



**KIINTEISTÖRAJAT
TOTEUTUSVAIHTOEHDOT**

YLITTÄVÄN

ENERGIAYHTEISÖN

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan diplomityö

2022

Elias Pylväläinen

Tarkastajat:

Prof. Samuli Honkapuro

TkT Salla Annala

Työn ohjaaja:

DI Toni Nevalainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Elias Pylväläinen

Kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön toteutusvaihtoehdot

Sähkötekniikan diplomityö

2022

65 sivua, 14 kuvaa ja 9 taulukkoa

Tarkastajat: Prof. Samuli Honkapuro

TkT Salla Annala

Ohjaaja: DI Toni Nevalainen

Avainsanat: Energiayhteisö, kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö, hajautettu energiantuotanto, energiaomavaraisuus, erillinen linja, aurinkovoimala

Tässä työssä selvitettiin, miten nykyinen lainsäädäntö määrittelee kiinteistörajat ylittävät energiayhteisöt ja tämän jälkeen lainsäädännön puitteita selvitettiin haastattelemalla Energiavirastoa. Teknisiä ratkaisuja vertailtiin erilaisten case-mallien avulla, erillisen linjan, aurinkovoimalan koon ja asennustavan, sekä invertterin mitoituksen perustalta. Case-mallien taloudellista kannattavuutta vertailtiin erilaisten taloudellisten mittareiden ja -sähköhintojen perusteella. Vertailun kohteeksi yhdeksi case-malliksi otettiin yksittäisen aurinkovoimalan taloudellinen kannattavuus. Taloudellisessa tarkastelussa kaikki energiayhteisö-case-mallit olivat yksittäistä aurinkovoimalaa kannattavampia.

Tämänhetkinen lainsäädäntö ei tunnista kiinteistörajat ylittäviä energiayhteisöjä. Lainsäädännössä käsitellään ainoastaan erillisen linjan määritelmä ja sen rakentamisen eiluvanvaraisuus. Toisin kuin kiinteistön sisäisissä energiayhteisöissä, kiinteistörajat ylittäviä energiayhteisöjä ei tunnisteta oikeushenkilöksi. Tästä johtuen, nykyllä lainsäädännöllä mukaisessa kiinteistörajat ylittävällä energiayhteisössä jokaisen tontin omistajan on toimittava itsenäisenä oikeushenkilönä. Tonttien omistajat voivat kuitenkin toteuttaa tuotantolaitoksen ja erillisen linjan tilauksen yhteistilauksena, mikä pudottaa investoinnin yksikkökustannuksia ja kasvattaa investoinnin kannattavuutta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy

Electrical Engineering

Elias Pylväläinen

Implementation options for an energy community that crosses property boundaries

Master's thesis

2022

65 pages, 14 figures and 9 tables

Examiners: Prof. Samuli Honkapuro

D.Sc. Salla Annala

Supervisor: M.Sc. Toni Nevalainen

Keywords: Energy community, energy community that crosses property boundaries, decentralized energy production, energy self-sufficiency, separate powerline, solar PV plant

In this work, it was found out how the current legislation defines energy communities that cross property boundaries, and then the framework of the legislation was clarified by interviewing the Energy Agency. Technical solutions were compared using different case models, based on a separate line, the size and installation method of the solar power plant, and the dimensioning of the inverter. The economic viability of the case models was compared based on various financial metrics and electricity prices. The economic profitability of a single solar power plant was taken as a case model for comparison. In the economic analysis, all energy community case models were more profitable than a single solar power plant.

The current legislation does not recognize energy communities that cross property boundaries. The legislation deals only with the definition of a separate line and the non-permit requirement for its construction. In contrast to energy communities within the property, energy communities that cross property boundaries are not recognized as legal entities. Because of this, in an energy community that crosses property boundaries according to current legislation, each plot owner must act as an independent legal entity. The owners of the plots can, however, execute the order of the production plant and a separate line as a joint order, which lowers the unit costs of the investment and increases the profitability of the investment.

KIITOKSET

Tämä diplomityö on tehty Keravan Energia Oy:lle kesän ja syksyn 2022 aikana. Suuret kiitokset Keravan Energian teknologiapäällikkö Toni Nevalaiselle työn aikaisesta ohjauksesta ja asiantuntevista näkökulmista. Kiitokset myös Keravan Energian verkkoliiketoiminnan johtajalle Osmo Auviselle diplomityöpaikan ja kesätöiden mahdollistamisesta opintojen aikana Keravan Energialla. Kiitokset myös muille työkavereille työn aikana saaduista vinkeistä ja tsempeistä.

Kiitokset LUT-yliopiston professori Samuli Honkapurolle työn aikaisesta asiantuntevasta palautteesta. LUT-yliopistolle kiitos myös tasokkaista ja ajantasaista kursseista.

Opiskeluaika LUT-yliopistossa alkaa olemaan loppusuoralla ja seuraavaksi on aika siirtää opitut asiat työelämän pariin. Iltanen Ranta on ollut huippupaikka suorittaa opinnot ja opittujen asioiden lisäksi mukaan on tarttunut huippuporukka uusia kavereita, kiitos myös teille.

Lopuksi suuret kiitokset myös perheelle ja läheisille opintojen aikana saamasta tärkeästä tuesta ja kannustuksesta.

Elias Pylväläinen

Kerava, Marraskuu 2022

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

EU	European Union, Euroopan unioni
STC	Standard Test Condition, Standardi testi olosuhde
CLC	Corine Land Cover, Corine maanpeite
DC	Direct Current, Tasavirta
PBT	Payback Time, Takaisinmaksuaika
LCOE	Levelized Cost Of Energy, Elinkaaren ajalta laskettu tuotantokustannus
NPV	Net Present Value, Nettonykyarvo
IRR	Internal Rate of Return, Sisäinen korko
SSR	Self-Sufficiency Ratio, Omavaraisuusaste
SCR	Self-Consumption Ratio, Omakäyttöaste

Symbolit

%	Prosentti
°	Aste
°C	Celsius
€	Euro
snt	Sentti

Yksiköt

kVA	Kilovoltiampeeri
kV	Kilovoltti

kWh	Kilowattitunti
MWh	Megawattitunti
kWp	Kilowattiipiikki
kW	Kilowatti
W	Watti
km	Kilometri
m	Metri

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	10
1.1	Taustoitus.....	10
1.2	Tavoitteet ja rajaus	11
2	Energiayhteisö.....	13
2.1	Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö.....	14
2.2	Kiinteistörajojen sisäinen energiayhteisö	15
2.2.1	Kiinteistöryhmän energiayhteisö	17
2.3	Hajautettu energiayhteisö	17
2.4	Energiayhteisöjen hyödyt	18
3	Energiayhteisöjä koskeva lainsäädäntö	22
3.1	EU:n määritelmä energiayhteisölle	22
3.2	Kansallinen lainsäädäntö	25
3.3	Haasteet/Ongelmat	28
3.4	Energiaviraston näkökulmat haasteisiin.....	30
3.4.1	Juridiset selvitykset	30
3.4.2	Sopimustekniset selvitykset.....	31
3.4.3	Teknilliset selvitykset.....	31
4	Tekniset ratkaisut	32
4.1	Kaapelointi (erillinen linja).....	32
4.2	Aurinkovoimala	32
4.3	Invertteri	33
5	Taloudellinen tarkastelu	35
5.1	Kaapeloinnin hinta kaupunkialueella ja haja-asutusalueella	35
5.2	Aurinkovoimala	37
5.3	Energiayhteisön investoinnin taloudelliset mittarit.....	38

5.3.1	Koroton takaisinmaksuaika ja elinkaariajan tuotantokustannus.....	40
5.3.2	Nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta	41
5.3.3	Omavaraisuusaste ja omakäyttöaste.....	42
5.3.4	Tulokset.....	43
6	Energiayhteisön perustaminen nykylainsäädännöllä	51
7	Akkuvaraston hyödyntäminen energiayhteisössä	54
8	Case Keravan Asuntomessujen energiayhteisö 2024.....	55
9	Johtopäätökset.....	62
10	Yhteenveto.....	64
	Lähteet	66

1 Johdanto

1.1 Taustoitus

Pariisin ilmastopöytäkirjan mukaisten sitoumuksien täyttämiseksi nykyinen Euroopan Unionin uusiutuvan energian direktiivi 2009/28/EU astui voimaan joulukuussa 2009. Tämä oli osa ”Puhdasta energiaa kaikille eurooppalaisille” -pakettia, jonka tavoitteena on pitää EU uusiutuvien energianlähteiden globaalina suunnannäyttäjänä. Vuonna 2009 uusiutuvien energialähteiden loppukulutuksen osuuden tavoitteeksi asetettiin 32 % vuoteen 2020 mennessä. Tämän jälkeen Euroopan komissio nosti tavoitetta 40 %:iin ja toukokuussa vuonna 2022 ehdotettiin osuuden nostamista jo 45 % vuoteen 2030 mennessä. (Direktiivi. 2009/28/EU)

Suomessa uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta on jo yli 40 % ja tavoitteena on nostaa osuus vielä 2020-luvulla yli 50 %:iin (TEM, 2022). Vuonna 2021 Suomen kokonaisenergiankulutus nousi 6 %, tämä johtui uusiutuvien energianlähteiden käytön lisääntymisestä. Uusiutuvan energian käyttö kasvoi 13 % vuonna 2021 vuoteen 2020 verrattuna. Fossiilisten polttoaineiden osuus energianloppukäytöstä kuitenkin pieneni prosentilla, eikä hiilidioksidipäästöjen määrä kasvanut edellisvuosiin verrattuna. Vuonna 2021 uusiutuvien energianlähteiden osuus kokonaiskulutuksesta kasvoi 3 %:lla ollen 42 % ja enemmän kuin fossiilisten energianlähteiden osuus. (Tilastokeskus, 2022)

Uusiutuvien energianlähteiden osuuden kasvu energiajärjestelmässä vaatii myös paljon muutoksia rajapinnoissa, jotta asiakkaat saadaan paremmin mukaan kehittyville sähkömarkkinoille. Työ- ja elinkeinoministeriö perusti älyverkkotyöryhmän selvittämään ratkaisuja joustaville ja älykkäille sähkömarkkinoille. Työryhmä nosti esille asiakkaiden aktiivisempaa osallistumista sähkömarkkinoille, itsetuotetun energian lisäämistä ja vaikutusta omaan sähkökäyttöön ja sen kuluihin. Näitä asioita työryhmä esitti toteutettavaksi kulutusjoustopuolueiden, energiayhteisöiden, aggregaattoreiden, tehotariffien ja uusien älymittareiden avulla. (TEM, 2018)

Energiayhteisöjen avulla voidaan tuottaa uusiutuvaa energiaa kuten aurinkoenergiaa paikoissa, missä se ei ole ennen ollut mahdollista. Täten sähkökäyttäjät, jotka asuvat

taloyhtiöissä tai kiinteistöissä, mitkä eivät sovellu sähkön omatuotantoon voivat osallistua paremmin puhtaan energian tuotantoon energiayhteisöjen ja erillisten linjojen avulla. Energiayhteisöt tuovat yhä useammat sähkönkäyttäjät mukaan hajautetun uusiutuvan energiantuotantoon, mikä kasvattaa uusiutuvan energian osuutta energiajärjestelmässä ja kehittää sähköntuotannon puhtaita arvoja. (Elenia & VTT, 2021)

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustamiseen tarvittavat säädökset, teknilliset edellytykset ja luoda näistä valmis energiaratkaisu, mikä on mahdollista toteuttaa nykyisen lainsäädännön puitteissa. Työssä selvitetään mitä juridiikkaa ja teknillisiä asioita täytyy vielä selvittää, liittyen kiinteistörajojen ylittävään erilliseen linjaan, tuotannonjakosuhteeseen ja vastuidenjakoon, jotta kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustaminen on mahdollista. Työssä haastatellaan Energiavirastoa ja selvitetään asioita, mitkä eivät sähkömarkkina-alaista, eikä asiaan liittyvistä direktiiveistä selviä. Työssä otetaan myös kantaa energiavaraston liittämisestä osaksi energiayhteisöä.

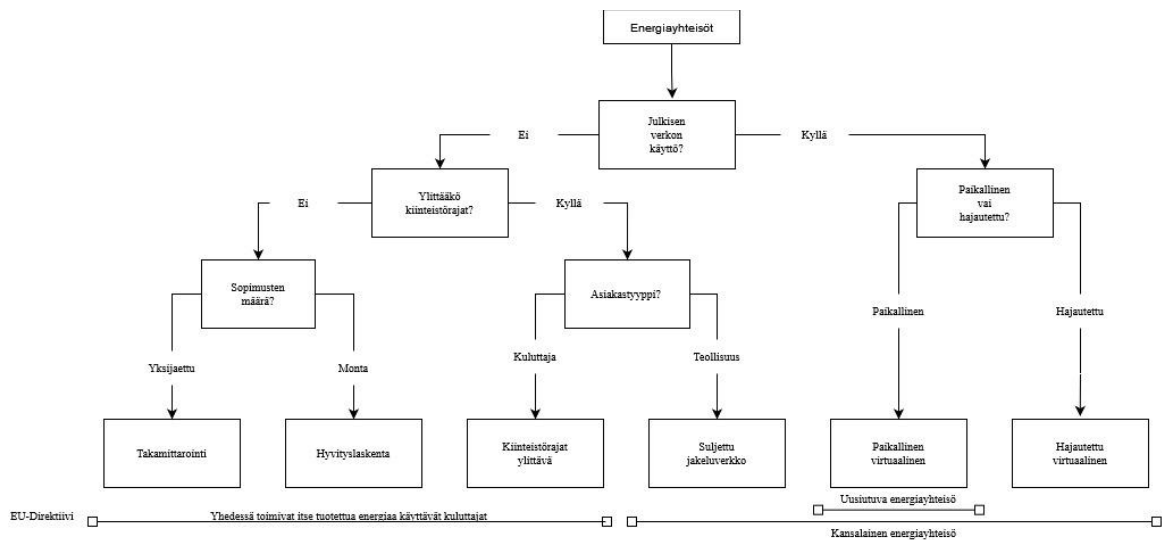
Tässä työssä vertaillaan teknisien ja taloudellisten tarkastelujen kautta erilaisia esimerkkimalleja mahdollisista kiinteistörajat ylittävistä energiayhteisöistä. Työssä selvitetään, kuinka paljon energiayhteisön perustamisen investointikustannuksilla on eroa kaupunkiympäristössä ja haja-asutusalueella. Vertailussa käsitellään kaapeloinnin asennuksesta, aurinkovoimalan asennuksista koituvia teknillisiä ja taloudellisia eroja kaupungissa sekä haja-asutusalueella. Energiayhteisön tuotantolaitoksen, esimerkiksi aurinkovoimalan, voi sijoittaa kiinteistörajat ylittävissä energiayhteisöissä esimerkiksi viereiselle tontille, oman kulutuskohteen katolle tai molemmille. Näitä eri vaihtoehtoja tutkitaan myös taloudellisen näkökulman kautta. Aurinkovoimalan hyödyntäminen kotitalouksissa vaatii myös vaihtosuuntaajan eli invertterin. Invertteri voidaan sijoittaa kiinteistörajat ylittävissä energiayhteisöissä tuotantolaitoksen- tai kulutuskohteen läheisyyteen. Tässä työssä tutkitaan taloudellisten näkökulmien kautta pienien invertterien sijoittamista yhteisön jokaisen kulutuspaikan läheisyyteen.

Työ liittyy vuonna 2024 järjestettäviin Asuntomessuihin Keravalla. Asuntomessualueelle suunnitellaan sekä kiinteistörajojen sisäisiä, että kiinteistörajat ylittäviä energiayhteisöjä. Tässä työssä tarkastellaan erityisesti kiinteistörajat ylittäviä energiayhteisöjä. Asuntomessualueelle suunnitellulla kiinteistörajat ylittävällä energiayhteisöllä on yhteinen aurinkovoimala, mikä on sijoitettu autokatokselle. Tuotantolaitos jaetaan neljälle käyttöpaikalle, mitkä ovat eri tonteilla sijaitsevia omakotitaloja. Tämän työn tavoite on luoda asuntomessuille suunnitellusta energiayhteisöstä valmis energiaratkaisu, missä kaikki tekniset ja sopimukselliset asiat ovat nykyisen lainsäädännön mukaiset. Työn valmistuttua Keravan Energialla on tavoitteena asiakkaan halutessa tarjota valmis energiaratkaisu kiinteistörajat ylittävälle energiayhteisölle kaupunkiympäristössä ja haja-asutusalueella.

2 Energiayhteisö

Energiayhteisöllä tarkoitetaan yhteisöä, jossa sen jäsenet investoivat yhdessä pientuotantolaitokseen ja jakavat sillä tuotettua energiaa yhteisön jäsenille. Energiayhteisön avulla sen jäsenet pystyvät itse tuottamaan osan käyttämästään energiasta esimerkiksi aurinkovoimalalla ja osallistumaan ylituotetulla energialla energiamarkkinoille tai varastoimaan ylituotettua energiaa energiavarastoon myöhempää tarvetta varten. Osallistumalla energiayhteisöön sen jäsenet voivat investoida suurempaan voimalaitokseen ja energiavarastoon, kuin yksittäinen asiakas. Tätä kautta yhteisön jäsenet voivat hyötyä taloudellisesti, kasvattaa puhtaamman energian arvoja ja parantaa paikallisesti sähkön toimitusvarmuutta. (TEM, 2018)

Energiayhteisöt ovat jakamistalouden muoto, joiden toimintaa koskee erilaisia direktiivejä ja sääntöjä. Energiayhteisöjä koskevia direktiivejä ja sääntöjä käsitellään luvuissa 3.1 ja 3.2. Energiayhteisön jäsenten tulee kyetä valitsemaan sähkönmyyjänsä itse ja energiayhteisöstä on oltava mahdollista erota sopimusten puitteissa. Energiayhteisöjen jäsenet voivat vaikuttaa oman energiantuotannon ympäristövaikutuksiin investoimalla uusiutuviin energiantuotantotapoihin. Energiayhteisö voi olla hajautettu- tai paikallinen energiayhteisö. Paikallisia energiayhteisöjä ovat kiinteistön sisäinen energiayhteisö tai kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö. (TEM, 2018) Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettu puukaavio energiayhteisöjen luokittelusta.



