistä linjaa pitkin, jolloin vältetään sähköverkon siirtomaksuilta sekä pääsääntöisesti sähkö- ja arvonnäkökulmasta. Esimerkiksi aurinkopaneelit voidaan asentaa toisen kiinteistön katolle, ja tuotettu sähkö siirretään erillisellä linjalla kerrostalon käyttöpaikkaan, jossa se jaetaan hyvityslaskennan avulla talon eri asukkaille. (Energiayhteisömallit - Motiva 2024)

Sähköverkkotoiminta vaatii normaalisti Energiaviraston myöntämän sähköverkkoluvan, ja jakeluverkonhaltijalla on yksinoikeus verkon rakentamiseen omalla alueellaan. Sähkömarkkinalaki sallii kuitenkin erillisen pienjännitelinjan rakentamisen ilman jakeluverkkolupaa, kun kyse on pienimuotoisen sähköntuotannon liittämisestä käyttöpaikkaan. Linjan on oltava irrallaan jakeluverkosta, eikä se saa yhdistää eri kulutuskohteita toisiinsa. Erillisen linjan rakentajan vastuulle jää sähkönlaatu, sähköturvallisuus ja tarvittavat viranomaisluvut. Jakeluverkonhaltijan lupaa ei vaadita, eikä sähkömarkkinalaki edellytä ilmoitusta verkon rakentamisesta. Jos tuotanto yhdistetään useampaan eri kiinteistöön, jokaisella käyttöpaikalla tulee pääsääntöisesti olla oma invertteri, ja tuotantolaitteiden on oltava toisistaan fyysisesti erotettuja. (Energiayhteisömallit - Motiva 2024)

Hajautettu energiayhteisö, jota kutsutaan **myös virtuaaliseksi energiayhteisöksi**, tarkoittaa mallia, jossa sähköntuotanto ja -kulutus tapahtuvat eri kiinteistöissä. Tällainen yhteisö hyödyntää sähköverkkoyhtiön jakeluverkkoa sähkön siirtoon, minkä vuoksi se ei voi käyttää hyväkseen hyvityslaskentaa kuten paikalliset energiayhteisöt. Tämän takia tuotettu sähkö vaikuttaa jäsenten sähkölaskuihin ainoastaan energiamaksun osalta – siirtomaksu ja sähkövero jäävät edelleen maksettaviksi, mikä pienentää taloudellista hyötyä omasta sähköntuotannosta. Hajautetut energiayhteisöt tarjoavat kuitenkin mahdollisuuden osallistua sähköntuotantoon myös niille asukkaille ja organisaatioille, joilla ei ole teknisiä tai taloudellisia edellytyksiä asentaa tuotantolaitteita omaan kiinteistöönsä. Tällaisia yhteisöjä voidaan toteuttaa

sähkönmyyntiyhtiön palveluna. Osallistujilla tulee olla sähkösopimus kyseisen yhtiön kanssa, ja usein myös sopimus ylijäämäsähkön myynnistä. (Energiaoyhteisömallit - Motiva 2024)

Käytännön esimerkki hajautetusta energiaoyhteisöstä on tilanne, jossa asukas haluaa hyödyntää kesämkillä tuotettua aurinkosähköä myös omassa vakituksessa asunnossaan. Järjestely edellyttää, että molemmat kohteet ovat saman sähkömyyntiyhtiön asiakkaita. Yhtiö voi tarjota palvelun, jossa aurinkosähkö jyvitetään asunnon kulutukseen, ja mikäli tuotanto ylittää kulutuksen, ylijäämästä maksetaan erillisen sopimuksen mukainen korvaus. Siirtomaksuihin ja veroihin tämä ei kuitenkaan vaikuta. (Energiaoyhteisömallit - Motiva 2024)

2.2 Lämmöntuotanto ja -jakelu

Suomessa yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Vuonna 2021 kaukolämmöllä katettiin 45 prosenttia asuin- ja palvelurakennusten lämmöntuotannosta (Energiateollisuus 2024; Tilastokeskus 2022). Kaukolämpöverkot ovat alueellisia kokonaisuuksia erilaisilla teknisillä ominaisuuksilla. Kaukolämpöverkot voidaan lukea Suomessa yleisimmin käytössä oleviksi alueellisiksi energiaratkaisuiksi ja niitä voidaan täydentää pienemmän skaalan paikallisella energiantuotannolla. Kaukolämpöjärjestelmät ovat kuitenkin monimutkaisia kokonaisuuksia ja niiden mitoitushtojen muuttaminen voi olla haastavaa (Pöyry 2016). Tästä syystä avointen järjestelmien suunnittelu vaatii ennakkointia ja tarkkaa mitoitushtojen suunnittelua.

Lämpö tuotetaan kaukolämpöverkkoihin erillisistä lämpökeskuksista ja yhdistetyn sähkö- ja lämmöntuotannon laitoksista, jossa tuotantolaitokset mitoitetaan erikseen kyseisen verkon lämmöntarvetta varten (Pöyry 2016). Kaukolämpöratkaisuisa liiketoimintamalli perustuu paikallisen energiaoyhtiön verkon kautta myytävään lämpöön asiakkaille. Kaukolämpöverkot ovat suuria investointeja, jolloin yhdelle toimijalle keskitetty järjestelmä on usein nähty kilpailukykyisimmäksi ratkaisuksi. Yksittäisillä kaukolämpöverkoilla voi olla suuria keskinäisiä eroja muun muassa koon, polttoainesaatavuuden, kasvupotentiaalın, maaperän ja omistusrakenteen kautta. (Energiateollisuus 2024) Perustuotannon investointikustannukset ovat korkeat ja käyttökustannukset matalat. Tuotantolaitosten kannattavuuden näkökulmasta onkin keskeistä ottaa huomioon vuotuinen huippukäyttöaika, jolloin laitokset käyvät täydellä teholla ja investoinnista saadaan realisoitua maksimaalinen tuotto. Kulutuksen kausivaihtelut ovat Suomen olosuhteissa keskeisiä. Vaihtoehtoisten energiantuotantomuotojen kytkeminen kaukolämpöverkkoon voi olla haasteellista, jos niiden tuotantopiikit osuvat kausivaihtelussa vähäisen kysynnän ajanjaksolle. Esimerkiksi aurinkoenergiaa on saatavilla enemmän kesällä, mutta tällöin tarve energiankulutukselle on pientä ja kaukolämpöverkon voimalaitos on pidettävä käytössä sen teknisellä minimikuormalla. (Pöyry 2016)

Alueellisia lämmöntuotantoratkaisuja ja energiaoyhteisöjä suunniteltaessa on tärkeää huomioida olemassa olevan kaukolämpöverkon merkitys. Kaukolämpö perustuu perinteisesti keskitettyyn tuotantoon, jossa lämpö tuotetaan voimalaitoksissa ja johdetaan asiakkaille maan alla kulkevassa, suljetussa kaksiputkisessa verkossa kuumana vetenä. Järjestelmä muodostuu neljästä osasta: tuotanto, myynti, jakelu ja kulutus. Toimintaympäristön muuttuessa myös kaukolämmön tuottajien on uudistuttava säilyttääkseen kilpailukykynsä. Tämä tarkoittaa muun muassa siirtymistä kohti hiilineutraaliutta, älykkäiden järjestelmien hyödyntämistä ja matalalämpötilaisen kaukolämpöverkon kehittämistä. Uusiutuviin energialähteisiin perustuvien lämmitysjärjestelmien integrointi edellyttää olemassa olevan infrastruktuurin muokkaamista siten,

että se tukee paremmin uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Hiilineutraalin energiantuotannon edistäminen vaatii myös polttoainevalintojen ja rakennusten lämmitysmuotojen ohjaamista niiden aiheuttamien ilmastovaikutusten perusteella. (Kari 2018)

Kaukolämpöjärjestelmän älykkyyttä voidaan parantaa monin tavoin, kuten hajauttamalla tuotantoa, yhdistämällä erilaisia teknologioita, mahdollistamalla lämmön varastointi ja optimoimalla tuotantoa reaaliaikaiseen kulutustietoon perustuen. Näillä toimenpiteillä pyritään rakentamaan joustava ja tehokas kaukolämpöverkko, joka vastaa paremmin vaihtelevaan kysyntään. Rakennusten energiatehokkuuden parantuminen ja matalaenergiarakentamisen yleistyminen muuttavat merkittävästi kaukolämmön kokonaiskulutusta ja kulutusprofiilia. Kokonaiskulutuksen väheneminen voi johtaa huipunkäyttöaikojen lyhenemiseen, mikä vaikuttaa puolestaan tuotantorakenteen suunnitteluun ja huipputehon mitoittamiseen. Älykäs kaukolämpöjärjestelmä mahdollistaa tuotantolaitosten toiminnan parempaa ennakkointia ja optimointia. Lisäksi sen avulla voidaan tasata kulutuspiikkejä ja hyödyntää joustavasti energiavarastoja ja kysyntäjoustoa, mikä tukee järjestelmän tehokkuutta ja toimintavarmuutta. (Kari 2018)



Kuva 2 Neljännen sukupolven kaukolämpöratkaisun (4GDH) ominaisuuksia (Kari 2018; Lund et al. 2014)

Neljännen sukupolven kaukolämpöjärjestelmä (4GDH Fourth Generation District Heating) on tulevaisuuden energiaratkaisu, joka yhdistää lämmityksen, jäähdytyksen ja sähköverkon älykkääksi lämpöverkoksi. Tämä järjestelmä toimii osana kestäväen kehityksen mukaista energiasysteemiä ja pyrkii kehittämään energiatehokkuutta ja joustavuutta. (Kuva 2)

2.3 Alueellisen lämpöenergian teknisiä ratkaisuja

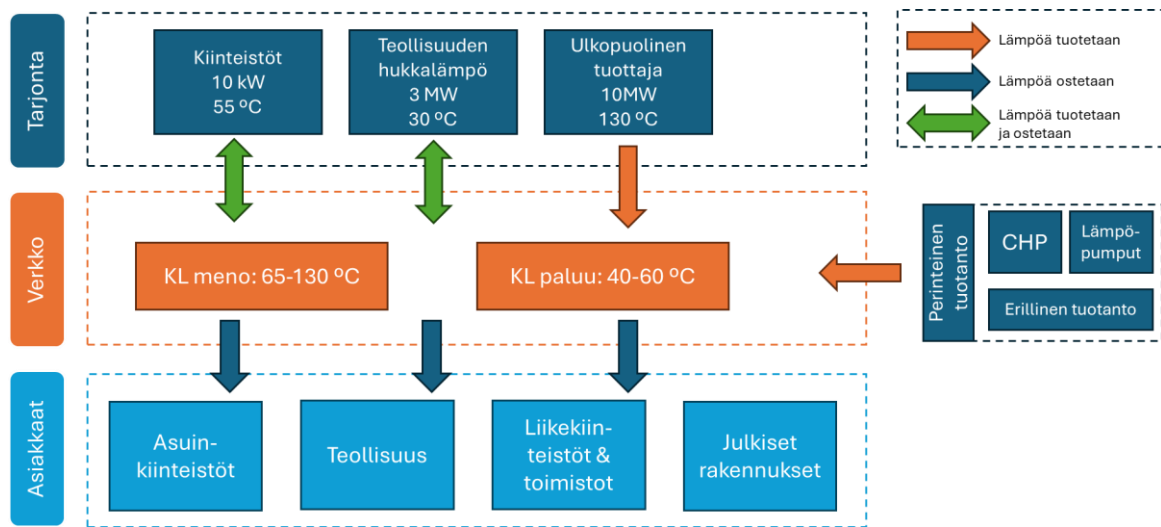
2.3.1 Matalalämpöinen kaukolämpöverkko

Kansainväliset säädökset ja yhteiskunnan arvot ohjaavat kaukolämpöjärjestelmiä kehittymään kohti kestävää energian tuotantoa ja hyödyntämään uusiutuvia energiamuotoja ja hukkalämpöä (Kaikkonen 2022). Suomen Valtio tuki asuinrakennusten siirtymää matalalämpöisempään kaukolämpöön tukemalla asuinrakennusten lämmönsiirtimien vaihtamista tehokkaampiin matalammalle lämpötilalle suunniteltuihin lämmönsiirtimiin sekä samalla tehtävään lämmitysjärjestelmän säätöön ja tasapainotukseen ARA:n myöntämällä avustuksella vuosina 2022–2023. Avustusta myönnettiin kustannuksiin, jotka syntyvät asuinrakennuksen vanhan kaukolämpöjärjestelmän poistamisesta ja korvaamisesta uudella järjestelmällä, jonka suunnittelussa otetaan huomioon enintään 90 celsiusasteen tuloveden lämpötila (nykyisin 115 °C). Avustusta myönnettiin myös, jos kiinteistö sijaitsee alueella, jossa laitteiston vaihto auttaa laskemaan kaukolämpöverkon lämpötilaa. (ARA 2023)

