



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Ville Kokkonen

# Kuntien uusiutuvien energioiden tuotantokapasiteettien kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

6.11.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Kokkonen Kuntien uusiutuvien energioiden tuotantokapasiteettien kehitys 33 sivua 6.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	Energiatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tomi Hämäläinen Dosentti Laura Saikku
<p>Kunnat asettavat omia tavoitteitaan kohti hiilineutraaliutta. Suomen ympäristökeskuksen koordinoiman Hinku-verkoston tavoitteena on edistää verkostoon liittyneiden kuntien siirtymistä kohti hiilineutraaliutta, ja määrällisenä tavoitteena on päästöjen vähentyminen - 80% vuodesta 2007 vuoteen 2030 mennessä. Suomen ympäristökeskus tarjoaa asiantuntijatukea verkoston kunnille. Konkreettisina toimina ovat esimerkiksi aurinkopaneelien yhteishankintojen koordinointi sekä kuntakohtaisten päästölaskelmien tekeminen. Päästötömiä energiamuotojen määrän lisääntyminen on yksi indikaattori, jolla voidaan seurata kuntien siirtymistä kohti hiilineutraaliutta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella uusiutuvien energioiden kapasiteettien kehitystä kunnittain ja vertailla eroja Hinku-kuntien ja muiden kuntien välillä. Opinnäytetyö tehtiin Suomen ympäristökeskukselle.</p> <p>Työssä kerättiin tietoa eri energiamuotojen määrien lisääntymisestä koko Suomen alueelta kuntakohtaisesti. Opinnäytetyötä varten kerättiin sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkön ja tuulivoiman kapasiteetteja sekä tietoja maalämpöpumppujen osuudesta uudisrakennusten lämmitysmuotona. Kuntakohtaisia kehityksiä vertaamalla kyettiin tarkastelemaan, onko Hinku-verkostoon liittyneillä kunnilla suurempaa uusiutuvien energioiden ja päästöttömien energiamuotojen kasvua kuin kunnilla, jotka eivät ole SYKEN vaikutuksen alaisena Hinku-verkoston kautta.</p> <p>Opinnäytetyössä saatiin kerättyä indikaattoridataa kattavasti. Vertailuja pystyttiin tekemään kuntien välillä, mutta absoluuttista numeerista ennustetta välittäjäorganisaation toimien vaikutuksille ei tässä työssä tehty.</p> <p>Työn tulokset osoittivat kuitenkin, että kuntien välillä on selkeitäkin eroja uusiutuvien energioiden kapasiteettien kehityksessä. Hinku-verkostoon kuuluvissa kunnissa uusiutuvien energioiden kapasiteettien kehitys on muutamaa vuotta verkostoon kuulumattomia kuntia edellä. Osassa Hinku-kunnista kehitys on tätäkin voimakkaampaa. Kerätyllä tiedolla voidaan todentaa SYKEN toimilla olevan vaikutusta hiilineutraaliuteen pyrittäessä.</p>	
Avainsanat	Aurinkoenergia, tuulivoima, maalämpöpumppu, uusiutuvat energiat, kunnat, hiilineutraalius, Suomen ympäristökeskus

Author Title	Ville Kokkonen Development of Renewable Energy Capacities in Municipalities
Number of Pages Date	33 pages 6 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental engineering
Professional Major	Energy engineering
Instructors	Laura Saikku, Docent Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer
<p>This thesis was made at the Finnish Environment Institute. The aim of the study was to collect data about renewable energies on municipality level and compare the differences of renewable energies growth between municipalities. The Hinku-network (Carbon neutral municipalities) coordinated by the Finnish Environment Institute aims to help municipalities that have joined the network to move towards carbon neutrality. Actual activities done by the network are, for example, joint purchases of solar panels or consulting on good actions towards carbon neutrality. The Finnish Environment Institute also provides emission calculations to the municipalities. The growth of emission-free energies can be used as an indicator to follow the transformation of these municipalities towards carbon neutrality.</p> <p>The main objective of this study was to find data of the growth of renewable and emission free energies. Data was collected on different energy forms from the whole area of Finland on municipality level. Data collected for this study was the capacity from solar panels connected to the grid and wind power and also the share of ground heat pumps as the main heat source of new buildings.</p> <p>On the basis of this data, it was possible to get an understanding of the growth of renewable energies in every municipality of Finland. By comparing the growths of these renewable energies between municipalities, the possible effects of the work done by the Hinku-network in these municipalities could be found.</p> <p>Data was collected extensively. A comparison between different municipalities was made, but a specific numerical effect of the intermediary organization was not found.</p> <p>The results of thesis showed, that there are clear differences in the growth of renewable energy capacity between municipalities. In municipalities that are part of the Hinku-network, the growth seems to be a couple of years ahead of other municipalities. In some Hinku-municipalities the progress is even stronger than this.</p>	
Keywords	solar power, wind energy, heat pumps, renewable energies, municipalities, carbon neutrality, Finnish Environment Institute

## Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyöhön sisältyvät energiamuodot	2
2.1	Tuulivoima	2
2.2	Aurinkoenergia	4
2.3	Lämpöenergia sekä lämpöpumput	6
3	Opinnäytetyöhön kerätyt indikaattoridatat	8
3.1	Tuulivoiman kapasiteetti Suomessa	8
3.2	Sähköverkkoon liitetty aurinkoenergia Suomessa	9
3.3	Maalämpöpumppujen osuus uudiskohteiden lämmitysmuotona	10
3.4	Muu data	11
4	Datan analysointi ja laskelmat	11
4.1	Kuntien jako	11
4.2	Tuulivoima	12
4.3	Aurinkoenergia	14
4.4	Maalämpöpumput	17
5	Vertailut kuntien välillä ja tulokset	20
5.1	Tuulivoiman kapasiteettien vertailu	20
5.2	Aurinkosähkön kapasiteettien vertailu	22
5.3	Maalämpöpumppujen määrien vertailu	24
6	Tulosten tarkastelu	25
6.1	Tuulivoiman kapasiteetin kehitys	25
6.2	Aurinkosähkön kapasiteetin kehitys	27
6.3	Maalämpöpumppujen osuuden kehitys	28
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	31

## Lyhenteet

Hinku	Hiilineutraalit kunnat
kVA	Kilovolttiampeeri, tehon yksikkö
kW/kWp	Kilowatti, tehon yksikkö/huipputeho
RHR	Rakennus- ja huoneistorekisteri
STY	Suomen Tuulivoimayhdistys ry
SULPU	Suomen lämpöpumppuyhdistys
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TWh	Terawattitunti, tuotetun energiamäärän yksikkö

## 1 Johdanto

Tässä työssä selvitetään uusiutuvien energiantuotantomuotojen määrien kehitystä kuntatasolla. Työ on osa laajempaa kokonaisuutta, jossa seurataan kuntien ja alueiden ilmastotyön kehittymistä usean eri indikaattorin avulla. Tämän tulokset heijastelevat myös Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) toimien vaikuttavuutta kuntien vähähiilisyysteen tähtäävissä hankkeissa.

