ENERGIAYHTEISÖN TOTEUTTAMINEN YLI 1 MW KOKOLUOKASSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan diplomityö

2025

Jukka Rantanen

Tarkastajat: Prof. Samuli Honkapuro

TkT Salla Annala

Työn ohjaajat: TkT Jussi Heinimö

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Jukka Rantanen

Energiayhteisön toteuttaminen yli 1 MW kokoluokassa

Sähkötekniikan diplomityö

2025

50 sivua, 13 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastajat: Prof. Samuli Honkapuro

TkT Salla Annala

Ohjaaja: TkT Jussi Heinimö

Avainsanat: Energiayhteisö, kannattavuuslaskelma, suljettu jakeluverkko, sisäinen sähköverkko, mittarointi

Energiayhteisö tarkoittaa ryhmää henkilöitä, yrityksiä tai muita organisaatioita, jotka tuottavat ja kuluttavat sähköä yhteisesti, usein hyödyntäen uusiutuvia energialähteitä, kuten aurinko- tai tuulivoimaa. Energiayhteisöt pyrkivät edistämään energiaomavaraisuutta, vähentämään siirtohäviöitä sekä alentamaan sähkölaskuja yhteistuotannon avulla.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää, miten yli 1 MW kokoluokan energiayhteisö voidaan toteuttaa, ja mitä haasteita sekä lainsäädännöllisiä rajoituksia tähän liittyy. Työssä tarkastellaan eri energiayhteisötyyppejä ja niiden toteuttamisvaihtoehtoja, keskittyen erityisesti mittarointiin, sähkönsiirtoon ja verkkoliityntöihin. Työssä arvioidaan myös energiayhteisöjen taloudellisia hyötyjä ja mahdollisia säästöjä sähkönsiirrossa.

Diplomityössä tehdään myös sähkönsiirron kustannusanalyysi EcoSairilan neljältä kulutuspaikalta, jossa vertaillaan nykytilannetta ja energiayhteisön vaikutuksia sähkönsiirtokustannuksiin. Kustannusvertailussa selvitetään, kuinka paljon energiayhteisö voi vähentää sähkönsiirtokustannuksia ja parantaa taloudellista kannattavuutta.

Työn tuloksena saadaan kattava analyysi eri energiayhteisömallien soveltuvuudesta yli 1 MW kokoluokassa sekä suosituksia parhaista toteutusvaihtoehdoista huomioiden tekniset, taloudelliset ja lainsäädännölliset näkökohdat.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Electrical Engineering

Jukka Rantanen

Implementation of an energy community in the over 1 MW scale

Master's thesis

2025

50 pages, 13 figures and 1 table

Examiners: Prof. Samuli Honkapuro

D.Sc. Salla Annala

Supervisor: D.Sc. Jussi Heinimö

Keywords: Energy community, profitability calculation, closed distribution network, internal electricity network, metering

Energy community refers to a group of individuals, businesses, or other organizations that collectively produce and consume electricity, often utilizing renewable energy sources such as solar or wind power. Energy communities aim to enhance energy self-sufficiency, reduce transmission losses, and lower electricity costs through shared production.

The objective of this thesis is to examine how an energy community of over 1 MW can be implemented and to identify the challenges and regulatory constraints associated with such a setup. The study explores different types of energy communities and their implementation options, focusing particularly on metering, electricity transmission, and network connections. Additionally, the economic benefits of energy communities and potential savings in electricity transmission costs are assessed.

The thesis includes a cost analysis of electricity transmission for four consumption points in EcoSairila, comparing the current situation with an energy community scenario. The cost comparison assesses how much an energy community can reduce electricity transmission costs and improve financial feasibility.

As a result, the thesis provides a comprehensive analysis of the applicability of different energy community models in the over 1 MW scale and offers recommendations for the best implementation strategies, considering technical, economic, and regulatory aspects.

KIITOKSET

Tämän diplomityön valmistuminen on ollut pitkä ja opettavainen matka, jonka aikana olen saanut arvokasta tukea monilta ihmisiltä. Haluan osoittaa syvän kiitokseni kaikille, jotka ovat olleet mukana matkallani ja tukeneet minua opintojeni aikana.

Ensinnäkin suuret kiitokset ohjaajilleni ohjelmajohtaja Jussi Heinimölle ja LUT-yliopiston professori Samuli Honkapurolle. Heidän asiantunteva ohjauksensa, arvokkaat neuvonsa ja kannustuksensa ovat olleet korvaamattomia tämän työn onnistumisessa.

Haluan myös kiittää opiskelijakavereitani, joiden kanssa olen saanut jakaa sekä haasteet että onnistumiset opintojen aikana. Yhteiset keskustelut, vertaistuki ja kannustava ilmapiiri ovat tehneet opiskelusta mielekästä ja motivoivaa.

Suurin kiitos kuuluu perheelleni, joka on ollut tukenani koko opintojeni ajan. Kiitos kärsivällisyydestänne, kannustuksestanne ja siitä, että olette jaksaneet kuunnella pohdintojani myös opintojen ulkopuolella. Ilman teidän tukeanne ja ymmärrystänne tämä matka olisi ollut paljon vaikeampi.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia muita, jotka ovat tavalla tai toisella tukeneet minua tämän työn ja opintojeni aikana. Jokainen keskustelu, neuvo ja kannustus on ollut tärkeä osa tätä prosessia.

Kiitos teille kaikille.

Jukka Rantanen

Tampere, Maaliskuu 2025

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symboli- ja lyhenneluettelo

Roomalaiset

P	teho	[W]
U	jännite	[V]
I	virta	[A]
φ	tehokulma	[°]

Lyhenteet

AM	antomaksu
AT	aurinkovoimalan tuotanto
EM	energiaperusteinen maksu
EMS	energianhallintajärjestelmä
ESE	Etelä-Savon Energia
EU	Euroopan unioni
JSE	Järvi-Suomen Energia
KM	kulutusmaksu
LEMENE	Lempäälän energiayhteisö
MGC	mikroverkko-ohjain (Micro Grid Controller)
OM	ottomaksu
PM	perusmaksu
SMA	hyvityslaskennan jakotapa A
SMB	hyvityslaskennan jakotapa B

TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TM	tehomaksu
VS	vuorokausihinnoittelun sähkönsiirtokustannus
YS	yleissähkön siirtomaksu

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1 Johdanto ... 9
1.1 Työn tavoitteet ... 10
1.2 Työn toteutus ... 10
2 Energiayhteisö ... 12
2.1 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö ... 13
2.2 Suljettu jakeluverkko ... 14
2.3 Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö ... 15
2.4 Hajautettu energiayhteisö ... 16
2.5 Hyvityslaskennan jakotavat SMA ja SMB ... 17
2.6 Energiayhteisöiden hyödyt ... 19
3 Energiayhteisön toteuttamisvaihtoehdot yli 1 MW kokoluokassa ... 22
3.1 Mittarointi ... 22
3.1.1 Hyvityslaskenta ... 23
3.1.2 Takamittarointi ... 23
3.2 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö ... 25
3.2.1 Haasteet ... 25
3.2.2 Lainsäädännölliset rajoitteet ... 25
3.3 Hajautettu energiayhteisö ... 25
3.3.1 Haasteet ... 25
3.3.2 Lainsäädännölliset rajoitteet ... 26
3.4 Suljettu jakeluverkko ... 27
3.4.1 Haasteet ... 27
3.4.2 Lainsäädännölliset rajoitteet ... 27
4 Esimerkkitapaukset ... 28

4.1 Lappeenrannan energiayhteisö 28
4.2 LEMENE-energiayhteisö 30
5 EcoSairila 34
5.1 Toteutusmallit 35
5.1.1 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö 35
5.1.2 Hajautettu energiayhteisö 36
5.1.3 Suljettu jakeluverkko 37
5.2 Mittausvaihtoehdot 38
5.2.1 Hyvityslaskenta 38
5.2.2 Takamittarointi 38
5.3 Verkkoliitynnän vaihtoehdot 39
5.4 Haasteet 40
6 Sähkönsiirron kustannusanalyysi EcoSairilassa 42
6.1 Nykytilanne 42
6.2 Energiayhteisö 45
6.3 Kustannusvertailu 47
7 Johtopäätökset 49
8 Yhteenveto 50
Lähteet 51

1 Johdanto

Siirtymä kohti 100 % uusiutuvan energian käyttöä etenee kovaa vauhtia. Sähkön käyttömäärät tulevat kasvamaan merkittävästi ja sen vuoksi sähköverkot tulevat olemaan kovilla tulevaisuudessa varsinkin kulutuspiikkien osalta. Vuonna 2021 tuli voimaan asetus, joka sallii yksityishenkilöiden, yhteisöjen ja yritysten muodostaa energiayhteisöjä (Valtioneuvosto, 2021). Energiayhteisöissä kuitenkin se kaikista tärkein ominaisuus kiinteistölle/yhteisölle on säästöt mm. sähkönsiirron kustannuksissa ja tietysti uusiutuvien energianlähteiden hyödyntäminen. EU:n ja Suomen lainsäädännössä halutaan tulevaisuudessa helpottaa entisestään uusiutuvan energian hyödyntämistä.

Nykyisen lainsäädännön mukaan energiayhteisön jäsenten sähkönkäyttökohteen on sijaittava samassa kiinteistössä tai vastaavassa kiinteistöryhmässä, ja paikan on oltava liitetty verkkoyhtiön jakeluverkkoon samalla liittymällä. Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) työryhmä suosittelee, että hallitus helpottaisi hajautettujen energiayhteisöjen ja aktiivisten asiakkaiden energian jakelua koko Suomessa. Virtuaalisen hajautetun energiayhteisön jäsenet voisivat olla missä tahansa Suomessa. Tällainen energiayhteisö hyödyntäisi julkista sähköverkkoa sähkönjakelussa. Työryhmä teki useita ehdotuksia erillisten linjojen laajempaan käyttöön, mutta edellyttäen, että ehdotusten vaikutukset arvioitaisiin tarkemmin ennen lainsäädännöllisiä muutoksia. (TEM, 2023)

Nykyisen lainsäädännön mukaan energiayhteisöjen sääntely koskee ensisijaisesti yhteisöjä, joiden tuotantolaitosten yhteenlaskettu nimellisteho on alle 1 MVA, mikä käytännössä rajoittaa ne pienimuotoiseen tuotantoon. Pientuotannoksi luetaan sähköntuotantolaitteistot, joiden tuotantokapasiteetti on maksimissaan 1 MW. Kuitenkin esimerkiksi Saksassa, on toteutettu jo yli 1 MW kokoluokan energiayhteisöjä, esimerkiksi Wildpoldsriedin energiayhteisö (Wildpoldsried, 2024) ja tässä työssä on tarkoituksena selvittää miten Suomessa tämän kokoluokan energiayhteisö olisi mahdollista toteuttaa. Yli 1 MW kokoluokan energiayhteisöt ovatkin enemmänkin hyödyllisiä teollisuudessa, mutta myös mahdollisesti voisi kokonainen kaupunginosa tai kunta olla energiayhteisö, kuten Salossa Hevonpään kylään

suunnitteilla oleva aurinkopuisto, jossa teho voi olla 60 MW ja se tuottaisi sähköä noin 10 000 kotitalouden vuosittaiseen tarpeeseen. Kyseinen hanke on vielä kehitysvaiheessa. (IBV Suomi, 2024)

1.1 Työn tavoitteet

Tämän diplomityön tarkoituksena on selvittää, miten energiayhteisön toteuttaminen yli 1 MW kokoluokassa onnistuu. Työssä tarkastellaan erityisesti haasteita, jotka liittyvät jakeluverkkoyhtiöiden rooliin, sillä nykyisessä lainsäädännössä jakeluverkkoyhtiö ei ole velvollinen hoitamaan kiinteistön sisäisiä sähkönkäyttöpaikkojen mittauksia. Tämä tarkoittaa, että energiayhteisöä käsitellään yhtenä sähkönkulutuspaikkana, mikä asettaa haasteita kiinteistön sisäisen sähköverkon hallinnointiin ja siihen, miten eri toimijat voisivat toimia sähkömarkkinoilla itsenäisesti.

Työssä selvitetään, miten kiinteistön sisäiseen sähköverkkoon liittyvät sähkönkäyttäjät pääsevät ostamaan sähköä haluamiltaan sähkönmyyjiltä ja miten joku lähialueella oleva sähkönkäyttäjä voi kytkeytyä yhteisöön. Energiayhteisömalleja on monenlaisia, ja tarkoituksena on selvittää eri toteutusvaihtoehtoja ja antaa suosituksia. Tässä työssä tarkastellaan mahdollisuuksia toteuttaa kiinteistön sisäinen sähköverkko sähkömarkkinalain mukaisena suljettuna jakeluverkkona.

Lisäksi työssä tehdään tarkempi arvio aurinkovoimalan toteuttamisesta energiayhteisökonseptilla. Tarkastelussa hyödynnetään tuntitehoprofiileja, joilla saadaan arvioitua sähkönsiirrossa saavutettavien säästöjen määrä.

1.2 Työn toteutus

Tämä diplomityö on toteutettu kirjallisuustutkimuksena, käytännön tietojen keräämisen sekä kustannuslaskennan avulla. Työn aikana on hyödynnetty monipuolisia tietolähteitä, kuten sähkömarkkinoihin ja energiayhteisöihin liittyviä lakeja ja asetuksia, viranomaisohjeistuksia sekä aikaisempia tutkimuksia ja raportteja. Työssä on käytetty internetistä löytyviä lähteitä

ja sähköpostitse saatuja tietoja, jotka ovat tarkentaneet erityisesti esimerkkitapauksien teknisiä ja taloudellisia yksityiskohtia. Kirjoitusprosessin aikana on myös hyödynnetty ChatGPT:tä tekstin sujuvoittamiseen ja tiedon etsintään, jolloin työssä on pystytty keskittymään sisältöön ja analyysiin.