Turun Skanssin alueella toimii Suomen ensimmäinen kaksisuuntainen matalalämpöverkko uusissa kerrostaloissa. Verkossa menoveden lämpötila on ympäri vuoden 65 °C. Tässä kohteessa asukkaille tarjoutuu mahdollisuus myydä itse tuotettua ylimääräistä energiaa takaisin kaukolämpöverkkoon. (Kaikkonen 2022) Myös Tampereen Hiedanrantaan on rakenteilla vastaavanlainen matalalämpöinen kaksisuuntainen kaukolämpöverkko, jossa asiakas voi sekä ostaa verkosta lämpöä että myydä verkkoon lämpöä. Verkkoon on suunniteltu liitettävän useita erilaisia lämmönlähteitä kuten hukkalämpö, maalämpö ja ilmavesilämpöpumput. (Tampereen Energia 2022)

2.3.2 Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko

Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko mahdollistaa alueellisen energiantuotannon jakelun siten, että asiakas voi sekä ostaa että myydä lämpöä – joko itse tuotettua tai ylijäämälämpöä – verkkoon. Mallia voidaan laajentaa myös ulkopuolisille tuottajille, jotka voisivat tarjota lämpöä verkon kautta suoraan asiakkaille. Tämä toimintatapa parantaa kaukolämpöverkon tehokkuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia, mikä on eduksi sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta. Merkittävä etu kaksisuuntaisessa mallissa on sen kyky vahvistaa kaukolämpöyhtiöiden kilpailuasemaa markkinoilla, joilla asiakaskilpailu on kiristynyt esimerkiksi uusien lämmöntuotantoteknologioiden ja itsenäisten energiayhteisöjen sääntelyn myötä. Kun asiakkaat voivat itse tuottaa osan lämmöstään, voidaan samalla vähentää polttoaineiden käyttöä ja mahdollisesti myös tarvetta kasvattaa tai ylläpitää suurta tuotantokapasiteettia. Tällainen toimintamalli edellyttää tiivistä yhteistyötä asiakkaiden ja kaukolämpöyhtiöiden välillä, mikä voi vahvistaa asiakassuhteita ja lisätä vuorovaikutusta. Lisäksi kaksisuuntaisuus tukee kysyntäjouston toteutumista aiempaa paremmin. (Pöyry 2016)



Kuva 3 Kaksisuuntaisen kaukolämmön periaatekuva ja esimerkituottajia (Pöry 2016)

Esimerkissä (Kuva 3) lämmönkäyttäjät voivat olla myös potentiaalisia lämmöntuottajia. Peruslämmön tuotannosta vastaa edelleen CHP-laitos (Combined Heat and Power), erilliset lämpökattilat sekä kaukolämpöyhtiön oma lämpöpumppulaitos. Poikkeavuus perinteiseen järjestelmään syntyy kuitenkin, kun energiainvestoinnin toteuttanut kiinteistö syöttää ylijäämälämpöä verkkoon muiden käytettäväksi.

Kaksisuuntaisten lämpöverkkojen käyttöönotto tuo mukanaan selkeitä haasteita kaukolämpöyhtiöille. Ulkopuolisten toimijoiden tuottaman lämmön liittäminen verkkoon vaatii lisäresursseja ja aiheuttaa erityisesti alussa kustannuksia. Lisäksi lämpöä ostettaessa useista eri lähteistä tarvitaan uusia sopimuksia, hinnoittelumalleja, jatkuvaa mittausta sekä muutoksia yhtiön omaan tuotannon suunnitteluun. Kaksisuuntaisuuden tuomat hyödyt voivat vaihdella merkittävästi, joten sen käyttöönottoa tulisi tarkastella yhtiökohtaisesti pitkän aikavälin kustannus–hyötyanalyysin kautta. Tällöin on tärkeää huomioida myös ympäristövaikutukset ja energiatehokkuus. (Pöry 2016)

Asiakkaan näkökulmasta kaksisuuntaisuus voi tehdä kaukolämmöstä houkuttelevamman ja mahdollisesti laskea sen hintaa. Yksinkertaisilla ratkaisuilla asiakkaan lämmön käyttö tai laskutus ei juuri muutu, mutta laajemmissa avoimen markkinan malleissa asiakas voisi tulevaisuudessa joutua maksamaan erikseen sekä siirrosta että energiasta ja ostamaan lämpöä useilta toimittajilta. Parhaimmin kaksisuuntaisuudesta hyötyvät ne kohteet, joissa syntyy helposti hyödynnettävää hukkalämpöä tai ylijäämälämpöä – esimerkiksi teollisuuslaitokset ja datakeskukset. Näissä tapauksissa voidaan soveltaa hinnoittelumallia, jossa verkkoon syötetystä lämmöstä maksetaan kaukolämpöyhtiön tuotantokustannuksiin perustuva korvaus. Mikäli ylijäämälämmön saatavuus on ennustettavaa, voidaan lisäksi maksaa myös kapasiteettikorvauksia. (Pöry 2016)

Asuin- ja toimistorakennuksille siirtyminen omaan lämmöntuotantoon on usein haastavaa, koska tarvittavat investoinnit ovat suuria ja tuotettu ylimääräinen lämpö ei välttämättä ajoitu niin, että sitä olisi helppo hyödyntää kaukolämpöverkossa. Lisäksi takaisinmaksuaika voi olla pitkä, eikä sijoitus aina näytä taloudellisesti kannattavalta. Potentiaalisia tuottajia kannustaisi erityisesti varmuus lämmöstä saatavasta

hinnasta ja siitä, kuinka paljon lämpöä ostetaan. Vaikka kiinnostusta aiheeseen on, monilla mahdollisilla tuottajilla ei ole riittävästi osaamista tai resursseja osallistua aktiivisesti lämmöntuotantoon. Osallistumista voitaisiin helpottaa tarjoamalla selkeitä sopimus- ja hinnoittelumalleja sekä palveluita, kuten järjestelmiä, joissa esimerkiksi kiinteistön lämpöpumppu kytketään automaattisesti osaksi kaukolämpöverkkoa. Tällöin vastuu tuotannosta on kaukolämpöyhtiöllä, mikä mahdollistaa verkkoon syötetyn lämmön optimaalisen hallinnan. (Pöyry 2016)

Pöyryn (2016) selvityksen mukaan kiinnostusta kaksisuuntaisten lämpömarkkinoiden kehittämiseen on olemassa, kun ratkaisut ovat taloudellisesti ja toiminnallisesti järkeviä kaikille osapuolille. Koska kaukolämpöverkot ja asiakastarpeet vaihtelevat, ei ole mahdollista luoda yhtä yleispätevää mallia, joka sopisi kaikkiin tilanteisiin. Kehitystyö vaatii siksi lisää vuoropuhelua sekä tietoisuuden kasvattamista niin potentiaalisten asiakastuottajien kuin kaukolämpöyhtiöiden keskuudessa. (Pöyry 2016)

2.3.3 Ylijäämälämmön kierrätys

Ylijäämälämpö tarkoittaa lämpöenergiaa, joka poistuu tuotantolaitoksesta esimerkiksi jäähdytysveden, poistoilman, savukaasujen, jäteveden tai lauhdelämmön mukana. Tätä energiaa kutsutaan myös hukkalämmöksi tai jätelämmöksi. Ensisijaisesti ylijäämälämpö kannattaa hyödyntää tuotantolaitoksen omassa toiminnassa. Jos se ei ole mahdollista, lämpöä voidaan myydä esimerkiksi saman teollisuusalueen toiselle toimijalle tai liittää paikalliseen kaukolämpöverkkoon. Hyödyntämiseen liittyy kuitenkin haasteita, kuten monimutkaiset prosessit, suuret investointikustannukset ja pitkät takaisinmaksuajat. Lisäksi ylijäämälämmön lämpötila on usein matala – alle 100 °C ja usein jopa alle 55 °C – jolloin sen hyödyntämiseen soveltuvat parhaiten lämpöpumput. (Motiva 2019)

Hukkalämmön hyödyntämiseksi kaukolämpöverkossa sen on oltava saatavilla oikealla paineella ja sopivassa lämpötilassa. Jotta investoinnit hukkalämmön talteenottoon olisivat kannattavia, tarvitaan riittävä lämpömäärä, ja lämmön siirtoverkon etäisyyksien on oltava kohtuullisen lyhyet. Lämpöä voidaan siirtää suoraan verkkoon lämmönvaihtimen avulla. Jos hukkalämmön lämpötila on riittävän korkea – vähintään noin 80 °C kesällä ja 100 °C talvella – se voidaan syöttää suoraan kaukolämpöputken menopuolelle. Mikäli lämpötila on alhaisempi, mutta vähintään noin 60 °C, lämpö voidaan siirtää paluupuolelle. (Motiva 2019)

Kun ylijäämälämpöä myydään ulkopuolisille tahoille, siihen liittyy useita teknisiä haasteita. Näitä ovat esimerkiksi lämmön lämpötilatasot, huipputehon riittävyys, tuotettavan energian määrä ja sen saatavuuden pysyvyys sekä järjestelmän toimintavarmuus. Lisäksi on huomioitava tekniset rajoitteet, vastaanottavan osapuolen lämmöntarve ja kyky hyödyntää lämpöä, sekä lämmön jakelun tekniset vaatimukset, kuten lämpötila- ja painetasot sekä virtaamat. Taloudellisia ja sopimuksellisia haasteita puolestaan ovat investointien kustannusten jakaminen, lunastus- ja irtisanomiskustannukset, sopimuskauden pituus, sopimusehtojen mahdollinen muuttaminen, rikkomuksista aiheutuvat sanktiot sekä toimitusvarmuuteen liittyvät riskit. (Motiva 2019)

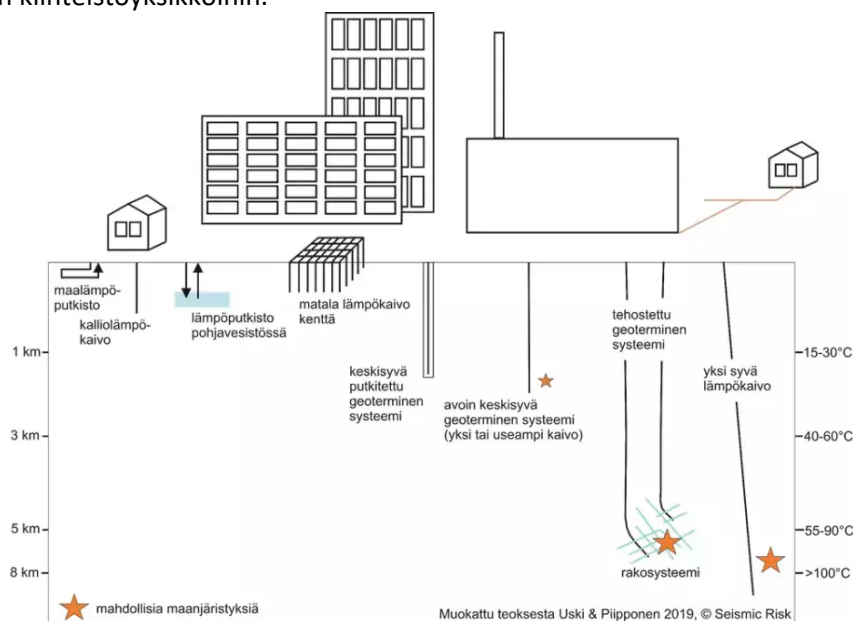
Lämpöpumppuja hyödynnetään jo useissa kaupungeissa osana kaukolämmön tuotantoa, ja uusia laitoksia on suunnitteilla. Tyypillisesti lämpöpumput keräävät talteen jäteveden lämpöä tai datakeskusten tuottamaa ylijäämälämpöä. Esimerkkejä jäteveden hyödyntämisestä ovat Espoon Suomenojan ja Turun Kakolan lämpöpumppulaitokset. Datakeskusten hukkalämpöä taas otetaan talteen esimerkiksi Telian datakeskuksessa Helsingin Pitäjänmäessä ja Yandexin datakeskuksessa Mäntsälässä. (Motiva 2019)

2.3.4 Geoenergia- ja maalämpöratkaisut

Geotermisen energian ja maalämmön välinen määrittely ei ole yksiselitteistä. Maalämmön pääsääntöisenä lähteenä voidaan kuitenkin pitää auringosta maaperään kulkeutuvaa energiaa, kun taas geotermisen energia syntyy syvemmällä kallioperässä. Geotermisen energian pääasiallisena lähteenä on maapallon sisältämä luonnollinen lämpö, jota syntyy pitkäikäisten radioaktiivisten isotooppien hajotessa maan kuoren yläosassa. Molempien ratkaisuiden etuja ovat uusiutuvuus, energian edullisuus, vähäpäästöisyys sekä riippumattomuus sääolosuhteista. (Uski & Piipponen 2019) Tarkemmin keskisyvinä geotermisen energian ratkaisuuina voidaan pitää 500–3000 metriä syviä energiakaivoja ja syvinä geotermisen energian kaivoina yli 3000 metrin kaivoja (Arola et al. 2024). Maalämpökaivot ovat taas alle 500 metriä ja niiden poraaminen on Suomessa huomattavasti yleisempää (Uski & Piipponen 2019). Suomen kallioperässä on tunnistettu merkittävää potentiaalia geoenergian hyödyntämiseen, mutta tekniset, taloudelliset ja toteutusmalleihin liittyvät haasteet ovat tuoneet rajoituksia rankaisuiden hyödyntämiselle (Arola et al. 2024).

Maalämpöjärjestelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: suljettuihin ja avoimiin keruupiireihin. Lämpöpumpun avulla siirretään lämpöä järjestelmään tai siitä pois nesteen avulla. Suljetussa keruupiirissä lämpö otetaan talteen lämmönkeruunesteen avulla, joka kiertää putkistossa. Tämä putkisto voi sijaita maaperässä tai vesistössä joko vaakasuunnassa maan pinnan alla tai pystysuunnassa porattuna kallioon tai maahan. Avoimessa keruupiirissä puolestaan hyödynnetään pohjavettä. Vesi pumpataan kaivosta lämpöpumpulle, jossa siitä otetaan lämpö talteen, ja sen jälkeen se palautetaan takaisin joko pohjaveteen tai johdetaan pintavesiin. (Kekkonen 2017)

Tutkimusta geoenergian hyödyntämisestä alueellisessa energiantuotannossa löytyy hyvin vähän. Geoenergia tekniikka on lähinnä hyödynnetty yhden kiinteistön lämmityksen ja jäähdytyksen tuotantoon, ja niitä on vähemmän käytetty suuremmissa mittakaavassa. Alueellisen geoenergian suunnittelun lähtökohtana on arvioida alueen rakennusten lämmityksen ja jäähdytyksen huippukuormitus ja vuotuinen energiantarve. (Barbaro et al. 2024) Energiaratkaisu on skaalattavissa aina pientalon energiantarpeen kattamisesta suuriin kiinteistöyksikköihin.



Kuva 4 Suomen olosuhteisiin soveltuvia geotermisen energian vaihtoehtoja (Helsingin yliopisto 2024; Uski & Piipponen 2019)

Geotermisen energian hyödyntämiselle on tunnistettavissa kattavasti eri vaihtoehtoja (Kuva 4). Keskeistä sopivan ratkaisun löytämisessä on tunnistaa maaperän ja rakennuspaikan erityispiirteet, jotta hankkeelle voidaan tunnistaa siihen soveltuva ratkaisu. Esimerkiksi kaivon toteuttamiseen on erilaisia vaihtoehtoja keskisyvistä putkitetuista järjestelmistä avoimiin systeemeihin, joissa vettä kierrätetään kallioperän raoissa ilman erillisiä putkia. (Uski & Piipponen 2019) Keskisyvien kaivojen toteuttamiseen yhdistetään kuitenkin Suomessa teknistaloudellisia haasteita ja hankkeiden toteutustapoja tulisi tulevaisuudessa jatkokehittää (Arola et al. 2024).

2.4 Alueellisten energiaratkaisuiden liiketoimintamallien suunnittelu- vaihtoehtoja

Alueellisten energiaratkaisuiden liiketoimintamalleissa korostuvat tavoitteet hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä, edistää energiaomavaraisuutta ja tavoitella kustannushyötyjä. Ennusteissa on, että vuoteen 2050 mennessä jopa puolet Euroopan unionin kotitalouksista on osallisena uusiutuvien energianlähteiden tuotannossa ja arviolta 37 prosenttia kiinteistöistä on osallisena energiayhteisöissä. (Blommerde & Kampman 2016) Kubli & Puranik (2023) ovat kuitenkin tunnistaneet tutkimusaukon energiayhteisöiden liiketoimintamalleihin keskittyvässä tutkimuksessa. He ovat kehittäneet kuitenkin luokittelujärjestelmän, joka pitää sisällään yhteensä 25 eri suunnitteluvaihtoehtoa, joiden perusteella energiayhteisö voidaan muodostaa (**Error! Reference source not found.**). Luokittelujärjestelmän tarkoituksena on tuoda esiin energiayhteisöiden muodostamiseen liittyvä kompleksisuus ja samalla tukea niihin liittyvien innovaatioiden kehittymistä käsitteellistämällä energiayhteisöiden liiketoiminnallisia ulottuvuuksia. Viitekehyksen muodostamisessa on hyödynnetty tunnettuja liiketoimintamallien viitekehyksiä (mm. Business Model Canvas).

Taulukko 1 Suunnitteluvaihtoehtoja energiayhteisön liiketoimintamallille (Kubli & Puranik 2023)

Liiketoimintamallin ulottuvuudet	Energiayhteisön suunnitteluvaihtoehdot					
Yhteisön arvolupaus	Uusiutuvan energian tuottaminen	Omavaraisuuden lisääminen	Sähköverkon luotettavuuden parantaminen	Energian kulutuksen vähentäminen	Energian kustannusten alentaminen	“Living lab” innovaatioekosysteemi
Energiayhteisön jäsenet	Asuinalueiden prosumerit	Suuret prosumerit	Paikallinen energian tuottaja	Energiapalveluyritys	Yhteisöpalvelumaksu	Yhteisöalustan ylläpitäjä
Energian arvon vangitseminen	Tulot energiapalveluista	Energiakustannusten säästäminen	Tulot ulkoisista palveluista	Yhteisöpalvelumaksu	Yhteisöpalvelumaksu	Datan hyödyntäminen
Keskeiset toiminnot	P2P-kaupan helpottaminen	Energian ja joustavuuden aggregointi	Varastointijärjestelmien hallinta	Energian yhteisöoptimointi	Energian yhteisöoptimointi	Kumppanien koordinaatio
Verkosto-vaikutukset	Vertaisvaikutukset ja yhteisöllisyyden luominen	Mittakaavaetujen ja laajuuden hyödyntäminen	Oppimisvai- kutukset	Yhteishyödyt ja investointien yhteisamortisointi	Yhteishyödyt ja investointien yhteisamortisointi	

Eri suunnitteluvaihtoehdoista huolimatta, energiayhteisöt muodostuvat usein hyvin yksilöllisten tarpeiden pohjalta, jotta ne sopeutuvat paikallisen kontekstin reunaehtoihin (Caramizaru & Uihlein 2020; Kubli & Puranik 2023). Tunnistetuista suunnitteluvaihtoehdoista huolimatta energiayhteisöiden

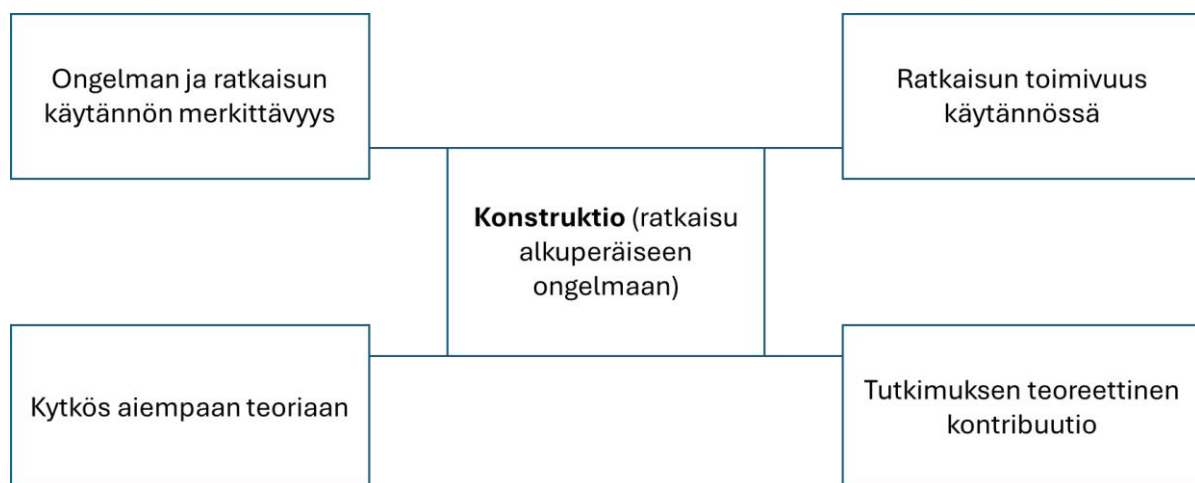
toteuttamisesta tarvitaan edelleen onnistuneita käytännönesimerkkejä (Kubli and Puranik 2023). Esimerkiksi energiayhteisöiden muodostamiseen ei ole selkeitä prosesseja ja kansallisissa säädöksissä voi olla alueittain kehittämistä (Di Silvestre et al. 2021). Energiayhteisöä suunniteltaessa on kuitenkin keskeistä käydä läpi kaikkien liiketoimintamallin muodostamisessa huomioon otettavat ulottuvuudet (Taulukko 1). Liiketoimintaulottuvuuksien vieminen käytäntöön on kuitenkin tässä vaiheessa haasteellista markkinan kehittymättömyyden takia. Yleisesti kannustimet eli liiketoimintamallin arvolupaus on selkeästi muodostettavissa, mutta nykyisissä käytänteissä on kehittämisen varaa esimerkiksi sopimusmallien ja teknisten ratkaisujen integroinnin suhteen.

3 TUTKIMUSMENETELMÄ

3.1 Tutkimuksen toteuttaminen

Tutkimuksen aiheen tunnistettiin sisältävän laajan kirjon eri aihealueita. Tästä syystä tutkimusta suunniteltaessa tunnistettiin, että tutkimushankkeen resurssien kohdistamiseen tuli kiinnittää erityistä huomiota. Tutkimus on toteutettu osana laajempaa monivuotista Tampereen yliopiston Hiilineutraalit energiaratkaisut ja lämpöpumpputeknologiat -tutkimusohjelmaa, jonka tavoitteena on kehittää ratkaisuja rakennetun ympäristön päästökuorman pienentämiseen. Tutkimusohjelman ohjausryhmä on myös ollut mukana tunnistamassa sopivia tutkimuskohteita ja haastateltavia aineiston keräämistä varten. Aihealu- een riittävän monipuolisen tarkastelun vuoksi päätettiin toteuttaa yleisempi markkinakartoitus alueellis- ten energiaratkaisuiden nykytilasta ja tämän jälkeen syventää tarkastelua tutustumalla yhteen alueratkai- suna innovatiiviseksi tunnistettuun hankkeeseen. Tutkimusmetodiikasta muodostui näin konstrukttiivinen.