Hiilineutraaliuteen pyritään ilmastomuutoksen voimistumisen hidastamiseksi. Hiilineutraalius konseptina on erittäin laaja ja käsittää muitakin aspekteja fossiilisista polttoaineista luopumisen tavoittelun lisäksi. Vähähiilisyysteen ja hiilineutraaliuteen tähtääviä toimia on monia ja niiden vaikutukset ovat monijakoisia. Vähäpäästöisten energialähteiden kapasiteetit ovat kuitenkin tärkeitä seurattavia indikaattoreita kokonaisvaltaiseen hiilineutraaliuteen tähdätessä. (Seppälä ym. 2019: 14.)

Tuuli- ja aurinkoenergian merkitys hiilineutraaliuteen pyrittäessä ovat suuria (Näin energia tuotetaan fossiilivapaassa Suomessa 2018). Kyseisillä energiamuodoilla pystytään tuottamaan uusiutuvaa energiaa päästöttömästi ilman tuotantovaiheen päästöjä ja ympäristöhaittoja, sekä pienemmillä tuotannonjälkeisillä ympäristöhaitoilla ja päästöillä esimerkiksi lämpövoimaloihin verrattuna. Energiasektorin osuus Suomen kokonaispäästöistä on merkittävä ja täten sen on muututtava hiilineutraaliksi, mikä voi käytännössä onnistua vain useiden eri hiilineutraaleiden energiantuotantomuotojen käyttämisellä samassa järjestelmässä. Tuulivoiman potentiaali Suomessa sekä maailmanlaajuisesti on valtava. (Suomen kasvihuonekaasujen päästöt ovat laskussa 2019; Bruckner ym. 2014: 539.)

Kuntien rooli esimerkiksi uusiutuvien energioiden kapasiteettien kehityksessä ja siten ilmastomuutoksen hillinnässä on olennainen. Kunta pystyy vaikuttamaan suuriinkin projekteihin kaavoituksen kautta sekä lupakäytännöillä. Yksittäisten asukkaiden toimintaan pystytään vaikuttamaan esimerkiksi informoinnilla sekä ohjauksella. Kunta voi myös koordinoida aurinkopaneeleiden yhteishankintoja, tai yhteishankinnat voidaan toteuttaa usean kunnan välillä välittäjäorganisaation avulla. (Karhinen 2019; Seppälä ym. 2019: 20.)

SYKE koordinoi Hiilineutraalit kunnat -verkostoa (Hinku-verkosto). Verkostossa mukana olevat kunnat pyrkivät vähentämään päästöjään 80 % vuoteen 2030 mennessä

vuoden 2007 tasoon verrattuna. Verkostoon sitoudutaan kunnanvaltuuston päätöksellä. SYKE tuo kunnat yhteen ja välittää tietoja hyvistä ilmastomuutoksen hillinnän toimenpiteistä. Lisäksi SYKE tuottaa kunnille päästölaskelmia ja muuta asiantuntijatukea. Hinku-verkosto nähdään kuntien keskuudessa tarpeellisena, sillä verkostoon liittyy jatkuvasti uusia kuntia (esimerkiksi syyskuun 2019 lopussa jo 62 kuntaa). (Saikku 2019.)

Hinku-verkoston vaikuttavuutta kuntien ilmastomuutoksen hillinnän toimiin ei ole arvioitu kattavasti kvantitatiivisin menetelmin. Kvantitatiivista tietoa tarvitaan siitä kehityspolusta, jossa kunta ei olisikaan osallistunut SYKEN koordinoimiin hankkeisiin. Tähän opinnäytetyöhön kerättävällä aineistolla pyrittiin kuvailemaan Hinku-verkoston vaikutusta uusiutuvien energiamuotojen kapasiteettien kehitykseen. (Saikku 2019.)

Työn tavoitteena oli selvittää, onko SYKEN koordinoimalla Hinku-verkostolla vaikutusta kuntien uusiutuvien energiantuotantokapasiteettien kehitykseen. Hinku-verkostossa mukana olevissa kunnissa oletettavasti uusiutuvien energiantuotantomuotojen kapasiteetti kasvaa nopeammin kuin sellaisissa kunnissa, joissa SYKE ei ole vaikuttajana.

## 2 Opinnäytetyöhön sisältyvät energiamuodot

Uusiutuvilla energialähteillä ja energiamuodoilla tarkoitetaan yleisesti energiantuotantoa, joiden energian lähteet eivät ole maapallolla rajallisia tai ehtyviä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tuulivoiman ja sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkön kapasiteettien sekä lämpöpumppujen lukumäärän kehitykseen, sekä näiden muuttujien kehitysten vertailuun kuntien välillä. Tässä luvussa käydään läpi perustiedot edellä mainituista energiamuodoista.

### 2.1 Tuulivoima

Tuulivoima on ilman liike-energiasta erilaisin tuuliturbiinein tuotettua sähköenergiaa. Kaiken tuulivoiman peruseriaatteena on ilman liike-energian muuttaminen jonkin mekaanisen osan liike-energiaksi. Tällainen mekaaninen osa tuulivoimassa on pyörivät siivet. Pyörivä mekanismi pystytään yhdistämään generaattoriin, ja generaattorilla pystytään tuottamaan sähköenergiaa. Suurin osa käytössä olevista tuulivoimaloista on aksiaalisia tuuliturbiineita. Aksiaalisessa tuuliturbiinissa ilma virtaa pyörimisakselin suuntaan ja pyörivä liike saadaan aikaiseksi siivillä. Muitakin tuulivoimalamalleja on

olemassa, mutta niiden käyttö energiantuotannossa sähköverkkoon on lähes olematonta. Tällaisten tuulivoimalamallien käytöstä ei ole tietoa Suomessa. (Tietoa tuulivoimasta.)