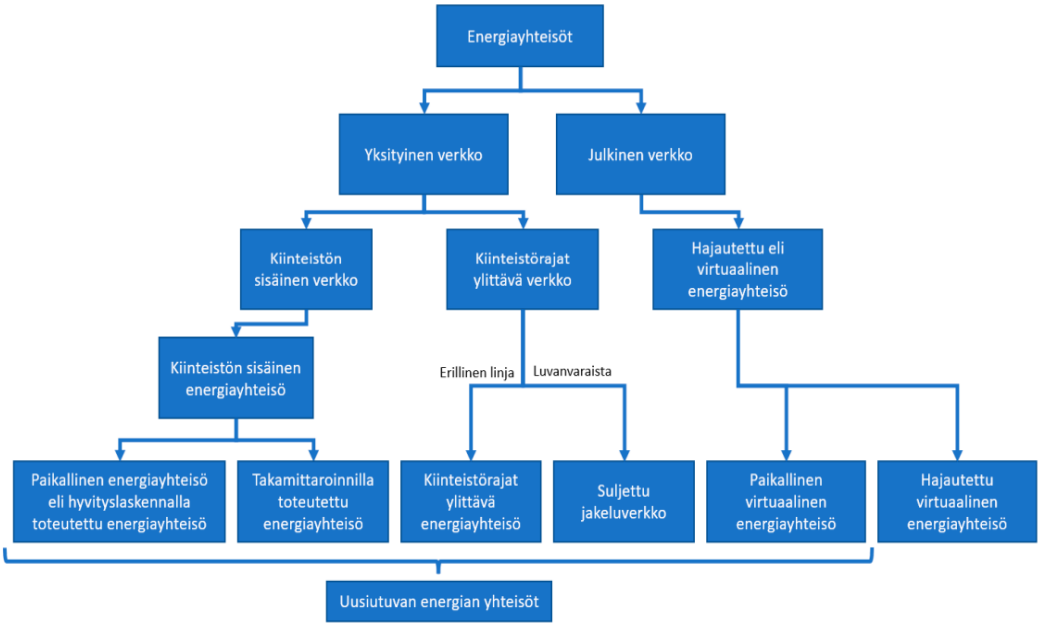
Työn toteutuksessa on tehty rajauksia, jotka keskittyvät yli 1 MW kokoluokan energiayhteisöihin. Erityisenä tarkastelun kohteena on kiinteistön sisäisten energiayhteisöjen, hajautettujen energiayhteisöjen sekä suljettujen jakeluverkkojen toteutusmallit. Työssä käsitellään näihin malleihin liittyviä teknisiä, lainsäädännöllisiä ja taloudellisia haasteita sekä mahdollisia ratkaisuja.

Työn rakenne on jaettu siten, että alussa käsitellään energiayhteisöjen määritelmiä ja toimintamalleja, jonka jälkeen syvennytään erityisesti yli 1 MW energiayhteisöjen toteuttamiseen eri näkökulmista. Työssä hyödynnetään esimerkkejä, kuten EcoSairilan tapausta, jossa tarkastellaan konkreettisia toteutusvaihtoehtoja ja niihin liittyviä haasteita.

2 Energiayhteisö

Energiayhteisö on yhteisö, eli ryhmä ihmisiä, yrityksiä tai muita sähköverkkoon kytkeytyneitä organisaatioita, jossa energiayhteisöön kuuluvat jakavat keskenään sähkön pientuotannon ja jakavat tuotetun sähkön energiayhteisön sisäisesti. Energiayhteisöt voivat esimerkiksi perustaa aurinkovoimalan tai tuulipuiston ja jakaa sen tuotannon yhteisön jäsenten välillä. Energiayhteisöiden tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä, parantaa energiatehokkuutta, saavuttaa riippumattomuutta perinteisistä energiatuotantomuodoista ja alentaa sähkönhankinnan kustannuksia. Energiayhteisöön osallistumalla pystytään investoimaan suurempiin voimaloihin ja varastointeihin, mihin yksittäiset asiakkaat pystyisivät. (TEM, 2018)

Energiayhteisöiden toimintaa rajaavat erilaiset direktiivit ja lait, kuten sähkömarkkinalaki (588/2013) (Sähkömarkkinalaki, 2013), Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001 (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2018), sähkömarkkinadirektiivi (2019/944) (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2019), valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (767/2021) (Valtioneuvosto, 2021) sekä asunto-osakeyhtiölaki (1599/2009) (Asunto-osakeyhtiölaki, 2009), jotka määrittävät, millaisia rajoituksia erilaisille yhteisöille on ja kuinka eri tavoin voidaan toteuttaa energiayhteisöjä. Energiayhteisöön kuuluvilla on oikeus valita oma sähkönmyyjä ja energiayhteisöstä on oltava mahdollista irtautua. Pääsääntöisesti energiayhteisöt voidaan jakaa kiinteistön sisäiseen energiayhteisöön ja kiinteistörajat ylittävään energiayhteisöön. (Motiva, 2024) Alla olevassa kuvassa 1 on esiteltynä energiayhteisöjen luokittelu.



Kuva 1 Energiayhteisöjen luokittelu (TEM, 2023)

Tämän työn kannalta oleellista on myös, kuinka kiinteistön sisäinen jakeluverkko ja siihen liittyvät mittaukset toteutetaan. Työssä tarkastellussa kokoluokassa energiayhteisöön saattaa liittyä myös suljettu jakeluverkko. Suljetulla jakeluverkolla tarkoitetaan verkkoa, jossa jaetaan sähköä maantieteellisesti rajatulla teollisuus- tai elinkeinoalueella tai yhteisiä palveluja tarjoavalla alueella. Edellä mainittuja käsitellään luvuissa 2.1 ja 2.2. Alaluvuissa 2.3–2.6 käsitellään muita malleja yleisesti, hyvityslaskentamallit sekä energiayhteisöjen hyötyjä.

2.1 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö

Kiinteistön sisäisen energiayhteisön voi muodostaa esimerkiksi asunto-osakeyhtiön osakkaat. Toisin sanoen energiayhteisön jäsenet sekä tuotanto ja/tai energiavarastot sijaitsevat samalla kiinteistöllä tai kiinteistöryhmällä. Sähkömarkkinalain mukaisesti kiinteistö voi tarkoittaa myös laajempaa aluetta, kun se on yhden omistajan hallussa. Tällöin esimerkiksi kunnille ja kaupungeille kuuluvat yritys- tai teollisuusalueet, joilla kaikki kiinteistöt sijaitsevat yhteisellä maa-alueella, käsitellään yhtenä kiinteistönä energiayhteisön muodostamista varten.

Kiinteistön sisäisen energiayhteisön voi perustaa paikallisella energiayhteisöllä tai aktiivisten asiakkaiden ryhmällä. Kiinteistön sisäisen energiayhteisön mittaroinnissa voidaan hyödyntää hyvityslaskentaa tai takamittarointia, jossa ei käytetä hyvityslaskentaa. Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty tarkemmin eri mallien erot. (Motiva, 2024)

Kuva 2 Kiinteistön sisäiset energiayhteisöt (Motiva, 2024)

2.2 Suljettu jakeluverkko

Sähkömarkkinalain (588/2013) 11 § määrittelee suljetun jakeluverkon luvan myöntämisen seuraavasti:

”*Suljetun jakeluverkon sähköverkkolupa myönnetään hakemuksesta hakijalle, joka harjoittaa sähköverkkotoimintaa maantieteellisesti rajatulla teollisuus- tai elinkeinoalueella taikka yhteisiä palveluja tarjoavalla alueella sijaitsevassa jakeluverkossa tai suurjännitteisessä jakeluverkossa, jossa ei toimiteta sähköä kuluttajille, jos:*

1) erityisistä teknisistä tai turvallisuuteen liittyvistä syistä kyseisen verkon käyttäjien toiminnot tai tuotantoprosessi muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden; tai

2) kyseisessä verkossa jaellaan sähköä ensisijaisesti verkon omistajalle tai verkonhaltijalle taikka niihin omistussuhteessa oleville yrityksille.

Suljetun jakeluverkon sähköverkkolupaa ei kuitenkaan saa myöntää hakijalle, jonka sähköverkossa toimitetaan sähköä kuluttajille, ellei kysymyksessä ole sähköntoimitus pienelle määrälle kuluttajia, joilla on työsuhteeseen perustuvia tai vastaavia yhteyksiä hakijaan."(Sähkömarkkinalaki, 588/2013)

Suljetussa jakeluverkossa jaetaan siis sähköä maantieteellisesti rajatulla elinkeino- tai teollisuusalueella tai yhteisiä palveluita tarjoavalla alueella. Suljetusta jakeluverkosta ei siis toimiteta sähköä kotitalousasiakkaille, paitsi jos on pieni määrä kotitalouksia, joilla on kytköksiä suljetun jakeluverkon omistajaan työsuhteen tai muunlaisten suhteiden kautta. Suljettu jakeluverkko tarvitsee aina luvan Energiavirastolta ja jakeluverkkojen toimintaa säädellään sähkömarkkinalailla. (TEM, 2023)

Suljetulla jakeluverkolla on merkittäviä hyötyjä. Suljetun jakeluverkon kulutuspaikat säästävät siirtomaksuissa ja voi hyödyntää oman tuotantonsa tehokkaammin. Suljettu jakeluverkko mahdollistaa yhteisön omavaraisen sähköntuotannon ja -kulutuksen, mikä vähentää riippuvuutta ulkopuolisista sähköntoimittajista. Yhteisön jäsenet voivat jakaa sähköä verkon sisällä joustavasti, optimoiden omaa sähkönkäyttöään ja tuotantoaan.

Toisaalta suljetun jakeluverkon rakentaminen vaatii merkittäviä investointeja, kuten sähkökaapeleiden, muuntajien ja mittausjärjestelmien rakentamisen ja ylläpidon. Vaikka pitkän aikavälin säästöt voivat olla huomattavia, alkuinvestoinnit voivat olla esteenä hankkeille. Suljetun verkon käyttö on rajoitettu tietylle alueelle, mikä vaikeuttaa yhteisön laajentamista. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

2.3 Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö

Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö tarkoittaa kiinteistöjen välistä yhteistyötä, jossa jaetaan keskenään tuotettua energiaa, kuten aurinkoenergiaa tai tuulivoimaa. Tällä energiayhteisömallilla pystytään edistämään paikallista energiantuotantoa ja -kulutusta, mutta myös erinomaisesti tukemaan kestävää kehitystä ja energian omavaraisuutta. Tällä hetkellä laissa ei ole erikseen tunnistettu kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä. Lainsäädännössä (Sähkömarkkinalaki 588/2013) määritellään erillinen linja, sen rakentamisen luvanvaraisuus sekä

vaatimus siitä, että erillinen linja ei saa muodostaa rengasyhteyttä julkisen jakeluverkon kanssa. Tämä malli on erinomainen varsinkin tilanteessa, jossa toisen kiinteistön energiantuotantomahdollisuudet ovat paremmat kuin toisen kiinteistön, jossa sijaitsee kulutus. Tässä tilanteessa sähkö pystytään siirtämään kiinteistöjen välillä erillistä linjaa pitkin, jolloin verkkopalvelumaksuja eikä yleensä sähkö- ja arvonlisäveroja ole sähkössä. Energiayhteisön tästä muodostaa tilanne, jossa esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmältä siirretään sähkö kerrostalossa sijaitsevaan käyttöpaikkaan, josta hyvityslaskentaa hyödyntäen sähkö jaetaan asukkaiden välillä eli eri sähkönkäyttöpaikkojen välillä. (Motiva, 2024)

Alla olevassa kuvassa 3 havainnollistetaan kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö.

Kuva 3 Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö (Motiva, 2024)

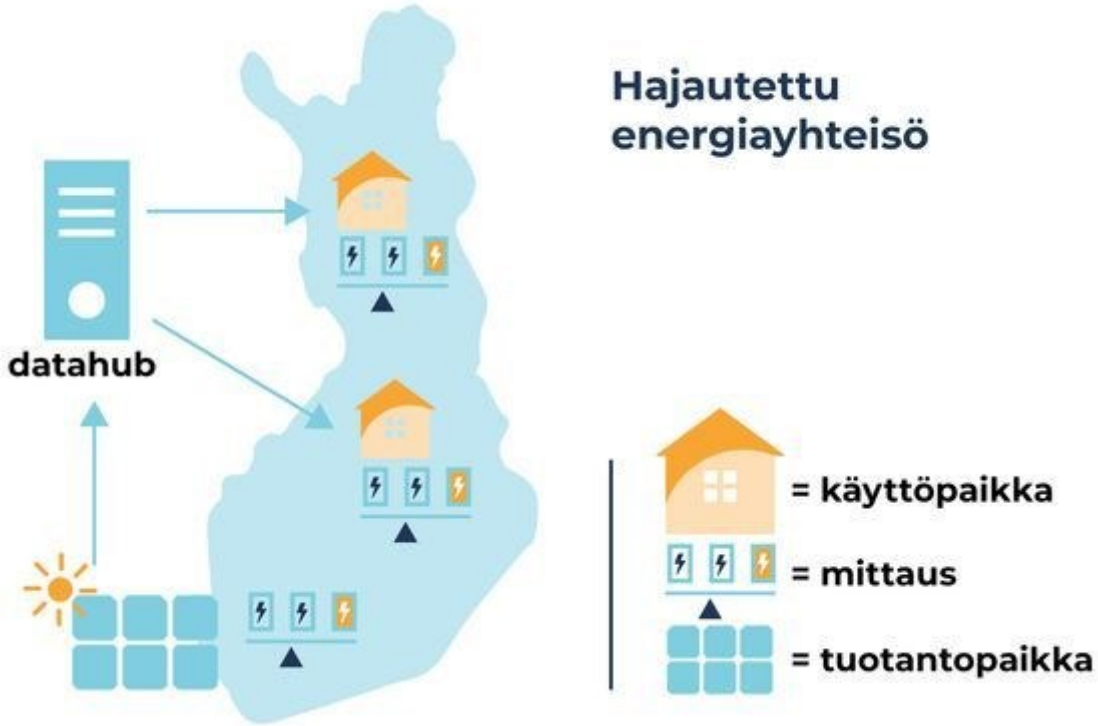
2.4 Hajautettu energiayhteisö

Hajautettu energiayhteisö, jota kutsutaan myös virtuaaliseksi energiayhteisöksi, tarkoittaa yhteisöä, joka ei rajoitu yhteen kiinteistöön tai kiinteistöryhmään ja sähkönsiirto tapahtuu siirtoverkon kautta. Hajautetut energiayhteisöt voivat olla paikallisia virtuaalisia energiayhteisöjä tai laajempia, hajautettuja virtuaalisia energiayhteisöjä. (TEM, 2023)

Paikallisessa hajautetussa energiayhteisössä on yhteisö, jonka jäsenet eivät ole samalla kiinteistöllä, mutta ovat saman jakeluverkon alueella. Paikallinen hajautettu energiayhteisö käyttää sähkön jakeluun paikallista jakeluverkkoa, jossa on jokin yhteinen piste, kuten esimerkiksi jakelumuuntaja, jonka takana kaikki energiayhteisön jäsenet sijaitsevat. Hajautetussa

energiayhteisössä yhteisön jäsenet voivat sijaita missä päin sähkömarkkinoiden tarjousaluetta ja siinä hyödynnetään julkista sähköverkkoa. Nykyisen lainsäädännön mukaan virtuaalisen energiayhteisön jäsenet näyttäytyvät verkkoyhtiöille ja muille sähkömarkkinaosapuolille sekä taseselvityksessä tavallisina kulutus- tai tuotantoasiakkaina. He eivät omista verkkoa, ja sähkön jakelu tapahtuu julkisen jakeluverkon kautta. Verkkoyhtiö vastaa mittaroinnista omilla mittareillaan. (TEM, 2023)

Alla olevassa kuvassa 4 havainnoituna hajautettu energiayhteisömalli.