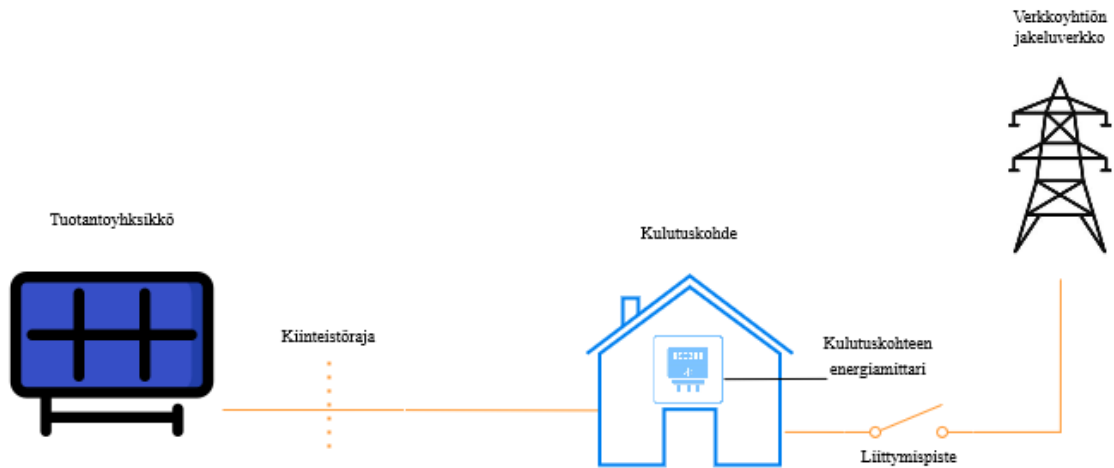
Kuva 1. Energiayhteisöjen luokittelupuukaavio (VTT 2021).

Tässä työssä keskitytään erityisesti kiinteistörajat ylittävään energiayhteisöön, mistä kerrotaan tarkemmin luvussa 2.1 Muut energiayhteisömallit esitetään lyhyesti luvuissa 2.2 ja 2.3 Luvussa 2.4 esitellään energiayhteisöiden hyötyjä kuluttajille ja palveluntarjoajille.

2.1 Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö

Suuremman kokoluokan hajautetun energian tuotantolaitoksen mahdolluttaminen yksityiselle asuinkiinteistöllä ei aina ole mahdollista tilan puutteesta, varjostuksista tai katon huonosta suuntauksesta johtuen. Myös suuremman kokoluokan tuotantolaitoksen investoiminen yksin ei välttämättä ole taloudellisesti ja teknillisesti mahdollista. Tällöin kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustaminen naapureiden kanssa voi olla kannattavaa.

Kiinteistörajat ylittävällä energiayhteisöllä tarkoitetaan yhteisön jäsenten ja tuotantolaitoksen välistä energiayhteisösopimusta ja sähköverkkoa. Tällöin rakennetaan oma kiinteistörajat ylittävä erillinen linja jokaiselle yhteisön jäsenelle tuotantolaitokselta kulutuskohteille. Ei-luvanvarainen erillinen linja yhdistää tuotantolaitoksen ja yhteisön kiinteistöt, ei yhdistä kulutuskohteita, eikä ole yhteydessä jakeluverkkoon (L. 588/2013). Erillisen linjan tulee olla pienjännitetasolla ja sen rakentajan tulee vastata sen sähkölaadusta, sähköturvallisuudesta ja muista luvista (TEM, 2018). Tyypillinen kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö on esitetty kuvassa 2.

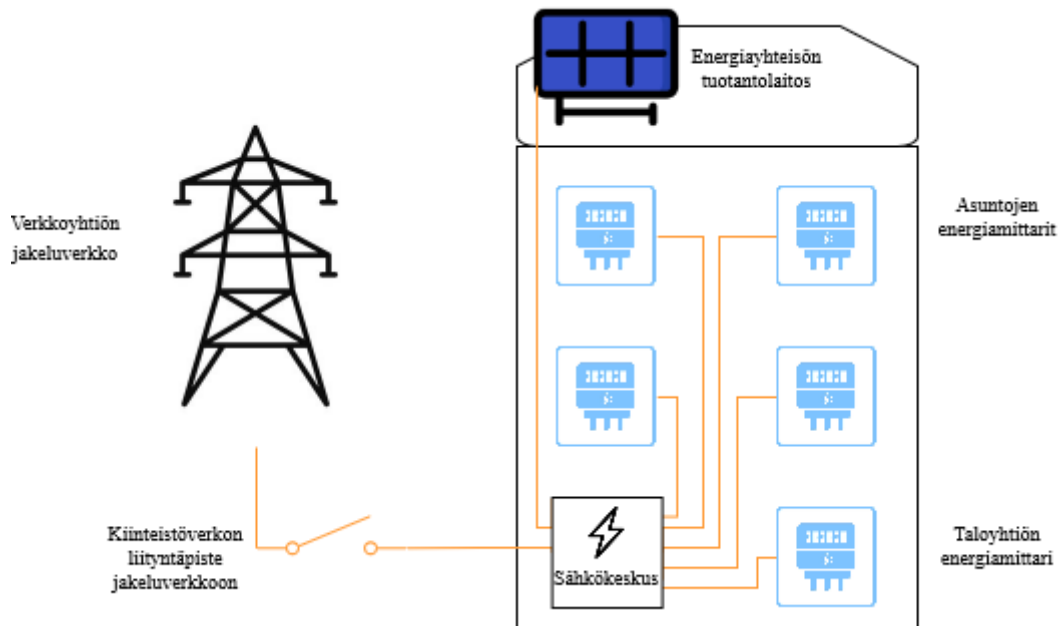


Kuva 2. Kiinteistörajojen ylittävän energiayhteisön tyypillinen mallitoteutus (TEM, 2018).

Kuvassa 2 on esitetty ainoastaan linja tuotantolaitokselta yhdelle kuluttajalle, mutta todellisuudessa tämä ei ole ainoa ratkaisumahdollisuus. Tuotantolaitokselta voidaan viedä oma linja jokaiselle yhteisön jäsenelle kiinteistörajojen ylitse, kun tuotantolaitos on fyysisesti jaettu kulutuskohteiden kesken. Kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisössä jokaisella yhteisön jäsenellä on oma invertteri. Luvussa 4.3 selvitetään voiko kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisöllä olla yksi iso invertteri, missä olisi omat lähdöt jokaiselle kiinteistölle.

2.2 Kiinteistörajojen sisäinen energiayhteisö

Kiinteistörajojen sisäisen energiayhteisön voivat muodostaa samassa kiinteistössä esimerkiksi asunto-osakeyhtiön osakkaat. Tällaisen energiayhteisön voi perustaa kiinteistöön, missä on yhden jakeluverkkoliittymän takana useampi sähkönkäyttöpaikka/energiamittari, kuten kerrostalo- tai rivitalokiinteistöön. Kiinteistön sisällä tuotetusta energiasta ei tarvitse maksaa veroa, kun energia ei ylitä jakeluverkon liittymäpistettä. (TEM, 2018) Tyypillinen kiinteistörajojen sisäinen energiayhteisö on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Kiinteistörajojen sisäisen energiayhteisön tyypillinen mallitoteutus (TEM, 2018).

Kuten kuvasta 3 nähdään, kiinteistörajan sisäinen energiayhteisö voi hyödyntää tuottamaansa energiaa myös sähkökeskuksen kautta kiinteistön yhteiseen sähkökäyttöön, kuten hissiin, rappukäytävän valaistukseen ja koneelliseen ilmanvaihtoon asuntojen lisäksi. Aurinkovoimalan tuotannon jakamisen voi toteuttaa kahdella eri tavalla kiinteistörajat ylittävissä energiayhteisöissä, toteutustavat esitetään seuraavaksi.

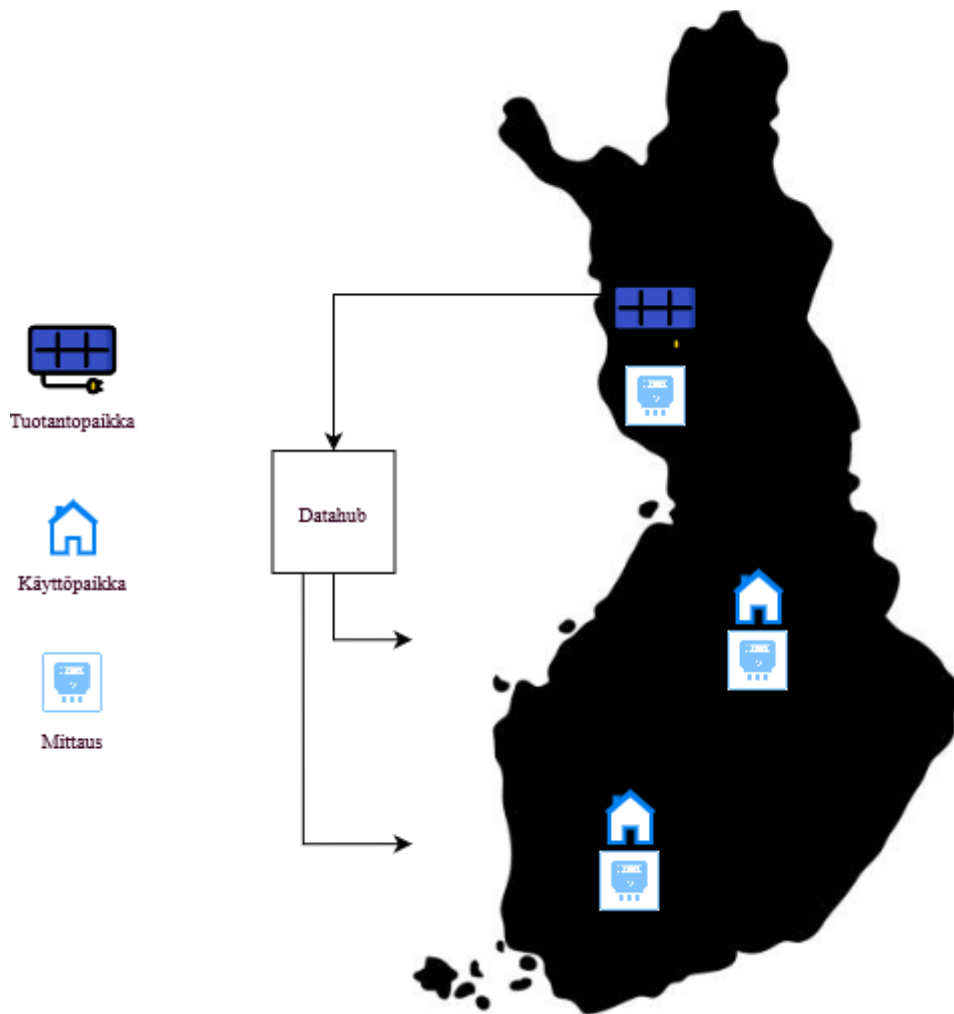
Tämänhetkinen lainsäädäntö mahdollistaa kiinteistörajojen sisäisten energiayhteisöissä hyvityslaskentamallin ja takamittaroinnin käyttämistä. Hyvityslaskentamallissa voidaan jakaa aurinkovoimalan ylituotantoa yhteisön jäsenten kesken laskennallisesti, tällöin parannetaan voimalan omakäyttöastetta. Hyvityslaskentamallissa voidaan hyödyntää jakeluverkkoyhtiön omia mittareita, eikä yhteisön tarvitse investoida omiin mittareihin hyödyntääkseen omatuotantoa. Takamittarointimallissa yhteisöllä on yhteiset mittarit, sähkösopimus ja jakeluverkon mittauspiste. Aurinkovoimalan tuotto vähentää yhteisön jäsenten ja taloyhtiön ostosähkön hankintamäärää. (Auvinen ym. 2020) Lisää kiinteistörajojen sisäisten energiayhteisöjen takamittaroinnista ja hyvityslaskennasta voi lukea Auvinen ym. (2020) tekemästä julkaisusta.

2.2.1 Kiinteistöryhmän energiayhteisö

Kiinteistöryhmällä tarkoitetaan saman omistajan hallitsemaa kiinteistöaluetta, missä kiinteistöt rajoittavat toisiaan. Kiinteistöryhmän energiayhteisöllä tarkoitetaan usean rakennuksen energiayhteisöä, mikä sijaitsee samalla tontilla. Etuna yhteisöllä on yhteinen liittymispiste jakeluverkkoon, missä sijaitsee myös jakeluverkkoyhtiön energian mittaus ja ostoraja (Harsia ym. 2021). Tällöin yhteisö voi hyödyntää kiinteistörajojen sisäisen energiayhteisön tapaan hyvityslaskentaa tai takamittarointia omatuotannon omakäyttöasteen parantamiseksi. Lisää kiinteistöryhmien energiayhteisöistä voi lukea Harsia ym. (2021) tekemästä julkaisusta paikallisten energiayhteisöjen sähköteknisistä toteutuksista.

2.3 Hajautettu energiayhteisö

Hajautettu energiayhteisö voidaan toteuttaa, kun yhteisöllä on hajautettua energiantuotantoa esimerkiksi mökillä ja yhteisön jäsenet haluavat hyödyntää mökin aurinkovoimalaa kotonaan. Tällöin jokaisessa kohteessa tulee olla energiamittarit. Hajautettu energiayhteisö on ainoa energiayhteisömalli, mikä hyödyntää energian siirtämiseen olemassa olevaa siirto- ja jakeluverkkoa. Koska jokainen tuotanto- ja kulutuskiinteistö tarvitsee oman paikallisen verkkopalvelusopimuksen ja hyödyntää yleistä verkkoa, täytyy jokaisen maksaa sähkönsiirrosta ja sähkövero normaalin verotuksen mukaisesti. Kuvassa 4 on esitetty mallitoteutus hajautetusta energiayhteisöstä. (TEM, 2018)



Kuva 4. Hajautetun energiayhteisön tyypillinen mallitoteutus (TEM, 2018).

Kuten kuvasta 4 nähdään, energian tuotantopaikka sijaitsee Pohjois-Suomessa ja käyttöpaikat Keski- ja Etelä-Suomessa. Tämä voi olla tulevaisuudessa mahdollista ja nopeaa tiedonvaihtojärjestelmän datahubin avulla. Datahub on keskitetty tiedonvaihtojärjestelmä sähkön vähittäismarkkinoita varten (Fingrid, 2022).

2.4 Energiayhteisöjen hyödyt

Energiajärjestelmän muuttuessa kohti fossiilivapaampaa suuntaa kasvaa asiakkaiden merkitys energiemarkkinoilla. Rahallinen vaikutus omaan sähkölaskuun ja oman sähkönkulutuksen ilmastovaikutuksiin motivoi asiakkaita osallistumaan energiemarkkinoille. Yksi ratkaisu saada asiakkaita aktiivisemmiksi energiemarkkinoilla on

energiayhteisöiden perustaminen. Energiayhteisöillä voidaan mahdollistaa kerros- ja rivitaloasukkaiden sähkönomatuotantoa, sekä tarjota omakotitaloasiakkaille parempia mahdollisuuksia uusiutuvien energialähteiden investointiin. Kannattavuuden kannalta investointi suurempaan tuotantolaitokseen ja sähkövarastoon yhteisön kesken pienentää investoinnin yksikkökustannuksia. (TEM, 2017)

Verrattuna yksittäisiin asiakkaisiin energiayhteisöjen jäsenet edistävät enemmän uusiutuvan energian osuutta energiajärjestelmässä, koska energiayhteisöissä on suhteessa yksityisiin asiakkaisiin parempi mahdollisuus investoida isompiin tuotantolaitoksiin (TEM, 2017). Kiinteistörajat ylittävien energiayhteisöjen avulla voitaisiin lisätä hajautetun energiantuotannon omakäyttöastetta noin 30 % (HE. 265/2020).

VTT:n (Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy) tekemässä tutkimuksessa energiayhteisöistä on esitetty monipuolisesti eri energiayhteisön funktioita ja niiden arvoja asiakkaille, toimijoille ja teknologiatoimittajille. Taulukossa 1 on esitetty VTT:n esittämät funktiot ja arvot sidosryhmille (VTT 2021).

Taulukko 1. Taulukossa VTT:n esittämät energiayhteisöjen funktiot ja niiden arvot niitä koskeville tahoille (VTT 2021).

Funktio ja tapa, jolla se saavutetaan	Arvo asiakkaalle ja energiayhteisölle	Arvo energiajärjestelmän toimijoille (energiayhtiö, verkkoyhtiö, aggregaattori)	Arvo teknologiatoimittajille ja palvelun tarjoajille
<p>A. Sähkön hankinnan optimointi - Yhteisö hankkii yhden jaetun sähköopin valitulta sähkömyyjältä (kiinteähintainen, spot-hintainen tai räätälöity sopimus).</p>	<p>Suurempi joukko pystyy kilpailuttamaan sähköopin paremmin.</p>	<p>Energiayhtiö: kasvattaa liikevaihtoaan normaalia suuremmalla asiakasmäärällä ja pienemmällä asiakashankintakustannuksella.</p>	<p>-</p>
<p>B. Yhteisöomistuksen myyminen markkinoille (tai PPA) - Omakulutukseen tähtäävässä yhteisössä tämä tarkoittaa ylijäämäsihtä (tai lämpöenergian) myymistä sähkömyyjäyhtiölle. Tuotantoyhteisöissä tuotanto myydään kokonaan sähkömyyjälle.</p>	<p>Tulot sähkön myymisestä. Uusiutuvan energia lisäminen.</p>	<p>Energiayhtiö: ostaa ja myy paikallista uusiutuvaa energiaa.</p>	<p>-</p>
<p>C. Muualla olevan tuotannon omakulutus - Sähkömyyjä tai muu palveluntarjoaja mittaa toisaalta käyttöpaikan kulutuksen ja etänä olevan käyttöpaikan tuotannon ja laskennallisesti jakaa tuotannon kulutuksen mukaan. Esimerkkinä kesämökillä oleva tuotanto. Tämä ei vaikuta sähköveroon tai sähkönsiirtoon.</p>	<p>Uusiutuvan energian käyttäminen ja pienempi hiilijalanjälki. Rakennuksen parempi E-luku, jos yhteisö omistaa omatuotannon.</p>	<p>Energiayhtiö: liiketoiminnan kasvu Rakennuttaja: rakennuksen parempi E-luku mahdollista pienemmät energiatehokkuusinvestoinnit muualla.</p>	<p>-</p>
<p>D. Hinta-arbitraasi - Energiayhteisön operaattori optimoi sähkön oston ja myynnin spot-hintojen mukaan käyttäen yhteisön resursseja. Yksinkertaisimmillaan tämä tapahtuu yhteisön omistaman sähköakun avulla. Arbitraasi mahdollista esim. lämpö- ja kaasumarkkinoita hyödyntämällä.</p>	<p>Säästöt sähkölaskussa ja lisätuotantomahdollisuus.</p>	<p>Koko markkinan kannalta sähkömarkkinan volatiliteetin vähentäminen.</p>	<p>-</p>
<p>E. Omatuotannon kulutuksen optimointi - Energiayhteisön operaattori maksimoi yhteisön oman tuotannon sisäisen kulutuksen ajoittamalla sähköautojen latausta ja muuta joustavaa kuormaa yhteisössä. Se voi myös erilaisilla viesteillä kannustaa jäseniä joustamaan sähkökulutuksessaan.</p>	<p>Säästöt veroissa ja siirtomaksuista sekä ostoenergiassa. Uusiutuvan energia käyttäminen.</p>	<p>Jakeluverkkoyhtiö: Verkon investointitarpeen lykkäys, pienentäminen tai poistaminen.</p>	<p>PV toimittaja: Kiinteä palvelumaksu tai maksu suhteessa säästöihin. Parempi takaisinmaksuaika houkuttelee lisää asiakkaita esim. aurinkopaneeleille.</p>

<p>F. Jousto energiemarkkinoille - Energiayhteisön operaattori ohjaa yhteisön resursseja osallistuakseen Fingridin reservimarkkinoille, haittaamatta yhteisön perustoimintaa. Sisältää myös tehon noston.</p>	Tulot jouston myymisestä.	Aggregaattori: osuus jouston arvosta. Tarvitsee tietyn kapasiteetin osallistuakseen reservimarkkinoille. Energiayhtiö: Tasevastaavan tasevirheen hallinta Kantaverkkoyhtiö: Lisää joustoreservejä, mikä lisää kilpailua reservimarkkinoilla ja laskee jouston hankintakustannuksia.	-
<p>G. Huipputehon alentaminen ja hallinta - Energiayhteisön operaattori ohjaa kuormia siten, että haluttu liittymisteho ei ylitä.</p>	Säästöt siirtomaksuissa ja tulot joustomarkkinoilta.	Jakeluverkkoyhtiö: Verkon investointitarpeen lykkäys, pienentäminen tai poistaminen.	Palvelumaksu loppuasiakkaalta. Kilpailuetu sähkö-autolaturien myynnissä.
<p>H. Käyttövarmuuden parantaminen - Energiayhteisön operaattori käyttää varavoimaa (aggregaatit, energiavarastot, V2H) auttaakseen lyhentämään tai välttämään sähkökatkoja. Sisältää myös irtautumisen verkosta tai saarekkeen hallinnan.</p>	Toimitusvarmuuden parantaminen. Tulot jakeluverkkoyhtiöltä varavoiman käytöstä.	Jakeluverkkoyhtiö: Toimitusvarmuuden parantaminen ja keskeytyksistä johtuvien sakkojen pieneminen.	-
<p>I. Jousto jakeluverkkoyhtiölle - Operaattori ohjaa yhteisön resursseja jakeluverkkoyhtiön ohjeiden ja tarpeiden mukaisesti verkon pullonkaulojen välttämiseksi.</p>	Tulot jouston myymisestä.	Investointien lykkäys, pienentäminen tai korvaaminen joustopalveluilla.	Tulot jakeluverkkoyhtiöltä jouston toimittamisesta.
<p>J++. Sektori-integraation funktiot - Sähkö-lämpö-kaasu-integraatioihin liittyvät mahdollisuudet, esim. lämpövarastot.</p>	Kustannussäästöt ja mahdolliset lisätuotot.	Energiayhtiö: joustojen hyödyntäminen, uusia liiketoimintamahdollisuuksia.	-

3 Energiayhteisöjä koskeva lainsäädäntö

Tässä luvussa esitellään energiayhteisöitä käsittelevät lainsäädännöt ja direktiivit EU:n osalta, sekä Suomen lainsäädännön osalta. Tämän jälkeen luvussa esitellään lainsäädännössä esiintyviä puutteita ja ongelmia. Luvun lopussa esitellään Energiaviraston haastattelusta saatuja vastauksia ongelmiin ja puutteisiin.