Kuvassa 1 on yleisen mallisia aksiaalisia tuuliturbiineja Porissa kuvattuna vuonna 2005. Kaikki Suomen valtakunnalliseen sähköverkkoon liitetyt tuulivoimalat ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia kuin kuvissa olevat voimalat.



Kuva 1. Tuulivoimaloita Porissa. Tero Pajukallio / Ympäristöhallinnon kuvapankki

Tuulivoimasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat pääosin tuulivoimalan vaatimien materiaalien valmistuksesta sekä tuulivoimalan rakentamisesta. Tuulivoimalan toiminnasta syntyvät päästöt rajoittuvat voimalan vaatiman huollon ja kunnossapidon aiheuttamiin välillisiin päästöihin. Tuulivoima on päästöjen näkökulmasta yksi ympäristöystävällisimmistä energiantuotantomuodoista. (Bruckner ym. 2014: 539.)

Tuulivoiman negatiiviset ympäristövaikutukset ovat pääasiassa voimaloista aiheutuvat maisema- ja meluhaitat. Muita tuulivoiman tuotannon piirteitä on säätösähkön tarve energiajärjestelmässä. Tuulivoiman tuottaessa energiaa vain tuulisella säällä tuulettomat päivät vaativat energiajärjestelmään muita energiantuotantomuotoja, jotta sähkön tarve saadaan katettua aina. Tuulivoiman huipunkäyttöaika on Suomessa noin 30–45 %. Tuulivoimala vaatii myös säännöllistä huoltoa ja kunnossapitoa. (Tietoa tuulivoimasta; Tuulivoiman vaikutukset.)



Suomessa tuulivoimaloiden koko Tuulivoimayhdistyksen listauksessa vaihtelee 75 kilowatista 5 megawattiin. Alle 75 kilowatin tuulivoimaloita Suomessa on pääasiassa yksityisillä tahoilla tuottamassa sähköä näiden omiin tarpeisiin, eikä näitä ole yleensä liitetty julkiseen sähköverkkoon. Suurin osa Suomessa sijaitsevista tuulivoimaloista on kokoluokkaa 3,0–4,2 megawattia. (Tuulivoiman tuotanto Suomessa 2019.)

Tuulivoiman osuus Suomen vuotuisesta sähköntuotannosta oli vuonna 2018 noin 9 %, eli noin 6 TWh. Energia- ja Ilmastostrategian tavoitteena on lisätä vuosina 2021—2024 vuotuista tuulivoimalla tuotettua energiaa noin 2 TWh tuulivoiman tuotantotukea jatkamalla. (Sähköntuotanto 2019.)

## 2.2 Aurinkoenergia

Lähes kaikki maapallolla oleva energia on peräisin auringosta. Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää suoraan lämmön ja sähkön tuotantoon. Aurinkolämpöä voidaan tuottaa aurinkokeräimillä ja sähköä aurinkopaneeleilla. Aurinkokeräimillä tuotetaan lämpöä auringon säteilystä. Auringon säteily lämmittää keräimiä, ja keräimissä kiertävällä nesteellä lämpö saadaan siirrettyä esimerkiksi rakennuksen lämmitykseen tai käyttöveden lämmitykseen. Aurinkopaneeleilla tuotetaan sähköä valosähköisellä ilmiöllä. Auringon säteilyn sisältämät fotonit saavat aikaan sähkövirran tietyissä materiaaleissa, ja paneeleissa tämä pystytään hyödyntämään sähköenergian tuotantona. (Auringosta sähköä 2017.)

Aurinkoenergiassa päästöt syntyvät pääosin tuotantolaitteiden vaatimien materiaalien tuotannosta sekä paneelien ja voimaloiden kasaamisesta sekä rakentamisesta (Bruckner ym. 2014: 539). Aurinkopaneelit ovat myös niin tuore energiantuotantomuoto tässä mittakaavassa, että kokemuspohjaista tietoa aurinkopaneelien sisältämien materiaalien kierrättämisestä on hyvin vähän. Tässä opinnäytetyössä ei paneuduta syvällisemmin eri energiantuotantomuotojen elinkaarenaikaisiin ympäristövaikutuksiin, vaikka se on olennainen osa laajempaa kokonaisuutta.

Aurinkolämmön sekä aurinkosähkön tuotannossa ei synny päästöjä. Paneelien ja keräimien asennussijainnin valitsemisessa hyödynnetään usein hukkatilaa, kuten rakennusten kattoja tai seiniä. Aurinkosähkössä on samoja haasteita kuin tuulivoimassa. Aurinkopaneeli tuottaa sähköä vain valoisana aikana eli Suomessa pääasiassa kesäpäivinä. Aurinkosähkön merkitystä Suomessa ei tule kuitenkaan aliarvioida, sillä vuo-

den säteilykertymä on Etelä-Suomessa lähes samalla tasolla kuin esimerkiksi Pohjois-Saksassa (PVGIS 2017). Sähköjärjestelmä ei siis voi tukeutua vain aurinko- ja tuuli-voimaan niiden tuotantotasoihin liittyvien epävarmuuksien vuoksi. (Bruckner ym. 2014: 539.)

Kuvassa 2 on esimerkki aurinkopaneelien sekä aurinkokeräimien käytöstä samassa kohteessa. Järjestelmä on nollaenergiakerrostalon katolla Kuopiossa. Aurinkokeräimillä tuotetaan lämpöä ja paneeleilla sähköä kiinteistön tarpeisiin.



Kuva 2. Opiskelija-asuntosäätiö Kuopasin Kuopiossa olevan nollaenergiakerrostalo Puusepän aurinkoenergiajärjestelmää. Etualalla aurinkopaneeleita ja taka-alalla aurinkokeräimiä. Janne Ulvinen / Ympäristöhallinnon kuvapankki. 2011.