Kuva 4 Hajautettu energiayhteisö. (Motiva, 2024)

2.5 Hyvityslaskennan jakotavat SMA ja SMB

Hyvityslaskenta otettiin käyttöön vuoden 2021 alussa lakiuudistuksen myötä, ja se mahdollistaa sähköntuotannon jakamisen kiinteistön eri käyttöpaikoille. Ensisijaisesti tuotettu sähkö käytetään siinä käyttöpaikassa, johon sähköntuotantolaitteisto on liitetty. Jos tuotanto ylittää kyseisen käyttöpaikan kulutuksen, ylimääräinen sähkö jaetaan kiinteistön muille sähkönkäyttöpaikoille ennalta määritellyn jakosuhteen mukaisesti. Tavallisesti sähköntuotanto

liitetään kiinteistösähkön käyttöpaikkaan, jolloin tuotettua energiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi kiinteistön yleisiin kulutuskohteisiin ennen sen jakamista muille käyttäjille. (Motiva, 2024)

Hyvityslaskentaan käytetään Suomessa yleisesti kahta jakotapaa, SMA ja SMB. SMA on hyvityslaskennan malli, jossa kaikki yhteisön jäsenten käyttämättä jäänyt ylijäämäsähkö kirjautuu energiayhteisön yhteiselle tuotantokäyttöpaikalle. Tämä tarkoittaa, että jos energiayhteisön jäsen ei käytä hänelle kohdistettua hyvitettyä sähköä, tämä sähkö "palautuu" yhteisön tuotantokäyttöpaikalle. Tuotantokäyttöpaikalle kerätty ylijäämäsähkö myydään sähköyhtiölle erillisen ylijäämäsähkön myyntisopimuksen mukaisesti. Tämän mallin etuina on, ettei jokaisen asukkaan tarvitse tehdä omaa myyntisopimusta ja siitä saadaan taloudellinen hyöty, joka menee tuotantokäyttöpaikan omistajalle esimerkiksi taloyhtiölle. Tämä jakotapa on yksinkertainen ja tarjoaa mahdollisuuden tuottaa tuloja yhteisölle tai sen omistajalle ylijäämäsähkön myynnistä. Se on hyödyllinen erityisesti silloin, kun yhteisö haluaa hallita ylijäämäsähkön taloudellisia etuja keskitetysti. (Motiva, 2024) Alla olevassa kuvassa 5 havainnollistettuna SMA toiminta.

Kuva 5 Hyvityslaskennan jakotapa SMA. (Helen, 2024)

SMB on toinen hyvityslaskennan malli, jossa ylijäämäsähkö jaetaan jäsenten kesken heidän kulutuksensa mukaisesti. SMB-mallissa jokaisen yhteisön jäsenen sähkömittari hyvitetään

erikseen heidän osuudestaan yhteisön tuottamasta sähköstä. Jokaisen jäsenen kulutus ja tuotanto lasketaan erikseen, ja heille annetaan hyvitykset käytetystä ja käyttämättä jääneestä sähköstä omien mittaustietojensa perusteella. Tämä malli mahdollistaa joustavan ja läpinäkyvän sähköenergian käytön ja hyvityksen jokaiselle jäsenelle erikseen. Tämä jakotapa on oikeudenmukainen, sillä se perustuu jokaisen jäsenen todelliseen energiankäyttöön. Se voi kannustaa energiansäästöön ja tehokkaampaan energian käyttöön, koska jäsenet saavat suoran taloudellisen hyödyn omaan kulutukseensa perustuen. Alla olevassa kuvassa 6 havainnollistettuna SMB. (Motiva, 2024)

Kuva 6. Hyvityslaskennan jakotapa SMB. (Helen, 2024)

2.6 Energiayhteisöiden hyödyt

Energiayhteisöjä on monenlaisia ja näiden energiayhteisömalleilla pystytään muodostamaan energiayhteisöjä melkein mihin tahansa tilanteeseen. Yhtä tärkeää on kuitenkin tietää, mitä hyötyjä energiayhteisöt muodostavat.

Energiayhteisöistä on monenlaisia hyötyjä, kuten taloudellisia, sosiaalisia ja ympäristöllisiä hyötyjä sekä mahdollisuus parantaa energiaomavaraisuutta. Ympäristöllisiä hyötyjä voi syntyä erityisesti silloin, kun energiayhteisö hyödyntää uusiutuvia energialähteitä, kuten

aurinko- tai tuulivoimaa. Paikallinen sähköntuotanto voi vähentää siirtohäviöitä, vaikka niiden tarkka suuruus riippuu sähköverkon rakenteesta ja tuotannon sijainnista suhteessa kulutukseen. Esimerkiksi siirtohäviöiden osuus on tyypillisesti muutaman prosentin luokkaa, mutta paikallinen tuotanto voi pienentää tätä osuutta etenkin lyhyillä etäisyyksillä.

Energiayhteisöt voivat myös vähentää sähköverkolle aiheutuvaa kuormaa, mutta vaikutus riippuu tuotannon ja kulutuksen ajoittumisesta. Aurinkovoiman tuotanto on suurinta kesällä, kun taas sähköverkon kulutushuiput ajoittuvat usein talvikauteen, mikä rajoittaa aurinkovoiman merkitystä kulutushuippujen tasaajana. Energiayhteisöjen sähköntuotanto voi perustua myös muuhun kuin uusiutuvaan energiaan, kuten esimerkiksi moottorivoimaloihin, jolloin ympäristöhyödyt jäävät pienemmiksi. Taloudelliset hyödyt syntyvät muun muassa yhteisöön osallistuvien jäsenten mahdollisuudesta optimoida energiankäyttöään ja vähentää sähköntoimituksesta aiheutuvia kustannuksia.

Taloudellisiin hyötyihin liittyy monia merkittäviä tekijöitä, joilla on vaikutusta sekä energiayhteisöjen jäseniin että laajemmin yhteiskuntaan. Energiayhteisön jäsenet voivat usein saada alhaisempia energialaskuja oman tuotantonsa ansiosta, erityisesti vähentämällä verkosta ostettavan sähköenergian määrää. Säästöt voivat syntyä esimerkiksi pienempinä sähkönsiirtomaksuina, jos sähköä tuotetaan ja kulutetaan paikallisesti, mikä vähentää siirtohäviöitä ja siirtokustannuksia. Lisäksi säästöjä voidaan saavuttaa, kun sähköä tuotetaan edullisemmin itse verrattuna markkinoilta ostettuun sähköenergiaan. Sähköveroihin voi tulla säästöjä tilanteissa, joissa tuotanto täyttää mikro- tai pientuotannon kriteerit.

Tuotannosta ja kulutuksesta tulee joustavampaa energiayhteisön jäsenille, koska he voivat hyödyntää mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi älykkäitä sähköverkkoja ja energian varastointiratkaisuja. Investoinneista voi syntyä myös tuottoja, kun ylimääräinen energia myydään takaisin verkkoon. Energiayhteisöt vähentävät riskejä hajauttamalla tuotantoa, sillä paikallinen sähköntuotanto voi vähentää suurten keskitettyjen tuotantomuotojen tuomia riskejä, kuten teknisiä ongelmia tai markkinoiden hinnanvaihteluja.

Tuki- ja kannustinjärjestelmien avulla energiayhteisöjen perustamiseen voi saada taloudellista avustusta, mikä pienentää tarvittavien investointien määrää ja parantaa hankkeen taloudellista kannattavuutta.

Energiaomavaraisuus on yksi tärkeä hyöty energiayhteisöissä. Omavaraisuuden kautta pystyy parantamaan energiavarmuutta, eli kykyä varmistaa energian saatavuus jatkuvasti ja luotettavasti, myös häiriötilanteissa, koska se ei ole täysin riippuvainen ulkoisista energianlähteistä tai -toimittajista. Tietysti energiaomavaraisuudesta saadaan myös taloudellisia hyötyjä, joista onkin maininta ylempänä. (TEM, 2017)

3 Energiayhteisön toteuttamisvaihtoehdot yli 1 MW kokoluokassa

Kiinteistön sisäisen energiayhteisöjen toteuttaminen yli 1 MW kokoluokassa tarjoaa useita mahdollisuuksia hajautetun ja uusiutuvan energiantuotannon hyödyntämiseen sekä paikallisen energian omavaraisuuden lisäämiseen. Tällaisessa mittakaavassa energiayhteisöjen toteuttamisessa on useita vaihtoehtoisia malleja, joilla yhteisön toiminta voidaan järjestää. Näihin malleihin kuuluvat muun muassa kiinteistön sisäinen energiayhteisö, hajautettu energiayhteisö ja suljettu jakeluverkko. Kunkin mallin hyödyt ja haitat liittyvät muun muassa hallintamalleihin, kustannuksiin, mittausjärjestelmiin sekä siihen, miten sähkö siirretään ja myydään yhteisön sisällä tai ulkopuolelle. Lisäksi yli 1 MW kokoluokan energiayhteisöjen kohdalla on huomioitava lainsäädännön asettamat rajoitukset, kuten mittaus- ja verkkoliityntävaatimukset, jotka voivat vaikuttaa yhteisön toteuttamisen ja toiminnan kannattavuuteen. Tässä luvussa tarkastellaan, miten hallinnointi voidaan toteuttaa sekä eri malleja, niiden erityispiirteitä sekä mahdollisia rajoituksia yli 1 MW kokoluokassa.

3.1 Mittarointi

Yli 1 MW kokoluokan energiayhteisön mittarointi on haastavaa, erityisesti koska verkkoyhtiöt eivät ole velvollisia toteuttamaan kiinteistöllä sijaitsevien eri sähkönkäyttöpaikkojen mittauksia. Tällaisessa tapauksessa energiayhteisö liittyy jakeluverkkoon yhdellä sähköliittymällä ja jakeluverkkoyhtiö käsittelee energiayhteisöä yhtenä kulutuspaikkana. Tämän vuoksi energiayhteisön on järjestettävä omia ratkaisujaan kiinteistön sisäisen sähköverkon toteuttamiseen ja käyttöön, sähköliittymän kautta tapahtuvan sähkönsiirron kustannusten jakamiseen, sähkönhankintaan sekä kustannusten jakoon kiinteistöllä olevien sähkönkuluttajien keskentarjoamaan mittauspalveluja tällaisille yhteisöille. Seuraavaksi käsitellään malleja, joiden avulla energiayhteisö voi mittaroida yli 1 MW kokoluokassa.

3.1.1 Hyvityslaskenta

Vaikka verkkoyhtiöt eivät ole velvollisia perustamaan ja ylläpitämään sähkönkäyttöpaikkoja kiinteistön sisäisessä sähköverkossa, hyvityslaskenta voidaan teoriassa toteuttaa, jos energiayhteisö ottaa käyttöön oman mittausjärjestelmän. Tämä edellyttää kuitenkin käytännön yhteensovitusta jakeluverkkoyhtiön järjestelmien kanssa, jotta data voidaan siirtää ja laskenta voidaan toteuttaa luotettavasti.

Hyvityslaskentaa käytetään kiinteistön sisäisessä energiayhteisössä, jossa sähkö tuotetaan ja kulutetaan kiinteistön rajojen sisällä. Tämä mahdollistaa netotetun kulutuksen huomioimisen sekä sähköenergian, että verkkopalvelumaksujen laskennassa ilman, että sähkö siirretään julkisen verkon kautta. Kiinteistön sisäisessä energiayhteisössä sähköntoimituksen ja kulutuksen mittarointi voi myös olla yksinkertaisempaa. Toisaalta hyvityslaskenta soveltuu erityisen hyvin hajautettuihin energiayhteisöihin, joissa sähköä siirretään useiden kiinteistöjen ja toimijoiden välillä. Näissä tapauksissa ylijäämäsähkö hyvitetään eri käyttäjille, jotka voivat hyödyntää tuotettua sähköä omiin tarpeisiinsa.

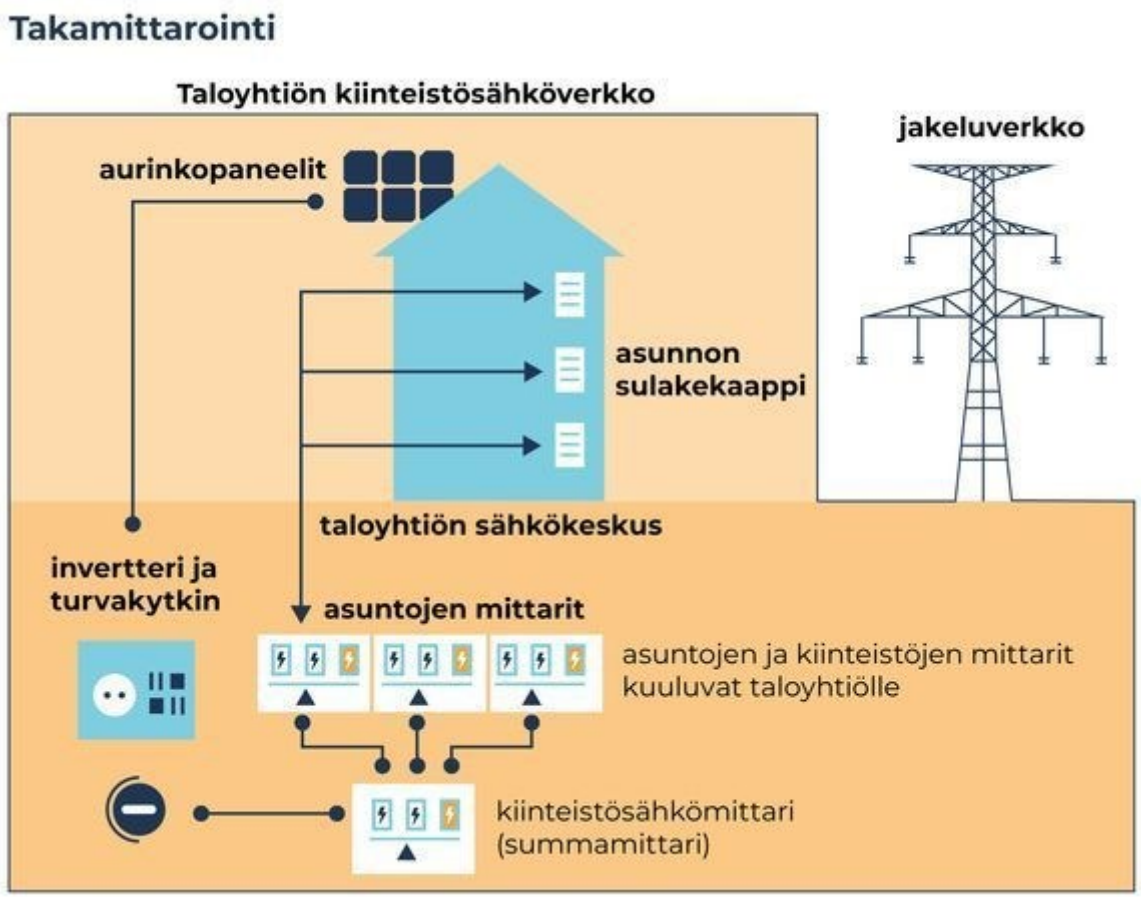
Suljetussa jakeluverkossa hyvityslaskenta voi toimia, jos sähköä siirretään verkon ulkopuolelle tai jaetaan useille käyttäjille verkon sisällä. Tämä edellyttää selkeää mittarointia ja laskentaa, jotta ylijäämäenergia voidaan hyvittää oikeudenmukaisesti käyttäjille. (Caruna, 2024)

3.1.2 Takamittarointi

Takamittarointimallissa energiayhteisö asentaa omat mittarit kunkin käyttäjän kulutuksen seuraamiseksi. Nämä mittarit eivät ole suoraan yhteydessä verkkoyhtiön järjestelmään, vaan yhteisö hallinnoi ja jakaa energiankulutustiedot itse. Takamittarointi on kustannustehokas tapa hallita hajautettua energiayhteisöä, jossa sähkön kulutus ja tuotanto jaetaan sisäisesti ilman ulkopuolista mittauspalvelua. Yhteisö voi jakaa kustannukset ja energian osallistujien kesken ilman jakeluverkkoyhtiön osallistumista. Tämä malli ei mahdollista yksittäisten

osallistujien valinnanvapautta sähköntoimittajan suhteen. Lisäksi laskutus ja hallinta ovat täysin yhteisön vastuulla, mikä voi lisätä hallinnollista taakkaa.