3.1 EU:n määritelmä energiayhteisölle

Euroopan parlamentin ja neuvoston määrittelemässä direktiivissä 2019/944 laadittiin uudelleen direktiivin 2012/27 säännöksiä liittyen sähkön sisämarkkinoihin. Tavoitteena direktiivin artiklassa 1 on vahvistaa sähkön tuotannolle, varastoinnille, jakelulle, siirrolle ja toimitukselle liittyviä sääntöjä. Direktiivillä kehitetään kuluttajansuojaa koskevia sääntöjä, sekä yhdenmetyjä, kilpailullisia, oikeudenmukaisia ja kuluttajakeskeisiä sähkömarkkinoita. (Direktiivi. 2019/944/EU)

Direktiivin uudistuksilla pyritään kasvattamaan kestävän energiantuotannon osuutta energijärjestelmässä. Tätä kautta halutaan samanaikaisesti turvata myös kuluttajien toimitusvarmuutta, sekä kohtuullisen hintaiset ja avoimet energiamarkkinat. Direktiivissä vahvistetaan jäsenvaltioiden, sääntelyviranomaisten ja siirtoverkkoyhtiöiden yhteistyötä, jotta voidaan luoda yhtenäisemmät sisämarkkinat ja lisäämään uusiutuvaa energiantuotantoa, vapaata kilpailua ja toimitusvarmuutta energijärjestelmään. (Direktiivi. 2019/944/EU).

Direktiivin artiklassa 2 on määritelty energiayhteisö kansalaisen energiayhteisönä, mikä on rinnastettavissa oikeushenkilöön (Direktiivi. 2019/944/EU),

- a) joka perustuu vapaaehtoiseen ja avoimeen osallistumiseen ja jossa tosiasiallista määräysvaltaa käyttävät jäsenet tai osakkaat, jotka ovat luonnollisia henkilöitä, paikallisviranomaisia, kunnat mukaan lukien, tai pieniä yrityksiä;*

- b) jonka ensisijainen tarkoitus on tuottaa rahallisen voiton sijaan ympäristöön, talouteen tai sosiaaliseen yhteisöön liittyviä hyötyjä jäsenilleen tai osakkailleen tai alueille, joilla se toimii; ja*
- c) joka voi harjoittaa tuotantoa, mukaan lukien uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa tuotantoa, jakelua, toimitusta, kulutusta, aggregointia, energian varastointia, energiatehokkuuspalveluja tai sähköajoneuvojen latauspalveluja tai voi tarjota muita energiapalveluja jäsenilleen tai osakkailleen;*

Direktiivin artiklassa 16 on käsitelty tarkemmin kansalaisten energiayhteisöjä koskevia säädöksiä. Direktiivin mukaan jäsenvaltioiden on säädeltävä energiayhteisöjä mahdollistavaa sääntelykehitystä siten, että (Direktiivi. 2019/944/EU):

- a) osallistuminen kansalaisten energiayhteisöön on avointa ja vapaaehtoista;*
- b) kansalaisten energiayhteisön jäsenet tai osakkaat ovat oikeutettuja lähtemään yhteisöstä, jolloin sovelletaan 12 artiklaa;*
- c) kansalaisten energiayhteisön jäsenet tai osakkaat eivät menetä oikeuksiaan eivätkä välty velvoitteiltaan kotitalousasiakkaina tai aktiivisina asiakkaina;*
- d) sääntelyviranomaisen arvioimaa oikeudenmukaista korvausta vastaan asiaankuuluvat jakeluverkonhaltijat tekevät yhteistyötä kansalaisten energiayhteisöjen kanssa helpottaakseen kansalaisten energiayhteisöjen sisäisiä sähkönsiirtoja;*
- e) kansalaisten energiayhteisöihin sovelletaan syrjimättömiä, oikeudenmukaisia, oikeasuhteisia ja avoimia menettelyjä ja maksuja, myös rekisteröinnin ja toimilupien osalta, ja niiltä peritään avoimia, syrjimättömiä ja kustannuksia vastaavia verkkomaksuja asetuksen (EU) 2019/943 18 artiklan mukaisesti varmistuen, että ne osallistuvat asianmukaisella ja tasapainoisella tavalla järjestelmän kokonaiskustannusten jakoon.*

Yllä olevissa määritelmissä luokitellaan energiayhteisöjen jäsenten oikeuksia. Määritelmissä painotetaan osallistumisen ja irtautumisen vapaaehtoisuutta, sekä ettei osallistuminen energiayhteisöön vaikuta asiakkaiden oikeuksiin.

Artiklassa 16 painotetaan, että jäsenvaltiot voivat vaikuttaa energiayhteisöt mahdollistavassa sääntelykehyksessä, että (Direktiivi. 2019/944/EU):

- a) osallistuminen kansalaisten energiayhteisöihin on avointa yli rajojen;*
- b) kansalaisten energiayhteisöillä on oikeus omistaa, perustaa, ostaa tai vuokrata jakeluverkkoja ja hallinnoida niitä itsenäisesti tämän artiklan 4 kohdassa vahvistettujen edellytysten mukaisesti;*
- c) kansalaisten energiayhteisöihin sovelletaan 38 artiklan 2 kohdassa säädettyjä vapautuksia.*

Yllä olevissa määritelmissä esitetään erityisesti kiinteistörajat ylittävien energiayhteisöjen osalta merkittäviä säädöksiä. Säädökset koskevat varsinkin jakeluverkkoyhtiöiden ja energiayhteisöjen välisten sopimusten kehittämistä.

Artiklassa 16 on esitetty, että jäsenvaltioiden on varmistettava seuraavat asiat (Direktiivi. 2019/944/EU):

- a) kansalaisten energiayhteisöillä on syrjimätön pääsy kaikille sähkömarkkinoille joko suoraan tai aggregoinnin välityksellä;*
- b) kansalaisten energiayhteisöjä kohdellaan syrjimättömällä ja oikeasuhteisella tavalla, kun kyse on niiden toiminnasta, oikeuksista ja velvoitteista loppuasiakkaina, tuottajina, toimittajina, jakeluverkonhaltijoina tai aggregointia harjoittavina markkinaosapuolina;*
- c) kansalaisten energiayhteisöillä on taloudellinen vastuu sähköverkossa aiheuttamistaan tasepoikkeamista; tämän osalta niiden on toimittava tasevastaavina tai siirrettävä tasevastuunsa asetuksen (EU) 2019/943 5 artiklan mukaisesti;*
- d) kansalaisten energiayhteisöjä kohdellaan itse tuottamansa sähkön kulutuksen osalta aktiivisina asiakkaina 15 artiklan 2 kohdan e alakohdan mukaisesti;*
- e) kansalaisten energiayhteisöillä on oikeus järjestää kansalaisten energiayhteisön sisällä yhteisön omistamissa tuotantoyksiköissä tuotetun sähkön jakaminen, jollei tässä artiklassa säädetyistä muista edellytyksistä muuta johdu ja jos yhteisön jäsenten oikeudet ja velvoitteet loppuasiakkaina säilyvät.*

Yllä olevat määritelmien ei kuitenkaan tule rajoittaa verkkomaksuja, tariffeja ja muita mahdollisia maksuja avoimen kustannus-hyötyanalyysin mukaisesti (Direktiivi. 2019/944/EU). On tärkeää, että energiayhteisöillä on tasa-arvoinen pääsy energiamarkkinoille, sillä ilman sitä ei energiayhteisöjen perustaminen olisi kannattavaa. Energiayhteisöjen tulee myös tietää omat vastuut aiheuttamistaan tasepoikkeamista.

Jäsenvaltioiden antaessa energiayhteisöille oikeudet hallinnoida jakeluverkkoa omalla toimialueellaan on jäsenvaltioiden varmistettava, että (Direktiivi. 2019/944/EU):

- a) *kansalaisten energiayhteisöillä on oikeus tehdä verkkonsa käytöstä sopimus sen asiaankuuluvan jakeluverkonhaltijan tai siirtoverkonhaltijan kanssa, johon niiden verkko on liitetty;*
- b) *kansalaisten energiayhteisöihin sovelletaan asianmukaisia verkkomaksuja niiden verkon ja kansalaisten energiayhteisön ulkopuolisen jakeluverkon välisissä liitännäkohdissa ja että tällaisissa verkkomaksuissa eritellään jakeluverkkoon syötetty sähkö ja kansalaisten energiayhteisön ulkopuolisesta jakeluverkosta kulutettu sähkö 59 artiklan 7 kohdan mukaisesti;*
- c) *kansalaisten energiayhteisöt eivät syrji asiakkaita, jotka pysyvät liitettynä jakeluverkkoon, eivätkä aiheuta näille haittaa.*

Jakeluverkkoyhtiöiden ja energiayhteisöiden tulee sopia selvät säännöt liittymäkohtien ja mittauksien korvauksista. Energiayhteisöjen ei tule syrjiä heitä, jotka pysyvät liitettynä jakeluverkkoon.

3.2 Kansallinen lainsäädäntö

Suomen lainsäädännössä on esitetty paikallisen energiayhteisön määritelmä seuraavalla tavalla Valtioneuvoston asetuksen 1133/2020 mukaisesti (VN. 1133/2020):

Tässä asetuksessa paikallisella energiayhteisöllä tarkoitetaan oikeushenkilöä:

- 1) *joka tuottaa, toimittaa, kuluttaa, aggregoi tai varastoi energiaa taikka tarjoaa energiatehokkuuspalveluja, sähköajoneuvojen latauspalveluja tai muita energiapalveluja jäsenilleen tai osakkailleen;*

- 2) *joka perustuu vapaaehtoiseen ja avoimeen osallistumiseen;*
- 3) *jossa tosiasiallista määräysvaltaa käyttävät sen jäsenet tai osakkaat;*
- 4) *jonka jäsenet tai osakkaat ovat luonnollisia henkilöitä, kuntia tai muita paikallisviranomaisia taikka pieniä tai keskisuuria yrityksiä;*
- 5) *jonka ensisijainen tarkoitus on tuottaa rahallisen voiton sijaan ympäristöön, talouteen tai sosiaaliseen yhteisöön liittyviä hyötyjä jäsenilleen tai osakkailleen tai alueelle, jolla se toimii;*
- 6) *jonka jäsenten tai osakkaiden sähkönkäyttöpaikkojen sähkön mittauksista vastaa jakeluverkonhaltija;*
- 7) *jonka jäsenten tai osakkaiden sähkönkäyttöpaikat sijaitsevat samalla kiinteistöllä tai sitä vastaavalla kiinteistöryhmällä ja jotka on liitetty jakeluverkonhaltijan jakeluverkkoon samalla liittymällä; ja*
- 8) *jonka sähköntuotantolaitteisto ja sähkövarasto kuuluvat 7 kohdassa tarkoitettuun liittymään.*

Kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustaminen vaatii erillisen linjan rakentamista tuotantolaitoksen ja kulutuskohteiden välille. Erillisen linjan rakentaminen ja sähkön siirtäminen kiinteistörajojen yli ei ole luvanvaraista sähköverkkotoimintaa, jos erillinen linja ei muodosta rengasyhteyttä käyttöpaikkojen välille. Erillisen linjan rakentaminen rengasyhteyteen on sallittua vain, jos kyseessä on kiinteistöryhmä eli kiinteistöt sijaitsevat yhden verkkoliittymän tontilla. (HE. 265/2020)

Sähkömarkkinalain luvun 1 artiklassa 3 määritellään erillistä linjaa seuraavasti: (L. 588/2013)

Tässä laissa tarkoitetaan:

...

5a) erillisellä linjalla sähköjohtoa, joka liittää erillisen tuotantoyksikön erilliseen asiakkaaseen, ja sähköjohtoa, joka liittää tuottajan ja sähköntoimittajan niiden omiin tiloihin, tytäryrityksiin tai asiakkaisiin suoraa sähköntoimitusta varten.

...

Sähkömarkkinalain luvun 2 artiklassa 4 määritellään erillisen linjan sähköverkkotoiminnan luvanvaraisuus: (L. 588/2013)

Sähköverkkotoimintaa saa harjoittaa Suomessa sijaitsevassa sähköverkossa vain Energiamarkkinaviraston myöntämällä luvalla (sähköverkkolupa). Sähköverkkolupaa ei voida siirtää toiselle.

Luvanvaraista ei ole:

...

2) erillisen linjan kautta tapahtuva sähkönjakelu, jos jaeltava sähkö on tuotettu pienimuotoisessa sähköntuotannossa.

Sähkömarkkinalain luvun 3 artiklassa 13 määritellään erillisen linjan rakentamista seuraavasti: (L. 588/2013)

Jakeluverkonhaltijalla on yksinoikeus rakentaa jakeluverkkoa vastuualueellaan.

Muut saavat rakentaa vastuualueelle jakeluverkkoa, jos:

...

2 a) kysymyksessä on erillinen linja, jolla liitetään pienimuotoista sähköntuotantoa sähkönkäyttöpaikkaan tai kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän verkkoon.

...

Täten erillisen linjan rakentaminen ei vaadi erillisiä lupia jakeluverkkoyhtiöltä rakentamista varten. Laissa ei kuitenkaan ilmoiteta, tuleeko verkon rakentamisesta ilmoittaa alueen jakeluverkkoyhtiölle, tästä aiheesta lisää luvuissa 3.3 ja 3.4

3.3 Haasteet/Ongelmat

Käyttöpaikkojen ja tuotantolaitoksien välisien yhteyksien teknillisten toteutuksien määritelmät on selvitettävä, jottei käyttöpaikkoja kytketä yhteen. Tämä voi johtaa ongelmiin sähköturvallisuudessa ja sähkösovimusten näkökulmasta. (HE. 265/2020)

Energiayhteisöä perustaessa yhteisön kesken tehdään sopimus, missä sovitaan tuotannon jakosuhteesta. Jakosuhteeseen ei ole erikseen määritelty mitään sääntöä, vaan energiayhteisöllä on sopimusvapaus jakosuhteen laatimisesta. Jakosuhde voi olla tasajako, pinta-alaan perustuva jako tai jokin muu jako. Kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisössä tämänhetkisessä lainsäädännössä ainoa sallittu jakosuhde on tuotantolaitoksen fyysinen jakosuhde. Kiinteistörajojen sisäisissä energiayhteisöissä jakosuhteen ei tarvitse olla fyysinen, vaan sen voi toteuttaa joustavammin. Tästä voi koitua ongelmia hyvityslaskentamallia hyödynnettäessä, koska mittauspisteillä tehtävä taseselvitys ja netotus tehdään datahubissa. Datahub ei kuitenkaan itse kykene tekemään hallinnointia, vaan energiayhteisön jäsenelle tarvitaan oikeus datahubin käsittelyyn, mikä vaatii palveluntarjoajaa. Energiayhteisön on ilmoitettava jakeluverkonhaltijalle tuotannon jakosuhde ja jakeluverkkohaltija voi päivittää tiedon 01.01.2023 alkaen Datahubiin (Manninen, 2019).

Epäselvyyksiä energiayhteisön taseselvityksestä on myös jakosuhteen muuttamisesta kesken tasejakson. Dynaamisella jakosuhteella voitaisiin jakaa ylituotantoa helpommin yhteisön kesken, jos jonkun yhteisön jäsenen kulutus olisi pienempi kuin tuotannon osuus. Tällöin saataisiin kasvatettua energiantuotantolaitoksen omakäyttöastetta. Tällä hetkellä ei ole selvää, miten datahub kykenisi hoitamaan dynaamisen jakosuhteen, sekä onko datahub kykenevä siihen ja mitä rajoituksia siihen liittyy. (Manninen, 2019) Datahubin dynaamisen jakosuhteen mahdollisuudesta hyvityslaskentamallissa on mahdollista selvittää Fingridiltä.

Tuotannon jakosuhteen dynaamisella vaihtelulla voisi kiinteistörajat ylittävien energiayhteisöiden kasvatettua taloudellista kannattavuutta ja omavaraisuutta, tämä vaatisi kuitenkin, että kulutuskohteet olisivat yhteydessä toisiinsa. Tällöin myös investoinnin täytyy jakautua tuotannon jakosuhteen mukaisesti, jotta energiayhteisön perustaminen on kaikille tasa-arvoinen. Hyvityslaskentamalli on tällä hetkellä käytössä ainoastaan kiinteistön

sisäisissä energiayhteisöissä, voisiko sitä hyödyntää myös kiinteistörajat ylittävissä energiayhteisöissä?