Konstrukttiivinen tutkimus on metodiikka, jonka tarkoituksena on löytää ratkaisuja reaali maailman ongel- miin (Lukka 2003). Usein esimerkiksi haastattelututkimuksessa nousee esiin abstrakteja ja vaikeasti jäsen- tyviä asiakokonaisuuksia, joita voidaan taivutella useaan eri muotoon. Tällöin kaaviot, mallinnukset, kuvat jne. ovat ihmisten hyödyntämiä työkaluja asioiden jäsentämiseen ja ymmärryksen tuottamiseen eli **kon- struktioita**. Ne ovat ihmisten tuottamia keksintöjä eivätkä löydettyjä luonnonilmiöitä, joita voidaan esi- merkiksi matematiikan avulla todistaa aukottomasti. Puhtaimpia esimerkkejä konstruktioista ovat keino- tekoiset kielet kuten Morsen aakkoset tai tietokoneiden kielet. Konstruktivinen lähestymistapa edellyttää tiivistä yhteistyötä tutkijoiden ja tutkimukseen osallistuvien välillä. Tämän lisäksi tutkimus tulisi myös lin- kittää konkreettisesti tutkimuksen teoreettiseen viitekehykseen ja reflektoida reaali maailman ilmiöiden ja olemassa olevan tiedon välistä suhdetta. (Lukka 2000)

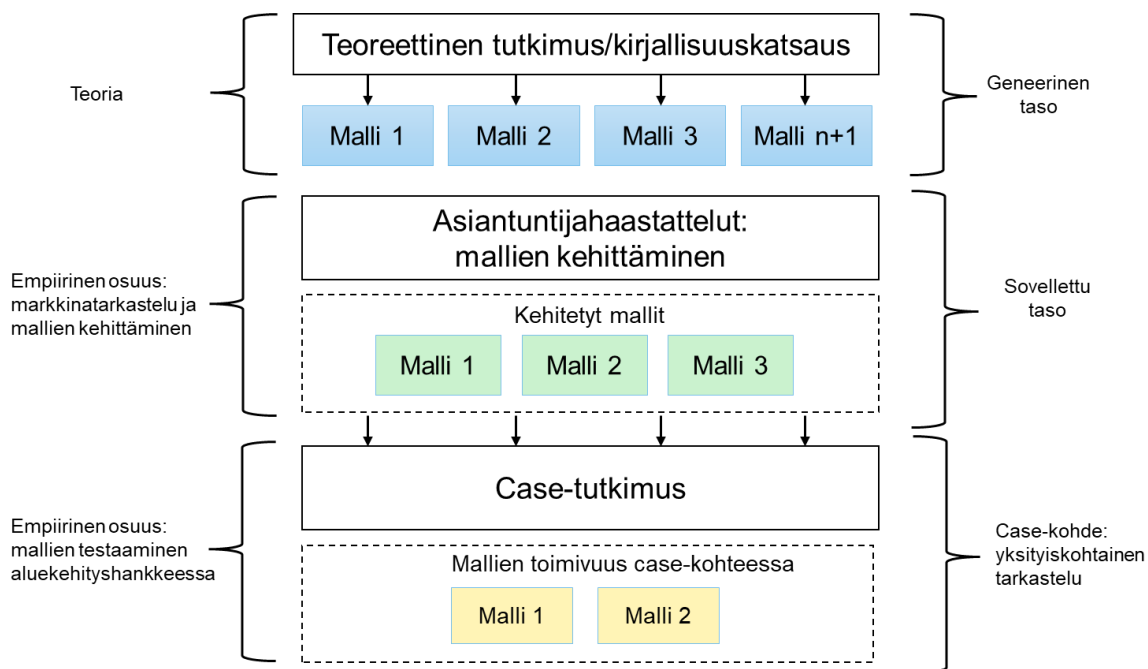


Kuva 5 Keskeiset elementit konstruktivisessa tutkimusotteessa (Lukka 2003; Lukka & Tuomela 1998; Kasanen et al. 1993)

Konstruktivisen tutkimushankkeen tarkoituksena on, että käytännön haasteeseen löydetään uusi ratkaisumalli eli konstruktio. Konstruktiolla on myös sekä käytännönläheistä, että teoreettista kontribuutiota. Ongelmaa lähestytään kerroksittain ja lopulta saadaan eri näkökulmista muodostettua vastaus asetettuun tutkimusongelmaan. (Kuva 5)

3.2 Aineiston kerääminen ja analysointi

Hyödyntämällä konstruktivista lähestymistapaa tutkimukseen, tutkijat tunnistivat ensin kirjallisuuskatsauksesta keskeiset lähestymistavat alueellisten energiaratkaisujen toteuttamiseen. Kirjallisuuskatsauksen tarkastelua käytettiin asiantuntijahaastatteluiden valmistelussa ja haastattelukysymysten muodostamisessa. Keskeistä oli tunnistaa ne aihealueet, joiden kautta pystyttäisiin kuvantamaan tämän hetken markkinassa yleisimmin käytössä olevat toteutusmallit. Viimeisessä vaiheessa syvennyttiin Laakson yhteissairaalahankkeen alueellisen energiaratkaisun tarkasteluun ja tuotiin esiin yksityiskohtaisemmalla tasolla, mitkä tekijät vaikuttivat sen energiaratkaisun toteutusmallin valintaan. (Kuva 6)



Kuva 6 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen empiirisen osuuden aineisto kerättiin puolistrukturoiduilla haastatteluilla. Tarkoituksena oli suunnata haastattelut käsittelemään ensin laajempaan kontekstia, jossa haastateltavat jakoivat omia kokemuksiaan alueellisten energiaratkaisuiden toteuttamisesta ja antoivat näkemyksiä alan nykytilanteesta (haastattelut 1–6). Sopivien haastateltavien tunnistamiseksi hyödynnettiin tutkimusohjelman ohjausryhmän osaamista. Tärkeää oli löytää asiantuntijoita, joilla oli riittävästi tietämystä rakennusten energiantuotannon kehityksestä yleisesti ja kokemusta alueellisten energiaratkaisuiden toteuttamisesta tai suunnittelusta. Asiantuntijahaastatteluiden pohjalta esiteltiin yleistettäviä toteutusmalleja alueellisten energiaratkaisuiden toteuttamiseen. (Taulukko 2)

Taulukko 2 Tutkimushankkeen haastattelut

No.	Luokittelu	Asema	Haastattelijat	Haastateltavat	Ajankohta	Paikka	Kesto
1	Kiinteistönomistaja 1	Kehitysjohtaja	Tutkija 1 ja 2	1 hlö	12.4.2024	Teams	1:01:44
2	Energiayhtiö 1	Johtaja	Tutkija 1 ja 2	1 hlö	15.5.2024	Teams	0:54:52
3	Energiayhtiö 2	Kehityspäällikkö	Tutkija 1 ja 2	1 hlö	25.4.2024	Teams	0:54:11
4	Energiayhtiö 3	Asiantuntija	Tutkija 1	1 hlö	23.9.2024	Teams	0:57:24
5	Rakennusliike	Yksikönjohtaja	Tutkija 1 ja 2	1 hlö	11.4.2024	Teams	0:51:39
6	Kaupunki 1	Projektikoordinaattori	Tutkija 1 ja 2	1 hlö	26.4.2024	Teams	0:53:47
7	Kaupunki 2	Projektipäällikkö	Tutkija 1	1 hlö	21.5.2024	Teams	0:52:40
8	Kiinteistönomistaja 2	Kiintositö-päällikkö	Tutkija 1 ja 2	1 hlö	4.6.2024	Teams	3:49:25

Markkinatarkastelun jälkeen tutkimusohjelman ohjausryhmän avulla tunnistettiin Laakson yhteissairaalan hanke mielenkiintoiseksi case-kohteeksi yksityiskohtaisemmalle tarkastelulle. Tarkoituksena oli kartoittaa niitä tekijöitä, jotka johtivat lopullisen alueellisen energiaratkaisun valintaan, sekä mitä erityispiirteitä ratkaisun suunnittelun aikana nousi esiin. Haastattelut toteutettiin myös puolistrukturoituina, mutta niiden toteuttamiseen varattiin muita haastatteluja pidempi aikavaraus (haastattelut 7-8). Pyrkimyksenä oli syventyä keskustelussa mahdollisimman moneen yksityiskohtaan ja rakentaa myös luottamus haastateltavan ja haastattelijoiden välille. Laakson yhteissairaalahankkeessa on toiminut erillinen suunnitteluryhmä energiaratkaisun toteutusedellytysten kartoittamiseen. Tutkimushankkeen haastateltavat valikoituivat suunnitteluryhmän keskeisten roolien kautta. Case-haastatteluiden pohjalta esitettiin sairaalahankkeelle suunniteltu alueellisen energiaratkaisun toteutusmalli.

Kaikki hankkeen haastattelut toteutettiin Teamsin välityksellä. Haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin sanatarkasti, jonka jälkeen aineisto analysointiin laadullisen aineiston analysoinnin Atlas.ti ohjelmistolla. Laadullisen analyysin tulokset on esitelty ja kuvattu luvussa 4.

4 TULOKSET

4.1 Tunnistetut alueelliset energiatuotannon mallit

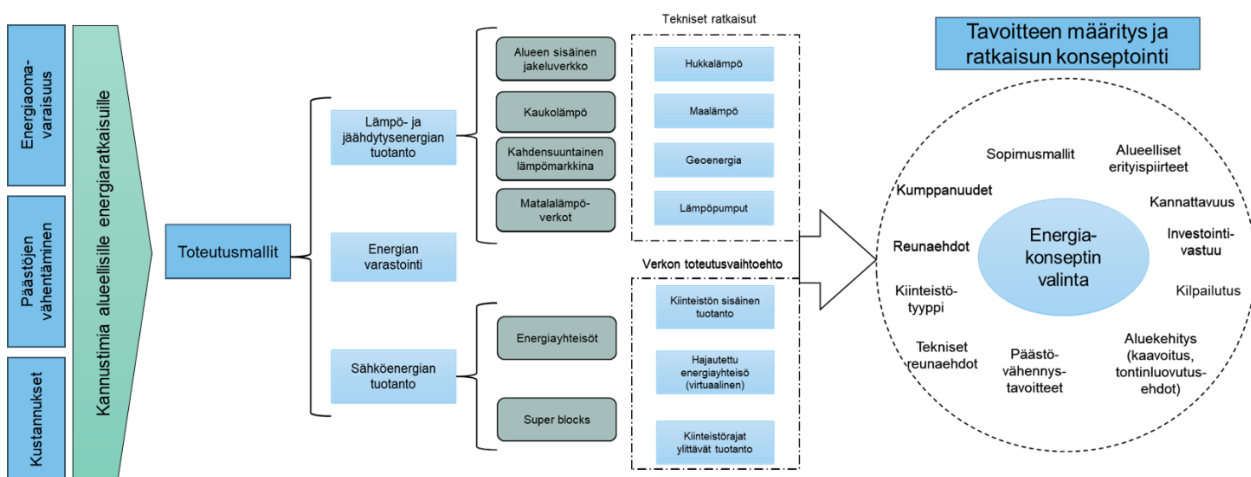
4.1.1 Toteutusmallit

Alueellisten energiatuotantomallien yksiselitteinen määrittely vaatii useiden eri näkökulmien esiintuomista. Määrittelyn lähtökohdissa tulisi ottaa huomioon ainakin ratkaisun kokoluokka, valittu energiantuotantojärjestelmä tai niiden yhdistelmät, hallinnointitapa ja sopimusmalli sekä aluetoteutuksen erityispiirteet. Ensimmäiseksi haastatteluista pyrittiin tunnistamaan alueellisten ratkaisuiden kokoluokkaa. Toteutusmallien toteutuksia voidaan tunnistaa laajalla skaalalla aina yksittäisestä korttelista kaupunginosiin, mutta lähtökohtana pidettiin, että alueratkaisun kokoluokan tulisi olla vähintään kortteli, jotta sitä voidaan pitää alueratkaisuna. Alueellisen ulottuvuuden lisäksi kiinteistöjen energiantarve ja sidosryhmien lukumäärä ohjaa energiatuotantoratkaisuiden valintaa. Energiaratkaisun laajuuden ja teknisen toteutuksen lisäksi tulisi myös ottaa huomioon järjestelmän hallinnointiin liittyvät seikat ja eri osapuolten välille tarvittavat sopimukset. Nämä osaltaan mahdollistavat riittävän investointihalukkuuden ja ottavat huomioon myös järjestelmän operoinnista vastaavan osapuolen intressit. Yhteenvedona haastatteluista voidaan tiivistää alueellisista energiaratkaisun tarkoittavan vähintään yhden korttelin laajuista kokonaisuutta, jossa tuotetaan paikallisesti energiaa yhden tai useamman sopijapuolen tarpeisiin. Tällaisille energiatuotantomalleille ei tällä hetkellä ole tunnistettavissa selkeitä vakiintuneita toteutusmalleja, ja aihealueen ympärillä tapahtuva kehitys on nopeaa.