Takamittarointi on yksi vaihtoehto kiinteistön sisäisessä energiayhteisössä. Jokaisella käyttäjällä on oma mittari, joka seuraa kulutusta kiinteistön sisäisessä sähköverkossa. Energiayhteisö voi hallita kulutusta ja tuotantoa keskitetysti ja jakaa kustannukset käyttäjien kesken. Takamittarointi toimii vähemmän tehokkaasti hajautetussa energiayhteisössä, koska sähkö siirretään kiinteistöjen välillä julkisen verkon kautta. Jakeluverkkoyhtiö mittaa kulutusta ja laskuttaa käyttäjiä, jolloin sisäistä jakelua ei voida hallita yksin takamittareilla. Takamittarointi toimii hyvin myös suljetussa jakeluverkossa, koska jakeluverkko on alueellisesti rajattu. Tämä ratkaisu vähentää tarvetta ulkoisille mittauspalveluille. (Motiva, 2024) Alla olevassa kuvassa 7 havainnollistettuna takamittarointi.



Kuva 7 Takamittarointi (Motiva, 2024)

3.2 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö

3.2.1 Haasteet

Kiinteistön sisäisessä energiayhteisössä, jossa käytetään takamittarointia, yksittäiset käyttäjät eivät voi valita omaa sähköntoimittajaansa, koska kiinteistön liittymä jakeluverkkoon muodostaa yhden sähkönkäyttöpaikan. Tämä voi olla ongelma erityisesti silloin, kun osallistujat haluavat hankkia eri toimittajalta kuin liittymän omistaja. (Motiva, 2024)

3.2.2 Lainsäädännölliset rajoitteet

Lainsäädäntö vaatii mittausjärjestelmien käyttämistä, jos yhteisön jäsenet haluavat ostaa sähköä suoraan eri toimittajilta. Tämä voi olla ongelmallista kiinteistön sisäisessä mallissa, jossa takamittarointi ja yhteinen sähköverkko rajoittaa jäsenten valinnanvapautta sähköntoimittajan suhteen. Mittausteknologioiden, kuten energiayhteisön sisäisten hyvitysjärjestelmien käyttö, voi mahdollistaa kulutuksen jakamisen yhteisön jäsenten kesken ilman jakeluverkkoyhtiön mittareita. Tämä vaatii kuitenkin tarkkaa suunnittelua ja kehittyneen hallintajärjestelmän, jotta sähkönkulutus ja tuotanto voidaan jakaa oikeudenmukaisesti ilman virallista Datahub-yhteyttä. (Gaia, 2024)

3.3 Hajautettu energiayhteisö

3.3.1 Haasteet

Koska hajautetussa energiayhteisössä sähkö siirretään yleisen jakeluverkon kautta, siihen liittyy verkkopalvelumaksuja. Nämä maksut pienentävät energiayhteisön säästöjä, koska osa tuotetun sähkön hyödyistä menetetään siirtomaksuina. Tämä tekee hajautetusta mallista taloudellisesti vähemmän houkuttelevan kuin kiinteistön sisäinen malli. Yli 100 kVA tuotantokapasiteetti tuo mukanaan velvollisuuden maksaa sähköveroa tuotetusta sähköstä. Tämä

koskee myös hajautettuja energiayhteisöjä, joissa sähköä tuotetaan ja käytetään eri kiinteistöjen välillä, koska sähkö siirtyy yleisen sähköverkon kautta. Tämä lisää energiayhteisön käyttökustannuksia ja vähentää säästöjä. Verkkoyhtiöt eivät ole velvollisia tarjoamaan mittauspalveluja yli 1 MW kokoluokan energiayhteisöille, mikä vaikeuttaa hajautetun energiayhteisön toiminnan hallintaa. Yhteisön jäsenten sähkönkulutuksen ja tuotannon mittaus on tehtävä, mutta se vaatii kalliita erillisiä ratkaisuja, jotka voivat nostaa kustannuksia merkittävästi. (TEM, 2023)

3.3.2 Lainsäädännölliset rajoitteet

Sähkömarkkinalain mukaan sähköä ei saa siirtää kiinteistöjen välillä ilman jakeluverkkoyhtiön käyttöä. Tämä tarkoittaa, että hajautetut energiayhteisöt ovat pakotettuja käyttämään yleistä sähköverkkoa, mikä johtaa siirtomaksuihin ja sähköveroihin. Lainsäädäntö estää suoran sähkönsiirron ilman jakeluverkon käyttöä, mikä asettaa merkittäviä rajoitteita yhteisön joustavuudelle. Lisäksi tarvitaan kattavat mittaus- ja hallintajärjestelmät, jotta yhteisön toiminta pysyy tehokkaana ja oikeudenmukaisena jäsenten kesken. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Lainsäädännöstä aiheutuvia rajoituksia voidaan välttää virtuaalisilla energiayhteisöillä. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka sähkö siirtyisi fyysisesti yleisen sähköverkon kautta, sen käyttöä ja laskutusta voidaan käsitellä yhteisön sisällä virtuaalisesti. Virtuaalinen mittarointi auttaa välttämään fyysiseen verkkoon liittyviä kustannuksia ja mittausvaatimuksia, mutta jakeluverkon käytöstä tulee maksaa siltikin verkkopalvelumaksu. Näin yhteisö voi hyödyntää esimerkiksi uusiutuvan energian tuotantoaan taloudellisesti tehokkaammin. Hajautetun energiayhteisön kustannuksia voidaan vähentää lisäämällä energiavarastointijärjestelmiä, kuten akusto. Tämä mahdollistaa tuotetun sähkön varastoimisen ja kuluttamisen aikana, jolloin siirtomaksut yleisen verkon kautta voidaan minimoida. Varastoidun sähkön käyttö optimoi energiankäyttöä ja vähentää verkon kuormitusta, mikä tuo kustannussäästöjä. (Gaia, 2024)

3.4 Suljettu jakeluverkko

3.4.1 Haasteet

Suljetun jakeluverkon rakentaminen ja ylläpito vaativat merkittäviä alkuinvestointeja. Tämä sisältää sähköverkon infrastruktuurin, kuten kaapeloinnin, muuntajat ja liittymäpisteet. Vaikka pitkällä aikavälillä säästöt voivat olla merkittäviä, alkuvaiheen kustannukset voivat olla este joillekin hankkeille. Suljettu jakeluverkko edellyttää Energiaviraston hyväksyntää. Suljetun jakeluverkon perustamiseen liittyvä lupa- ja hyväksyntäprosessi voi olla monimutkainen ja aikaa vievä. Tämä edellyttää, että suljetun verkon toiminta täyttää tietyt ehdot, kuten fyysisen läheisyyden, yhteiset energiaprosessit tai teknisesti integroidut toimintaympäristöt, esimerkiksi teollisuuspuistot. Suljetut jakeluverkot on suunniteltu toimimaan rajatulla alueella ja sähköä voidaan siirtää vain verkon sisällä. Verkon ulkopuolelle siirto vaatii liittymistä yleiseen sähköverkkoon, jolloin tavalliset siirtomaksut ja sähköverot tulevat käyttöön. Tämä rajoittaa verkon joustavuutta ja tekee vaikeaksi laajentaa energiayhteisöä alueen ulkopuolelle ilman ylimääräisiä kustannuksia.

3.4.2 Lainsäädännölliset rajoitteet

Suljetun jakeluverkon perustaminen vaatii Energiaviraston hyväksynnän, mikä voi olla prosessin haaste. Suljettu verkko hyväksytään, jos voidaan osoittaa, että sähkönkäyttäjät ovat osa tiiviisti integroituja toimintoja, esimerkiksi teollisuuspuistossa tai kaupallisessa keskuksessa. Tämä edellytys on tärkeä ja hankkeen onnistuminen riippuu sen täyttämisestä. Lainsäädännön rajoitteita voi kiertää siten, että useat kiinteistöt tai toimijat määritellään yhdeksi kokonaisuudeksi hallinnollisten tai vuokrasopimusten kautta. Näin suljettu verkko voidaan määritellä kattamaan laajempi alue ilman, että siirrytään kiinteistöjen välisiin sähköverkon rajoituksiin. (Energiavirasto, 2024)

4 Esimerkkitapaukset

Suomessa on toteutettu jonkin verran energiayhteisöitä, mutta isompia yhteisöjä ei juurikaan ole vielä toteutettu. Tähän työhön on valittu kaksi erilaista energiayhteisöä, joista toinen on kerrostaloon toteutettu energiayhteisö Lappeenrannassa ja toinen on Lempäälässä toteutettu Lemene-energiayhteisö. Alla olevissa kappaleissa käydään tarkemmin läpi kahta esimerkkiä toteutetuista energiayhteisöistä.

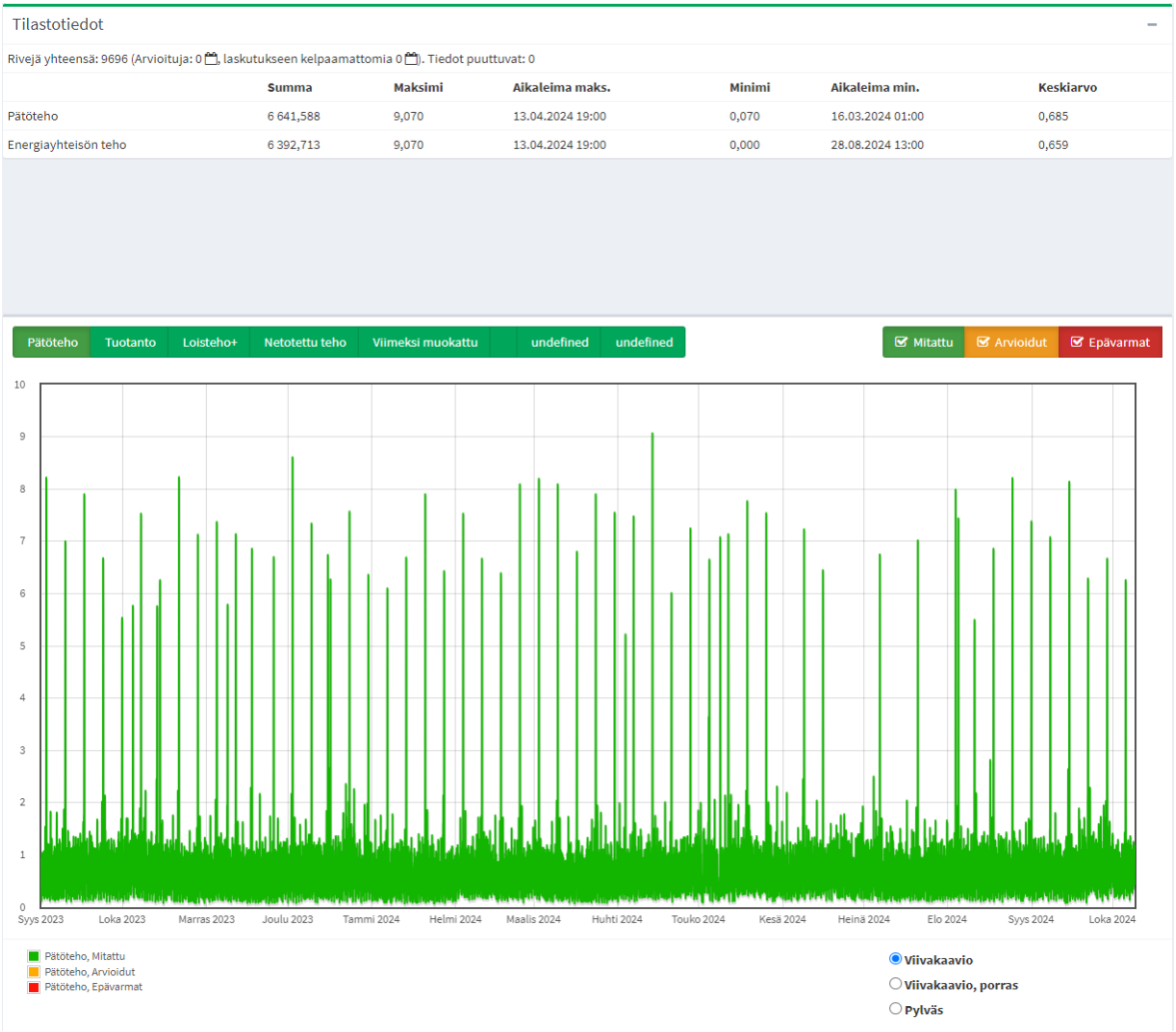
4.1 Lappeenrannan energiayhteisö

Lappeenrannan alueella sijaitsee energiayhteisö, joka on 2000-luvulla rakennettu kerrostalo. Taloyhtiö koostuu 34 huoneistosta ja hyödyntää energiatehokkuuden parantamiseksi aurinkosähköjärjestelmää, jonka teho on 24 kVA. Rakennuksen pääsulake on 3x100A, ja lämmitysmuotona toimii maalämmön ja kaukolämmön hybridiratkaisu. Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon jakotapana on SMA, joka mahdollistaa aurinkosähkön tuottaman energian jakamisen taloyhtiön ja asukkaiden kesken.