Ongelmana kiinteistörajat ylittävissä energiayhteisöissä on se, ettei kulutuskohteita voida liittää toisiinsa. Tällöin yhteisön jäsenien tuotannon jakosuhte ei voi joustaa, koska tuotantolaitokset täytyy olla fyysisesti erotettu toisistaan. Koska yhteisöjen kiinteistöillä ei ole yhteistä omistajaa, täytyy ylituotanto myydä verkkoon, jos energiayhteisöllä tai sen jäsenillä ei ole energiavarastoja, mihin ylituotannon voisi varastoida. (Laine, 2022)

Sähköverovelvollisuudesta vapautettuja ovat pientuottajat, joiden voimalaitoksien nimellinäennäisteho on enintään 100 kVA. Nimellistehon ylittäessä 100 kVA, mutta vuosituotannon pysyessä alle 800 000 kWh on veroilmoitus annettava kerran kalenterivuodessa. Vuosituotannon ylittäessä 800 000 kWh:n rajan on sähköntuottajan annettava veroilmoitus, koko vuodelta verokausittain, sekä maksettava mahdolliset sähköverot jo alkuvuodelta ennen rajan ylittymistä. (Verohallinto, 2022)

Haasteena energiayhteisön tuotannon jakelussa kiinteistörajojen yli on sähköturvallisen vastuullisuuden ja velvollisuuksien jakaminen. Sähkömarkkinalakiin tehdyssä muutoksessa 15.7.2021/730 ei sähköturvallisuuteen liittyviä näkökulmia säännöstellä selkeästi, mikä jättää paljon tulkinnan varaa. Selvitettäviä asioita on varsinkin sähköturvallisuuden, vakuutuksien ja lakitekniseltä kannalta. Kiinteistörajojen yli toimiessa tulee varsinkin selvittää, kuka on vahingonkorvausvastuussa ulkopuolisten aiheuttamasta sähkövahingosta, mikä tapahtuu kiinteistön ulkopuolella. (Harsia ym. 2021)

Tässä työssä tarkastellaan erityisesti kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä, missä yhteisön kiinteistöihin tuotetaan energiaa tuotantolaitoksessa, mikä on erillisellä kiinteistöllä ja yhdistetty erillisellä linjalla kulutuskohteeseen. (Harsia ym. 2021) tekemässä tutkimuksessa on esitetty selvitettäviä asioita, mitä kyseisestä energiayhteisömallista on. Voidaanko kiinteistörajat ylittävät energiayhteisöt luokitella paikalliseksi energiayhteisöksi, kun tuotantolaitokset jaetaan fyysisesti osiin yhteisön jäsenten kesken? Voiko omatuotantoa laskea energiatehokkuuslaskentaan mukaan? Selvitettävää myös on, miten jakosuhte tuotannosta ja vastuu yhteisön jäsenten kesken jaetaan. Onko mahdollista hyödyntää yhteistä syöttöpistettä, kuten kiinteistönsisäisissä energiayhteisöissä vai onko rengasyhteyden muodostaminen ehdottomasti kiellettyä. Miten kauas omatuotantoa voi sijoittaa ennen kuin

se alkaa vaikuttamaan jännitetasoihin? Tuotantolaitosten kapasiteettien kasvaessa tulisiko niiden kuntoa ja sähköturvallisuutta tarkastaa määräaikaaisesti? Selvitettävä on myös vastuut verkon ja laitteiden ylläpidossa ja korvausvelvollisuuksista.

Omaa tuotantoa ja energianvarastointia koskevat säännöt vaihtelevat tällä hetkellä kunnittain. Esimerkiksi paloturvallisuuteen liittyviä tietoja paneelien asennuksiin ja akustoiden sijoituksia kohtaan on eriäviä määritelmiä riippuen kunnista ja pelastuslaitoksista. Vaihtelua kunnittain löytyy myös lupamenettelyistä, esimerkiksi joissain kunnissa riittää ilmoitus ja joissain kunnissa vaaditaan lupa. Tätä varten olisi hyvä luoda yhtenäinen koko Suomea koskevat säännökset, jotta energiayhteisötoimintaan ryhtyminen olisi helppoa koko maassa. (Manninen, 2019) (Nevalainen, T., 2019)

Suomen lainsäädännön määritelmässä paikalliselle energiayhteisölle on energiayhteisön määritelmä esitetty ainoastaan kiinteistön sisäisille ja kiinteistöryhmän energiayhteisöille (VN. 1133/2020). Lainsäädännöstä puuttuu määritelmä kiinteistörajat ylittävälle energiayhteisölle. Onko myös kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö määriteltävissä oikeushenkilöksi vai ei?

3.4 Energiaviraston näkökulmat haasteisiin

Ratkaisuja selvitetään Energiaviraston kanssa, koska Energiavirasto on taho, joka valvoo ja edistää energiamarkkinoiden toimintaa ja ilmastotavoitteiden politiikkatoimien toteutumista. Energiavirasto on sähkö- ja kaasumarkkinoiden lupa ja valvontaviranomainen. (Energiavirasto, 2022a)

Energiavirastolta selvitetään luvussa 3.3 esitettyjä ongelmia ja haasteita alla olevissa luvuissa 3.4.1–3.4.3 Selvitettävät asiat eivät käy ilmi tämänhetkisestä sähkömarkkina- ja ovat oleellisia asioita, kun halutaan perustaa kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö.

3.4.1 Juridiset selvitykset

Tämänhetkisen lainsäädännön mukaisesti kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä, jossa kulutuskohteet ovat omien liityntäpisteiden takana ei voida muodostaa, koska lainsäädäntö

ei tunne kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä. Täten kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä ei voida perustaa siten että se muodostaisi yhden energiayhteisön, joka luokiteltaisiin oikeushenkilöksi. Kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön voi muodostaa ainoastaan yksittäinen kulutuskohde, jolla on tuotantolaitos erillisellä kiinteistöllä liitettynä erillisellä linjalla. Tällöin, jos useampi kulutuskohde haluaisi muodostaa energiayhteisön täytyisi heidän muodostaa jokainen oma energiayhteisö, mitkä toimisivat omina oikeushenkilöinä. (Energiavirasto, 2022b)

Energiaviraston kanssa pidetyn haastattelun (Energiavirasto, 2022) perusteella energiayhteisön jäsenten ei tarvitse ilmoittaa erillisen linjan rakentamisesta tai sen sijainnista paikalliselle jakeluverkkoyhtiölle. Täten jakeluverkkoyhtiö ei ole velvoitettu pitämään erillisten linjojen tietoja yllä. Tämänhetkinen lainsäädäntö ei ota lainkaan kantaa erilliseen linjaan koskeviin ilmoituksellisiin asioihin.

3.4.2 Sopimustekniset selvitykset

Sopimustekniset asiat täytyy erillisellä linjalla yhdistettäviin tuotantolaitoksiin tehdä tontin vuokraajan ja tuotantolaitoksen omistajan kanssa. Täten tuotantolaitoksen omistajan eli kulutuskohteen omistaja on itse oikeushenkilö ja täten vastuussa omasta tuotantolaitoksestaan ja erillisestä linjastaan. (Energiavirasto, 2022) Jos tuotantolaitos sijaitsee vuokratontilla, on omistajan hyvä tehdä tontin vuokraajan kanssa sopimus tontinvuokraajan korvausvelvollisuuden mitätöimisestä. Täten korvausvelvollisuus pysyy tuotantolaitoksen omistajalla, eikä tontin vuokraajan tarvitse sitoutua muuhun, kuin tontin vuokraamiseen. Tuotantolaitoksen saa kytkeä käyttöön heti, kun liittymän omistaja on tehnyt tuotantolaitoksen ylijäämäsähkön myyntisopimuksen sähkönmyyjän kanssa ja mikrotuotantolaitoksen ilmoituksen jakeluverkkoyhtiön kanssa (Energiavirasto, 2022). Lisää kiinteistörajat ylittävistä energiayhteisöistä kerrotaan luvussa 6

3.4.3 Teknilliset selvitykset

Kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisössä jokaisen kulutuskohteen tuotantolaitoksen täytyy olla fyysisesti erillään muista voimaloista, jottei rengasverkkoa muodostu. Erillisen

linjan rakentaminen on sallittua ainoastaan tuotantolaitoksen ja käyttöpaikan välille. Tällöin voi olla epäselvää, onko kyseessä energiayhteisöstä vai ainoastaan erillisen linjan hyödyntämisestä osana yksittäisten asiakkaiden pientuotantoa. (Energiavirasto, 2022)

4 Tekniset ratkaisut

Tässä luvussa käsitellään kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön teknisiä toteutusmahdollisuuksia, mitkä tämänhetkinen lainsäädäntö sallii. Luvussa esitetään teknisiä ratkaisuja sekä kaupunkialueille ja haja-asutusalueelle, sekä tarkastellaan niistä aiheutuvia hyötyjä ja haittoja. Teknisten ratkaisujen taloudellisia eroavaisuuksia käsitellään luvussa 5

4.1 Kaapelointi (erillinen linja)

Tämänhetkisen lainsäädännön mukaan erillisen linjan rakentaminen tuotantolaitokselta kulutuskohteelle on sallittua ilman jakeluverkkoyhtiön lupaa (L. 588/2013). Erillisen linjan tulee olla jokaiselle yhteisön jäsenelle oma, jottei kulutuskohteet yhdisty rengasverkoksi. Tämä mahdollistaa esimerkiksi omakotitaloalueen energiayhteisön muodostamisen, kun jokaiselle omakotitalolle rakennetaan erillinen linja yhteiseltä tuotantolaitokselta.

4.2 Aurinkovoimala

Kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisössä aurinkovoimalan valinta yhteiseksi tuotantolaitokseksi on yleinen vaihtoehto. Aurinkovoimalan jakaminen fyysisesti osiin on helpommin toteutettavissa verrattuna esimerkiksi yhden tuulivoimalan tuotantolaitoksessa. Aurinkovoimalan sijoitusmahdollisuudet kuten kattopinnat tai maa-asennus tekevät siitä myös helpon valinnan tuotantolaitokseksi. Aurinkovoimalan mitoituksen kannalta kulutuskohteiden kulutusprofiilien erilaisuuksia ei saada hyödynnettyä ratkaisumallin jäykkyyden takia. (Laine, 2022) Aurinkovoimalan mitoituksessa tulee huomioida kuormituskäyrän lisäksi sähköhintakäyrä, kun ylijäämäsähköä myydään verkkoon.

Aurinkovoimalan tuotannon maksimoimisessa on tärkeää, että se voidaan suunata kohti etelää, jolloin siitä saadaan paras mahdollinen taloudellinen tuotto. Aurinkovoimalan omakäyttöaste riippuu vahvasti käyttökohteen kulutuskäyttäytymisestä, kuitenkin verkosta ostetun sähkön määrä saadaan minimoitua suuntaamalla aurinkovoimala idän ja lännen välille kallistuskulmalla 10° – 55° . (Meriläinen ym. 2022)

Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö tarjoaa erilaisia mahdollisuuksia uusiutuvan energian tuotantoon, riippuen millaisella alueella yhteisö sijaitsee. Kaupunkialueella aurinkovoimalan sijoituksessa on käytettävä hyödyksi valmiita kattopinta-aloja, joiden suuntaus soveltuu aurinkovoimalan tuotannolle. Haja-asutusalueella aurinkovoimalan sijoittamiselle on useampia vaihtoehtoja, koska tilaa löytyy myös maa-asennuksien hyödyntämiseen. Etuna maa-asenteisessa aurinkovoimalassa on mahdollisuus suunnata se vastaamaan haluttuja tuotantotarpeita. Kattoasenteisessa aurinkovoimalassa on enemmän rajoitteita, varsinkin harjakatoissa. Harjakattoisen omakotitalon katolle asennettavan aurinkovoimalan tuotantomahdollisuuksiin ja asennukseen vaikuttaa huomattavasti katon rakenne, suuntaus, katon kulma ja mahdolliset esteet, kuten savupiiput ja läpiviennit (Meriläinen ym. 2022).

4.3 Invertteri

Energiayhteisöissä invertterillä on tärkeä rooli aurinkovoimalan teknillisen, taloudellisen ja turvallisen toiminnan kannalta. Invertterin teknillinen tehtävä on muuttaa paneeleista saatava tasasähkö (DC) kulutuskohteessa käytettäväksi vaihtosähköksi (AC). Taloudelliselta kannalta invertterin oikealla mitoittamisella aurinkovoimalan tehoon suhteutettuna voidaan saada merkittäviä taloudellisia hyötyjä, kun invertterin huipunkäyttöaika saadaan kasvatettua eikä invertteriä ylimitoiteta. Invertterissä voi olla myös älykkäitä ominaisuuksia, jotka mahdollistavat aurinkovoimalan tuotannon seuraamisen etänä, sekä erilaisten kiinteistön kuormien ohjaamisen.

Väisänen ym. (2019) tekemässä tutkimuksessa todettiin invertterin alimitoittamisella suhteessa aurinkovoimalan huipputehoon olevan taloudellisesti kannattavaa Suomen olosuhteissa. Suurin hyöty invertterin alimitoittamisella saadaan pienemmissä aurinkosähköjärjestelmissä, koska niissä invertterin investointiosuus on suhteessa suurempi

verrattaessa suurempiin järjestelmiin. Invertterin alimitoittaminen leikkaa ainoastaan nimellistehon ylittävän tuotannon. Suomen olosuhteissa tuotantohuippuaikoina eli kesäpäivinä paneelienlämpötila ylittää STC (Standart Test Condition) lämpötilan 25–30°C, eli tällöin huipputehoa leikkaantuu jo ennen invertteriä DC-puolella. Tutkimuksessa osoitetut optimaaliset invertterien tehot ja niitä vastaavat aurinkovoimaloiden tehot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Taulukossa tutkimuksessa esitetyt esimerkkitehot aurinkovoimalalla ja alimitoitettulle inverttereille (Väisänen ym. 2019).

	Voimala 1	Voimala 2	Voimala 2
Alimitoitettun invertterin huipputeho (kW)	3	6	10
Aurinkovoimalan paneelien huipputeho (kWp)	6,25	11	16

Kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisöissä invertterin sijoittamisella kulutuskohteen läheisyyteen tuo mahdollisuuden laajentaa omatuotanto omalla kiinteistöllä. Tällöin myös mirkotuotantolaitoksen asennus oman kiinteistön katolle yhteisen tuotantolaitoksen lisäksi on mahdollista. Tämänhetkinen lainsäädäntö estää kiinteistörajat ylittävissä energiayhteisöissä yhteisen ison invertterin käyttämisen, koska tällöin se yhdistäisi kulutuskohteet ja muodostaisi rengasyhteyden jakeluverkon rinnalle.

5 Taloudellinen tarkastelu

Tässä luvussa käsitellään kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavia asioita. Luvussa 5.1 esitellään kuinka ympäristöolosuhdeluokitukset vaikuttavat erillisen linjan kustannuksiin. Tämän jälkeen luvussa 5.2 esitetään, mitkä asiat vaikuttavat aurinkovoimalan investointikustannuksiin ja taloudelliseen kannattavuuteen. Luvussa 5.3 esitetään valittujen taloudellisten mittareiden laskenta tavat ja niiden tulokset eri case-malleille.

5.1 Kaapeloinnin hinta kaupunkialueella ja haja-asutusalueella

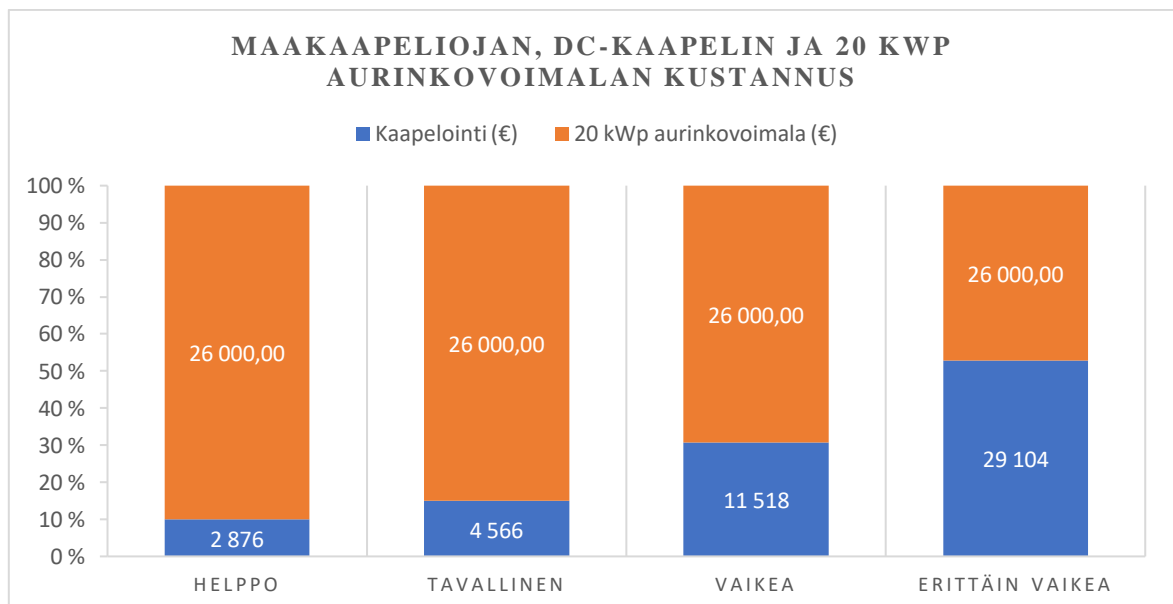
Energiayhteisössä tuotantolaitokselta kulutuskohteelle rakennettavan erillisen linjan rakentaminen voi olla merkittävä osa koko voimalaitoksen investoinnista. Kaapeloinnin hinta riippuu kohteen ympäristöolosuhdeluokituksesta, kaapelin pituudesta ja sen paksuudesta. Työssä käytetään Energiaviraston määrittämää hinnastoa referenssinä, vaikka erillisen linjan rakentaminen ei ole luvanvaraista sähköverkkoliiketoimintaa ja hinnat voivat poiketa näistä määrittelyistä. Energiavirasto (2019) on esittänyt julkaisemassaan sähköverkkotoiminnan valvontamenettelyssä yksikköhinnat eri olosuhteiden maakaapeliojille. Ympäristöolosuhdeluokat määritellään neljään eri luokkaan:

- Helppo olosuhde: Asemakaava-alueen ulkopuolella sijaitseva haja-asutusalue. (11 400 €/km)
- Tavallinen olosuhde: Asemakaavan sisäpuolella olevat alueet, mitkä eivät täytä vaikean tai erittäin vaikean olosuhteen määritelmiä. Väljästi rakennetut asuinalueet ja taajamat luokitellaan usein tavallisiksi olosuhteiksi. CLC-aineisto luokka 112 (Corine Land Cover, Corine maanpeite). (22 100 €/km)
- Vaikea olosuhde: Vaikeiksi olosuhteiksi luokitellaan tiiviisti rakennetut alueet: teollisuuden ja muiden palveluiden alueet, satama-alueet, lentokenttäalueet ja kalliomaat. CLC-luokat: 111, 121, 123, 124, 332 ja osittain vilkkaat liikennealueet CLC-122. (66 100 €/km)

- Erittäin vaikea olosuhde: Erittäin vaikeiksi olosuhteiksi luokitellaan alueet, missä on paljon liikennettä, kadunvarsipysäköintiä, useita varottavia verkostoja, kaikki maa-aine päällystettynä, tiheästi kerros/tornitaloja, tiloja maan alla, kaivuu edellyttää kalliita liikennejärjestelyjä ja töitä joudutaan tekemään öisin. CLC-aineisto luokat 111 ja 121. (177 400 €/km)

(Energiavirasto, 2019)

Kuvassa 5 on esitetty energiaviraston esittelemät 0,4 kV maakaapelin hinnoitteluluokat eri ympäristöolosuhteille (Energiavirasto, 2021). Luokat ovat vain suuntaa antavat arvot, eikä jakeluverkkoyhtiöiden kustannukset välttämättä täsmää kyseisten lukujen kanssa. Jakeluverkkoyhtiöiden kustannukset voivat olla, joko suurempia tai pienempiä riippuen toimijasta ja kohteesta. Kuvassa 5 luokitteluun on lisätty myös alle 25 mm² paksun maakaapelin yksikkökustannukset 6800 €/km (Energiavirasto, 2021). Kuvassa 5 esitetty aurinkovoimalan investointikustannus on huipputeholtaan 20 kWp kattoasenteinen voimala neljällä 6 kW invertterillä. Kuvan 5 kaapeloinnin pituus on otettu luvun 8 esimerkikohteesta, missä kaapeloinnin yhteenlaskettu pituus on 158 m.