Haastatteluista tunnistettiin myös keskeiset kannustimet alueellisen energijärjestelmän toteuttamiselle (Kuva 7). Kolme keskeistä kannustinta ovat kustannussäästöt, päästöjen vähentäminen ja energiaomavaraisuuden tavoittelu. Lähtökohtaisesti energiainvestoinneilla tavoitellaan kustannussäästöjä, mutta järjestelmän investointikustannukset voivat olla korkeita ja ratkaisun takaisinmaksupotentiaalia tuleekin arvioida huolella. Kiinteistöiden aiheuttamaan päästökuormaan voidaan vaikuttaa tehokkaasti pienentämällä käyttöaikaista energiankulutusta ja tuottamalla käytetty energia pienemmillä päästöillä. Alueelliset ja korttelikohtaiset energiaratkaisut ovat Suomessa lähes yksinomaan uusiutuviin energialähteisiin perustuvia ratkaisuita ja ovat vastuullisen näkökulmasta houkutteleva investointikohde. Energiaomavaraisuus koetaan myös tärkeäksi kannustimeksi energiamarkkinan haastavan ennustettavuuden vuoksi. Esimerkiksi kaukolämmön hinta on ollut viime vuosina nousussa ja sähkömarkkinassa on ollut merkittäviä muutoksia.

Riittävien kannustimien muodostuttua voidaan tarkastella alueellisen energiaratkaisun toteutusmalleja. Toteutusmallin ensimmäisessä vaiheessa huomio kiinnittyy halutun energiatuotantomuodon valintaan eli halutaanko alueellisesti tuottaa lämpö- ja/tai jäähdytysenergiaa, sähköä ja näiden lisäksi varastoida energiaa esimerkiksi kattamaan kulutushuipun tarpeita. Tämä tutkimus on keskittynyt lämpöenergiantuotantoon, mutta kokonaisuuden hahmottaminen on tärkeää. Lämpöenergialla nähdään olevan suurin vaikutus kohteen käytönaikaisten päästöjen pienentämiseen ja lisäksi sen kiinteistökohtaisilla teknisillä ratkaisuilla

on tällä hetkellä suurin energiantuotantopotentiaali. Haastatteluissa sivuttiin sähköenergiantuotantoa ja esimerkiksi järjestelmän sopimusmalleissa ja hallinnollisissa haasteissa oli yhtäläisyyksiä lämpö- ja jäähdytysenergian tuotantoon, mutta haastatteluaineiston laajuus ei riittänyt aiheen yksityiskohtaiseen analysointiin. Samalla energian varastointi nähtiin potentiaalisesti ratkaisuksi erityisesti sähköenergiantuotannon puolella, mutta siihen liittyviä ratkaisuita ei analysoitu. Ratkaisut voidaan kuitenkin nähdä yhdeksi alueellisen energiaratkaisuntoteutusmalleista, joten näiden mallintaminen nähtiin keskeiseksi.



Kuva 7 Alueellisten energiaratkaisuiden kannustimet ja toteutusmallit

Alueellisen lämpö- ja jäähdytysenergiaratkaisun suhteen tulee pohtia energian jakelu- ja tuotantovaihtoehtoja. Energiaratkaisun alueellisuus edellyttää useamman kiinteistön kytkemistä osaksi järjestelmää, jolloin tuotettua energiaa tulee siirtää kiinteistöstä toiseen. Yleisin ratkaisu tällaiselle verkolle on liittää kiinteistö osaksi kaupungin kaukolämpöverkkoa. Kaukolämpöratkaisu ei kuitenkaan pidä sisällään mahdollisuutta tietyn pienemmän alueen energiaomavaraisuudesta, mutta todennäköisesti kaukolämpö on kuitenkin tärkeä osa korttelikohtaista ratkaisua. Kaukolämpö mahdollistaa vakaan lämmöntuotantovaihtoehdon paikallisesti tuotetun energian rinnalle ja mahdollistaa vaihtoehtoja kulutusjoukon toteuttamiselle. Alueelliset lämpöenergiaratkaisut ovat lähes järjestäen hybridiratkaisuita, jossa kaukolämpöverkkoa hyödynnetään tavalla tai toisella. Jos alueellisen energiantuotannon ja kaukolämpöverkon välillä tapahtuu molemmiin suuntaista energiasiirtymää, voidaan puhua kahdensuuntaisen lämpömarkkinan muodostumisesta. Tämä edellyttää matalalämpöverkkojen hyödyntämistä. Alueellisen tuotannon näkökulmasta suoriin ratkaisu on toteuttaa alueelle sisäinen jakeluverkko, jossa alueella tuotettu energia jaetaan alueella sijaitsevien kiinteistöjen välillä. Kahdensuuntaisten ja matalalämpöverkkojen toteutusmalleihin liittyviä haasteita avataan tarkemmin seuraavassa alaluvussa.

Toteutusmallin valintaan vaikuttaa merkittävästi myös energiantuotannon tekninen ratkaisu. Alueellisesti pienemmän yhteisön tarkoituksiin energiaa voidaan tuottaa usealla eri tavalla: hyödyntämällä alueella sijaitsevan teollisen toiminnan tai kiinteistöjen hukkalämpöä, maalämpöratkaisulla, hyödyntämällä geoenergiaa tai käyttämällä muita lämpöpumppuratkaisuja. Erityisesti lämpöpumppuihin liittyvä tekniikka on kehittynyt viime vuosina merkittävästi, mutta ratkaisut esimerkiksi lämpökaivojen lataamiseen liittyen tarvitsevat vielä laajempaa käytännöntestaamista. Maalämpö on ollut myös yksi houkutteleva vaihtoehto taloyhtiöille, mutta ei usein yksittäisenä järjestelmänä riitä kattamaan alueellisen ratkaisun

energiatarpeita. Hukkalämpö on potentiaalinen vaihtoehto paikallisen lämpöenergian hyödyntämiseen, mutta vaatii usein energiaintensiivisen teollisen tuotannon läheisyyttä tai esimerkiksi datakeskusta. Geoenergiaratkaisut eivät Suomessa ole vielä saavuttaneet laajamittaista teknistä läpimurtoa, mutta niiden energiantuotannon potentiaalia voidaan pitää korkeana. Lämpöpumput (esim. ilmalämpöpumput, vesistöistä saatava energia) nähdään laajemmin myös yhtenä vaihtoehtona osaksi alueellista energiaratkaisua, mutta yksittäisenä järjestelmänä niiden energiantuotantopotentiaali ei välttämättä ole riittävä.

Alueellisen energiaratkaisun kokonaiskuvan hahmottumisen jälkeen voidaan lähteä muodostamaan tarkempaa energiakonseptia. Konseptin toteuttamisessa tulee ottaa huomattava määrä erityispiirteitä huomioon (Kuva 7). Nämä tekijät määrittävät tarkemmin toteutusmallin yksityiskohdat ja alueellisen energiaratkaisun toteutusmahdollisuudet. Jos esimerkiksi tavoitellaan korkeaa alueellista omavaraisuutta, tulisi alueelta löytyä realistinen tapa tuottaa energiaa ja riittävä määrä tilaa energiantuotannolle. Esimerkiksi alueella sijaitsevat maanalaiset rakenteet rajoittavat maalämmön tai geoenergian hyödyntämismahdollisuutta.

Alueellisen energiaratkaisun suunnitteluun ja onnistuneeseen toteutukseen vaikuttaa teknisen ratkaisun lisäksi myös toteutusmallin sopimustekninen järjestely. Tällä tarkoitetaan erityisesti sitä, että miten eri osapuolet saadaan sitoutettua energiaratkaisun toteuttamiseen ja järjestelmän ylläpitoon. Onnistunut sopimusjärjestely voi olla haastavaa siinä vaiheessa, kun alueen tontit on jaettu eri rakennuttajille tai kyseessä on jo rakennettu alue. Tällöin esimerkiksi useamman asunto-osakeyhtiön välille voi olla haastava muodostaa sopimusjärjestelyä, joka tyydyttää kaikkia osapuolia ja siihen halutaan sitoutua. Yhtenä keskeisenä kysymyksenä voi olla esimerkiksi järjestelmän hallintaan liittyvät kysymykset. Tästä syystä alueellisten energiaratkaisuiden muodostuminen on suoraviivaisempaa tilanteessa, jossa ollaan suunnittelemassa uutta asuinaluetta tai kokonaisuuden kehittäminen on yhden suuremman toimijan hallussa. Uutta aluetta suunniteltaessa toteutusmalli ja siihen liittyvät sopimukset tulisi olla mietittynä, jotta tontinluovutusvaiheessa osapuolilla on mahdollista sitoutua ratkaisuun ja sen toteuttaminen olisi mahdollista.

Uuden aluekohteen toteuttamisessa tarvitaan todennäköisesti osaava kumppani, joka sitoutuu alueratkaisun ylläpitoon. Tällainen kumppanuus on mahdollista muodostaa esimerkiksi kiinteistönomistajan ja paikallisen energiayhtiön välille, mutta tätä ei nähdä yksinomaan ainoana vaihtoehtona energiakonseptia kilpailutettaessa. Uutta asuinaluetta suunniteltaessa kokonaisuus on järkevä pilkkoa hallittavan kokoiisiin osuuksiin. Alue kannattaa lähtökohtaisesti jakaa ensin kortteleiksi ja tämän jälkeen pohtia korttelitasot ylittäviä yhteisratkaisuita. Haasteelliseksi yhteisratkaisuiden toteuttamiselle saattaa olla alueen ajallinen kehitys, koska energiantarve alkaa ensimmäisen kohteen käyttöönotosta. Alueen rakentuminen ja energiatarpeen nousu voi tapahtua useamman vuoden aikajänteellä, jolloin heti alussa tarvittavalle energiainvestoinnille ei välttämättä saada muodostettua riittävää takaisinmaksuaikaa, jos energiankulutus nousee hitaasti. Alueen energiaratkaisua kilpailutettaessa yhden operaattorin valitseminen tekee kilpailutuksesta ja ratkaisun toteuttamisesta yksinkertaisempaa. Jos energiakonseptin valinnassa päädytään ulkoisen kumppanin valintaan, on hyvä tarkastella toiminnan edellytyksiä pitkällä sopimusjaksolla (+10v), jotta molemmille osapuolille on muodostettavissa kiinnostava kokonaisuus.

Toteutusmallin sopimusjärjestelyitä suunniteltaessa tulisi myös ottaa huomioon mahdollisuus irtaantua sopimuksesta. Tämä nostaa järjestelyn riskiä, jos useampi toimija päättää irtaantua

sopimuskokonaisuudesta, mutta on järkevä lisäys sopimussuhteen avoimuuden kannalta. Toimijoille voi herätä kysymyksiä esimerkiksi markkinan tekniseen kehitykseen liittyen. Tällä hetkellä kilpailukykyiset ratkaisut voivat tulevaisuudessa menettää kilpailukykyään, jolloin energiakonsepti menettäisi houkuttelevuuttaan. Toisaalta taas uskottava konsepti tuo riittävät kannustimet sopimussuhteelle ja pienentävät sijoittajien ja rakennuttajien riskiä. Konseptin ytimessä tulisi siis olla riski-hyötysuhde, joka tulisi saada kannustimien kautta riittävän korkealle, että alueellisten energiaratkaisuiden muodostumiselle olisi edellytyksiä.

Yhteenvetona selkeiden yleistettävien toteutusmallien määrittäminen on tällä hetkellä haastavaa. Toteutusmalleja on selkeästi muodostumassa erilaisten konseptien ja kumppanuuksien kautta, mutta markkinan kehittyminen on vielä toistaiseksi vaiheessa. Alaluvun tarkoituksena oli antaa yleiskuvaus haastatteluista esiinnousseista ratkaisuista ja tuoda esiin toteutusmallien kehittymiseen liittyviä vaiheita ja erityispiirteitä. Luvussa 4.2 on esitelty yksityiskohtaisemmin yhden alueellisen energiaratkaisun muodostumista.

4.1.2 Haasteet

Alueellisten energiaratkaisuiden toteuttamiseen liittyy toistaiseksi useita eri haasteita. Yhtenä keskeisenä selittävänä tekijänä toimii vakiintumattomat toimintamallit ja niiden muodostumiseen tarvittava informaatio. Kiinteistöt energiantuottajina on alalla suhteellisen tuore ilmiö ja eri kiinteistöjen välille muodostettavat sopimukset eivät ole KIRA-alalla arkipäivää. Haastatteluiden perusteella tunnistettiin keskeisiä haasteita, joita alueellisissa energiahankkeissa nousee usein esiin.