Aurinkosähköä käytetään kiinteistön omiin tarpeisiin, kuten valaistukseen ja yhteisiin tiloihin, mutta osa tuotannosta syötetään myös sähköverkkoon. Tuotannon ja kulutuksen seuranta on toteutettu tarkasti, ja kiinteistön invertereiden avulla voidaan mitata tuotannon kokonaismäärä sekä verkkoon syötetyn energian osuus. Asuntokohtaisesti jyvitetyn tuotannon avulla on mahdollista arvioida aurinkosähkön taloudellista hyötyä esimerkiksi yksittäiselle huoneistolle. Esimerkkinä käytetään 106 m² huoneistoa, jolle on jyvitetty tuotantoa.

Kuvassa 8 esitetyn datan perusteella huoneiston keskimääräinen energiatarve on ollut 0,685 kW, ja huipputeho on saavutettu 13.4.2024 klo 19:00, jolloin teho nousi 9,070 kW:iin. Energiayhteisön oma tuotanto on vähentänyt verkosta otettavan sähkön määrää. Tämä tarkoittaa, että energiayhteisö pystyy kattamaan osan taloyhtiön perustarpeesta, mutta verkosta joudutaan edelleen ottamaan lisäenergiaa. Kyseisen asunnon vuoden kokonaisenergian tarve on ollut 5,97 MWh ja energiayhteisöstä on jyvitetty asunnolle 0,23 MWh. Datan perusteella

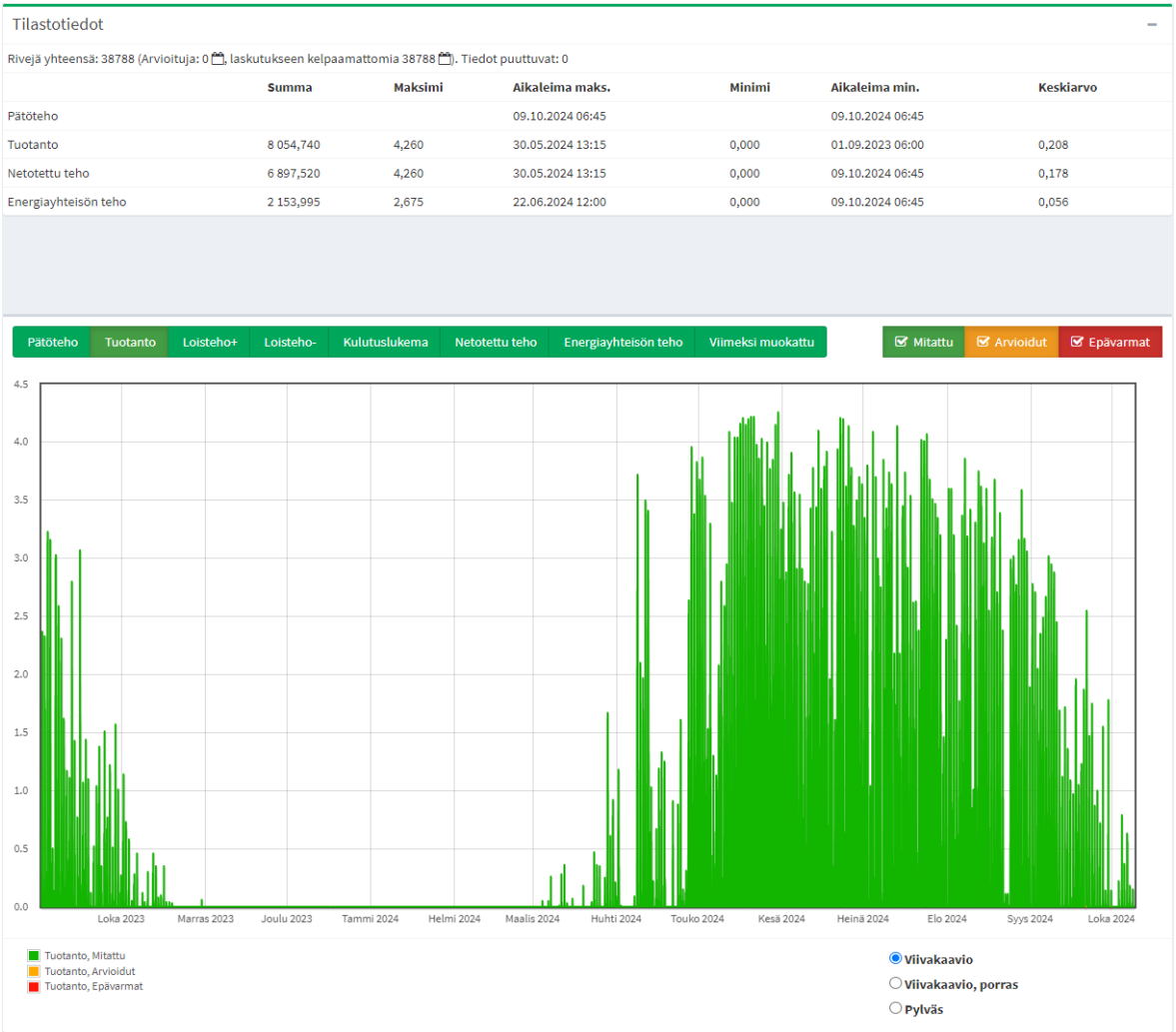
huomataan kausivaihteluita, sillä talvikuukausina (tammi–maaliskuu) kuormituspiikit ovat yleisempiä, mikä johtuu todennäköisesti saunomisesta. Energiayhteisön vaikutus näkyy erityisesti peruskuormituksen kattamisessa, mikä pienentää taloyhtiön verkosta ostettavan sähkön määrää, parantaa kustannustehokkuutta ja tukee ympäristöystävällisyyttä. Näin ollen energiayhteisö tarjoaa taloyhtiölle selkeitä taloudellisia ja ekologisia hyötyjä, erityisesti tasaamalla peruskuormitusta. Datan, johon analyysi perustuu, on toimittanut Lappeenrannan Energia. Alla olevassa kuvassa 8 näkyy asunnon kulutustiedot tuntikohtaisesti.



Kuva 8 Energiayhteisö 106 m2 asunnon kulutus

Kuvassa 9 näkyy Lappeenrannan energiayhteisön tuotantotiedot 15 min välein. Tuotanto on parhaimmillaan ollut siis noin 16 kW ja vuodessa tuotantoa on ollut 7493 kWh. Kuvassa 9 näkyvä tuotantotieto on vähän yli vuoden ajalta. Kuvasta 9 voidaan nähdä, että tuotanto on

parhaimmillaan touko-elokuussa. Alla olevassa kuvassa 9 näkyy tuotannon määrä reilussa vuodessa ja kuinka paljon tuotannosta on myyty ylijäämäsähkönä eli netotettu teho.



Kuva 9 Energiayhteisön tuotantotiedot

Tämä energiayhteisö on erinomainen esimerkki siitä, kuinka aurinkosähköä voidaan tehokkaasti hyödyntää taloyhtiöissä. Se tukee ympäristöystävällistä energiankäyttöä ja mahdollistaa asukkaiden osallistumisen uusiutuvan energian hyödyntämiseen.

4.2 LEMENE-energiayhteisö

Lempäälässä on toteutettu LEMENE-energiayhteisö, josta löytyy 13 000 kpl aurinkopaneeleja. Alueella sijaitsee kuusi sähköasemaa, jotka on yhdistetty rengasverkoksi. Kokonaisuus

sisältää aurinkovoimaloita, kaasumoottoreita, sähkö- ja kaukolämpöakustoja sekä polttokennoja. Koko järjestelmää hallitsee mikroverkkojärjestelmä, joka pystyy ennustamaan olosuhteita ja optimoimaan energiantuotantoa sekä säätämään kulutusta niiden mukaisesti. Järjestelmä pystyy ennakoivasti varastoimaan energiaa myöhempää käyttöä varten: sähköä akustoihin ja lämpöä kaukolämpöakkuun. LEMENE-energiayhteisö osallistuu myös pohjoismaisille sähkömarkkinoille virtuaalivoimalaitosratkaisun avulla, joka yhdistää eri energian tuotantomuodot yhdeksi kokonaisuudeksi ja mahdollistaa automaattisen markkinoille osallistumisen. (Lempäälän Energia, 2024)

LEMENE-energiayhteisössä on kaksi aurinkovoimalaa, joiden yhteinen nimellisteho on 4 MWp. Näiden voimaloiden arvioitu vuosituotanto on noin 3,5 GWh uusiutuvaa energiaa, mikä vastaa merkittävää osuutta yhteisön energiatarpeesta. Koko aurinkovoimalajärjestelmässä on yhteensä yli 13 200 aurinkopaneelia, jotka on asennettu optimoidusti energian tuotannon maksimoimiseksi. Voimalat otettiin käyttöön loppukesästä 2019, ja ne olivat ensimmäisiä tämän kokoluokan aurinkovoimaloita Suomessa. Tämä korostaa LEMENE-hankkeen roolia edelläkävijänä suuremman mittakaavan uusiutuvan energian hankkeissa maassa.

LEMENE-energiayhteisön mikroverkko-ohjain (MGC) on keskeinen komponentti, joka hallinnoi ja optimoi sähkön ja lämmön tuotantoa LEMENE-projektissa. Se ohjaa kaikkia mikroverkon tuotantoyksiköitä, kuten aurinkovoimaloita, kaasumoottoreita ja energian varastointijärjestelmiä, jotta energian tuotanto ja kulutus pysyvät tasapainossa. Mikroverkko-ohjain ennustaa uusiutuvan energian, erityisesti aurinkoenergian tuotantoa, ja sähkön sekä kaukolämmön kulutusta. Ennusteisiin perustuen ohjain optimoi, millä tuotantomuodolla energiaa on kannattavinta tuottaa kunkin päivän aikana. Järjestelmälle syötetään ennusteet sähkömarkkinoiden seuraavan päivän hinnoista. Tämä mahdollistaa sähköntuotannon ja -kulutuksen optimoinnin taloudellisesti kannattavimmalla tavalla. Mikroverkko-ohjain määrittää, miten eri energian tuotantomuotoja käytetään tehokkaasti näiden ennusteiden perusteella. Mikäli energian tuotannossa on ylimääräistä kapasiteettia, se tarjotaan kansallisille reservimarkkinoille. Reservimarkkinoiden tarkoituksena on ylläpitää sähköverkon tuotannon ja kulutuksen tasapainoa, ja LEMENE osallistuu näihin markkinoihin tarjoten joustoa ja kapasiteettia. Järjestelmän operointi ja tiedonvaihto sähkömarkkinoiden kanssa tapahtuu täysin automaattisesti. Tämä vähentää inhimillisten virheiden riskiä ja varmistaa, että mikroverkko

toimii optimaalisesti kaikissa tilanteissa. Mikroverkko-ohjain auttaa siis LEMENE-energiayhteisöä hyödyntämään paikallista energiantuotantoa tehokkaasti ja kustannustehokkaasti, vähentämään riippuvuutta ulkoisesta energiasta ja osallistumaan aktiivisesti sähkömarkkinoille.

LEMENE-energiayhteisön sähkön ja lämmön yhteistuotanto perustuu kaasumoottoreihin, joita käytetään sekä sähkön että lämmön samanaikaiseen tuotantoon, mikä parantaa energiatehokkuutta ja vähentää energianhukan määrää. LEMENE-energiayhteisössä on yhteensä kuusi kaasumoottoria, joiden yhteenlaskettu teho on 8,1 MW. Näitä kaasumoottoreita käytetään sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP) mikä tarkoittaa, että ne tuottavat sähköä generaattoreiden avulla ja samanaikaisesti hyödyntävät moottorien tuottamaa lämpöä kaukolämpöverkossa. Kaasumoottoreissa käytettävä polttoaine on joko biokaasua tai maakaasua, mikä mahdollistaa joustavan polttoainevalinnan riippuen saatavuudesta ja kustannuksista. Biokaasun käyttö tukee myös uusiutuvan energian tavoitteita ja vähentää hiilidioksidipäästöjä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. (Lempäälän Energia, 2024) Alla olevassa kuvassa 10 havainnollistettuna Lemenen järjestelmä.

Kuva 10 Lemenen järjestelmä (Lempäälän Energia, 2024)

5 EcoSairila

EcoSairilan teollisuusalue Mikkelissä on keskeinen kehityskohde, jossa selvitetään energiayhteisön toteuttamista perustuen kaupungin omistamalle pinta-alaltaan suurelle kiinteistölle. Tässä tapaustutkimuksessa tarkastellaan, mitä toimenpiteitä tarvitaan, jotta Mikkelin kaupungin suunnittelema energiayhteisö voidaan toteuttaa kaupungin omistamilla kiinteistöillä, joissa sijaitsee neljä kaupungin sähkönkulutuspaikkoja. EcoSairilan alueella kaupungin sähkönkäyttöpaikkojen sähkönkulutus oli vuonna 2022 noin 5 500 MWh. Kokonaisuudessaan Mikkelin kaupungin omistuksessa on noin 1700 sähkönkulutuspaikkaa ja näiden sähkönkulutus on noin 53 GWh/v. Kaupunki suunnittelee energiayhteisön toteuttamista siten, että ensivaiheessa rakennetaan noin 7 MW aurinkovoimala ja sen jälkeen tai samassa yhteydessä kiinteistöllä olevat kaupungin sähkönkulutuspaikat liitetään voimalan sähköliittymään, jolloin kiinteistölle muodostuu kiinteistön sisäinen sähköverkko ja kaupungille jää kiinteistölle yksi liittymä jakeluverkkoon. Kaupungin tulisi jakaa jäljelle jäävän kulutuspaikan sähkölasku ja sähkönsiirtomaksu kiinteistön sisäisille kulutuspaikoille. Järjestely mahdollistaa myös, että kaupungin kiinteistölle sijoittuvat yritykset voivat liittyä energiayhteisöön halutessaan. Rajoitteena on kuitenkin, että energiayhteisöön liittyvät sähkönköyttäjät eivät voi hankkia sähköenergia haluamaltaan toimittajalta vaan sähkö tulee kaupungin sähköntoimittajalta. Tavoitteena on etsiä järjestelyä, jolla energiayhteisöön liittyvät sähkönkäyttöpaikat voisivat hankkia sähkönsä haluamaltaan toimittajalta.

EcoSairilaan on suunnitelmissa rakentaa 7 MWp aurinkovoimala. Aurinkovoimalasta ja energiayhteisöstä on tehty konseptitarkastelu vuosina 2023–2024. Konseptitarkastelun jälkeen on aloitettu tarkempi toteutussuunnittelu. Aurinkovoimalan arvioitu vuosituotanto on 7 200 MWh. Toteutussuunnittelussa on laadittu myös tuotannon tuntitehoprofiilin simulointi. Aurinkovoimalan tuottama tuotettua sähkö on tarkoitus käyttää kaupungin omistamilla sähkönkäyttöpaikoilla.