Kuva 5. Kuvassa on 158 m pitkän maakaapelin ja maakaapeliojan investointikustannukset eri ympäristöolosuhteluokissa, sekä 20 kWp aurinkovoimalan investointikustannus.

Kuvasta 5 voidaan nähdä maakaapelin rakennuksen osuus koko voimalan investointikustannukseen. Haja-asutusalueiden helppoissa ympäristöolosuhteissa maakaapelin investointikustannus on suhteessa huomattavasti pienempi verrattuna vaikeisiin olosuhteisiin.

5.2 Aurinkovoimala

Aurinkovoimalan taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa useampi eri tekijä. Sähkön markkinahinnalla on vaikutusta aurinkovoimalalla saataviin säästöihin ja myynnistä saatavaan tuottoon (Puranen ym. 2021). Ylimääräisen tuotannon myymisestä saatava korvaus riippuu tehdystä myyntisopimuksesta, mikä voi olla joko kiinteähintainen tai se voi seurata sähköpörssihintaa. Aurinkovoimalan tuoman säästön osuus riippuu myös, siitä kuinka paljon aurinkovoimalan tuottamalla energialla voidaan korvata verkosta ostettavaa sähköä, mistä pitää maksaa energiamaksun lisäksi sähkövero, sähkön siirtomaksu ja arvonnäkövero. Investointikustannuksien suuruudella, käyttökustannuksilla, järjestelmän käyttöiällä, energiantuotannon suorituskyvyllä, sekä voimalan koolla ja invertterien määrällä on merkitystä voimalan taloudellisiin tuottoihin (Puranen ym. 2021). Muita voimalan taloudelliseen tuottoisuuteen vaikuttavia asioita ovat lainan korko, käteisvaran korko odotukset, sekä mahdollisuus kuorman ohjaukseen ja energian varastointiin esimerkiksi kotiakkuihin tai sähköautoon (Puranen ym. 2021).

Aurinkovoimalan investointipäätökseen vaikuttaa mitä aurinkovoimaan investoinnilla halutaan saavuttaa. Investoinnilla aurinkovoimalaan voidaan saavuttaa taloudellista hyötyä, parantaa oman energiankäytön omavaraisuutta, lisätä paikallista energiantuotantoa, kasvattaa uusiutuvan energiantuotannon kapasiteettia energijärjestelmässä ja nostaa oman asunnon rahallista-arvoa, sekä vihreitä arvoja. Aurinkovoimalan suunnittelulla ja oikealla mitoittamisella voidaan aurinkovoimalan tuotanto muokata käyttäjän haluamien tarpeiden mukaiseksi.

5.3 Energiayhteisön investoinnin taloudelliset mittarit

Tässä luvussa vertaillaan energiayhteisön taloudellista kannattavuutta erilaisilla toteutusmalleilla. Laskuissa käytettävä aurinkoenergian tuotantodata on otettu Keravan aurinkovoimalan datasta vuodelta 2021. Asuntojen kulutusdatana käytetään neljän erilaisen uuden omakotitalon kulutusdataa Keravalta, joissa lämmitysmuoto on osittain sähköstä riippuvainen. Aurinkoenergian ylijäämätuotannon myynnistä saatavaa sähkömarkkinahintaista korvausta vertaillaan kahdelta eri ajankohdalta vuodelta: 2020 ja 01.10.2021—30.09.2022. Laskujen investointikustannuksiin otetaan huomioon kaapelointi, voimala, invertteri, asennus ja tarvittavat kiinnikkeet.

Energiayhteisön tuotannon laskemisessa myytävän tuotannon lisäksi tuotoksi lasketaan säästöt, mitkä syntyvät kulutuskohteiden käyttäessä aurinkoenergian tuotannosta osan itse. Tällöin energianhinnan lisäksi kuluttajat säästävät sähkön siirrosta ja verotuksessa. Tarkastelussa käytetään energiaviraston siirtohintojen hintakehitys dataa, neljältä eri ajankohdalta: 01.11.2019, 01.01.2022, 01.07.2022 ja 01.08.2022 (Energiavirasto, 2022c). Tarkastelussa käytettävät hinnat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tarkastelussa käytettävät kiinteät sähkösovimushinnat (Energiavirasto, 2022).

Tyyppi	01.11.2019 (snt/kWh)	01.01.2022 (snt/kWh)	01.07.2022 (snt/kWh)	01.08.2022 (snt/kWh)
Energia	7,42	12,84	14,83	15,58
Siirto	4,77	4,87	4,83	4,83
Vero	2,79	2,79	2,79	2,79
Alv (energia & siirto)	24 %			
Kokonaishinta	17,91	24,75	27,17	28,10

Tarkastelussa käytettävien kulutuskohteiden energiankäyttö laskettiin tuntitaso datalla kolmeen eri osaan laskujen helpottamiseksi: Omakäytettyyn energiaan, ostettuun energiaan ja myytyyn energiaan. Omakäytetyn aurinkoenergian osuus tuotannosta vuositason saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (Luthander ym. 2015):

$$E_{ok} = \sum_{i=1}^{8760} \min(E_{k,i}; E_{t,i}), \quad (1)$$

missä

i on vuoden tuotantotunti,

E_{ok} on omakäytetyn energian vuosittainen osuus,

$E_{k,i}$ on kulutuskohteen energiankulutus tunnilla i ja

$E_{t,i}$ on aurinkovoimalan tuotanto tunnilla i .

Aurinkovoimalan myytävän ylituotannon osuus saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (Luthander ym. 2015):

$$E_m = \sum_{i=1}^{8760} E_{t,i} - E_{ok,i}, \quad (2)$$

missä

E_m on aurinkovoimalan myytävän ylituotannon vuosittainen osuus,

$E_{ok,i}$ on omakäytetyn energian määrä tunnilla i .

Verkosta ostetun sähkön osuus saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (Luthander ym. 2015):

$$E_o = \sum_{i=1}^{8760} E_{k,i} - E_{ok,i}, \quad (3)$$

missä

E_o on verkosta ostetun energian vuosittainen osuus.

Laskenta toteutettiin EXCEL ohjelmassa. Taulukossa 4 on esitetty kulutuskohteille vuosittaiset arvot vuoden 2021 kulutus ja tuotantotajojen perusteella, sekä niiden avulla lasketut osuudet.

Taulukko 4. Taulukossa kulutuskohteiden kulutus, tuotanto ja lasketut osuudet oma käytölle, ostolle ja myynnille.

Tyyppi	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3	Kohde 4
E_k (MWh)	16,60	14,63	16,46	16,45
E_t (MWh)	3,94	3,94	3,94	3,94
E_{ok} (MWh)	2,12	1,61	1,62	1,63
E_o (MWh)	14,48	13,02	14,84	14,82
E_m (MWh)	1,82	2,33	2,32	2,31

5.3.1 Koroton takaisinmaksuaika ja elinkaariajan tuotantokustannus

Yksi energiayhteisön perustamisen merkittävistä hyödyistä on lisätä aurinkovoimalan investoinnin taloudellista kannattavuutta. Voimalan investointikustannuksilla on suuri vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön teknisessä toteutuksessa maakaapelin rakennuksella voimalalta kulutuskohteelle voi olla merkittäviä eroja. Taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa myös tuotannosta saatava korvaus, mikä syntyy myydyin energian ja säästetyn energian summasta. Yksi taloudellisen kannattavuuden mittari on investoinnin koroton takaisinmaksuaika (PBT, PayBack Time). Investoinnin koroton takaisinmaksuaika energiatuotantolaitokselle voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$PBT = \frac{\text{Investointi}}{\text{Vuosittainen tuotto}} \quad (4)$$

Takaisinmaksuaika tarkastelussa vertaillaan erityisesti erilaisten voimalakokonaisuuksien investointihintojen vaikutusta takaisinmaksuaikaan. Investoinnilla tarkoitetaan rahallista summaa (€), minkä voimala kokonaisuudessaan maksaa. Vuosittaisella tuotolla tarkoitetaan säästetystä ostosähköstä saatavaa summaa (€) ja ylituotannon myynnistä saatavaa korvausta (€). Eroja tarkastelussa syntyy invertterien alimitoituksesta, voimalan koosta ja voimalan rakennustyypistä.

Elinkaaren ajalta laskettu tuotantokustannus (LCOE, Leveliced Cost Of Electricity) antaa arvon kuinka paljon rahaa tuotantolaitokseen täytyy investoida per tuotettu kilowattitunti (kWh). LCOE saadaan laskettua aurinkovoimalalle seuraavalla kaavalla:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (5)$$

missä

I_t on investoinnin kulut vuonna t ,

r on investoinnin diskonttauskorko,

E_t on tuotetun energian määrä vuonna t ,

n on tuotantolaitoksen käyttöikä.

5.3.2 Nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta

Energiayhteisöjen perustamisen kannattavuudelle voidaan asettaa useita mittareita. Investoinnin taloudellisuuden kannattavuus on yksi yleisistä tavoista mitata investoinnin tuotteliaisuutta. Tässä luvussa esitetään kaksi laskentatapaa laskea investoinnin kannattavuutta: nettonykyarvo (NPV, Net Present Value) ja sisäinen korkokanta (IRR, Internal Rate of Return).

Nettonykyarvo saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} + \frac{J_n}{(1+i)^n} - I_t, \quad (6)$$

missä

R_t on rahavirta vuonna t ,

i on lainan korko,

t on tarkasteltava vuosi,

n on tuotantolaitoksen käyttöikä,

J_n on investoinnin jäännösarvo käyttöiän loputtua,

I_t on investoinnin erämaksu vuonna t .

Investoinnin sisäinen korkokanta saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$\sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} + \frac{J_n}{(1+r)^n} - I_t = 0, \quad (7)$$

missä

r on investoinnin sisäinen korkokanta (IRR).

5.3.3 Omavaraisuusaste ja omakäyttöaste

Energiayhteisön eri kohteiden omavaraisuusasteella (SSR, self-sufficiency rate) ja omakäyttöasteella (SCR, self-consumption rate) voi olla vaikutuksia kuluttajien halukkuuteen hankkia aurinkosähköjärjestelmä tai liittyä energiayhteisöön. Omavaraisuusasteen ja omakäyttöasteen suuruus riippuu paljon voimalan koosta, kulutuskohteen energiakäyrästä ja mahdollisesta energianvarastointimahdollisuudesta.

Tässä tarkastelussa ei oteta huomioon energianvarastointimahdollisuutta. Vuotuinen omavaraisuusaste saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (Luthander ym. 2015):

$$SSR = \frac{E_{ok}}{E_o + E_{ok}}, \quad (8)$$

missä

SSR on vuotuinen omavaraisuusaste.

E_{ok} on vuoden aurinkovoimalan tuotannosta omakäytetyn energia määrä,

E_o on vuoden ostosähkön määrä.

Vuotuinen omakäyttöaste saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (Luthander ym. 2015):

$$SCR = \frac{E_{ok}}{E_m + E_{ok}}, \quad (9)$$

missä

SCR on vuotuinen omakäyttöaste,

E_m on vuoden aikana aurinkovoimalan myydyn ylituotannon määrä.

5.3.4 Tulokset

Tässä luvussa esitetään erilaisilla esimerkki case-toteutuksilla toteutettujen energiayhteisöjen kannattavuuslaskelmien tuloksia. Laskuissa käytettyjä yksiköitä on esitetty taulukossa 5. Laskuissa sähkön pörssihintoja käytettiin määrittämään ylituotannon myynnistä saatavat korvaukset jokaiselta tunnilta ja pörssihinnan vaikutusta energiayhteisön kannattavuuteen tarkasteltiin vuodelta 2020 ja ajalta 01.10.2021–30.09.2022, jotta tuloksista voidaan havaita pörssihintojen muutoksen vaikutuksen tuotantolaitoksen kannattavuuteen ja

että tulokset olisivat mahdollisimman ajantasaiset. Kiinteitä sähkönostosopimushintoja käytettiin määrittämään aurinkovoimalan tuotannon omakäytetyn energian osuuden säästö sen sijaan, että vastaava määrä olisi ostettu verkosta. Kiinteitä sähkönostohintoja valittiin taulukon 3 mukaisesti useampi, jotta tuloksista voitiin nähdä markkinoiden hintojen muutoksien vaikutus tuotantolaitoksen kannattavuuteen.

Case-esimerkkimallitoteutukset:

- Case 1: 20 kWp kattoasenteinen aurinkovoimala, joka on jaettu tasan jokaiselle yhteisön jäsenelle, jolloin jokaisen osuus tuotannon huipputehosta on 5 kWp. Jokaisella yhteisön jäsenellä on oma 6 kW invertteri.
- Case 2: Sama kuin Case 1, mutta invertterit on alimitoitettu 3 kW inverttereihin.
- Case 3: Sama kuin Case 1, mutta 20 kWp lisäksi jokaisen yhteisön jäsenen katolle on lisätty 5 kWp aurinkovoimala ja invertterien tehoa on nostettu 10 kW:iin.
- Case 4: Sama kuin Case 1, mutta 20 kWp aurinkovoimala on rakennettu maa-asenteisesti.
- Case 5: Toteutus ei ole energiayhteisö, vaan yksittäisen asiakkaan 5 kWp aurinkovoimala, missä 6 kW invertteri.

Tulokset 20 kW ja 40 kW voimaloille on esitetty koko yhteishankitun tuotantolaitoksen näkökulmasta ja 5 kW voimalle yksittäisen tuotantolaitoksen omistajan näkökulmasta. Kaikki case-malliesimerkit on suunniteltu rakennettavaksi helppoihin ympäristöolosuhteisiin. Case esimerkkien tarkempia tietoja on esitetty taulukoissa 5 ja 6.

Taulukko 5. Taulukossa laskuissa käytettäviä arvoja aurinkovoimalalle. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta.

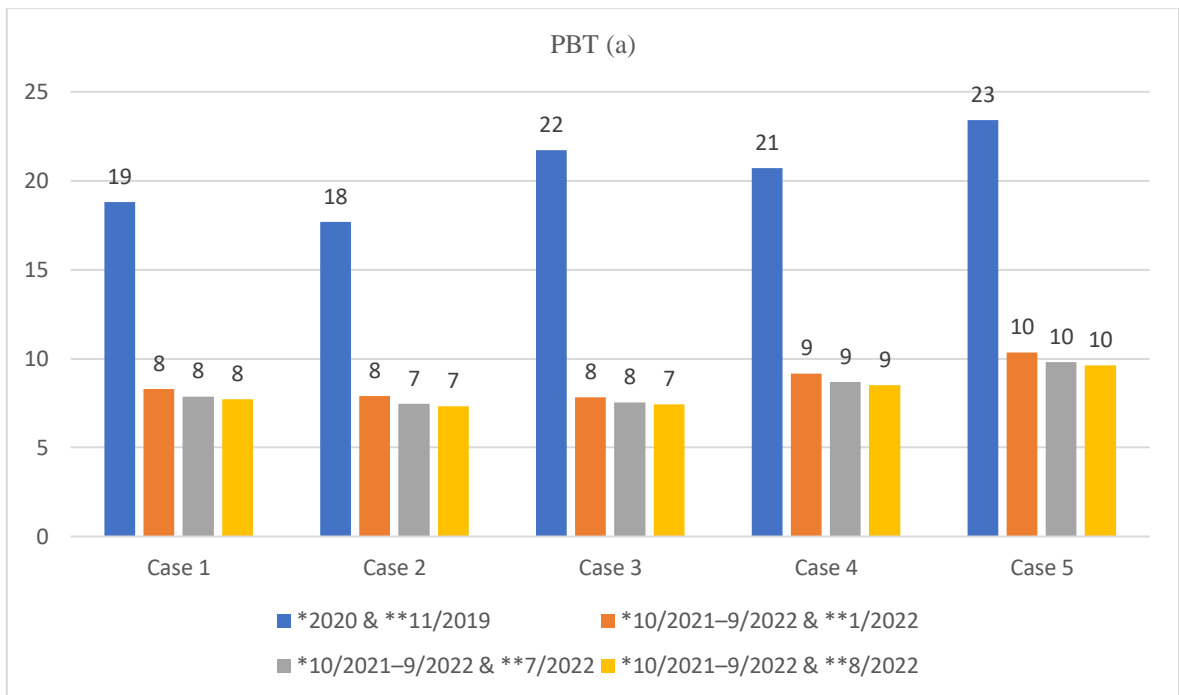
Case	1 & 4	2	3	5
Voimalan koko (kW)	20	20	40	5
Invertterit (kpl x kW)	4 x 6	4 x 3	4 x 10	1 x 6
Käyttöikä (a)	30			
Lainan takaisinmaksuaika (a)	10			
Lainan korko (%) (Nevalainen, M., 2022)	7			
Tuotanto 2020, 10/2021–9/2022 (kWh/a)	15 760, 16 412	15 147, 15 820	31 520, 32 823	3 940, 4 203
Tuotto vuoden *2020 ja **11/2019 (€)	1 538	1 518	2 349	385
Tuotto *10/2021–9/2022 ja **1/2022 (€)	3 478	3405	6 503	869
Tuotto *10/2021–9/2022 ja **7/2022 (€)	3 667	3 594	6 473	917
Tuotto *10/2021–9/2022 ja **8/2022 (€)	3740	3 667	6 836	935

Taulukon 5 lasketuissa tuotannon ja tuoton laskennassa on käytetty taulukoiden 3 ja 4 arvoja. Lainan korkona käytetty Nevalaisen (2022) esittämää arvoa pienelle aurinkovoimalalle. Case-mallien 1 & 4 aurinkovoimalan tuotannot ja rahalliset tuotot ovat samat, koska molemmissa on saman tehoiset voimalat ja invertterit.