Yksittäisen aurinkopaneelin nimellisteho on yleensä enimmillään muutamia satoja watteja. Näitä paneeleita asennetaan useita samaan järjestelmään, jolloin paneelien yhteenlasketut tehot järjestelmässä voivat olla useita satoja kilowatteja. Maailmalta löytyy jopa usean sadan megawatin aurinkovoimaloita. Suomessa suurin osa aurinkopaneeleista on muutaman kilowatin kokoluokkaa rakennusten yhteydessä. Suuria aurinkopaneelien kenttiä löytyy Suomesta mm. Heleniltä, Sallilalta, K-ryhmältä sekä Solarigolta. Edellä mainittujen yritysten aurinkopaneelien koot ovat useasta sadasta kilowattista muutama megawattiin. (Lukkari 2018.)

Aurinkosähkön tuotannon osuus Suomen vuotuisesta sähköntuotannosta vuonna 2018 oli vain 0,2 %. Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston tekemässä tutkimuksessa aurinkoenergian osuus tulisi nousta 10 prosenttiin vuoteen 2050 mennessä, jotta päästöttömään energiajärjestelmään päästäisiin (Aurinkoenergia ja aurinkosähkö 2019).

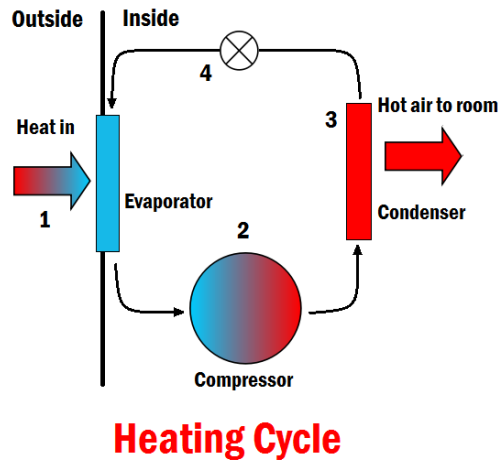
### 2.3 Lämpöenergia sekä lämpöpumput

Lämpöenergiaa on kaikkialla, esimerkiksi ulkoilmassa, jonka lämpötila on ihmiselle kylmältä tuntuva  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tätä energiaa pystytään hyödyntämään lämmityksessä lämpöpumppujen avulla.

Lämpöpumpuilla voidaan kerätä lämpöenergiaa ulkoilmasta, vesistöistä tai maaperästä sähkön avulla. Lämpöpumput ovat yleisesti käytössä myös jäähdytysjärjestelmissä. Esimerkiksi jääkaapissa tai ilmastoinnissa jäähdyttävän vaikutuksen tekee lämpöpumppusykli, joka on teoriassa sama kuin lämmitysjärjestelmissä. Jääkaapeissa lämmönlähteenä on jääkaapin sisäpuolen ilma ja ruoka-ainekset. Lämpöpumpulla siirretään lämpöä jääkaapin sisältä huoneeseen. Näin jääkaapin sisäpuolen lämpötila laskee huoneen lämpötilaa alemmalle tasolle.

Lämpöpumppujen toiminta perustuu tietyn aineen höyrystymiseen ja tiivistymiseen eri lämpötiloissa ja paineissa. Välittäjäaine sitoo itseensä energiaa höyrystyessään ja vapauttaa energiaa tiivistyessään. Tätä käytetään hyödyntämään välittäjäaineen olotilan muutoksilla. Laitteistossa kompressori on ainut komponentti, joka vaatii ulkopuolista energiaa, ja tämäkin kompressorin vaatima energia saadaan hyödynnettyä lämpönä lauhduttimessa. Laitteistolla siirretty lämpöenergia on moninkertainen verrattuna kompressorin vaatimaan energiaan. Laitteistossa voi myös olla pumppuja, jotka tehostavat välittäjäaineen kiertoa lämmön keruukierrossa sekä lämmön luovutuskiertossa.

Kuvassa 3 on yksinkertaistettu lämpöpumpun kierto lämmityskäytössä. Kaikkien lämpöpumppujen toimintaperiaate on sama, riippumatta onko lämmön lähde ilma, vesi, maaperä tai jokin muu.



Kuva 3. Lämpöpumpun kierto yksinkertaistettuna. 1. kohdassa lämpö kerätään ulkoa höyrystimeen, esimerkiksi maaperään kaivetulla putkistolla. 2. kohdassa kompressori paineistaa höyrystyneen kylmäaineen. 3. kohdassa kylmäaine luovuttaa energian kohteen lämmitykseen lauhduttimessa. 4. kohdassa kylmäaine paisuu venttiilin läpi höyrystimeen. (Hinrichs ym.)

Erilaiset lämpöpumput mielletään tulevaisuuden energiajärjestelmissä merkittäväksi tekijäksi. Lämpöpumpuilla kyetään hyödyntämään hukkalämpöä hyötykäytössä hyvin monipuolisesti ja energiatehokkaasti. Lämpöpumppujen käytössä tulee ottaa huomioon erityisesti sähköjärjestelmän päästöttömyys, kun niitä tarkastellaan ilmastoystävällisen energiajärjestelmän osana.

Lämpöpumpuissa käytettävät kylmäaineet ovat merkittäviksi kasvihuonekaasuiksi laskettavia F-kaasuja. Mikäli pumpuissa käytettävä kylmäaine pääsee vuotamaan ympäristöön, niiden vaikutus ilmaston lämpenemiseen on suurta, kun vaikutukset suhteutetaan näiden kaasujen määrään. (Fluoratut kasvihuonekaasut 2017.)

Lämpöpumppujen koko vaihtelee muutamasta kilowatista megawatteihin. Omakotitaloissa lämpöpumppujen teho vaihtelee muutamasta kilowatista muutamaa kymmeneen kilowattiin. Suuremmissa lämpöpumppujen käyttökohteissa yksittäisen pumpun teho voi olla jopa kymmeniä megawatteja, kuten Helenillä Katri Valan lämpöpumppulaitoksessa (Uusitalo 2018).

### 3 Opinnäytetyöhön kerätyt indikaattoridatat

Tähän opinnäytetyöhön olennaiset tiedot ovat kuntakohtaiset kapasiteettitiedot vuosittain sähköverkkoon liitetystä aurinkosähköstä ja tuulivoimasta sekä maalämpöpumppujen osuus uudiskohteiden lämmitysmuotona. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain energiamuotojen kapasiteetteihin, ei tuotettuihin energiamääriin. Käytännössä tämä tarkoittaa asennettujen aurinkopaneeleiden ja tuulivoimaloiden kuntakohtaisia kumulatiivisia tehoja sekä maalämpöpumppujen lukumäärää, ei niillä tuotetun energian määrää.