Alueellisen energiainvestoinnin yhtenä keskeisenä tavoitteena voi olla kustannussäästöt, mutta aluekehityksen pitkät aikajänteet tekevät alueellisesti keskitettyjen energiajärjestelmien toteuttamisen haastavaksi. Energiajärjestelmien investointikustannus voi olla korkea, joka saattaa muodostua yksittäisen rakennushankkeen näkökulmasta haasteelliseksi. Uudet aluehankkeet ovat lähes aina vaiheistettuja ja alueen rakentaminen saattaa kestää pitkään. Alueen energiantarve alkaa kuitenkin usein heti ensimmäisen kohteen valmistumisen jälkeen. Tällaisessa tilanteessa yhden keskitetyn voimalaitoksen rakentaminen alueelle voi olla haastavaa, koska se ei heti käyttöönottovaiheessa ole kytkettynä myöhemmin alueelle rakennettavaan kokonaisuuteen. Ajallinen ulottuvuus muodostuu myös usein liikekiinteistöjen hukkalämpöjen hyödyntämisessä, jossa alueelle kehitetään usein ensin asuntorakentamista ja liikekiinteistöt seuraavat alueellisessa kehityksessä myöhemmin. Energiajärjestelmien investointihalukkuuteen vaikuttaa realistinen takaisinmaksupotentiaali, jotta sen ympärille voidaan muodostaa liiketoimintaa.

Useamman sidosryhmän intressien yhteensovittaminen voi olla KIRA-alalla vaikeaa. Alueellisen energiaratkaisun ympärille saattaa muodostua yhdessä korttelissa useampi osapuoli, joiden välille tarvitaan konkreettien hallinnointisopimus. Jo viidenkin sopijapuolen yhteisymmärryksen löytäminen vaatii vahvoja kannustimia, joten useamman korttelin väliset energiakumppanuudet vaativat huolellista suunnittelua. Tästä syystä energiaratkaisun toteuttaminen helpottuu, jos sopijaosapuolia on vähemmän. Toisaalta alueellisen energiaratkaisun muodostumiseksi tulisi löytää riittävän laaja kokonaisuus. Keskeistä on käydä riittävää markkinavuoropuhelua sijoittajien ja rakennuttajien välillä sopivan sopimusmallin muodostamiseksi.

Maankäytönsuunnittelun näkökulmasta julkisen ja yksityisen sektorin välinen vuoropuhelu on tärkeää. Alueelle sopivat energiaratkaisut tarvitsevat myös viranomaisten osallistamista keskusteluihin ja on todennäköistä, että esimerkiksi kaavaratkaisuiden toteuttamisessa voitaisiin ottaa huomioon alueellisten energiaratkaisuiden toteuttaminen aiempaa tehokkaammin. Aiheessa on kuitenkin merkittäviä alueellisia eroja ja kaikkia alueratkaisuiden erityispiirteitä ei pystytä maankäytönsuunnittelussa ottamaan huomioon. Kaupunkien näkökulmasta viher- ja luontoalueiden säilyttäminen on usein keskeistä ja tämä voi asettaa rajoitteita myös energiaratkaisuiden tilatarpeille.

Yhtenä keskeisenä haasteena pidettiin myös järjestelmän käyttöönoton ja ylläpidon vähäisiä kokemuksia. Kaukolämpö on monelle toimijalle tuttu ratkaisu, mutta oman järjestelmän toteuttamiseen liittyy tällä hetkellä epävarmuutta ylläpidon näkökulmasta. Keskeinen huoli on, että löytyy järjestelmän ylläpitoon osaava toimittaja, jolla olisi kokemusta sekä järjestelmän ylläpidosta pitkällä aikavälillä, että sen käyttöönoton jälkeisestä säätämisestä ja optimoinnista. Energiajärjestelmät tarvitsevat usein seuranta- ja käyttöönoton jälkeen, jotta saavutetaan järjestelmän suunniteltu energiantuottotavoite.

Yhtenä keskeisenä haasteena tunnistettiin myös alueellisen energiaratkaisun kytkeminen osaksi alueellisen energiayhtiön kaukolämpöverkkoa. Tällöin voidaan puhua kahdensuuntaisen lämpömarkkinan muodostumisesta. Kirjallisuuskatsauksessa nousi esiin, että kaksisuuntaista verkkoa on suunniteltu ainakin Tampereen Hiedanrantaan. Järjestelmän toteuttamiseen liittyy kuitenkin useita haasteita. Sen toteuttamisessa tulisi ottaa ympäröivien asuinalueiden ja verkon muiden toimijoiden lämmöntarpeet, jolloin kaukolämpöverkon keskelle sijoitettava matalalämpöverkko laskisi verkon reuna-alueilla sijaitseviin kiinteistöihin virtaavan menoveden lämpötilaa. Tällöin matalalämpöverkko tulisi sijoittaa verkon reuna-alueelle. Toiseksi keskeiseksi haasteeksi tuotiin esiin menoveden lämpötilan laskemisesta aiheutuvat haasteet. Matalien lämpöverkkojen toteuttaminen nostaa verkon virtaustarvetta ja sen saavuttaminen edellyttäisi runkoputken koon kasvattamista. Jos olemassa olevan verkon putkikokoa haluttaisiin kasvattaa, niin se olisi arviolta useamman vuosikymmenen projekti. Kolmanneksi huipputehotarpeet lämpöenergian osalta sijoittuvat talvikuukausille ja nykyisten lämpöenergian tuotantoratkaisuilla on rajallinen potentiaali tuottaa energiaa verkkoon silloin, kuin energialle olisi eniten tarvetta. Tämä osaltaan laskee verkkoon syötetystä energiasta saatavia korvauksia. Tämän lisäksi uusiin järjestelmiin liittyy ylläpitoon ja valvontaan liittyviä kysymyksiä, joita ei haastatteluissa sen tarkemmin käyty läpi. Kaksisuuntaisten lämpöverkkojen toteuttamiseen liittyvät keskeiset haasteet nousivat haastatteluissa esiin.

4.2 Laakson yhteissairaalahankkeen energiaratkaisu

4.2.1 Hankkeen esittely

Tutkimuksessa on tarkasteltu Laakson yhteissairaalahankkeen (LYS) energiakonseptien muodostumista. Case-kohteen tarkoituksena oli muodostaa yksityiskohtaisempi kuvaus suuren alueellisen kehityshankkeen energijärjestelmän valintaan liittyvistä erityispiirteistä. Helsingin kaupunki ja HUS uudistavat Laakson sairaala-alueen rakennuksia ja rakennuttavat uudisrakennuksen Ohkolan sairaala-alueelle Mäntsälään. Laakson yhteissairaala -hanke tulee jatkumaan vuoteen 2030 asti, mutta rakennuksia otetaan käyttöön vaiheittain vuodesta 2027.

LYS-hankkeen toteutusmuotona toimii allianssi ja sen kokonaislaajuus on noin 1 900 000 brm². Hankkeen kustannusarvio on 1,003 miljardia euroa ja tarkoituksena on rakentaa paras mahdollinen sairaalaratkaisu tuleville käyttäjille ja hankkeen omistajilleen. Hankkeen energiaratkaisun taustalla on myös Helsingin kaupungin tavoite hiilineutraalisuuden saavuttamisesta vuoteen 2035 mennessä. Rakennusten ja aluekehityshankkeiden energiaratkaisut ovat keskeisessä asemassa tavoitteen saavuttamisessa. LYS-hankkeen suunnittelun alkuvaiheessa ymmärrettiin, että hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen tai sen tavoittelu vaatisi syventymistä moderneihin energiantuotantovaihtoehtoihin. Esimerkiksi sairaalahankkeen lämmitysenergiantarve on karkealla tasolla 10 000 MWh/a, jäähdytystarve 5 100 MWh/a ja sähköenergian kokonaistarve yli 2600 MWh/a. Tästä syystä LYS-hankkeen energijärjestelmän suunnittelua varten koottiin energiasuunnitteluryhmä, jonka tarkoituksena oli käydä läpi erilaisia mahdollisuuksia, joilla sairaalan lämmitys- ja jäähdytysenergiarakaisu voitaisiin toteuttaa. Esimerkiksi energiankierrätyksellä tavoitellaan 40 prosentin leikkausta kulutuksessa. Erityishuomiota tulee kiinnittää huoltovarmuuden piiriin kuuluvasta kiinteistöstä, tuli energiaratkaisun suunnittelussa ottaa myös huomioon mahdollisten kriisitilanteiden vaikutukset energiantuotantoon.

Ryhmän perustamisen tarkoituksena oli tutkia, kehittää ja muodostaa perusteltuja energiaratkaisuja hankkeelle asetettujen hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamiseksi. Energiaryhmään kuului viisi jäsentä, jotka edustivat hankkeen tilaajia, pääurakoitsijaa, energiasuunnitteluosaamista ja rakennuttajakonsulttia. Energiaryhmän jäsenet edustavat allianssissa toimivia yrityksiä, mutta ryhmän päätarkoituksena oli käydä keskustelua ja kehittää hankkeelle toimiva ja kilpailukykyinen energiaratkaisu. Energiaryhmän työn tuloksena LYS-hankkeelle tarkasteltiin arviolta kymmeniä eri energiakonsepteja, joiden haasteita ja mahdollisuuksia energiaryhmä esitteli suunnitteluvaiheen aikana hankkeen omistajille. Tavoitteena oli myös vakuuttaa allianssiryhmä parhaan mahdollisen ratkaisun löytymisestä. Osana järjestelmän toimivuuden arviointia ja kevytmuotoista pilotointia porattiin hankkeelle yhdeksän kappaletta 350m maalämpökaivoa. Maalämpökentän koekäytöstä saatiin arvokasta tietoa muun muassa menetelmän tehokkuuden arvioinnista. Kenttää käytettiin työmaan aikaisen big room -tilan lämmittämiseen.

4.2.2 Alueellisten energiaratkaisujen vertailu

Sopivan energiaratkaisun löytäminen on vaatinut hankkeessa kattavan vertailun eri energijärjestelmien välillä. Hankkeessa tarkasteltiin kymmeniä (arviolta 30–50) erilaisia energiakonseptivaihtoehtoja, jotta löydettiin ratkaisu, jolla asetetut energiantuotannon ja hiilineutraalisuustavoitteet pystyttiin saavuttamaan. Vertailun perusteella hankkeen energiaratkaisuksi nousi toistuvasti esiin geotermisen energian hyödyntäminen eli syväkaivoratkaisun toteuttaminen. Alustavien simulaatioiden pohjalta ajateltiin, että poraustarve yli kilometrin syville kaivoille olisi kymmenen kappaletta, mutta energiaryhmän ymmärryksen kehittyessä kävi ilmeiseksi, että tarve olisikin kahdelle tai kolmelle kaivolle. Geonergiaratkaisun rinnalla tarkasteltiin kuitenkin myös muita vaihtoehtoja. Raporttiin on sisällytetty yleistasonen vertailu eri energiaratkaisujen, kuten maalämpökaivojen, ilmalämpöpumppujen, pienydinreaktorien ja kaukolämmön välillä (Taulukko 3).

Taulukko 3 Tarkasteltujen energiantuotantovaihtoehtojen mahdollisuuksia ja haasteita

Energiaratkaisu	Mahdollisuudet	Haasteet
Geotermisen energia	Korkea energiantuotannon potentiaali hyvällä hyötysuhteella, lämpötilaerojen tehokas hyödyntäminen	Tekniset riskit porauksessa, osaamisen puute markkinassa, suuret investointikustannukset
Perinteinen maalämpö	Vakiintunut teknologia, luotettava energiantuotantovaihtoehto	Energiantuotannon potentiaali rajallinen, riippuvainen vapaana olevasta maa-alueesta
Lämpöpumppuratkaisut	Hyvä täydentävä ratkaisu osana energijärjestelmäkokonaisuutta	Hyötysuhde heikkenee suuressa yksikkökoossa, soveltuvuus pääasialliseksi energialähteeksi rajallinen
Pienydinreaktorit	Mahdollisuus tuottaa riittävästi energiaa suurille aluehankkeille	Ei tällä hetkellä realistinen vaihtoehto lupaprosessien vuoksi Suomessa
Kaukolämpö	Luotettava ja varmennettu energiansyöttö, tärkeä järjestelmä myös alueellisen energiaratkaisun rinnalla	Riippuvuus kaukolämpöverkosta estää tällä hetkellä täyden hiilineutraaliuden saavuttamisen

Haasteet

Energiantuotantovaihtoehtojen kohdekohtainen vertailu on tässä vaiheessa markkinakehitystä äärimmäisen tärkeää. Selvityksessä on käynyt ilmi, että alueellisten energiaratkaisuiden toimintamallit ovat vielä vakiintumattomia ja yhä kehitteillä, jolloin kohdekohtainen analysointi on tarpeellista. Keskeisimmäksi haasteeksi LYS-hankkeen energiaratkaisun suunnittelussa nousi esiin sopivan vaihtoehdon löytäminen, jolla erityisesti hankkeelle asetetut hiilineutraalisuus tavoitteet pystyttäisiin saavuttamaan. Markkinavuoropuhelun perusteella kävi ilmi, että useisiin ja hyväksi todettuihin ratkaisuihin liittyi selkeitä rajoitteita,

joiden pohjalta hiilineutraalisuustavoitteita ei pystyittäisi saavuttamaan. Mahdollisia tulevaisuuden ratkaisuita kuten pienydinreaktori nähtiin energiantuotantopotentiaaliltaan hyvänä ratkaisuna, mutta voimalan perustamiselle ei tämänhetkisessä säädösympäristössä ole mahdollisuuksia. Kattavan analyysin ja markkinavuoropuhelun perusteella geoenergiaratkaisu vaikutti potentiaalisimmalta vaihtoehdolta, vaikka myös järjestelmän toteuttamiseen liittyy selkeitä haasteita.