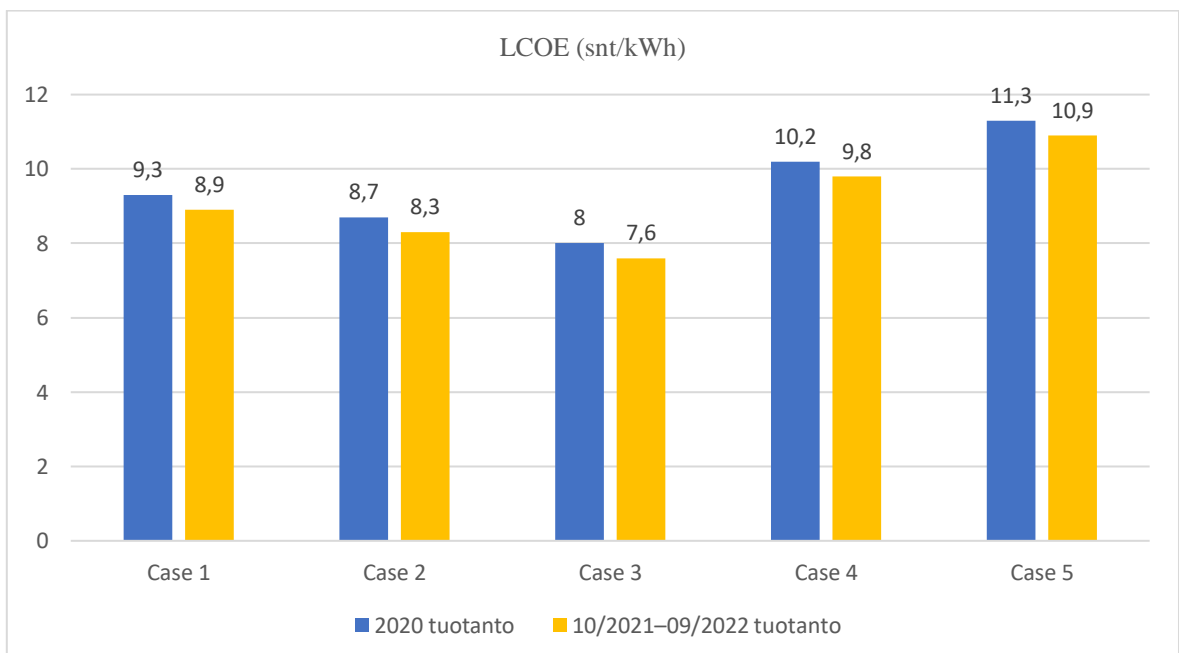
Taulukko 6. Taulukossa eri case-malliesimerkkien investointikustannukset ja sen laskemiseen käytettävät arvot.

Case	1	2	3	4	5
Olosuhdeluokitus	Helppo				-
Teho (kWp)	20	20	40	20	5
Asennustapa	Katto			Maa	Katto
Hinta (€/kWp) (paneelit ja asennus) (Ahola 2019)	1000			1150	1500
Invertterin investointikustannus (snt/W) (Väisänen ym. 2019)	25	33	20	25	
Invertterien määrä (kpl)	4				1
Invertterin teho (W)	6000	3000	10000	6000	
kaapeloinnin hinta (€/km)	18 200				-
Kaapeloinnin pituus (m)	158				-
Investointikustannus (€)	28 900	26 800	50 900	31 900	9 000

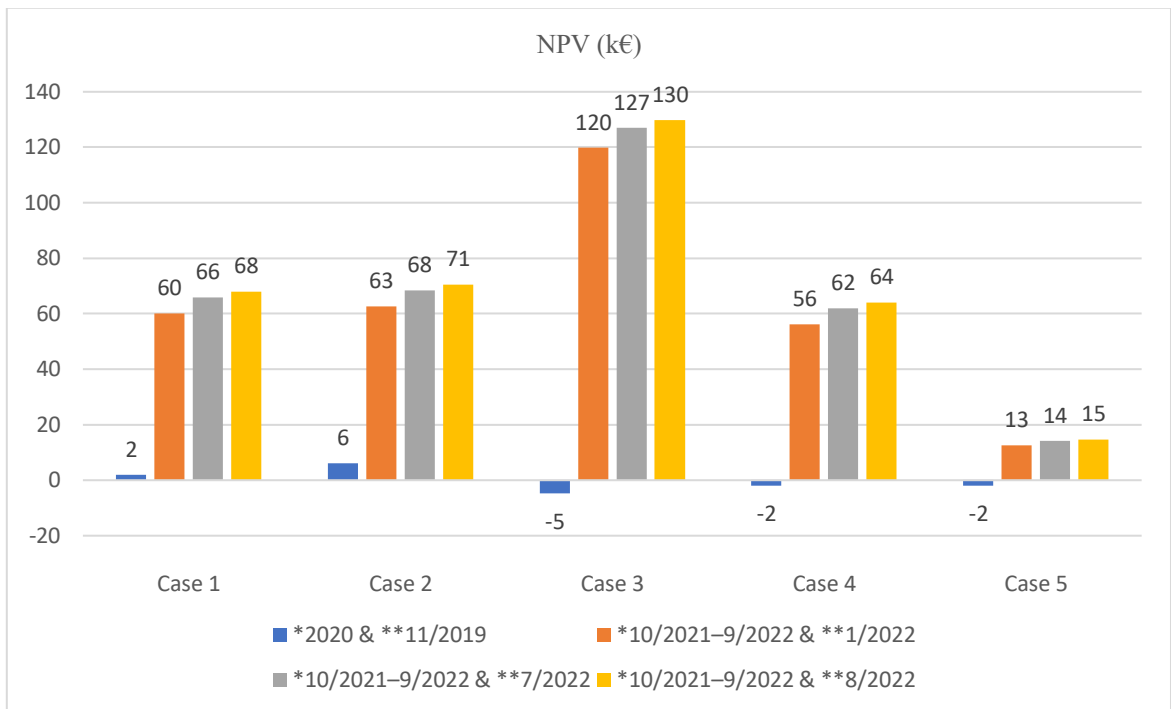
Kuvissa 6–9 esitetyt arvot ovat esimerkkejä energiayhteisön perustaman aurinkovoimalan kannattavuuksista erilaisten ajankohtien sähköhinnoilla, jotta voidaan havaita sähkön hinnankehityksen vaikutus aurinkovoimalan kannattavuuteen. Taulukossa 6 esitetyt hinnat (€/kWp) kattoasenteisille ja maa-asenteisille aurinkopaneeleille, sekä asennuksille on arvioitu nykypäivän hintojen nousun mukaan, Aholan (2019) tekemän tutkimuksen hinta-arvioihin perustuen. Koroton takaisinmaksu aika, nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta on esitetty eri case-esimerkeille kuvissa 6–9, laskuissa on käytetty taulukoiden 5 ja 6 arvoja.



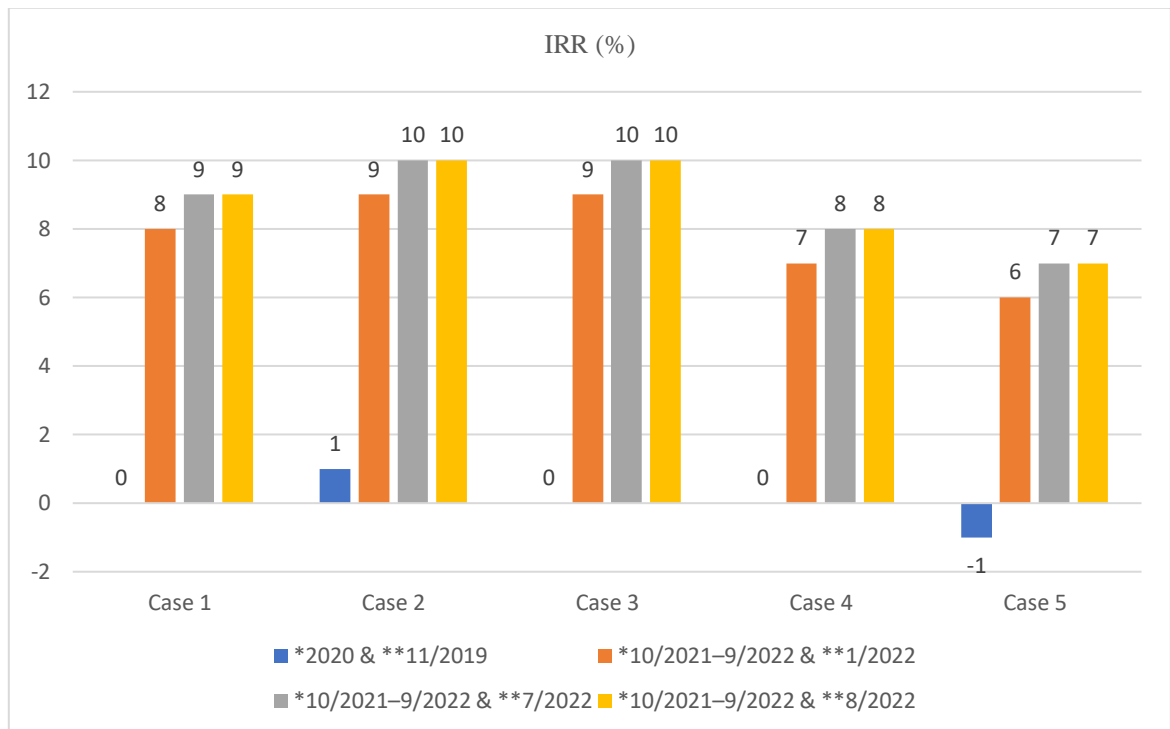
Kuva 6. Kuvassa esitetty korottomat takaisinmaksuajat (PBT) case-mallitoteutuksille eri ajankohtien sähkön hinnoilla. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).



Kuva 7. Kuvassa esitetty elinkaaren tuotantokustannukset (LCOE) eri case-mallitoteutuksille kahdelta eri tuotantoajankohdalta.



*Kuva 8. Kuvassa esitetty nettonykyarvot (NPV) case-mallitoteutuksille eri ajankohtien sähkön hinnoilla Tuotantolaitoksen käyttöään lopussa. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).*



Kuva 9. Kuvassa esitetty sisäiset korkokannat (IRR) case-mallitoteutuksille eri ajankohtien sähkön hinnoilla. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).

Kuvista 6–9 nähdään, että kiinteistörajat ylittävien energiayhteisöjen mallitoteutukset (Case 1–4) ovat kannattavampia ratkaisuja, kuin yksittäinen aurinkovoimala (Case 5) kaikilla mittareilla ja kaikilla tarkasteltavilla sähkön pörssi- ja kiinteänostosähkön hinnoilla. Tuloksista nähdään myös sähkön pörssihinnan ja kiinteän ostosähköhinnan nousun vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Laskujen tuloksissa tulee ottaa huomioon, että maakaapelin rakennuksessa on käytetty luvanvaraisen verkkoliiketoiminnan hintataulukkoa, vaikkei erillisen linjan rakentaminen ole luvanvaraista. Tästä johtuen maakaapelin rakentaminen voi olla todellisuudessa edullisempaa tapauskohtaisesti. Myös laskuissa käytetty 7 % korko investoinnin lainalle on korkea, mikä voi myös olla tapauskohtaisesti alhaisempi. Laskuissa ei olla huomioitu mahdollista asennuksen hinnasta saatavaa kotitalousvähennystä, mikä voisi parantaa voimaloiden taloudellista kannattavuutta. Kotitalousvähennystä ei otettu mukaan, koska siinä voi olla paljon talouskohtaisia eroavaisuuksia.

Taulukossa 7 on laskettu arvot kulutuskohteiden omavaraisuusasteelle ja omakäyttöasteelle kahdella eri voimalakoolla 5 kW ja 10 kW.

Taulukko 7. Taulukossa lasketut arvot kulutuskohteiden omavaraisuusasteelle (SSR) ja omakäyttöasteelle (SCR) kahdella eri voimalakoolla.

Tyyppi ja voimalankoko	Kohde 1 (%)	Kohde 2 (%)	Kohde 3 (%)	Kohde 4 (%)
SSR (5 kW)	12,78	10,99	9,86	9,92
SCR (5 kW)	53,84	40,81	41,20	41,41
SSR (10 kW)	16,68	14,21	12,72	12,60
SCR (10 kW)	35,13	26,37	26,57	26,30

Taulukosta 7 nähdään, kuinka paljon voimalan kapasiteetin kasvattaminen vaikuttaa käyttöpaikkojen energiantuotannon omavaraisuuteen ja omakäyttöasteeseen. Voimalan huipputuotantokapasiteetin kasvaessa 5 kW:ista 10 kW:iin kulutuskohteiden omavaraisuusaste nousee noin 3–4 prosenttiyksikköä. Vastaavasti kulutuskohteiden energiantuotannon omakäyttöaste laskee noin 15–18 prosenttiyksikköä. Lisää kulutuskohteiden vertailua käsitellään luvussa 8 .

6 Energiayhteisön perustaminen nykylainsäädännöllä

Keravan asuntomessuille 2024 on tarkoitus perustaa kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö, missä on jäsenenä neljä omakotitaloa. Energiayhteisön muodostavia tontteja on ohjattu alueen asemakaavassa ja sen liitteissä. Energiayhteisön tuotantolaitoksena on autokatokselle suunniteltu noin 20 kWp:n aurinkovoimala, mistä rakennettaisiin luvussa 4.1 esiteltyt erilliset linjat kulutuskohteisiin (kuva 10).

Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö tuo markkinoille uuden tavan kuluttajille sijoittaa uusiutuviin energianlähteisiin ja kasvattaa energiaomavaraisuuttaan. Kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä tarjottaessa energiaratkaisuna asiakkaille tulee sen hyödyt tuoda selkeästi ilmi, jotta asiakkaat ymmärtävät kuinka siitä voi hyötyä verrattuna normaaliin yksittäiselle asiakkaalle tarjottavaan aurinkovoimalaan. Asiakkaiden tietoisuuteen on tärkeä tuoda esille energiayhteisön tuomista taloudellisista kannattavuuksista ja monipuolisuuksista esimerkiksi voimalan sijoituskohteen valinnassa. Energiayhteisön vaikutukset yhteisölle riippuvat, siitä halutaanko energiayhteisön perustamisella tavoitella ensisijaisesti taloudellista hyötyä vai enemmän arvomaailmaan liittyviä etuja. Taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa suuresti maakaapelin asennusmahdollisuudet alueella ja millainen sähkömarkkinatilanne ja -tariffi tuotantolaitoksen elinkaaren aikana on. Myös yhteisön jäsenten määrällä, tuotantolaitoksen kapasiteetillä ja asennustavalla on merkitystä energiayhteisön taloudellisiin ja arvomaailman tekijöihin.

Energiayhteisöä perustettaessa jäsenten täytyy perustaa yhteisö, missä vastuut jaetaan ja päätökset tehdään. Kiinteistön sisäisissä ja kiinteistöryhmien energiayhteisöissä päätöksenteosta ja vastuun jakamisesta päätetään asunto-osakeyhtiön kokouksissa. Kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä perustettaessa kyse on kuitenkin yksittäisistä ja erillisistä kiinteistöistä, sekä toimijoista. Tämänhetkinen lainsäädäntö ei vielä tunnista käsitettä kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö, joten useamman liittymän takana olevat tontin omistajat eivät voi yhdessä muodostaa energiayhteisöä, mikä luokiteltaisiin oikeushenkilöksi. Nykylainsäädännön mukaan kiinteistörajat ylittävän voimalaitoksen rakentaminen on sallittua vain, jos omistajat ovat itse oikeushenkilöitä. Mikäli useampi asiakas haluaa tuottaa energiaa kiinteistörajajen ylitse samalla tontilla sijaitsevilla tuotantolaitoksilla, täytyy tuotantolaitokset olla jokainen fyysisesti erotettu toisistaan, jottei

rengasverkkoa muodostu käyttöpaikkojen välille. Tämänhetkisen lainsäädännön mukaan kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustaminen onnistuu ainoastaan siten, että voimalaitokset eivät ole fyysisesti yhdistetty toisiinsa. Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö voidaan perustaa siten että yksi tai useampi tontin omistaja investoi yksin tai yhteistilauksella esimerkiksi aurinkovoimalaan ja erilliseen linjaan. Tonteilta rakennetaan erillinen linja tuotantolaitoksille, mitkä sijaitsevat esimerkiksi erillisellä tontilla, mistä vuokrataan osa tuotantolaitoksille. Jokainen tontin omistaja sopii itse vuokrattavan tontin omistajan kanssa aurinkovoimalaan ja erilliseen linjaan liittyvistä vastuista korvausehdoista. Tällainen malli ei kuitenkaan ole virallisesti energiayhteisö koska siinä ei toteudu jakamistaloutta energiantuotannon muodossa. Kuitenkin yhteistilauksella voidaan saada pienennettyä aurinkovoimalan investoinnin yksikkökustannuksia ja tätä kautta hyötyä taloudellisesti. Erilliset linjat mahdollistavat myös uusiutuvan energian tuotannon alueilla missä se ei ehkä ole aikaisemmin ollut mahdollista.

Ennen energiayhteisön perustamista kannattaa tuotantolaitokselle kartoittaa sopivaa sijaintia kulutuskohteiden läheisyydestä. Tuotantolaitoksen sijainti on tärkeä, jotta voimalan energiantuotanto voidaan maksimoida. Jos tuotantolaitokseksi valitaan aurinkovoimala, kannattaa ottaa huomioon, että sen tuottavuuteen vaikuttaa suuntaus, kallistuskulma ja mahdolliset varjostukset. Kun tuotantolaitokselle on löytynyt sopiva sijainti, kiinteistöjen omistaja/omistajat päättävät tuotantolaitoksen kapasiteetista, mikä voi koostua yhdestä voimalasta tai useamman voimalan summasta yhteistilauksen tapauksessa. Tuotantolaitoksen kapasiteettia miettiessä tonttien omistajan/omistajien on hyvä keskustella omista tavoitteista, mitä aurinkovoimalalla halutaan saavuttaa. Mahdollisia rajoitteita on myös hyvä kartoittaa, sekä selvittää kuinka suuren voimalan vuokrattavalle tontille saa rakentaa, myös erillisen linjan rakennusreitit kannattaa kartoittaa. Kapasiteetilla on suuri vaikutus voimalan investoinnin suuruuteen, taloudellisiin tuottavuuksiin ja ilmastollisiin arvomaailman vaikutuksiin. Aurinkovoimalan kapasiteetin kartoituksen jälkeen tontin omistaja/omistajat päättävät tuotantolaitoksen ja erillisen linjan hankinnasta, maksutavasta ja asennusajankohdasta. Lähtökohtaisesti tonttien omistajien aurinkoenergian omakäyttöaste riippuu siitä, haluavatko he käyttää sitä mahdollisimman paljon itse vai myydä sen verkkoon. Kiinteistörajat ylittävissä ”energiayhteisöjen” tapauksissa tuotantolaitosten omistajilla on enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa itse siihen mitä tuotetulla energialla halutaan saavuttaa, kun tuotantolaitoksen sijoitukselle on enemmän vaihtoehtoja. Kiinteistörajat ylittävissä

energiayhteisöissä tuotantolaitoksen yksikkökustannukset saadaan yhteistilauksessa laskettua ilman että tuotantolaitosta tarvitsee ylimitoittaa.