Energiamuotojen kapasiteetteja tutkimalla voidaan hieman tarkemmin vertailla halukkuutta uusiutuvan energiantuotannon lisäämiseen. Paikkakuntakohtaiset tuotetut energiamäärät eivät ole energiamuotojen ja paikkakuntien olosuhteiden vuoksi järkeviä vertailukohteita, sillä ihmiset eivät suoraan pysty vaikuttamaan tuotettuihin energiamääriin, kun kyseessä on esimerkiksi tuuli- tai aurinkovoima. Täten asennettu kapasiteetti on selkeämpi vertailtava indikaattori kuin tuotettu energiamäärä.

Muita olennaisia tietoja on esimerkiksi kuntien asukasmäärät sekä kuntien sijainnit. Erikokoisilla kunnilla on erilaiset motiivit sekä mahdollisuudet lisätä uusiutuvien energioiden tuotantoa. Aurinko- ja tuulivoiman tuotannossa olennainen tekijä on myös maantieteellinen sijainti. Etelässä aurinkopaneeleilla tuotetaan vuositasolla suurempi energiamäärä kuin Pohjois-Lapin tuntureilla. Vastaavasti Pohjois-Lapin tuntureilla tai rannikkoalueilla tuulivoimalla on suurempi energiantuotantopotentiaali kuin sisämaassa tasaisilla alueilla. (Tuuliatlas 2011; Auringon säteilyn määrä Suomessa 2018.)

#### 3.1 Tuulivoiman kapasiteetti Suomessa

Suomen Tuulivoimayhdistys ry (STY) on edunvalvontajärjestö tuulivoima-alalle. SYKE saa tuulivoimayhdistykseltä kuntakohtaiset kapasiteettitiedot vuosittain. Opinnäytetyössä käytettiin näitä kapasiteettitietoja (Lounasheimo 2019).

Aineisto sisälsi tiedon kaikkien tuulivoimaloiden sijaintikunnista sekä niiden tehoista. Taulukossa oli listattuna yhteensä 739 tuulivoimalaa, kapasiteeteiltaan 75—5 000 kW. Tuulivoimalat sijaitsevat 73 kunnan alueella, ja kuntakohtaiset kokonaiskapasiteetit ovat väliltä 225—207 600 kW. Koko Suomen tuulivoimakapasiteetti kyseisen taulukon

mukaan vuoden 2018 lopulla oli 2 041 155 kW, eli hieman yli 2 000 MW. Vuoden 2018 aikana Suomeen ei rakennettu yhtään tuulivoimakapasiteettia lisää.

### 3.2 Sähköverkkoon liitetty aurinkoenergia Suomessa

Sähköverkkoon liitettyjen aurinkopaneelien määrästä ei ole keskitetysti tietoa koko Suomen alueelta kuntakohtaisesti. Energiavirastolla on olemassa tiedot verkkoyhtiöittäin, mutta opinnäytetyötä varten tietoja kerättiin kuntakohtaisesti. Dataa kerättiin jakeluverkkoyhtiöiltä kysymällä.

Tässä luvussa käydään läpi jakeluverkkoyhtiöiltä kerättyä dataa sähköverkkoon liitetystä aurinkosähkökapasiteetista. Kaikilta jakeluverkkoyhtiöiltä ei saatu tietoja. Osalla jakeluverkkoyhtiöistä oli tiedoissaan vain niiden toiminta-alueen aurinkosähkön pientuotannon kokonaiskapasiteetti ja paneelien lukumäärä. Saadun datan kokonaiskapasiteetti vuoden 2017 lopulla oli noin 51 100 kWp. Energiaviraston tiedoissa koko Suomen aurinkosähkön kapasiteetti vuoden 2017 lopulla on ollut noin 66 400 kWp. Opinnäytetyötä varten on siis saatu tietoon noin 77 % koko Suomen aurinkosähkökapasiteetista kuntakohtaisesti.

Saaduissa tiedoissa on kapasiteettitietoja 207 kunnan alueelta, mutta kaikkien näiden kuntien alueilta varmoja tietoja on vain vuosilta 2015—2017. Tästä voidaan jo päätellä, kuinka uusi energiantuotantomuoto aurinkopaneelit ovat tässä mittakaavassa Suomessa. Vertailulla pyritään hahmottamaan aurinkosähkön kapasiteetin kehitystä erilaisissa kunnissa. Tässä vaiheessa tarkastelua tehdään kaikkien kuntien alueelta, sillä asukasmäärän mukaan vertailun ulkopuolelle rajattujen kuntien alueen osuus aurinkosähkökapasiteetista on merkittävän suuri, yli 27 % kerätystä datasta.

Jakeluverkkoyhtiöihin oltiin yhteydessä sähköpostitse kesä-, heinä- sekä elokuun 2019 aikana. Yhteydenotot tehtiin joko asiakaspalveluun, tai mikäli oli tiedossa yhtiössä pientuotannosta tietävä henkilöitä, oltiin yhteydessä suoraan heihin. Verkkoyhtiöiltä saatiin dataa vaihtelevalla menestyksellä. Energiavirastolla julkisesti saatavat tiedot tämän opinnäytetyön datankeruuvaiheessa olivat vuoden 2017 lopun tiedot. Jakeluverkkoyhtiöiltä saatiin tiedot pääasiassa vuoden 2018 loppuun saakka, mutta osa yhtiöistä toimitti tiedot jopa kesäkuun 2019 osalta. Suurimmalla osalla yhtiöistä tarkempia tietoja oli alettu kerätä vasta vuoden 2014 tienoilla, ja sitä aikaisemmat sähköverkkoon liitetyt paneelit eivät ole olleet tilastoituna. Muutamalla jakeluverkkoyhtiöllä ei ollut tiedossa

yksittäisten aurinkovoimaloiden kapasiteetteja, mutta aurinkopaneelien lukumäärät ja vuosittaiset kokonaiskapasiteetit olivat tiedossa. Näiden osalta vertailtiin voimaloiden lukumääriä.