Tämän lisäksi yleiseksi haasteeksi LYS-hankkeessa tunnistettiin, että alueelliset energiaratkaisut vaativat korkean tason osaamista myös asennustöissä (mm. LV ja kylmäasennukset). Esimerkiksi korttelikohtainen energiakierrätysverkko pitää sisällään huomattavan määrän liittymäpisteitä, haarakohtia ja teknisen tilan kytkentöjä, joihin tarvitaan korkean osaamisen talotekniikkaurakoitsijoita. Erikoisosaamisen hankinta osaksi toimijaverkostoa voi olla haasteellista. Erityisesti julkisissa kohteissa hankintaketjut saattavat muodostua pitkiksi ja kustannuksiltaan korkean erikoisosaamisen hankintaketjun päässä aiheuttaa katekertymän näkökulmasta kokonaiskustannuksiltaan kalliin ratkaisun. Geoenergiaratkaisun toteutuksessa hankintaketjuja on pyritty minimoimaan sekä porausjärjestelmän että teknologiatoimittajan kilpailuttamisessa. Kokonaisenergiajärjestelmän toimivuuden kannalta puhdas energiantuotannon varmistaminen ei yksissään vielä riitä, vaan energiaverkon toteuttaminen ja ylläpito ovat keskeisessä roolissa järjestelmän onnistumista tarkasteltaessa.

Mahdollisuudet

Geoenergialla tunnistetaan olevan edelleen valtava potentiaali osana rakennusten energiantuotantoa. Järjestelmien toteuttamiselle ei kuitenkaan ole pystytty muodostamaan toistaiseksi toimivaa toteutusmallia. LYS-hankkeen energiakaivojen onnistuessa avaa se mahdollisuuksia järjestelmien toteuttamiseen myös kaupungin muissa kohteissa. Tällöin järjestelmän toteuttamisen investointiriskille muodostuu vastapainoksi merkittävä kannustin tulevaisuuden vihreän energiantuotannon kautta. Hiilineutraalisuustavoitteiden täyttäminen oli keskeinen kannustin suunnitteluratkaisun kehittämiseksi ja sisällyttämiseksi osaksi hanketta. Hiilineutraalisuustavoitteet ovat kuitenkin riippuvaisia myös sähköenergian tuotannosta, jota ei ole kytketty osaksi LYS-hankkeen energiaratkaisua.

Rakennusten elinkaarenaikaiset päästöt ovat keskeinen kehityskohta EU:n jäsenmaiden ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. LYS-hanke on mittaluokaltaan merkittävä investointi ja sille on myönnetty Euroopan neuvoston kehityspankin (CEB) laina. Uusiutuvan energian ratkaisuilla on pystytty hankkeessa saavuttamaan myös rahoituksen hinnan kautta tulevia investointihyötyjä, ja ne ovat olleet merkittävä kannustin investoinnin riskejä arvioitaessa. Tämän lisäksi energiamarkkinoilla hintavaihtelut ovat vaikeasti ennustettavia, jolloin omaperusteisen tuotannon potentiaali on järkevää käydä huolella läpi. Lämpö- ja jäähdytysenergian tuotannon omavaraisuusasteen kasvattaminen tarjoaa tilaajalle kannustinta investoida myös korkeamman riskin järjestelmiin. Investointi mahdollistaa myös ylijäämäenergian myymisen kaukolämpöverkkoon tai lähialueen kiinteistöille.

Korkeista investointikustannuksista huolimatta, energijärjestelmällä on potentiaali saavuttaa elinkaarikustannuksiltaan kannattava kokonaisuus. Geoenergiajärjestelmällä on potentiaalia erittäin korkeaan hyötysuhteeseen, ja laskennallisesti järjestelmällä pyritään saavuttamaan jopa COP-arvo 100 (Coefficient of Performance). Arvo tarkoittaa sitä, kuinka monta kilowattia lämpöä energijärjestelmällä voidaan tuottaa kulutettua kilowattia kohden. Korkea COP-arvo perustuu siihen, että syvältä maasta kerättyä lämpöä

voitaisiin hyödyntää sellaisenaan ilman sähköä kuluttavan lämpöpumpun käynnistämistä. On kuitenkin riski, että järjestelmän todellinen lämmöntuotto ei vastaa suunniteltua.

4.2.3 Geotermisen energiajärjestelmän erityispiirteet

Geoenergiaratkaisun toteutusedellytyksiä tarkasteltaessa kävi nopeasti ilmi, että Suomessa toteutettujen keskisyvien energiakaivojen onnistumisprosentti on ollut pieni. Jo puhtaasti energiakaivon poraamiseen liittyy merkittäviä riskejä ja osaavia tekijöitä on Suomen markkinassa puutetta. Tästä syystä LYS-hankkeessa kiinnitettiin erityishuomiota porakaivojärjestelmän valintaan ja määrittämiseen. Suomessa on toteutettu kymmenen keskisyvää ja syvää geotermisen energian hanketta, joissa kaikkien toteutus on poikennut suunnitellusta tavoitteesta. Yhtenä selittävänä tekijänä voidaan esittää yhtenäisten toimintatapojen ja riskienhallinnan puutteellisuus. (Arola et al. 2024) Keskisyviä ja syviä kaivoja voidaan toteuttaa Suomen oloissa usealla eri järjestelmällä:

- lämpöpumpulla tehostettu geotermisen systeemi (yksi tai useampi kaivo)
- tehostettu geotermisen systeemi
- syvälämpökaivojärjestelmä (Uski and Piipponen 2019).

Suomen peruskallio-olosuhteisiin kaksikaivoinen rakosysteemiin perustuva kaivo nähtiin riskialttiiksi, koska kaksikaivoinen järjestelmän särötyksen onnistumisedellytykset arvioitiin epätodennäköisiksi. LYS-hankkeeseen valittiinkin yksikaivoinen lämpöpumpulla tehostettu geotermisen systeemi.

Yhdeksi keskeiseksi haasteeksi geoenergiajärjestelmän toteuttamisessa nousi osaavan poraakoitsijan kilpailuttaminen. Esimerkiksi ulkomaisilla poraustoimijoilla on vähäinen kiinnostus Suomen markkinasta. Yhtenä keskeisenä syynä tähän on, että Suomessa kaivoja on porattu vähän ja maaperän ominaisuudet voivat olla ulkomaisille toimijoille vieraita. Suomen ilmasto-olosuhteet tekevät markkinasta myös haastavamman erityisesti, jos porauksessa hyödynnetään vesipaineporavasaraa. Vesipaineporan etuna tosin on, että esimerkiksi porattua materiaalia voidaan hyödyntää hankkeen täytöissä sen suuremman raekoon takia. Tämän lisäksi pohjoinen ja syrjäinen sijainti Euroopassa lisää urakoitsijalle ilmentyvien logististen haasteiden määrää. Järjestelmän suunnitteluvalinnat voivat myös vaikuttaa saataviin tarjouksiin, koska valitulla järjestelmällä tulee olla menestysmahdollisuudet osaavien toimijoiden houkuttelemiseksi.

LYS-hankkeessa tilaaja on kilpailuttanut kaivojen poraamisen siten, että tilaajalla on oikeus jättää loput kaivot toteuttamatta ensimmäisen kaivon poraamisen jälkeen. Ensimmäinen kaivo toimii niin sanotusti pilottiratkaisuna, jonka perusteella pystytään tarkemmin arvioimaan kaivon energiantuotantopotentiaalia ja määrittämään tarve lisäkaivoille. Tämän lisäksi kilpailutusvaiheessa urakoitsijavalinnassa kiinnitettiin erityishuomiota kustannusten lisäksi tarjotun ratkaisun sisältöön. Tavoitteena oli saada sellainen urakoitsija, joka pystyy toteuttamaan porakaivon kiinteällä hinnalla ilman lisäkustannuksia, vaikka kaivon poraamisen aikana ilmenisi mahdollisia haasteita. Esimerkiksi porauskalustoon liittyvät toimenpiteet ja siitä aiheutuvien viivästyksien kustannusriski on tilaajan sijasta porausurakoitsijalla. Kokonaisuudessaan tilaaja on muodostanut sopimuksen, jossa pääosa riskistä on porausurakoitsijalla.

Projektin suunnitteluvaiheessa tunnistettiin myös, että Saksassa yleinen mikrosementtoiminen ei todennäköisesti onnistu Suomessa. Toimenpide on yleinen Saksassa, mutta heikot kokemukset Suomesta ovat

todennäköisesti yksi syy saksalaisten porausyhtiöiden vähäiselle kiinnostukselle Suomen markkinasta. Keski-Euroopassa toimitaan pääosin liuske- ja hiekkakiven sekä pehmeän kallion kanssa. Kova graniitti asettaa porausryhmälle ja kalustolle taas erilaiset vaatimukset. Porausta kilpailuttaessa tilaajalla tulisi olla hyvä ymmärrys hankkeen porausolosuhteista ja tehdä tietoista kilpailutusta toimijoiden kanssa, joilla on kokemusta tai ymmärrystä vastaavanlaisissa olosuhteissa toimimisesta.

4.2.4 Liiketoimintamallin valinta

Energiaratkaisua suunniteltaessa tulisi tarkastelua toteuttaa kokonaisvaltaisesti ja objektiivisesti koko rakennuksen ja järjestelmän elinkaaren ajalta. Aluehankkeissa on tarvetta myös poikkitieteelliselle kokemukselle, jossa eri osapuolten intressit pystytään ottamaan huomioon kokonaisvaltaista ratkaisua muodostettaessa. Yhtenä osana toteutusta tulee pohtia liiketaloudellista näkökulmaa ja valita hankkeelle toteutusmalli, joka ottaa huomioon hankkeen erityispiirteet ja yksityiskohdat. Erityisesti huomioon otettavia tekijöitä ovat:

- hankkeen koko ja sijainti,
- energiantarve ja -kulutus,
- investoinnin suuruus
- asiakkaan omat resurssit ja osaaminen.

LYS-hankkeessa tarkasteltiin useita eri liiketoimintamallivaihtoehtoja hankkeen suunnitteluvaiheessa, jossa vaihtoehdot vaihtelivat energian ostamisesta palveluna aina oman tuotannon perustamisen välillä. Energiapalvelukonseptien osalta käytiin markkinavuoropuhelua, mutta hankkeen tavoitteita vastaavaa ratkaisua ei onnistuttu yritysten kanssa muodostamaan. Oman tuotannon perustaminen pitää sisällään useita epävarmuustekijöitä ja korkeita osaamisvaatimuksia niin toteutus- kuin ylläpitovaiheessa. Näistä syistä oman tuotannon toteuttamiseen suhtauduttiin hankkeen suunnitteluvaiheessa varauksella, mutta se osoittautui elinkaaren näkökulmasta merkittävästi paremmaksi ja kustannustehokkaammaksi ratkaisuksi.