Käyttöpaikkojen omistajien kannattaa sopia tuotantolaitoksen tontin vuokranantajan kanssa mahdollisista vastuiden ja korvauksien ehdoista tai niiden mitätöimisestä. Tämä tehdään sen takia, jotta tuotantolaitoksen tontin omistajan vastuulla on ainoastaan tontin vuokraus tietylle ajalle, eikä vastuuta tuotantolaitoksesta. Nykylainsäädännön salliessa ainoastaan yhden liittymän energiayhteisöt, ovat liittymän omistajat suoraan vastuussa omasta tuotantolaitoksestaan ja siihen kuuluvasta muusta materiaalista, kuten erillisestä linjasta.

7 Akkuvaraston hyödyntäminen energiayhteisössä

Yksi edullisimmista hajautetun energiantuotannon muodoista on aurinkoenergia. Aurinkoenergia soveltuu erityisesti pienien energiayhteisöjen tuotantomuodoksi Suomessa. Aurinkoenergian tuotannon haasteena erityisesti Suomessa on tuotannon riippuvuus vuodenajasta, päivänajasta ja säästä. Tästä syystä aurinkoenergian tuottaja ei itse pysty välttämättä hyödyntämään kaikkea tuottamaansa energiaa itse.

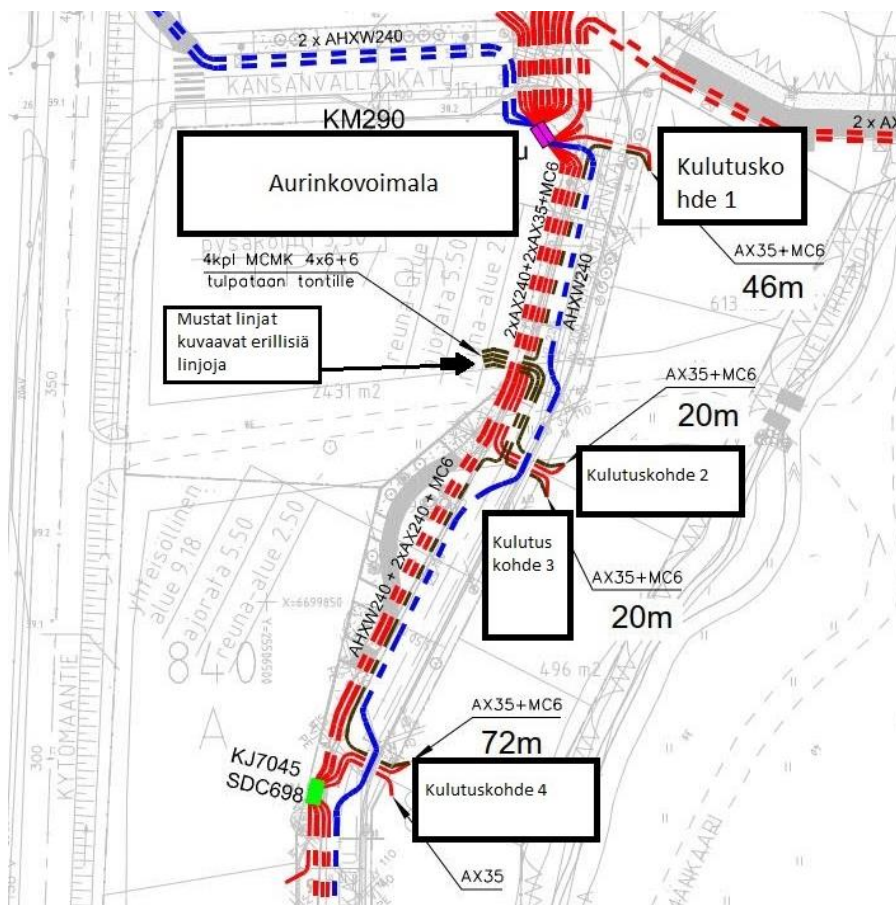
Tuotannon ylijäämän hyödyntämiselle on olemassa kaksi erilaista ratkaisua. Käyttökohteen ollessa kytkettynä jakeluverkkoon, ensimmäinen ratkaisu on käyttää oman kulutuksen verran tuotannosta ja tehdä ylijäämätuotannosta myyntisopimus tai myydä kaikki tuotettu energia ja ostaa sähköä oman kulutuksen verran verkosta. Toinen ratkaisu on käyttää itse oman kulutuksen verran tuotetusta energiasta ja varastoida ylijäämätuotanto energiavarastoon, kuten akkuvarastoon tai varastoida koko tuotanto energiavarastoon. (Belonogova ym. 2018)

Sähkövarastojen kannattavuuteen liittyy vahvasti, miten monipuolisesti niitä kyetään käyttämään. Sähkövarastoja kyetään hyödyntämään useaan eri käyttötarkoitukseen, kuten joustamaan kulutusta energiamarkkinoiden hintojen vaihteluiden mukaan, säätämään verkontaajuutta, parantaa paikallista toimitusvarmuutta, tukea sähkönlaatua tai optimoida omaa tuotantoa ja kulutusta. Sähkövarastojen lisääntymisellä voidaan vaikuttaa sähkömarkkinoihin. (TEM, 2017)

Akkuvarastojen hyödyntäminen on kuitenkin rajattua kiinteistörajat ylittävissä energiayhteisöissä, kun yhteisö ei saa muodostaa rinnakkaista verkkoa jakeluverkon rinnalle. Kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisömallissa energiavarastot täytyy liittää kulutuskohteen yhteyteen, eikä nykyisen lainsäädännön mukaan yhteistä isoa energiavarastoa voida hyödyntää. Pientä käyttöpaikkakohtaista energiavarastoa voisi hyödyntää sähkön spot-hinnan muutoksiin varastoimalla tuotantoa spot-hinnan ollessa alhainen ja käyttää varastoitua tuotantoa spot-hinnan ollessa korkeampi. Energiavaraston hyödyntäminen tuotantolaitoksen yhteydessä voisi olla nyky-lainsäädännöllä mahdollista, jos energiavarasto olisi yhteydessä ainoastaan tuotantolaitokseen ja jakeluverkkoon. Tällöin energiavarastoa voisi mahdollisesti hyödyntää myös reservimarkkinoilla.

8 Case Keravan Asuntomessujen energiayhteisö 2024

Keravalla vuonna 2024 järjestettävillä Asuntomessuilla esitellään uusia energiaratkaisuja, joista yksi on kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö. Asuntomessuille suunniteltuun energiayhteisöön kuuluu neljä omakotitalokiinteistöä, joiden läheisyyteen rakennetaan aurinkovoimala autokatokselle. Aurinkovoimalan koko on huipputeholtaan 20 kWp ja se jaetaan fyysisesti neljään osaan, joista jokainen yhteisön jäsen omistaa huipputeholtaan 5 kWp. Tuotantolaitokselta kulutuskohteille on tarkoitus rakentaa kaapelioija ja kaapeli eli erillinen linja. Jokaisen yhteisön jäsenen kulutuskohteen yhteyteen tulee oma invertteri. Kaavakuva energiayhteisöstä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Kuvassa kaavakuva asuntomessujen energiayhteisöstä, mihin kuuluu aurinkovoimala ja erilliset linjat kulutuskohteille 1–4 (Musta linja).

Luvussa 5.3.4 esitettyjen tulosten perusteella ja luvussa 4.3 esitetyn tutkimuksen perusteella tuotantolaitosten omistajien kannattaa alimitoittaa invertteri aurinkovoimalan huippukapasiteettiin nähden. Invertterin alimitoituksella tuotantolaitoksen omistaja säästää invertterin investointihinnassa, eikä häviä tuotannon leikkauksesta kuin murto-osan voimalaitokselle, missä invertteriä ei olla alimitoitettu. Invertterin alimitoituksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon valmistajan antamat maksimiarvot aurinkovoimalasta saatavalle huipputeholle ($P_{dc, Max}$).

Lopullisen päätöksen tuotantolaitoksen jakosuhteesta ollessa se, että jokaiselle tontin omistajalle tulee 5 kWp:n aurinkovoimala, poikkeaa tonttien omistajien investointikustannukset vain erillisen linjan osalta. Erillisten linjojen investointikustannukset eroavat toisistaan, koska linjat ovat tonttien omistajien kesken eri pituiset. Luvun 6 mukaan tontin omistajien kannattaa sopia tuotantolaitoksen kapasiteetista, rajoitteista, maksutavasta, maksuajasta ja mahdollisista rahoituksista keskenään. Tontin omistajien vastuulla on myös sopia tuotantolaitoksen sijoitustontin omistajan kanssa vastuiden ja korvausvelvollisuuksien ehdoista luvun 6 mukaisesti.

Nykylainsäädännön mukaan tuotantolaitoksia ei saa yhdistää keskenään, vaan ne täytyy olla jokainen fyysisesti erillään toisistaan. Jokaiselta tuotantolaitokselta on rakennettava oma erillinen linja kulutuskohteille. Tällöin jokaisen tuotantolaitoksen tulee olla identtinen toistensa kanssa suuntauksen, kallistuskulman ja mahdollisten varjostusten osalta, muutoin yhteistilauksella tehtävän investoinnin osuuksien jakoa ei ole helppoa suorittaa. Ainoastaan yhteistilauksen tuotantolaitoksien kapasiteeteissa ja invertterien tehoissa voi olla eriäväisyyksiä, koska ne on helppo ottaa huomioon investoinnin osuuksien jaossa. Taulukossa 8 on esitetty Asuntomessuille suunniteltuun kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön mahdolliset käyttöpaikka kohtaiset investointihinnat 6 kW tai 3 kW inverttereillä.

Taulukko 8. Taulukossa esitelty mahdolliset käyttöpaikka kohtaiset investointihinnat yhteistilauksella tehtävään tuotantolaitokseen ja erilliseen linjaan 6 kW tai 3 kW inverttereillä.

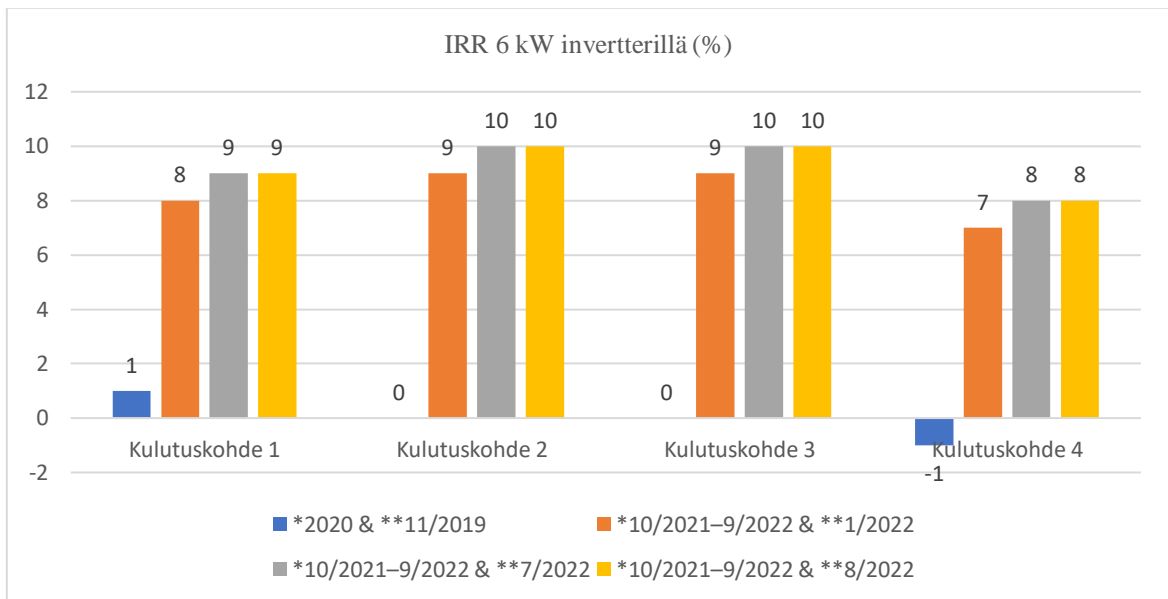
Kulutuskohte	1	2	3	4
Olosuhdeluokitus	Helppo			
Teho (kWp)	5			
Asennustapa	Katto			
Hinta (€/kWp) (paneelit ja asennus)	1000			
Invertterin investointikustannus (snt/W) (Väisänen ym. 2019)	25 (6 kW) / 33 (3 kW)			
Invertterien määrä (kpl)	1			
Invertterin teho (W)	6000 / 3000			
kaapeloinnin hinta (€/km)	18 200			
Kaapeloinnin pituus (m)	46	20	20	72
Investointikustannus 6 kW invertterillä (€)	7337	6864	6864	7810
Investointikustannus 3 kW invertterillä (€)	6827	6354	6354	7300

Taulukosta 8 nähdään erillisen linjan pituuden ja invertterien tehojen vaikutus tonttien omistajien investointikustannusten suuruuksiin. Taulukossa 9 on esitetty kulutuskohteiden mahdolliset rahalliset tuotot eri sähkön hinnoilla ja eri invertteri valinnoilla.

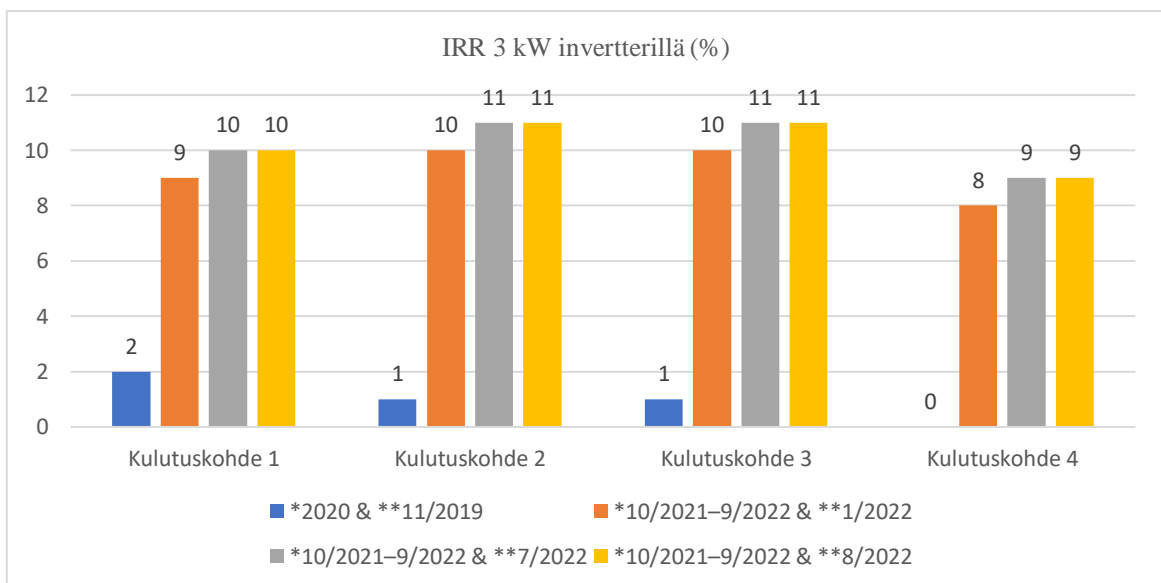
Taulukko 9. Taulukossa esitetty käyttöpaikka kohtaiset tuotot 6 kW tai 3 kW inverttereillä *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).

Kulutuskohde	1	2	3	4
Voimalan koko (kW)	5			
Invertterit (kpl x kW)	1 x 6 / 3			
Käyttöikä (a)	30			
Lainan takaisinmaksuaika (a)	10			
Lainan korko (%) (Nevalainen, M., 2022)	7			
Tuotto vuoden *2020 ja **11/2019 6 kW / 3 kW invertterillä (€)	437 / 432	364 / 359	368 / 363	369 / 364
Tuotto *10/2021–9/2022 ja **1/2022 6 kW / 3 kW invertterillä (€)	876 / 858	865 / 847	868 / 851	868 / 850
Tuotto *10/2021–9/2022 ja **7/2022 6 kW / 3 kW invertterillä (€)	933 / 915	909 / 890	913 / 895	912 / 894
Tuotto *10/2021–9/2022 ja **8/2022 6 kW / 3 kW invertterillä (€)	955 / 936	926 / 907	930 / 913	929 / 911

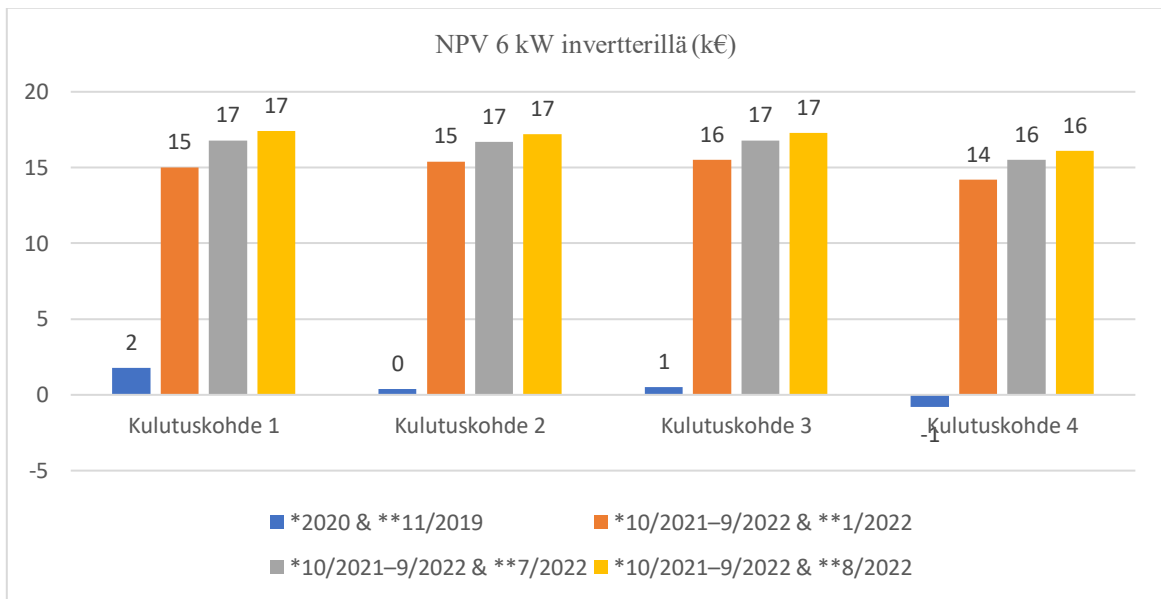
Kuvissa 11–14 on esitetty Asuntomessuille suunnitellun kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön esimerkkitoteutuksen käyttöpaikka kohtaisia kannattavuuslaskujen tuloksia. Investoinnin taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin sisäisen korkokannan (IRR) ja netto nykyarvon (NPV) kannalta. Laskut suoritettiin samalla tavalla kuin luvussa 5