Data kerättiin kuntakohtaisesti vuosittaisina asennuskapasiteetteina. Aikaisimmat varmat tiedot sähköverkkoon liitetystä aurinkopaneeleista oli vuodelta 2009 Kotkasta Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n toiminta-alueelta. Lähes koko Suomen alueelta tietoja sähköverkkoon liitetystä aurinkopaneeleista löytyi tarkemmin vuodesta 2014 alkaen.

### 3.3 Maalämpöpumppujen osuus uudiskohteiden lämmitysmuotona

Lämpöpumppujen tarkasteluun käytetty data on otettu rakennus- ja huoneistorekisteristä. Tietokannasta on saatavilla vain uudiskohteiden lämmitysmuodot, ja datassa on mukana lämpöpumpuista vain maalämpöpumput. Vanhojen kohteiden remonttien yhteydessä muutetut lämmitysmuodot eivät päivitty luotettavasti mihinkään rekistereihin, joten opinnäytetyö rajattiin vain uudiskohteiden lämmitysmuotojen tarkasteluun.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU:Ita tiedusteltiin muiden lämpöpumppujen tilastoja, mutta kuntakohtaisia kapasiteetteja tai asennusmääriä ei ole saatavilla. Tiedossa on vain Tilastokeskuksen keräämät tiedot myytyjen lämpöpumppujen kappalemääristä Suomessa. Täten tarkastelu lämpöpumppujen kohdalla rajattiin vain maalämpöpumpuihin ja vielä tarkemmin vain uudiskohteiden lämmitysmuotoihin.

Maalämpöpumppujen kappalemäärien lisäksi RHR:stä kerättiin tieto kaikkien uudiskohteiden lukumäärästä vuosittain, jolloin maalämpöpumppujen prosentuaalinen osuus kaikista lämmitysmuodoista saatiin laskettua. Näin vertailua voidaan tehdä hieman luotettavammin uusiutuvien energialähteiden suosion näkökulmasta.

Tietokannasta ajettiin kaksi Excel-tilukkoa vuosilta 2000—2018. Toisessa taulukossa oli maalämpöpumppujen määrä kunnittain vuosien lopussa ja toisessa taulukossa oli kaikkien kohteiden määrä kunnittain vuosien lopussa. Dataa oli saatavilla maalämpöpumppujen kappalemääristä, ei kapasiteeteista.

### 3.4 Muu data

Maantieteellisen sijainnin, kuntarakenteen sekä tulotasojen erot voivat olla hyvin suuria erilaisten kuntien välillä. Kuntaliitolta löytyy avoimena datana kuntakohtaiset väestömäärät 2018 lopulla (Kuntaliitto 2019). Tämän tiedon avulla kuntia pystytään jaottelemaan väestöllisesti samaan suuruusluokkaan.

Hinku-verkoston kuuluvat kunnat merkattiin myös materiaaleissa ennen vuotta 2018 liittyneiden kuntien osalta. Rajaus vuosien 2017—2018 vaihteeseen tehtiin siksi, että verkoston potentiaalisia vaikutuksia liittymisen jälkeiseltä ajalta olisi mahdollista havaita edes vuoden ajalta.

## 4 Datan analysointi ja laskelmat

### 4.1 Kuntien jako

Työssä tarkasteltiin Hinku-verkoston vaikutuksia kuntien ilmastotyöhön. Tarkasteluun otettiin mukaan Hinku-kunnat, jotka ovat liittyneet verkostoon ennen vuotta 2018, ja tällöin oli mahdollisuus nähdä verkoston vaikutuksia liittymisen jälkeiseltä ajalta. Ennen vuotta 2018 Hinku-verkoston liittyneitä kuntia oli 38. Näiden kuntien koot asukasluvuiltaan oli 2 143—84 403 asukasta. Hinku-kuntien asukaskoko huomioiden vertailuun otettiin kaikki Suomen kunnat, joiden asukasluku 31.12.2018 oli 2 000—100 000. Vertailusta poistettiin myös Ahvenanmaan kunnat. Kapasiteettia tarkasteltiin kaikkien kuntien alueelta energiamuodoittain datan saatavuuden mukaan. Vertailua tehtiin Hinku-kuntien ja muiden kuntien välillä niiden kuntien osalta, mistä oli saatavilla tietoa kunkin energiantuotantomuodon kapasiteeteista ja määristä. Yhteensä kuntia oli vertailussa mukana 253. Kunnat jaettiin kolmeen ryhmään asukasmäärän mukaan (Taulukko 1).



Taulukko 1. Kuntien jako, esimerkkikunnat kussakin kuntaryhmässä.

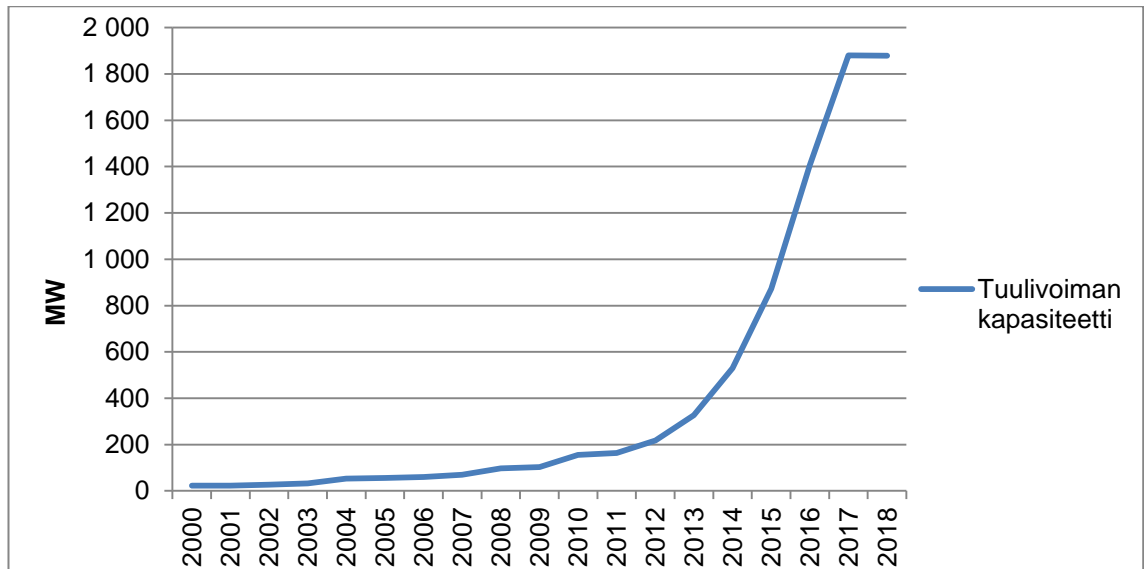
Ryhmät	Kokoluokka, asukasta	Lukumäärä/ joista Hinku-kuntia	Esimerkkikunta, Hinku	Esimerkkikunta, muut	Asukasmäärä ryhmässä yht.
Suuret kunnat, vertailuryhmä 1	30 000-100 000	27/8	Lappeenranta, n. 73 000 asukasta	Järvenpää, n. 43 000 asukasta	n. 1 370 000 asukasta
Keskikokoiset kunnat, vertailuryhmä 2	8 000-30 000	87/15	Uusikaupunki, n. 15 700 asukasta	Heinola, n. 19 000 asukasta	n. 1 295 000 asukasta
Pienet kunnat, vertailuryhmä 3	2 000-8 000	138/15	Inkoo, n. 5 400 asukasta	Inari, n. 6 900 asukasta	n. 604 000 asukasta