5.1 Toteutusmallit

Energiayhteisön toteuttamiseen on monia malleja. Tässä kyseisessä tapauksessa tarkastellaan tarkemmin kolmea eri energiayhteisömallia, jotka ovat kiinteistön sisäinen energiayhteisö, hajautettu energiayhteisö ja suljettu jakeluverkko.

5.1.1 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö

EcoSairilan kiinteistön jakeluverkkoyhtiön verkkoon liittyneet kulutuspaikat liitetään aurinkovoimalan sähköliittymään, muodostuu kiinteistölle kiinteistön sisäinen energiayhteisö. Tämä järjestely vähentää merkittävästi sähkönsiirtomäärää jakeluverkon ja kiinteistön välillä ja alentaa sähkönsiirtokustannuksia. Kiinteistön sisäinen energiayhteisö mahdollistaa energian tuottamisen ja kuluttamisen alueen sisällä, mikä parantaa alueen energiaomavaraisuutta. Suunniteltu 7 MW aurinkovoimala tuottaisi noin 7 170 MWh sähköä vuodessa, josta suurin osa voidaan käyttää suoraan yhteisön sisällä, mikä vähentää riippuvuutta ulkoisesta sähköstä. Kiinteistön sisäinen malli optimoi aurinkovoiman käytön EcoSairilan alueella, koska tuotettu sähkö jaetaan suoraan alueen toimijoille ilman suuria ulkoisia kustannuksia. Tämä voi myös houkutella uusia yrityksiä alueelle, jotka haluavat hyödyntää edullisempaa paikallista sähköä.

Mittausratkaisut ovat olennainen osa kiinteistön sisäisen energiayhteisön toteutusta. Jotta energiayhteisön jäsenet voivat valita oman sähköntoimittajansa ja osallistua yhteisöön vapaaehtoisesti, tarvitaan tarkat mittausjärjestelmät, jotka mahdollistavat sähkön kulutuksen ja tuotannon seuraamisen. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi takamittaroinnilla tai hyvityslaskennalla. Vaikka sähkön siirto ja käyttö yhteisön sisällä eivät edellytä siirtomaksuja, sähkön myynti yhteisön ulkopuolelle vaatii liittymisen yleiseen jakeluverkkoon, mikä voi johtaa siirtokustannuksiin ja verotukseen. (Gaia, 2024)

5.1.2 Hajautettu energiayhteisö

Hajautettu energiayhteisö mahdollistaa sen, että eri paikoissa sijaitsevat toimijat voivat liittyä samaan energiayhteisöön. Tämä on erityisen hyödyllistä, jos EcoSairilan alueella olevat yritykset ja Mikkelin kaupungin toimijat, jotka sijaitsevat alueen ulkopuolella, haluavat hyödyntää aurinkovoimalan tuottamaa sähköä. Kustannusten jakaminen on helpompaa, kun useampi osallistuja hyödyntää energiayhteisön resursseja. Tämä voi lisätä energiayhteisön kannattavuutta pitkällä aikavälillä. Hajautettu energiayhteisö mahdollistaa aurinkovoiman ylituotannon hyödyntämisen laajemmalle joukolle. EcoSairilan alueella tuotettua aurinkoenergiaa voidaan siirtää alueen ulkopuolisten toimijoiden käyttöön, mikä vähentää sähköverkon kuormitusta ja lisää uusiutuvan energian käyttöä laajemmassa mittakaavassa. Energiavarastoinnin käyttö hajautetussa energiayhteisössä voisi tehostaa energian jakamista eri aikaväleille ja paikkoihin, jolloin sähköverkkoon myytävän ylituotannon määrä vähenisi ja sähköä käytettäisiin tehokkaammin esimerkiksi silloin, kun kulutus on korkeampaa. Hajautettu energiayhteisö voisi säästää siirtomaksuissa ja sähköverokustannuksissa, kun yhteisön sisällä tuotettu sähkö käytetään tehokkaammin. Erityisesti verkkopalvelumaksut voitaisiin minimoida, jos sähkön siirto tapahtuisi ensisijaisesti yhteisön sisällä. Aurinkovoiman avulla voidaan kattaa osa EcoSairilan alueen ulkopuolisten toimijoiden energiantarpeesta, mikä vähentää ostosähkön tarvetta ja alentaa kustannuksia pitkällä aikavälillä.

Nykyinen lainsäädäntö Suomessa rajoittaa hajautettujen energiayhteisöjen toimintaa erityisesti kiinteistöjen välillä. Hajautettu energiayhteisö voi toimia vain julkisen jakeluverkon kautta, mikä lisää sähkönsiirron kustannuksia (TEM, 2023). Toisin sanoen, kiinteistöjen välistä siirtoa ei voi tehdä ilman, että siihen liittyy yleisen jakeluverkon käyttö ja siihen liittyvät maksut. Verotukselliset kysymykset ovat myös haaste, sillä energiayhteisön sisällä tapahtuva sähköntuotanto ja -kulutus voivat johtaa erilaisten verojen ja maksujen käsittelyyn, mikä mutkistaa hallintaa. Hajautetun energiayhteisön jäsenet joutuvat maksamaan normaalit verkkopalvelumaksut ja sähköverot, kun sähkö siirretään yleisen sähköverkon kautta. Tämä voi vähentää energiayhteisön taloudellisia hyötyjä verrattuna esimerkiksi kiinteistön sisäiseen energiayhteisöön, jossa sähkö siirretään ilman näitä kuluja. Hajautetun energiayhteisön tekninen toteutus edellyttää investointeja sähköverkon infrastruktuuriin ja

mittausjärjestelmiin. Esimerkiksi mittausjärjestelmät, jotka mahdollistavat jokaisen osallistujan sähkönkulutuksen ja tuotannon seurannan, ovat monimutkaisia ja kalliita toteuttaa. Verkkoyhteydet ja liityntäprosessit vievät aikaa ja rahaa. Verkkoliityntävaihtoehtoja on useita, mutta jokainen niistä vaatii investointeja ja ne lisäävät projektin kustannuksia. Hajautetussa energiayhteisössä on tärkeää varmistaa kaikkien osallistujien sitoutuminen yhteisiin tavoitteisiin ja sääntöihin. Energiayhteisön hallinta monen toimijan kesken vaatii selkeät säännöt ja hallintomallin, jotta energiaa ja siihen liittyviä kustannuksia ja tuloja voidaan hallinnoida tehokkaasti. Osallistujien vapaaehtoisuus ja mahdollisuus valita oma sähköntoimittajansa on tärkeää. Tämä asettaa haasteita mittausratkaisuille, sillä jokaisen osallistujan kulutus on mitattava erikseen, ja heidän on voitava valita oma sähköntoimittajansa. (Gaia, 2024)

5.1.3 Suljettu jakeluverkko

Suljetun jakeluverkon toteuttaminen EcoSairilan alueella olisi mahdollista, mutta siihen liittyy sekä teknisiä että lainsäädännöllisiä haasteita. Suljettu jakeluverkko sallisi energian siirtämisen ja jakamisen vapaasti verkon sisällä ilman jakeluverkkoyhtiön maksullisia palveluja. Suljettu jakeluverkko ei itsessään toisi lisäsäästöjä kiinteistön sisäisen energiayhteisön lisäksi, sillä kiinteistön sisällä olisi edelleen yksi liittymä julkiseen jakeluverkkoon, jonka kautta sähkö siirretään alueelle. Sen merkittävin etu olisi kuitenkin sähkön käyttöpaikkojen perustaminen kiinteistön sisälle, mikä mahdollistaisi energiayhteisön jäsenille, kuten yritystoimijoille, vapauden valita oma sähköntoimittajansa. Tämä lisäisi joustavuutta ja kilpailuetua sähkömarkkinoilla toimimisessa, vaikka varsinaiset siirtokustannukset pysyisivät pääosin ennallaan. Alueelle suunniteltu 7 MWp aurinkovoimala tuottaisi merkittäviä määriä energiaa, noin 7170 MWh/vuosi, mikä mahdollistaisi suuren osan alueen energiantarpeen kattamisen ilman ulkoisia sähkönhankintakustannuksia.

Suljetun jakeluverkon perustaminen vaatii erityisiä lupia ja hyväksyntöjä viranomaisilta. Tällä hetkellä lainsäädäntö Suomessa asettaa tiukat vaatimukset suljetuille jakeluverkoille, erityisesti, jos sähköä halutaan siirtää alueen ulkopuolelle. Tämä voi vaikeuttaa suljetun verkon laajentamista, jos EcoSairilan energiayhteisöön halutaan liittyä kiinteistön ulkopuolelta.

Verkon sisällä toimivien energiayhteisön jäsenten sähkönkulutuksen mittaaminen täytyy tehdä, jotta sähkön hankinta ja laskutus voidaan jakaa oikein. Lisäksi on varmistettava, että jokainen jäsen voi valita vapaasti oman sähköntoimittajansa. Verkon rakentaminen ja ylläpito vaativat alkuinvestointeja. (Gaia, 2024)

5.2 Mittausvaihtoehdot

EcoSairilan energiayhteisön tapauksessa yli 1 MW kokoluokan mittausratkaisujen toteuttaminen on keskeinen haaste, erityisesti koska lainsäädäntö ei velvoita verkkoyhtiöitä tekemään mittauksia tämän kokoluokan energiayhteisöille. Alla käydään vaihtoehdot tarkemmin.

5.2.1 Hyvityslaskenta

Hyvityslaskennassa energiayhteisön jäsenille asennetaan mittarit, jotka mahdollistavat tuotetun ja kulutetun sähkön mittaamisen erikseen. Tämä malli mahdollistaa, että yhteisön jäsenet voivat valita oman sähköntoimittajansa, ja heidän tuotantonsa ja kulutuksensa erotus lasketaan määräajoin. Näin sähkön kustannukset ja hyödyt voidaan jakaa yhteisön sisällä tarkasti. Hyvityslaskenta on lisäksi yhteydessä valtakunnalliseen Datahub-järjestelmään, joka keskittää mittaustiedot.

Yli 1 MW energiayhteisöissä jakeluverkkoyhtiö ei ole velvollinen tarjoamaan mittauspalveluja, joten yhteisön voi olla tarpeen järjestää erillinen mittausratkaisu oma-aloitteisesti ja hoitaa mittaustietojen hallinta itsenäisesti. (Gaia, 2024)

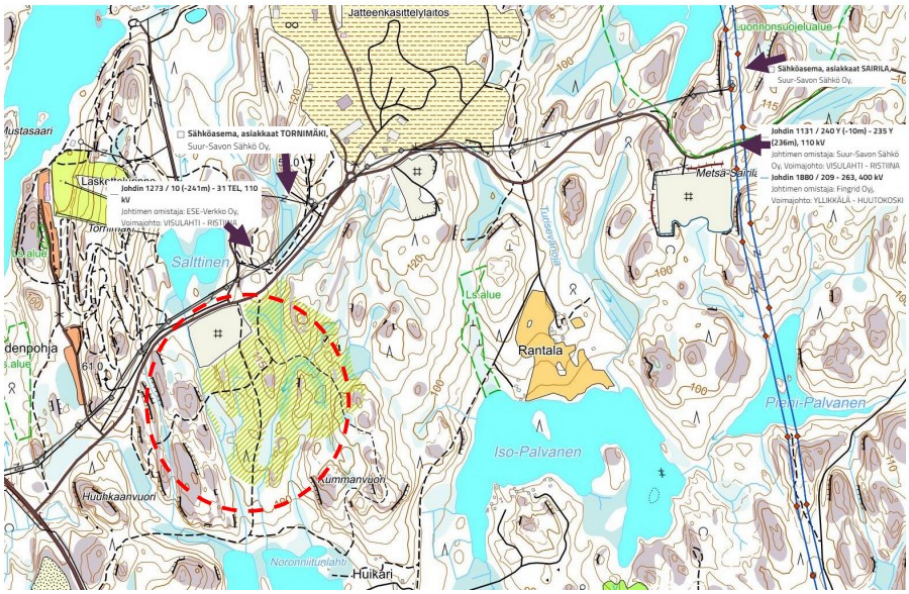
5.2.2 Takamittarointi

Takamittaroinnissa energiayhteisön omistaja, esimerkiksi Mikkelin kaupunki, asentaa kiinteistön sisäiset mittarit, jotka mittaavat jokaisen jäsenen kulutuksen ja tuotannon erikseen. Nämä mittarit eivät ole suoraan yhteydessä jakeluverkkoyhtiöön, vaan yhteisö hallinnoi

mittaustietoja ja laskuttaa jäsenet sisäisesti. Tämä ratkaisu on kustannustehokkaampi kuin hyvityslaskenta, koska jakeluverkkoyhtiön mittauspalveluja ei tarvita jokaiselle käyttäjälle. Se myös antaa energiayhteisölle enemmän vapautta hallita mittaus- ja laskutusjärjestelmäänsä. Koska jakeluverkkoyhtiö ei hallinnoi mittauksia, jäsenet eivät välttämättä voi valita omaa sähköntoimittajansa. Lisäksi takamittarointi vaatii kehittyneen hallintajärjestelmän, jotta energiankulutus voidaan jakaa reilusti ja tarkasti ilman jakeluverkon tukea. (Gaia, 2024)

5.3 Verkkoliitynnän vaihtoehdot

EcoSairilan energiayhteisön sähköverkkoliittymään on aiemmin tarkasteltu eri vaihtoehtoja, kuten 20 kV ja 110 kV liittymiä. Mikkelin kaupungin tekemässä selvityksessä, joka käsittelee eri vaihtoehtoja, päädyttiin 110 kV liittymään Etelä-Savon Energian (ESE) verkkoon, koska aurinkovoimalan kokoluokan ja mahdollisen laajennusmahdollisuuden vuoksi tämä liittymä osoittautui sopivaksi. ESE verkko on kiinteistön lähin 110 kV verkko. Kiinteistö sijaitsee Järvi-Suomen Energian (JSE) verkkoalueella, ja tällä hetkellä alueella olevat kulutuspaikat ovat liittyneet JSE:n 20 kV ja 0,4 kV verkkoihin. Koska jakeluverkkoalueet on rajattu lainsäädännössä tietyille toimijoille, alueella ei ole mahdollista liittyä toisen jakeluverkonhaltijan, kuten ESE:n, verkkoon. Poikkeuksena tästä on 110 kV verkko, johon liittyminen on mahdollista sähkönkäyttöpaikkojen tai voimalaitosten osalta (Sähkömarkkinalaki, 2013). Alle olevassa kuvassa 11 karttanäkymä liittymävaihtoehdoista.