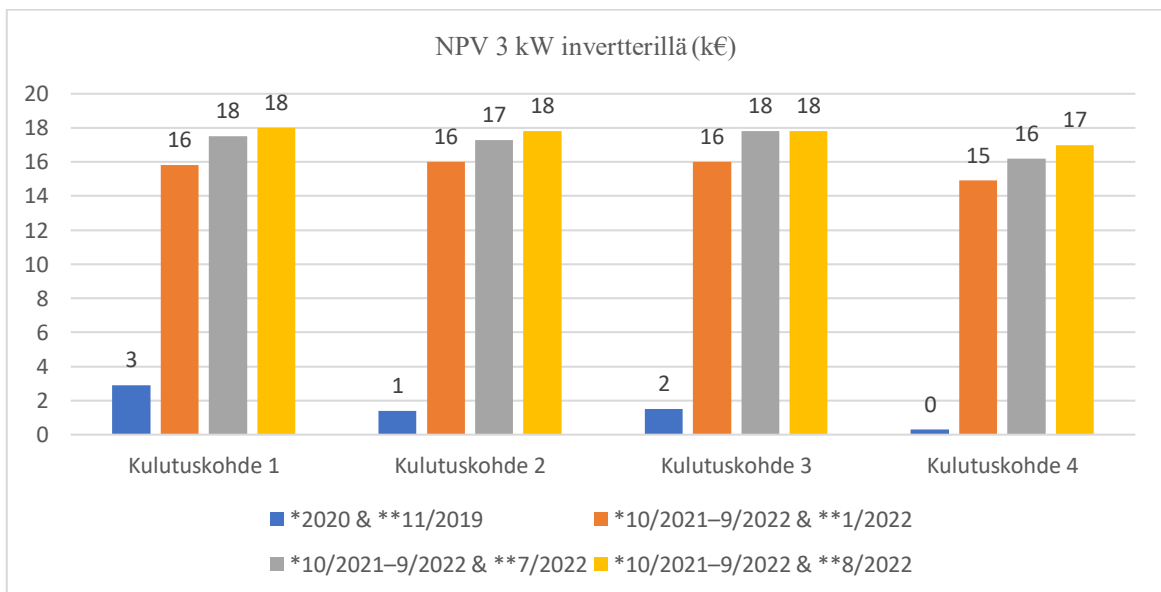
*Kuva 11. Kuvassa esitetty sisäiset korkokannat (IRR) kulutuskohteille eri ajankohtien sähkön hinnoilla. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).*



*Kuva 12. Kuvassa esitetty sisäiset korkokannat (IRR) kulutuskohteille eri ajankohtien sähkön hinnoilla. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).*



Kuva 13. Kuvassa esitetty nettonykyarvot (NPV) kulutuskohteille eri ajankohtien sähkön hinnoilla Tuotantolaitoksen käyttöään lopussa. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).



Kuva 14. Kuvassa esitetty nettonykyarvot (NPV) kulutuskohteille eri ajankohtien sähkön hinnoilla Tuotantolaitoksen käyttöään lopussa. *Sähkön pörssihinnan tarkasteluajankohta (ylituotannon myyntihinta) ja **Kiinteän sähkönostosopimuksen tarkasteluajankohta (omakäytetystä tuotannosta säästetty ostosähkönhinta).

Kuvista 11–14 nähdään, että 3 kW invertteri on taloudellisesti kannattavampi valinta. Invertterin tehon kasvattaminen nostaa investoinnin hintaa, mikä vaikuttaa koron absoluuttiseen suuruuteen. Tästä johtuen, vaikka 3 kW invertteri leikkaa tuotantoa verrattuna

6 kW invertteriin, on investoinnin suuruudella suurempi vaikutus investoinnin kannattavuuteen.

Tuloksista voidaan nähdä myös erillisen linjan pituuden vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Kulutuskohteilla 2 ja 3 erillisen linjan pituudet olivat lyhyimmät ja kulutuskohteella 4 erillinen linja oli pisin. Kuten luvussa 5.3.4 esitetyissä tuloksissa tässä tarkastelussa ei olla otettu huomioon kotitalousvähennystä, mikä nostaisi investointien kannattavuutta. Myös laskuissa käytetty 7 % korko voi olla tapauskohtaisesti keskimääräistä korkeampi. Pienemmällä korkoprosentilla saadaan parannettua investoinnin taloudellista kannattavuutta.

9 Johtopäätökset

Nykyinen lainsäädäntö käsittelee kiinteistörajat ylittäviä energiayhteisöjä todella puutteellisesti. Ainoastaan erillisestä linjasta on määritelmä nykyisessä sähkömarkkina- laissa. Tämänhetkinen lainsäädäntö tunnistaa ainoastaan kiinteistöjen sisäiset- ja kiinteistöryhmät energiayhteisöiksi, mitkä luokitellaan oikeushenkilöiksi. Kiinteistörajat ylittävää energiayhteisöä ei voida luokitella oikeushenkilöksi, koska se koostuu useammasta tontin omistajasta, joilla on omat liittymät sähköverkkoon. Nykyinen lainsäädäntö sallii kuitenkin erillisen linjan rakentamisen kiinteistörajajen ylitse ilman paikallisen jakeluverkkoyhtiön lupaa tai ilmoitusta linjan sijainnista. Tonttien omistajien oikeusturvan vuoksi jokaisen kannattaa tehdä sopimus vastuiden jaosta ja korvausvelvollisuuksista tontin omistajan kanssa, mihin tuotantolaitos sijoitetaan.

Kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustaminen on kuitenkin tänä päivänä mahdollista, vaikka sitä ei jakamistaloutta toteuttavaksi energiayhteisöksi luokitella. Luvussa 8 esitetyn case-mallitoteutuksen tavalla yksittäiset tonttien omistajat voivat hankkia yhteistilauksella tuotantolaitoksen erilliselle tontille, missä jokaisella on oma tuotantolaitoksensa. Vaikkei tuotantolaitoksia tai erillisiä linjoja saa nyky- lainsäädännön perusteella yhdistää, on tällainen ratkaisu taloudellisesti kannattavampi ratkaisu verrattuna yksittäistilauksella toteutettavaan tuotantolaitokseen luvun 5.3.4 mukaisesti. Yhteistilauksella saadaan laskettua tuotantolaitoksen yksikkökustannuksia, sekä tätä kautta voidaan sijoittaa suurempaan tuotantolaitokseen. Tällainen ratkaisu mahdollistaa myös aurinkoenergian tuotannon tonteilla, missä se ei muuten olisi mahdollista toteuttaa. Kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön rakennus erityisesti uudisrakennusalueelle on kannattavaa, koska tällöin erillisen linjan rakentaminen on halvempaa, kuin jälke- päin asennettuna. Ympäristöolosuhdeluokituksella on suuri vaikutus erillisen linjan rakennuskustannuksiin, kun uudisrakennusalueella ei ole vielä päällysteitä, eikä paljoa rakennuksia, on ympäristöolosuhdeluokitus todennäköisesti helppo.

Tämänhetkisessä lainsäädännössä on paljon kehitettävää, jotta kiinteistörajat ylittävät energiayhteisöistä saadaan hyödynnettyä mahdollinen potentiaali hajautetun uusiutuvan energian tuotannossa. Nykyinen lainsäädäntö rajoittaa useita kiinteistörajat ylittäviin energiayhteisöiden kannattavuutta kehittäviä ratkaisuja. Esimerkiksi jos tuotantolaitokset

voisi yhdistää toisiinsa, tarjoaisi se mahdollisuuden hyvityslaskennan käytölle ja dynaamiselle tuotannon jakamiselle yhteisön jäsenten kesken. Tällöin kaikkien tuotantolaitosten ei tarvitsisi olla suuntaukseltaan identtisiä, kun tuotannon jako voitaisiin toteuttaa esimerkiksi yhden ison älykkään invertterin kautta yhteisön haluamalla tavalla. Tämä mahdollistaisi säästöjä esimerkiksi kaapeloinnin ja invertterin investointikustannuksissa. Dynaamisella tuotannon jakamisella voitaisiin myös parantaa yhteisön energiaomavaraisuusastetta ja omakäyttöastetta.

10 Yhteenveto

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää, miten nykyisenlainsäädännön puitteissa kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustaminen on mahdollista. Kiinteistörajat ylittävistä on tarkoitus tehdä uusi energiaratkaisu Keravan Energian asiakkaille. Työ perustuu vuoden 2024 Asuntomessuille suunniteltuun kiinteistörajat ylittävään energiayhteisöön.

Työssä esitettiin energiayhteisöjen määritelmät ja niiden hyötyjä uutena energiaratkaisuna eri toimijoiden näkökulmista. Energiayhteisöjä käsittelevä lainsäädäntö esitettiin EU:n määritelmän ja kansallisen lainsäädännön perustalta ja näistä koottiin mahdollisia haasteita ja ongelmia, joita työssä lähdettiin selvittämään. Haasteisiin ja ongelmiin haettiin selvitystä haastatteleamalla Energiavirastoa koottujen ongelmien pohjalta.

Ongelmia ja haasteita aiheesta nousi esiin varsinkin nykyisen lainsäädännön puutteellisuudesta liittyen kiinteistörajat ylittäviin energiayhteisöihin. Nykyinen lainsäädäntö ei tunnista kiinteistörajat ylittäviä energiayhteisöjä energiayhteisöiksi, koska niissä ei voida muodostaa yhteisöä, mikä luokiteltaisiin oikeushenkilöksi. Tästä johtuen nykyisen lainsäädännön puitteissa kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön voi toteuttaa ainoastaan siten, että jokainen tontin omistaja toimii itse oikeushenkilönä ja tuotantolaitokset on fyysisesti erotettava toisistaan.

Teknillisiä ratkaisuja kiinteistörajat ylittävälle energiayhteisöille esitettiin erillisen linjan, aurinkovoimalan ja invertterin näkökulmista, mitkä ovat nykylainsäädännön mukaiset ja kasvattavat energiayhteisön kannattavuutta. Taloudellista tarkastelua työssä tehtiin erillisten linjojen osalta vertailemalla kaapeloinnin hintaa eri ympäristöolosuhteissa. Aurinkovoimalan kannattavuudesta esitettiin investoinnin kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Koko energiayhteisön taloudellista kannattavuutta tutkittiin taloudellisten mittareiden, kuten korottoman takaisinmaksuajan, elinkaaren tuotantokustannusten, netto nykyarvon ja sisäisen korkokannan avulla. Laskuissa käytettiin apuna Keravan aurinkovoimalan tuotantodataa, neljän uuden omakotitalon kulutusdataa, kahden ajankohdan tunnittaista sähköpörssihintadataa ja neljän eri ajankohdan kiinteää sähkönostosopimushintaa. Näiden avulla saatiin selville erilaisten kiinteistörajat ylittävien

energiayhteisö ratkaisujen taloudellisesta kannattavuudesta ja miten sähkön pörssihinnan- ja kiinteiden sähkönostohintojen muutos vaikuttaa laskettuihin taloudellisiin mittareihin. Mitä korkeammat sähkön pörssi- ja kiinteät ostohinnat ovat, sitä kannattavampi tuotantolaitos on. Case-malleista energiayhteisö mallit olivat kaikki kannattavampia verrattuna yksittäiseen tuotantolaitokseen. Energiayhteisö-malleista kannattavin oli 20 kWp:n yhteistilattu voimala, missä jokaisella tontinomistajalla 5 kWp:n voimala ja alimitoitettu 3 kW:n invertteri. Tuotantolaitoksen kapasiteetin kaksinkertaistamisella 5 kWp:n voimaloista 10 kWp:n voimaloihin tonttien omistajat voivat kasvattaa energiantuotannon omavaraisuusastettaan noin 3–4 prosenttiyksikköä.

Lopuksi työssä esitettiin malliratkaisu kiinteistörajat ylittävän energiayhteisön perustamisesta nykyisen lainsäädännön perusteella. Malliratkaisussa esitettiin asioita, mitkä energiayhteisön sopimuksissa olisi hyvä ottaa huomioon. Malliratkaisun perusteella luotiin pohja Asuntomessuille suunnitellulle kiinteistörajat ylittävälle energiayhteisölle.

Lähteet

- Ahola J (2019). *National Survey Report of PV Power Applications in Finland 2018*. IEA PVPS. https://www.researchgate.net/profile/Jero-Ahola/publication/322752523_National_Survey_Report_of_PV_Power_Applications_in_FINLAND_2016/links/5a6db315a6fdcc317b184d9e/National-Survey-Report-of-PV-Power-Applications-in-FINLAND-2016.pdf
- Auvinen K, Honkapuro S, Ruggiero S, Juntunen J. (2020). *Aurinkosähköä Taloyhtiöiden Asukkaille - Mittaushaasteista Kohti Digitaalisia Energiayhteisöpalveluja*. Aalto-yliopiston julkaisusarja KAUPPA + TALOUS; 3/2020. Aalto University; Aalto-yliopisto. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8988-1>
- Belonogova N, Tikka V, Honkapuro S, Lassila J, Haakana J, Lana A, et al. (2018). *Final Report: Multi-Objective Role of Battery Energy Storages in an Energy System*. LUT. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/149396/Multi-objective%20role%20of%20battery%20energy%20storages%20in%20an%20energy%20system.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Direktiivi. 2018/2001/EU. *Renewable Energy Directive (EU)*. Saatavilla: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en#directive-20182001eu
- Direktiivi. 2019/944/EU. *EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI (EU) 2019/944, Annettu 5 Päivänä Kesäkuuta 2019, Sähkön Sisämarkkinoita Koskevistä Yhteisistä Säännöistä Ja Direktiivin 2012/27/EU Muuttamisesta (Uudelleenlaadittu)*. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>
- Elenia and VTT, (2021). *Energiayhteisö-Käsikirja*. Saatavilla: <https://www.elenia.fi/files/7de35936c413685a502e8cfe531bdc1e42653201/elenia-energiayhteisokasikirja.pdf>
- Energiavirasto. (2022a). *Tietoa Meistä*. Viitattu [3.10.2022]. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/energiavirasto>
- Energiavirasto. (2022b). *Haastattelu. Henkilökohtainen tiedonanto. Julkaisematon*.
- Energiavirasto. (2022c). *Sähkön Hintatilastot*. Viitattu [03.10.2022]. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>
- Energiavirasto. (2021). *Valvontamenetelmät Neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 Ja Viiden-Nellä 1.1.2020 – 31.12.2023 Valvontajaksolla*. Saatavilla: https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6njakelu_p%C3%A4ivitetty_22.pdf/82887397-969e-431b-36c9-

[412d566f19f7/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6njakelu_p%C3%A4ivitetty_22.pdf?t=1647522665452](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12857808/verkkokomponenttien+m%C3%A4ritykset_fi.pdf/db7880ae-1f8e-66e0-5784-9c3e4bfd319/verkkokomponenttien+m%C3%A4ritykset_fi.pdf?t=1647522665452)

Energiavirasto. (2019). *Sähkö- Ja Maakaasuverkon Verkkokomponenttien Määrittelyt*. Viitattu [04.07.2022]. Saatavilla:

https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12857808/verkkokomponenttien+m%C3%A4ritykset_fi.pdf/db7880ae-1f8e-66e0-5784-9c3e4bfd319/verkkokomponenttien+m%C3%A4ritykset_fi.pdf?t=1553604589000

Fingrid. (2022). *Datahub Tuo Tiedot Sähkökäyttöpaikoista Yhteen Järjestelmään*. Viitattu [07.06.2022]. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/datahub/>

Harsia P, Hietalahti L, Kallioharju K, Kortetmäki A, Uusitalo S, Järventausta P. (2021). *Paikallisen Energiayhteisön Sähkötekniinen Toteutus*. Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu. Prosumer Centric Energy Communities – towards Energy Ecosystem (ProCemPlus) – hanke 2021 Trepo.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/135145/978-952-03-2154-3.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

HE. 265/2020. *Hallituksen Esitys Eduskunnalle Laeiksi Sähkömarkkinalain Ja Sähkö- Ja Maakaasumarkkinoiden Valvonnasta Annetun Lain 14 §:N Muuttamisesta*. Saatavilla:

https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/EduskunnanVastaus/Documents/EV_109+2021.pdf

L. 588/2013. *Sähkömarkkinalaki*.

Laine T. (2022). *Sähkömarkkinalain Muutoksien Luomat Mahdollisuudet Energiayhteisöille : Case Kotkan Kantasatama*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT: Lappeenranta.

Luthander R, Widén J, Nilsson D ja Palm J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy* 142: 80–94

Manninen J. (2019). *Energiayhteisöiden Potentiaali Ja Esteet Suomessa*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT: Lappeenranta.

Meriläinen A, Puranen P, Kosonen A ja Ahola J. (2022). Optimization of rooftop photovoltaic installations to maximize revenue in Finland based on customer class load profiles and simulated generation. *Solar Energy* 240: 422–434

Nevalainen M. (2022). *Suuren Kokoluokan Aurinkovoimalan Suunnittelu Ja Kustannusten Laskenta*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT: Lappeenranta.

Nevalainen T. (2019). *Energiayhteisöt Osana Energiajärjestelmää : Case Keravan Energia*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT: Lappeenranta.

Puranen P, Kosonen A ja Ahola J. (2021). Techno-economic viability of energy storage concepts combined with a residential solar photovoltaic system: A case study from Finland. *Applied Energy* 298: 117–199

TEM. (2022). *Uusiutuva Energia Suomessa*. Viitattu [20.10.2022]. Saatavilla:

<https://tem.fi/uusiutuva-energia>

TEM. (2018). *Joustava Ja Asiakaskeskeinen Sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän Loppuraportti*. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7>

TEM. (2017). *Matkalla Kohti Joustavaa Ja Asiakaskeskeistä Sähköjärjestelmää – Älyverkkotyöryhmän Väliraportti* Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80792/TEMrap_38_2017_verkk_ojulkaisu.pdf

Tilastokeskus. (2022). *Energian Kokonaiskulutus Kasvoi 6 % Vuonna 2021, Mutta Fossiilisen Energian Kulutus Laski*. Viitattu [20.10.2022]. Saatavilla: <https://www.stat.fi/julkaisu/c11p3puxx03j90cum3pwy2k5>

Väisänen J, Kosonen A, Ahola J, Sallinen T ja Hannula T. (2019). Optimal sizing ratio of a solar PV inverter for minimizing the levelized cost of electricity in Finnish irradiation conditions. *Solar Energy* 185: 350–362

Verohallinto. (2022). *Energiaverotus*. Saatavilla: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus3/#2-s%C3%A4hk%C3%B6n-verotus>

VN. 1133/2020. *Valtioneuvoston Asetus 1133/2020 Sähkötoimitusten Selvityksestä Ja Mittauksesta Annetun Valtioneuvoston Asetuksen Muuttamisesta* Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20201133>

VTT (2021). *Prosumer Centric Energy Communities Towards Energy Ecosystem (ProCemPlus)*. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/135693/978-952-03-2238-0.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