Kuntia vertailtaessa otettiin myös huomioon kuntien maantieteelliset erot. Vertailua pyrittiin tekemään saman maantieteellisen alueen kuntien kesken.

#### 4.2 Tuulivoima

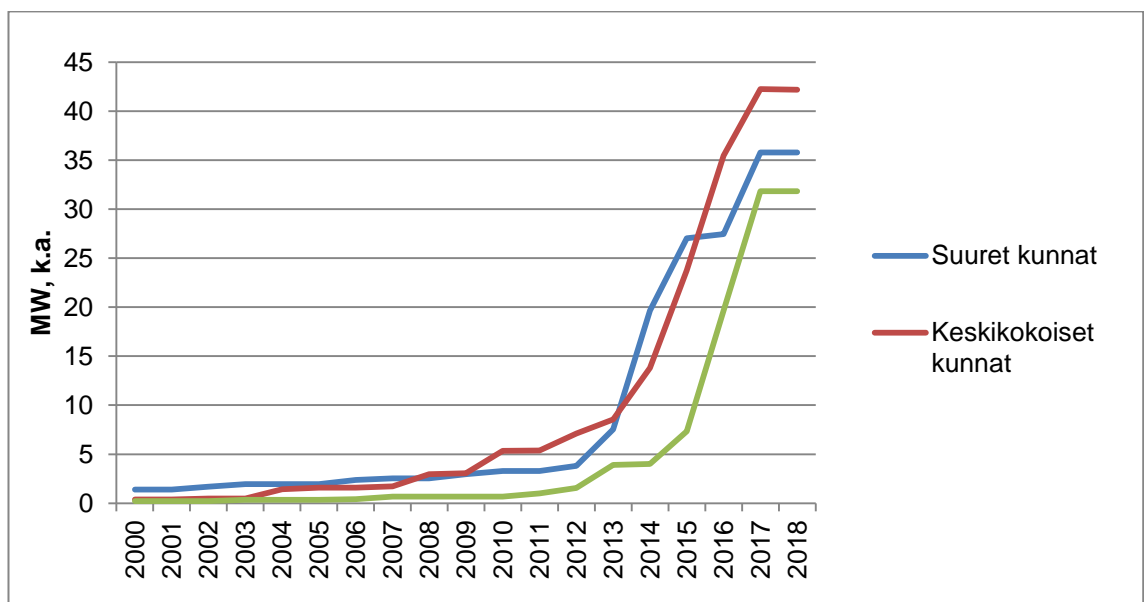
Koko Suomen tuulivoimakapasiteetti vuoden 2018 lopulla oli 2 041,16 MW. Tuulivoimakapasiteettia oli tehdyn rajauksen mukaan 52 kunnan alueella vuoden 2018 lopulla 1 879,55 MW. Vertailukuntien tuulivoimakapasiteetti kattaa yli 92 % koko Suomen tuulivoimakapasiteetista ja näin antaa kattavan kuvan myös koko Suomen tuulivoimakapasiteetin kehityksestä.

Vuoden 2018 lopun kapasiteettia verrattaessa vuoden 2001 lopun 22,85 MW:n kapasiteettiin on kasvu ollut huomattavaa. Vertailukuntien osalta vuosittainen kasvu oli vuodesta 2001 vuoteen 2011 keskimäärin noin 20 %. Vuodesta 2011 vuoteen 2017 vuosittainen kasvu oli keskimäärin noin 42 % suurimman prosentuaalisen kasvun ollessa vuodelta 2015, jolloin tuulivoiman kokonaiskapasiteetti kasvoi 65 %. Suurin kapasiteetin lisäys on vuodelta 2016, jolloin tuulivoimaa rakennettiin vertailukuntien alueelle yhteensä 531,75 MW. Suurimmat kuntakohtaiset kokonaiskapasiteetit vuoden 2018 lopulla olivat Kalajoella (207,6 MW), Raahessa (196,5 MW) sekä Simossa (129,15 MW). Pienimmät kuntakohtaiset kokonaiskapasiteetit vuoden 2018 lopulla olivat Sastamalassa (0,45 MW) sekä Eurajoella (0,5 MW). Kuvassa 4 on esitetty vertailukuntien alueen tuulivoiman kokonaiskapasiteetin kehitys vuodesta 2000 vuoteen 2018. Kuvaajasta huomataan tuulivoiman voimakkaan kasvun alkaneen vuosien 2013–2014 tienoilla.