Kuva 11. Liityntämahdollisuudet kartalla. (Gaia, 2024)

5.4 Haasteet

Mittauksen osalta EcoSairilan energiayhteisön haasteena on erityisesti oikean mittausjärjestelmän valinta ja käyttöönotto. Yli 1 MW kokoluokassa mittaustarpeet monimutkaistuvat, sillä yhteisön sisällä voi olla useita kuluttajia, ja eri kuluttajien sähkönkäyttö on kohdennettava tarkasti. Hajautetun yhteisön osalta takamittarointi ei aina ole riittävä ratkaisu, koska se ei tarjoa valinnanvapautta sähköntoimittajan suhteen. Tämä vaatii siis kehittyneitä mittausjärjestelmiä ja mahdollisesti yhteistyötä jakeluverkkoyhtiöiden kanssa.

EcoSairilan tapauksessa energiayhteisön toteuttaminen edellyttää muutoksia nykyiseen sähköverkkoon. Tämä sisältää sekä sisäiset sähköverkon muutokset, kuten verkkoyhteyksien ja jakelupisteiden uudistamisen, että verkkoon liittymisen ulkoisiin sähköverkkoihin, kuten ESE-verkkoon. Suuret investoinnit vaaditaan esimerkiksi sähköasemien ja kaapeloinnin rakentamisessa, mikä tuo taloudellista painetta hankkeelle. Verkkoyhteyksien toteuttamiseen liittyvät pitkät aikataulut ja lupaprosessit voivat aiheuttaa lisäviiveitä ja siten myös kustannusten nousua.

Vaikka sähkömarkkinalainsäädäntö on kehittymässä, nykyisessä lainsäädännössä on vielä puutteita, jotka vaikeuttavat yli 1 MW energiayhteisöjen toteuttamista. Yksi suurimmista

haasteista on se, ettei verkkoyhtiöitä velvoiteta tarjoamaan mittauspalveluja tällaisille suurille energiayhteisöille, mikä asettaa rajoituksia yhteisön toiminnan hallintaan. Lisäksi suljetun jakeluverkon perustaminen vaatii Energiaviraston lupaa, ja tähän liittyvät rajoitukset voivat vaikeuttaa yhteisön muodostamista erityisesti, jos käyttäjien tarpeet poikkeavat lainsäädännön määrittämistä kriteereistä. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

6 Sähkönsiirron kustannusanalyysi EcoSairilassa

Sähkönsiirrosta aiheutuvat kustannukset ovat olennainen osa sähkömarkkinoiden toimintaa ja vaikuttavat merkittävästi niin energiayhteisöjen kuin yksittäisten käyttäjien taloudelliseen kannattavuuteen. Verkkopalvelumaksut määräytyvät pääasiassa verkon käytön ja kulutuksen perusteella, ja ne eivät ole suoraan riippuvaisia etäisyyksistä. Energiayhteisöt tarjoavat mahdollisuuden tuottaa ja jakaa sähköä paikallisesti, mikä voi pienentää siirtokustannuksia ja edistää uusiutuvan energian tehokkaampaa hyödyntämistä. On kuitenkin huomattava, että energiayhteisön vaikutukset verkkokustannuksiin ovat yleensä minimaaliset, mutta muutoksia voi syntyä, jos energiayhteisö muuttaa verkkokustannusten kohdistumista jäsenilleen.

Tässä analyysissä tarkastellaan ensisijaisesti sähkönsiirron kustannuksia nykyisessä toimintamallissa, jossa sähkö toimitetaan JSE verkon kautta kiinteistön kulutuspaikoille neljän eri sähköliittymän kautta. Tämän jälkeen käsitellään energiayhteisön toimintamallia, jossa alueelle rakennetaan aurinkovoimala, joka liittyy 110 kV sähköverkkoon ja kiinteistön aiemmat kulutuspaikat liitetään aurinkovoimalan sähköliittymään. Lopuksi vertaillaan näiden kahden vaihtoehdon kustannuksia ja arvioidaan niiden taloudellisia vaikutuksia (JSEOY, 2024)

6.1 Nykytilanne

Tällä hetkellä EcoSairilan alueella on neljä liittymäpistettä, joista kaksi on 0,4 kV ja kaksi on 20 kV liittymiä. Analyysissa on käytetty lähtötietoina neljän eri kulutuspaikan todellista tuntikohtaista kulutustietoa vuoden 2022 ajalta. Tarkasteltavat kulutuspaikat ovat katulamput, vaaka, jätevedenpuhdistamo ja EcoSairilan pääkäyttöpaikka.

Analyysin aikana kaikkiin neljään kulutuspaikkaan on valittu kustannusten perusteella edullisin sähkönsiirtotariffi JSEOY:n hinnastosta (JSEOY, 2024). JSEOY:n hinnoitteluvaihtoehdot ovat: sulakeperusteinen hinnoittelu (yleinen ja vuodenaikahinnoittelu) sekä tehoperusteinen hinnoittelu. Testauksen perusteella on valittu kuhunkin kulutuspaikkaan parhaiten

sopiva hinnoittelumalli, joka tarjoaa optimaalisen kustannustehokkuuden ja vastaa kulutusprofiilia. Kaikki hinnat on laskettu alv 0 %.

Katulamppujen hinnoittelussa 0,4 kV liittymälle on valittu käytettäväksi yleissähkön siirtomaksua. Tämä hinnoittelu määrittää siirtohinnan 3,79 snt/kWh. Sulakekokona katulampuille käytetään 3x25 A, jolloin perusmaksu on 32,79 €/kk (JSEOY, 2024). Katulamppujen sulakekoko on määritetty laskennallisesti käyttäen yhtälöä 6.1:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos(\varphi)} \tag{6.1}$$

jossa I on sähkövirta, P on teho, U on jännite ja $\cos(\varphi)$ on tehokerroin. Toiselle 0,4 kV liittymälle, eli vaaka, käytetään tehoperusteista hinnoittelua, jolloin perusmaksu on 230 €/kk ja 1.11.–31.3. ma-la klo 7–22 välisenä aikana energiaperusteinen maksu on 1,63 snt/kWh ja muuna aikana 1,35 snt/kWh sekä tehoperusteinen maksu. Tehomaksun yksikköhinta 0,4 kV liittymällä on 8,50 €/kW,kk. Tehomaksussa käytetään suurinta keskituntitehoa. (JSEOY, 2024) Vaa'an vuosittainen tehomaksu lasketaan yhtälöllä 6.2:

$$Vaaka_{TM} = P_{max} \times TM_{0,4} \times 12 \tag{6.2}$$

jossa $Vaaka_{TM}$ tarkoittaa vaa'an vuosittaista tehomaksua, P_{max} tarkoittaa huipputehoa, joka on suurin mitattu kulutusteho vuoden aikana, $TM_{0,4}$ tarkoittaa tehomaksun yksikköhintaa 0,4 kV liittymissä ja 12 tarkoittaa kuukausien lukumäärää vuodessa. 20 kV liittymissä energiaperusteinen maksu aikavälillä "1.11.–31.3. ma-la klo 7–22" on 1,42 snt/kWh ja muuna aikana 1,19 snt/kWh. Lisäksi liittymässä on kiinteä perusmaksu 230 €/kk sekä tehoperusteinen maksu. Pääkäyttöpaikan ja jätevedenpuhdistamon vuosittainen tehomaksu lasketaan yhtälöllä 6.3:

$$Pääkäyttöpaikka_{TM} = P_{max} \times TM_{20} \times 12 \tag{6.3}$$

jossa $Pääkäyttöpaikka_{TM}$ tarkoittaa pääkäyttöpaikan vuosittaista tehomaksua ja TM_{20} tarkoittaa tehomaksun yksikköhintaa 20 kV liittymissä. Vuorokausihinnoittelun hinta laskettiin 0,4 kV liittymälle Excelissä hyödyntäen todellista tuntidataa. Laskentaohjelmassa tarkasteltiin ensin, sijoittuuko annettu vuorokaudenaika aikaväliin "1.11.–31.3. ma-la klo 7–22". Jos vuorokaudenaika kuului tähän aikaväliin, käytettiin energiaperusteisena maksuna 1,63 snt/kWh. Muussa tapauksessa energiaperusteisena maksuna käytettiin 1,35 snt/kWh.

Tämän jälkeen saadulla energiaperusteisella maksulla kerrottiin tuntidatan kulutusarvo, jolloin tulokseksi saatiin kyseisen tunnin todellinen hinta. Tuntikohtainen energiamaksu saadaan laskemalla yhtälön 6.4 mukaisesti:

$$Tuntikohtainen\ EM = Kulutus \times EM \tag{6.4}$$

jossa EM tarkoittaa energiaperusteista maksua. Näin saadaan selville kunkin tunnin hinta annetun aikavälin ja kulutusarvon perusteella. Tämän jälkeen jokaisen tunnin hinta laskettiin yhteen. Esimerkiksi vaa'an kohdalla vuorokausihinnoittelun vuosikustannukseksi saatiin noin 890 €/v. Vaa'an sähkönsiirrosta aiheutuva vuosikustannus laskettiin yhdistämällä kaikki kulut yhtälön 6.6 mukaisesti:

$$Vaaka_{kok} = VS + TM_{0,4} + PM \times 12 \tag{6.5}$$

jossa $Vaaka_{kok}$ tarkoittaa vaa'an vuosittaista sähkönsiirron kustannusta, VS tarkoittaa vuorokausihinnoittelun vuosittaista sähkönsiirtokustannusta, $TM_{0,4}$ tarkoittaa tehomaksun yksikköhintaa 0,4 kV liittymissä, PM tarkoittaa perusmaksua ja 12 kuukausien määrää. EcoSairilan pääkäyttöpaikan ja jätevedenpuhdistamon hinnoittelu laskettiin Excelillä samalla tavalla kuin vaa'ankin. EcoSairilan pääkäyttöpaikan ja jätevedenpuhdistamon sähkönsiirrosta aiheutuva vuosikustannus lasketaan yhtälöllä 6.7:

$$Pääkäyttöpaikka_{kok} = VS + TM_{20} + PM \times 12 \tag{6.6}$$

jossa $Pääkäyttöpaikka_{kok}$ tarkoittaa vuosittaista sähkönsiirron kustannusta, VS tarkoittaa vuorokausihinnoittelun vuosittaista sähkönsiirtokustannusta, TM_{20} tarkoittaa tehomaksun yksikköhintaa 20 kV liittymissä, PM tarkoittaa perusmaksua ja 12 kuukausien määrää. Katulamppujen kokonaissähkönsiirtokustannus lasketaan laskemalla yhteen yleissähkön siirtomaksut ja sulakekoosta riippuva yleissähkön siirron perusmaksu. Tämä lasketaan yhtälöllä 6.8:

$$Katulamput_{kok} = YS + PM \times 12 \tag{6.7}$$

jossa $Katulamput_{kok}$ tarkoittaa katulamppujen vuosittaista sähkönsiirron kustannusta, YS tarkoittaa yleissähkön siirtomaksua, PM tarkoittaa perusmaksua ja 12 kuukausien määrää. Kokonaiskustannus neljältä käyttöpaikalta saadaan laskemalla yhteen kaikkien neljän käyttöpaikan kokonaiskustannukset yhtälöllä 6.9:

$$Kok = Katulamput_{kok} + Vaaka_{kok} + Pääkäyttöpaikka_{kok} + Jäteveden\ puhdistamo_{kok} \quad (6.8)$$

jossa Kok tarkoittaa vuosittaista kokonaissähkönsiirron kustannusta, $Katulamput_{kok}$ tarkoittaa katulamppujen vuosittaista sähkönsiirron kustannusta, $Vaaka_{kok}$ tarkoittaa vaa'an vuosittaista sähkönsiirron kustannusta, $Pääkäyttöpaikka_{kok}$ tarkoittaa pääkäyttöpaikan vuosittaista sähkönsiirron kustannusta ja $Jätevedenpuhdistamo_{kok}$ tarkoittaa jätevedenpuhdistamon vuosittaista sähkönsiirron kustannusta.

Alla olevassa taulukossa 1 esitetään sähkönsiirtokustannusten eri osa-alueet nykytilanteessa. Taulukossa ”Kulutus”-sarake kuvaa kyseisen kulutuspaikan vuotuista sähkönkulutusta. ”Kustannus”-sarake puolestaan kertoo keskimääräisen sähkönsiirtokustannuksen euroina per megawattitunti. ”Siirtomaksut”-sarake osoittaa, kuinka paljon siirtomaksuista muodostuu vuositasolla kustannuksia, kun taas ”Tehomaksut”-sarake kertoo vastaavasti tehomaksujen osuuden vuoden ajalta. ”Perusmaksut”-sarake esittää kiinteiden perusmaksujen vuosittaisen osuuden. Kokonaiskustannus lasketaan yhteen näistä eri maksukomponenteista. Taulukon ”Summa”-sarakkeessa esitetään yhteenlasketut arvot kaikille kulutuspaikoille, lukuun ottamatta kustannusriviä, jossa summa tarkoittaa kaikkien kulutuspaikkojen keskimääräistä sähkönsiirtokustannusta €/MWh.

Taulukko 1 Kulutuspaikkojen kustannukset

Kulutuspaikat	Katulamput	Vaaka	Pääkäyttö-paikka	Jäteveden-puhdistamo	Summa
Kulutus [MWh/v]	7	61	1300	4100	5468
Kustannus {€/MWh]	96	114	37	29	33
Siirtomaksut [€/v]	280 €	890 €	16 600 €	51 600 €	69 370 €
Tehomaksut [€/v]	0 €	3 300 €	30 700 €	66 800 €	100 800 €
Perusmaksut [€/v]	390 €	2 760 €	2 760 €	2 760 €	8 670 €
Kokonaiskustannus [€/v]	670 €	6 950 €	50 060 €	121 160 €	178 840 €

6.2 Energiayhteisö

Energiayhteisön sähkönsiirron vuosikustannuksia varten on hyödynnetty simulaatiota aurinkovoimalan tuotannosta, jossa aurinkovoimalan koko on 7 MWp. Sähkönsiirron hinnoittelua varten on käytetty ESE antamaa hinnoittelua tätä aurinkovoimalaa varten. Hinnoitteluksi

määräytyi energiamaksu 1,50 €/MWh, kiinteä kuukausimaksu 200 €/kk ja Fingridin hinnoittelut. Fingridiltä hinnoittelua löytyy voimalaitosten tehomaksu 1944 €/MW/v, kantaverkosta ottomaksu 0,92 €/MWh, kantaverkkoon antomaksu 0,61 €/MWh, kulutusmaksu talviarkipäivä joulu-helmikuu ma – pe klo 7.00–21.00 on 8,96 €/MWh ja kulutusmaksu muu aika on 2,55 €/MWh. Laskemista varten on käytetty Fingridin 2024 vuoden hinnoittelua ja alv 0 %. (Fingrid, 2024)

Kulutusmaksun laskenta suoritettiin laskentaohjelmalla hyödyntäen kerrointaulukkoa, jossa huomioitiin ajanjakso "joulu–helmikuu ma–pe klo 7.00–21.00". Tämän jälkeen kulutus laskettiin tunnin tarkkuudella yhdistämällä neljän kulutuspaikan sähkönkäyttö ja vähentämällä siitä aurinkovoimalan tuotanto.