Liiketoimintamallin valinnassa tulisi määrittää ratkaisun tuottama arvo omistajalle, ratkaisun osapuolet ja verkosto, energian arvonluonti ja keskeiset toiminnot. Karkeasti liiketoimintamallille on kaksi vaihtoehtoa eli ostaa energia kiinteistölle jostain muualta tai vastata tuotannon järjestämisestä itse. Vaihtoehtojen välillä on useita eri välimalleja, jossa voidaan syventyä tarkemmin muun muassa valittuun energiantuotantojärjestelmään ja niiden yhdistelmiin. Liiketoimintamallin valinnassa on myös otettava huomioon ylläpito ja operointivastuut. Energiainvestoinnit ovat suuruusluokaltaan usein merkittäviä, mutta kertainvestointi ei välttämättä johda haluttuun lopputulokseen ilman järjestelmän optimointia käyttövaiheessa. Käyttövaiheen hallinta vaatii usein osaamista, jota puuttuu tilaajaorganisaatioiden kyvykkyyksistä.

Arvontuoton näkökulmasta LYS-hankkeen energiantuotannolla oli selkeä tavoite uusiutuvan energian hyödyntämisestä ja elinkaaren aikaisesta kustannusoptimoinnista. Energian omatuotannolla pystytään saavuttamaan kustannussäästöjä elinkaaren näkökulmasta, vaikka alkuinvestointi on korkea. Hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttaminen tosin toi investoinnille selkeitä rahoitushyötyjä hyötyjä. Hankeen suunnitteluvaiheessa pyrittiin löytämään energiajärjestelmän operaattori ylläpitovaiheeseen, mutta lopulta päädyttiin kouluttamaan osaavaa henkilöstöä vastaamaan järjestelmän ylläpidosta KOy Laakson

yhteissairaalan alle. Tällöin henkilöstön osaamista voidaan räätälöidä vastaamaan hankkeen erityisvaatimuksia sekä rakentamaan esimerkiksi saavutettuihin energiakustannussäästöihin perustuva palkkiojärjestelmä. Energian omatuotanto avaa myös mahdollisuuden ylituotannon myymiselle ja näin lisää energian arvonluontipotentiaalia.

KOy LYS on määriteltävissä suuren mittakaavan prosuumeriksi eli tuottajakuluttajaksi. Tällöin hankkeeseen valittu liiketoimintamalli vastaa hyvin alueellisen energiantuotannon ratkaisua. Valitulle liiketoimintamallille on pystytty muodostamaan kokonaisuus, jonka riski-hyöty-suhde on riittävä investointipäätöksen tekemiseksi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Alueellisen energiantuotannon ratkaisut on aiheena laaja, ja siitä tehtävien yleistysten tekeminen on haastavaa. Yleisesti alueellisilla energiaratkaisuilla tarkoitetaan vähintään korttelin kokoista aluetta, jossa tuotetaan energiaa siellä sijaitsevien kiinteistöjen tarpeisiin. Kohdekohtainen tarkastelu on kuitenkin välttämätöntä erityisesti ratkaisun alueellisen ulottuvuuden määrittämiseksi ja sopivan energiantuotantomuodon valitsemiseksi. On tärkeä tunnistaa, että Suomessa on paljon alueellisia eroja, jotka vaikuttavat merkittävästi energiaratkaisujen kannustimiin ja toteutusmahdollisuuksiin. Tutkimuksessa tuotiin esiin toteutusmalleja yleisellä tasolla kattavasti, mutta tulosten tarkastelussa huomio kiinnittyi erityisesti lämpö- ja jäähdytysenergian ratkaisujen tarkasteluun, sillä lämpöenergialla on tällä hetkellä merkittävä vaikutus rakennusten ylläpidon aikaisiin päästöihin ja tuotannon omavaraistamisella on mahdollista saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella tunnistettiin, että aiheesta on tarjolla paljon tietoa, mutta alueelliset lämpöenergiatuotantoon keskittyvät toteutusmallit ovat silti Suomessa melko harvinaisia. Kaukolämpöä voidaan pitää määritelmällisesti alueellisenä järjestelmänä, mutta tutkimuksessa keskityttiin erityisesti kiinteistöillä tapahtuvaan energiantuotantoon. Yhteys kaukolämpöjärjestelmän ja kiinteistöjen energiantuotannon välillä on kuitenkin potentiaalinen, mutta täysin symbioottiseksi suhdetta on vielä haastava saada tämänhetkisin ratkaisuin. Toteutusmallien sopimusteknisistä ja liiketaloudellisista ratkaisuista tunnistettu kirjallisuus oli myös vähäistä. Tuloksien analyysissä nousee kuitenkin vahvasti esiin haaste sopimusmallien kehittymättömyydestä ja eri sidosryhmien välille muodostettavien pitkäaikaisten sopimusten muodostamisen haaste. Kokonaisuudessaan alueellisille energiaratkaisuille on yleisellä tasolla olemassa toteutusvaihtoehtoja, mutta alalla tarvitaan vielä käytännön esimerkkejä onnistuneista toteutuksista. Yleisten käytäntöjen muodostuminen ottaa varmasti vielä aikaa, mutta aiheesta tapahtuva kehitys on nopeaa.

Geoenergian hyödyntäminen osoittautui potentiaalisimmaksi ratkaisuksi Laakson yhteissairaalahankkeessa, vaikka siihen liittyy teknisiä ja taloudellisia haasteita. Ratkaisun valintaan vaikuttivat erityisesti hiilineutraalisuustavoitteet, energiantuotannon potentiaali ja elinkaarikustannukset. Onnistuneella suunnittelulla ja toteutuksella geoenergiaratkaisu voi tarjota merkittäviä säästöjä ja vähentää päästöjä pitkällä aikavälillä. Tässä tutkimuksessa ei pystytty arvioimaan hankkeen toteutuksen onnistumista, mutta casekohteesta saatiin arvokasta yleistettävää tietoa alueellisten energiaratkaisuiden toteuttamisesta.

Tutkimukselle asetettiin korkeat tavoitteet suhteessa sen laajuuteen. Aihetta olisi ollut mahdollista tarkastella huomattavasti laajemmin tai ottaa lähtötilanteeksi erilainen näkökulma. Tutkimuksen lopputulosta voidaan pitää kuitenkin onnistuneena niin käytännön näkökulmasta, että sen akateemisesta kontribuutiosta. Tuotettu konstruktio case-hankkeesta tarjoaa mahdollisuuksia aiheen jatkotutkimukselle, jossa erityisesti voitaisiin keskittyä case-hankkeen toteutus-, käyttöönotto- ja ylläpitovaiheiden kartoittamiseen.

LÄHTEET

ARA. 2023. Hakuohje: Avustus matalalämpöiseen kaukolämpöön siirtymiseksi. p. 11.

Arola, T., Martinkauppi, A., Piipponen, K., Vallin, S. and Wiberg, M. 2024. Keskisyvän ja syvän geotermisen energian hankkeet Suomessa. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. p. 27.

Barbaro, L., Battista, G., de Lieto Vollaro, E. and de Lieto Vollaro, R. 2024. Thinking a Ground Source Heat Pump for an Energy Community: An Italian Case-Study. Saatavilla: <https://papers.ssrn.com/abstract=4749397>

Blommerde, J. & Kampman, B. 2016. The potential of energy citizens in the European Union - CE Delft. https://www.cedelft.eu/publicatie/the_potential_of_energy_citizens_in_the_european_union/1845

Caramizaru, A. and Uihlein, A. 2020. Energy communities: an overview of energy and social innovation. LU: Publications Office. Saaravilla: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/180576> [Accessed: 10 September 2024].

De São José, D., Faria, P. and Vale, Z. 2021. Smart energy community: A systematic review with metanalysis. *Energy Strategy Reviews* 36, p. 100678. doi: 10.1016/j.esr.2021.100678.

Di Silvestre, M.L., Ippolito, M.G., Sanseverino, E.R., Sciumè, G. and Vasile, A. 2021. Energy self-consumers and renewable energy communities in Italy: New actors of the electric power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151, p. 111565. doi: 10.1016/j.rser.2021.111565.

Energiatallisuus ry 2024. Kaukolämpötilastot: Energiavuosi 2023 Kaukolämpö. Helsinki: [Viitattu: 2.8.2024]. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilastot/>

Euroopan komissio. 2025. Energy communities. Saatavilla: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumers-and-prosumers/energy-communities_en

Fagerström, O. 2023. Tunnetko jo energiayhteisöjen monet mahdollisuudet? Saatavilla: <https://www.granlund.fi/blogi/tunnetko-jo-energiayhteisöjen-monet-mahdollisuudet/>

Gjorgievski, V.Z., Cundeva, S. and Georghiou, G.E. 2021. Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review. *Renewable Energy* 169, pp. 1138–1156. doi: 10.1016/j.renene.2021.01.078.

Helsingin yliopisto (2024). Geotermisen energian muodot | Seismologian instituutti | Helsingin yliopisto. [Viitattu 29.5.2024] Saatavissa: <https://www.helsinki.fi/fi/seismologian-instituutti/maanjaristykset/geotermisen-energia-ja-ihmisen-aiheuttamat-maanjaristykset/geotermisen-energian-muodot>

Iazzolino, G., Sorrentino, N., Menniti, D., Pinnarelli, A., De Carolis, M. and Mendicino, L. 2022. Energy communities and key features emerged from business models review. *Energy Policy* 165, p. 112929. doi: 10.1016/j.enpol.2022.112929.

Kaikkonen, E. 2022. Hukkalämmön hyödyntäminen Imatran Voiman alueen lämmityksessä. Opinnäytetyö. Energiatekniikan tutkinto-ohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/748543>

Kari, A. 2018. Lämpöpumppuhybridiratkaisuiden tarkastelu kaukolämpöverkossa. Diplomityö, Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavilla: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/158777>

Kasanen, E., Lukka, K. and Siitonen, A. 1993. The Constructive Approach in Management Accounting Research. *Journal of Management Accounting Research* 5, pp. 243–264.

Kekkonen, S. 2017. Hiedanrannan alueellinen energiaselvitys. Diplomityö, Energia- ja LVI-tekniikan koulutusohjelma. Aalto-yliopisto. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/28928>

Kubli, M. and Puranik, S. 2023. A typology of business models for energy communities: Current and emerging design options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 176, p. 113165. doi: 10.1016/j.rser.2023.113165.

Lukka, K. (2000). The key issues of applying the constructive approach to field research. *Reponen, T.(ed.)*, 113-28.

Lukka, K. (2003). The constructive research approach. *Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B*, 1(2003), 83-101.

Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J.E., Hvelplund, F. and Mathiesen, B.V. 2014. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 68, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.energy.2014.02.089.

Motiva. 2019. Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa. Motiva Oy. Saatavilla: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf&ved=2ahUKEwjLidGkhrqMAX-WbUIUIHdNxPI0QFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw2wOspOJregtlkXmaWRP4Bz.

Motiva 2024. Energiayhteisömallit. Saatavilla: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiayhteisot/energiayhteisomallit> [Accessed: 14 March 2024].

Pöyry 2016. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. p. 54. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/julkaisut/kaksisuuntaisen-kaukolammon-liiketoimintamallit/>

Tampereen Energia 2022. Hiedanrannasta ensimmäinen hiilineutraali asuinalue Tampereelle. Saatavilla: <https://www.tampereenenergia.fi/uutiset/hiedanrannasta-ensimmainen-hiilineutraali-asuinalue-tampereelle/> [Accessed: 18 March 2024].

Tampereen energia and Sweco. 2023. Selvitys alueellisesta energiasuunnittelusta - ENASU-kehityshanke 2023. Saatavilla: <https://www.tampereenenergia.fi/tampereen-energia/yritys/innovaatiot-ja-kehityshankkeet/enasu/>.

Tampereen yliopisto, U.E.K., Tampereen ammattikorkeakoulu, U.E.K. and Vtt, U.E.K. 2021. Prosumer Centric Energy Communities towards Energy Ecosystem (ProCemPlus). Tampereen yliopisto. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/135693>

Tilastokeskus 2022. Energian hankinta ja kulutus. ISSN=1799-795X. Helsinki: [Viitattu: 2.8.2024], [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://stat.fi/julkaisu/cl8n4z6pg01lg0dulranoildj>

Uski, M. and Piipponen, K. 2019. Selvitys geotermisen energian syväreikäporaamisesta, siihen liittyvistä ympäristönäkökohdista sekä riskienhallinnasta. Institute of Seismology, University of Helsinki. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/301878> [Accessed: 7 February 2024].

Valta, J. 2022. Socio-Technical Transition toward Energy Community Ecosystems : A Dialectic View of Their Emergence and Institutionalization. Tampere University. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/143194>