Jos aurinkovoimalan tuotanto ei kata koko kulutusta, verkosta otettu sähkö hinnoitellaan kulutusmaksun ja ottomaksun mukaisesti yhtälöllä 6.10:

$$(Kulutus - AT) * KM + (Kulutus - AT) * OM \tag{6.9}$$

jossa AT tarkoittaa aurinkovoimalan tuotantoa, KM tarkoittaa kulutusmaksua ja OM tarkoittaa ottomaksua.

Esimerkiksi 1.1.2023 klo 10.00 sunnuntaina simuloinnista saatu tuotanto oli 238 kWh, ja kulutus oli 632 kWh, jolloin verkosta otettava sähkömäärä oli 394,38 kWh. Tälle ajankohdalle määritelty kulutusmaksu on 0,255 snt/kWh ja ottomaksu 0,092 snt/kWh, jolloin sähkön kokonaishinta kyseiselle tunnille saadaan edellä mainitulla kaavalla.

Jos taas aurinkovoimalan tuotanto ylittää kulutuksen, ylimääräinen sähkö syötetään verkkoon, jolloin sille muodostuu hinta antomaksun mukaisesti yhtälöllä 6.11:

$$(Kulutus - AT) * AM \tag{6.10}$$

jossa AT tarkoittaa aurinkovoimalan tuotantoa ja AM tarkoittaa antomaksua. Esimerkiksi tilanteessa, jossa tuotanto on 1058 kWh ja kulutus 656 kWh, syntyy ylijäämää 401 kWh, joka hinnoitellaan antomaksun mukaan kaavan 6.11 mukaisesti.

Näiden eri tilanteiden pohjalta saatiin laskentaohjelmalla laskettua yhteissumma, joka on 19400 €/v. Kokonaissumma energiamaksulle laskettiin laskentaohjelmalle siten, että kerrottiin kertoimella 0,15 snt/kWh kulutus, jos kyseisellä tunnilla aurinkovoimalan tuotanto ei

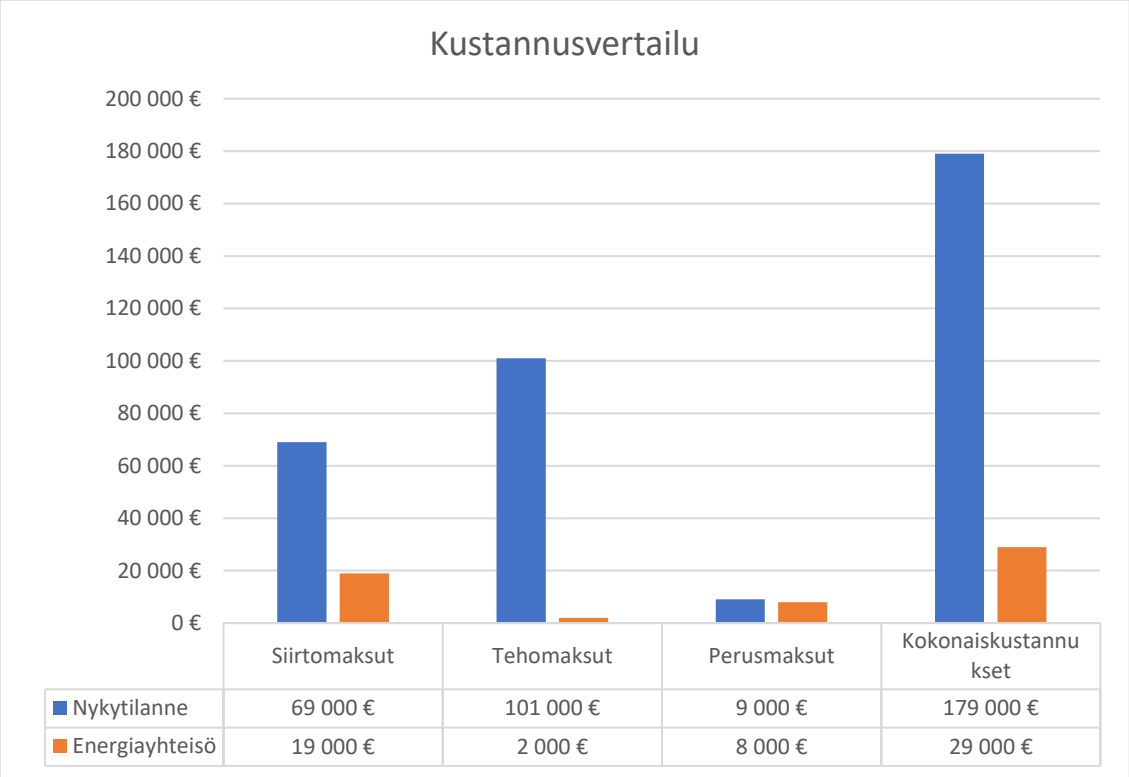
riittänyt kattamaan kulutusta. Kokonaissumma energiamaksulle on 5500 €/v. Huipputeho-arvo ottona on simuloinnin perusteella 1,04 MW, jolloin tehomaksu on 2025 €/v. Kokonais-sähkönsiirtokustannus on simuloinnin perusteella yhtälön 6.12 mukaan:

$$VS + EM + TM + PM \tag{6.11}$$

jossa VS tarkoittaa vuorokausihinnoittelun vuosittaista sähkönsiirtokustannusta, EM tarkoittaa energiaperusteista maksua. TM tarkoittaa tehomaksua ja PM tarkoittaa perusmaksua.

6.3 Kustannusvertailu

Vuosittaiset kustannusarviot sähkönsiirrossa nykyisessä tilanteessa, jossa ei ole aurinkovoimalaa ja jossa on neljä eri kulutuspaikkaa neljällä liityntäpisteellä, ovat noin 179 000 €. Simuloinnin perusteella sähkönsiirrosta aiheutuvat kustannukset aurinkovoimalla vuosittain ovat noin 29 000 €. Nykytilanteessa kokonaiskulutus vuodessa on noin 5500 MWh ja keskimääräinen MWh kustannus on noin 32 €/MWh. Simuloinnissa kokonaissiirron tarve on noin 3700 MWh ottoa ja antona noin 5300 MWh. Keskimääräiset MWh ottokustannukset ovat noin 4,37 €/MWh ja antokustannukset ovat 0,61 €/MWh. Näiden keskimääräinen MWh kustannus on noin 3,25 €/MWh. Vuosittainen kustannusero nykyisellä tilanteella ja energiayhteisö simulaatiolla on siis noin 150 000 €/v. Alla olevassa kuvassa 12 havainnollistettuna, miten sähkönsiirtokustannukset muodostuvat nykytilanteessa ja simuloinnissa.



Kuva 12 Kustannusvertailu nykytilanteen ja energiayhteisön välillä

7 Johtopäätökset

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää, miten yli 1 MW kokoluokan energiayhteisö voidaan toteuttaa ja millaisia taloudellisia sekä lainsäädännöllisiä haasteita siihen liittyy. Energiayhteisöt tarjoavat mahdollisuuden parantaa sähkömarkkinoiden joustavuutta, vähentää sähkönsiirtokustannuksia ja edistää uusiutuvan energian käyttöä. Työssä analysoitiin eri energiayhteisötyyppejä sekä toteutusvaihtoehtoja, ja tulokset osoittavat, että suurikokoisilla energiayhteisöillä voi olla merkittäviä taloudellisia hyötyjä.

Taloudellisten laskelmien perusteella energiayhteisöjen toteuttaminen voi alentaa sähkönsiirtokustannuksia huomattavasti. Esimerkiksi EcoSairilan alueen energiayhteisömallin tarkastelu osoitti, että siirtokustannukset voisivat laskea jopa 150 000 euroa vuodessa. Tämä säästö perustuu siihen, että yhteisön sisällä tuotettu sähkö vähentää tarvetta siirtää sähköä yleisen jakeluverkon kautta, jolloin siirtomaksut pienenevät. Lisäksi paikallinen energiantuotanto parantaa sähköjärjestelmän omavaraisuutta ja vähentää riippuvuutta markkinahintojen vaihteluista. On kuitenkin huomioitava, että tässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon alkuinvestointien kustannuksia ja käytönjohtajavaatimuksia, jotka voivat vaikuttaa energiayhteisön kokonaiskannattavuuteen.

Vaikka energiayhteisöt tarjoavat taloudellisia hyötyjä, niiden toteuttaminen yli 1 MW kokoluokassa on monimutkaisempaa kuin pienempien yhteisöjen. Yksi keskeisimmistä haasteista on nykyinen lainsäädäntö, joka rajoittaa energiayhteisöjä koskevan sääntelyn alle 1 MVA tuotantoon. Tämä tarkoittaa, että jakeluverkkoyhtiöt eivät ole velvollisia tarjoamaan palveluita, kuten mittarointia ja sähkönjakeluun liittyviä hallinnollisia ratkaisuja. Käytännössä tämä siirtää vastuun energiayhteisön itsensä hoidettavaksi, mikä lisää teknisiä ja hallinnollisia haasteita.

Kehitteillä olevat säädösmuutokset voivat kuitenkin helpottaa energiayhteisöjen muodostamista ja toimintaa tulevaisuudessa. Lainsäädännön kehitys voisi mahdollistaa joustavampia ratkaisuja esimerkiksi mittaroinnin ja sähköntoimituksen osalta, mikä vähentäisi energiayhteisöjen hallinnollista taakkaa ja madaltaisi investointikynnystä.

8 Yhteenveto

Tämä diplomityö käsittelee yli 1 MW kokoluokan energiayhteisöjen toteuttamista sekä niihin liittyviä teknisiä, taloudellisia ja lainsäädännöllisiä haasteita. Energiayhteisöt tarjoavat mahdollisuuden lisätä uusiutuvan energian käyttöä, alentaa sähkönsiirtokustannuksia ja parantaa sähkömarkkinoiden joustavuutta. Työn tavoitteena oli selvittää, miten suurikokoisen energiayhteisön voi toteuttaa Suomessa ja millaisia rajoitteita ja mahdollisuuksia siihen liittyy.

Tutkimuksessa analysoitiin erilaisia energiayhteisötyyppejä ja niiden toteutusvaihtoehtoja, erityisesti mittaroinnin, sähkönsiirron ja verkkoliityntöjen näkökulmasta. Käytännön esimerkkeinä tarkasteltiin Lappeenrannan energiayhteisöä ja LEMENE-hanketta, jotka havainnollistavat erilaisia toimintamalleja. Tarkemmassa esimerkissä tutkittiin EcoSairilan alueelle suunniteltua energiayhteisöä, jonka sähkönsiirtokustannuksia ja kannattavuutta arvioitiin laskennallisten mallien avulla.

Tulokset osoittavat, että energiayhteisöjen avulla sähkönsiirtokustannuksia voidaan vähentää merkittävästi. Esimerkiksi EcoSairilan energiayhteisömallin perusteella siirtokustannukset voisivat pienentyä jopa 150 000 euroa vuodessa, koska paikallisesti tuotettu sähkö vähentää riippuvuutta jakeluverkon kautta siirrettävästä energiasta. Tämän ansiosta energiayhteisöt voivat tuottaa taloudellisia säästöjä ja parantaa energiaomavaraisuutta. On kuitenkin huomioitava, että tässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon alkuinvestointien kustannuksia ja käytönjohtajavaatimuksia, jotka voivat vaikuttaa energiayhteisön kokonaiskannattavuuteen.

Työn perusteella voidaan todeta, että suuremman kokoluokan energiayhteisöt ovat teknisesti mahdollisia ja taloudellisesti kannattavia, mutta niiden laajempi käyttöönotto vaatii lainsäädännön kehittämistä sekä selkeämpiä toimintamalleja. Energiayhteisöjen rooli sähkömarkkinoilla on kasvamassa, ja sääntelyn helpottaminen voisi mahdollistaa niiden tehokkaamman hyödyntämisen osana kestävää energiajärjestelmää.

Lähteet

Asunto-osakeyhtiölaki (1599/2009). Finlex. [Viitattu 11.10.2024]. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091599.

Caruna, 2024. [Viitattu 4.12.2024]. Saatavilla: https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkontuotanto/energiayhteisot.

Energiavirasto, 2024. [Viitattu 12.09.2024]. Saatavilla: https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-luvanvaraisuus

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001. [Viitattu 11.10.2024]. Saatavilla: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/LSU/?uri=oj:JOL_2018_328_R_0003.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2019/944. [Viitattu 17.09.2024]. Saatavilla: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944.

Gaia, 2024. Energiayhteisö ja aurinkovoimala – loppuraportti. (Sisäiseen käyttöön).

Helen, 2024. [Viitattu 20.12.2024]. Saatavilla: https://www.helensahkoverkko.fi/yritykset-ja-taloyhtiot/muut-tyot/energiayhteison-hyvityslaskentapalvelu.

IBV Suomi, 2024. Aurinkovainion aurinkopuisto. [Viitattu 24.11.2024]. Saatavilla: https://www.ibvsuomi.fi/aurinkovainion-aurinkopuisto/.

JSEOY, 2024. [Viitattu 15.12.2024]. Saatavilla: https://www.jseoy.fi/palvelut-ja-hinnat/verkkopalvelumaksut/#4e2e95fd.

Lempäälän Energia, 2024. [Viitattu 04.07.2024]. Saatavilla: https://www.lempaalanenergia.fi/lemene/.

Motiva, 2024. Energiayhteisöt ja niiden toimintamallit. [Viitattu 16.05.2024]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiayhteisot

Sähkömarkkinalaki (588/2013). Finlex. [Viitattu 17.09.2024]. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), 2023. Energiayhteisöt ja erilliset linjat; Energiayhteisötyöryhmän loppuraportti. [Viitattu 23.11.2024]. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164884/TEM_2023_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), 2018. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. [Viitattu 16.06.2024]. Saatavilla: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), 2017. Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää – Älyverkkotyöryhmän väliraportti. [Viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80792/TEMrap_38_2017_verkkojulkaisu.pdf.

Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (767/2021). Finlex. [Viitattu 10.10.2024]. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2021/20210767.

Wildpoldsried, 2024. Renewable energy projects in Wildpoldsried. [Viitattu 16.12.2024]. Saatavilla: https://www.wildpoldsried.de/erneuerbare-energien.html