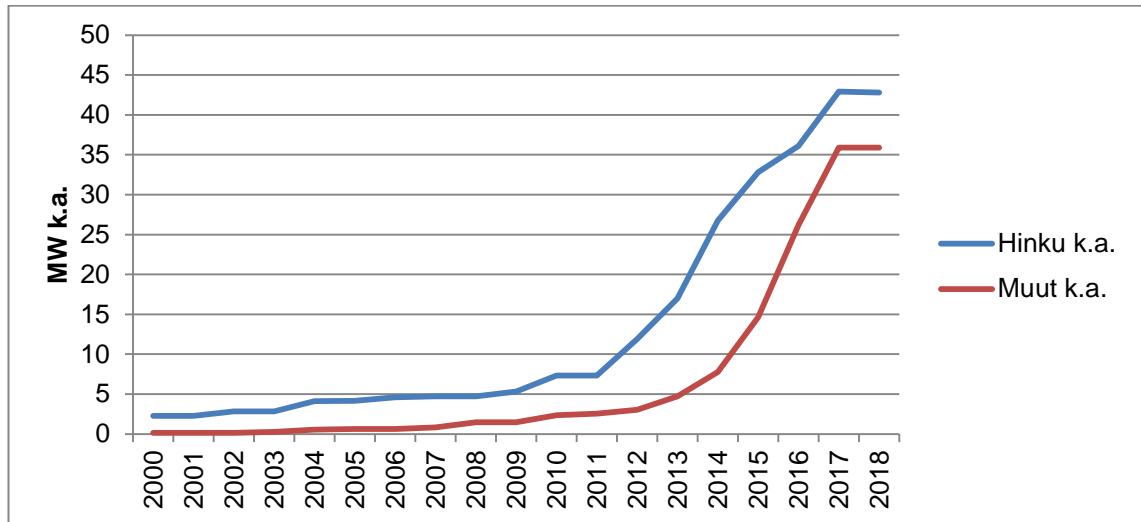
Kuva 4. Tuulivoiman kokonaiskapasiteetin kehitys 2000—2018 vertailukuntien alueella.

Ryhmäjaottelun mukaiset kuntakohtaiset keskimääräiset tuulivoimakapasiteetit ovat nähtävillä kuvassa 5. Kuvaajasta nähdään, ettei kuntakohtainen tuulivoiman kapasiteetti ole mitenkään riippuvainen kunnan asukasluvusta. Kuvaajia lukiessa on mahdollista päätellä, että tuulivoiman lisääntyminen on alkanut vertailuryhmien 1 ja 2 kunnissa muutamaa vuotta aikaisemmin kuin vertailuryhmän 3 kunnissa. Tämän datan perusteella kyseisen kapasiteetin kehityksen ajankohta on ainoa asia, mikä pystytään toteamaan vertailuryhmien välillä.



Kuva 5. Vertailuryhmäkohtainen keskimääräinen kuntakohtainen tuulivoimakapasiteetti.

Kuvassa 6 nähdään kaikkien Hinku-kuntien sekä muiden kuntien keskimääräiset tuulivoimakapasiteetit. Vuosina 2000—2011 sekä 2017—2018 ei ole nähtävissä merkittäviä eroja keskimääräisissä kuntakohtaisissa tuulivoiman kapasiteeteissa. 2012—2016 välillä on kuitenkin hahmotettavissa tuulivoiman rakentamisen ajankohdan ero. Hinku-kunnissa on oltu muutamaa vuotta edellä muihin kuntiin verrattuna tuulivoiman rakentamisessa.



Kuva 6. Hinku-kuntien keskimääräinen tuulivoimakapasiteetti verrattuna Hinku-verkostoon kuulumattomien kuntien keskimääräiseen tuulivoimakapasiteettiin.

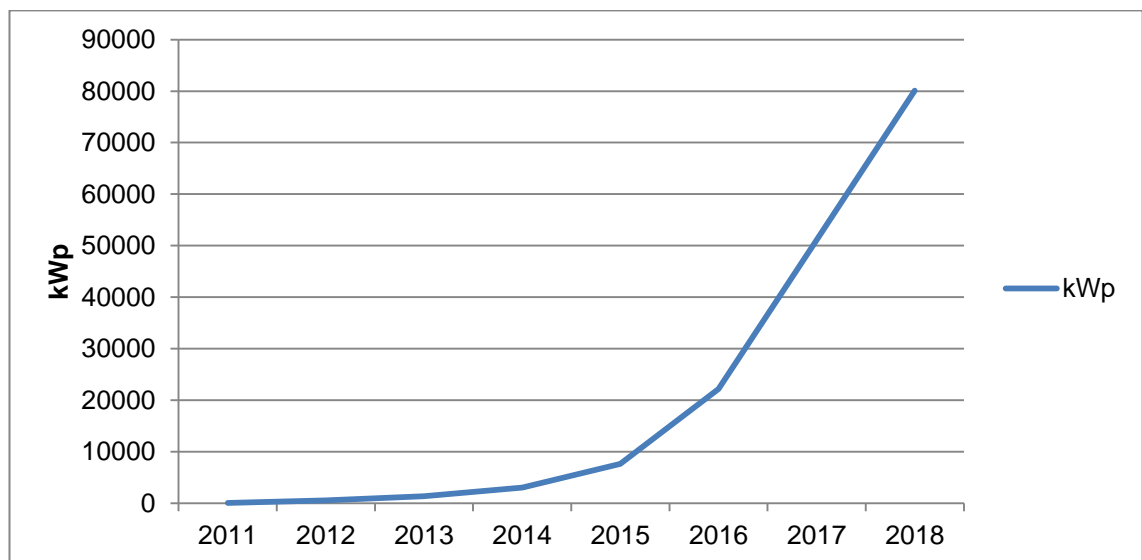
Tuulivoiman kasvun ensimmäisinä vuosina suurin vaikutus on ollut kunnan maantieteellisellä sijainnilla. Voimaloita on rakennettu sinne, missä tuuliolosuhteet ovat suotuisimpia tuulivoimalle.

#### 4.3 Aurinkoenergia

Ennen vuotta 2014 Suomessa ei ollut mainittavaa verkkoon liitettyä aurinkosähkökapasiteettia. 2014—2015 aurinkopaneeleiden määrä alkoi lisääntyä, ja vuosina 2014—2017 aurinkopaneeleiden asennusten määrän kasvu oli eksponentiaalinen. Vuoden 2015 lopussa sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkön kapasiteetti Suomessa oli noin 7,5 MWp. Vuoden 2016 lopussa luku oli noin kolminkertainen, noin 21,8 MWp, ja vuoden 2017 lopussa luku oli jo lähes 50 MWp. Asennetun kapasiteetin määrä on edelleen voimakkaassa kasvussa.

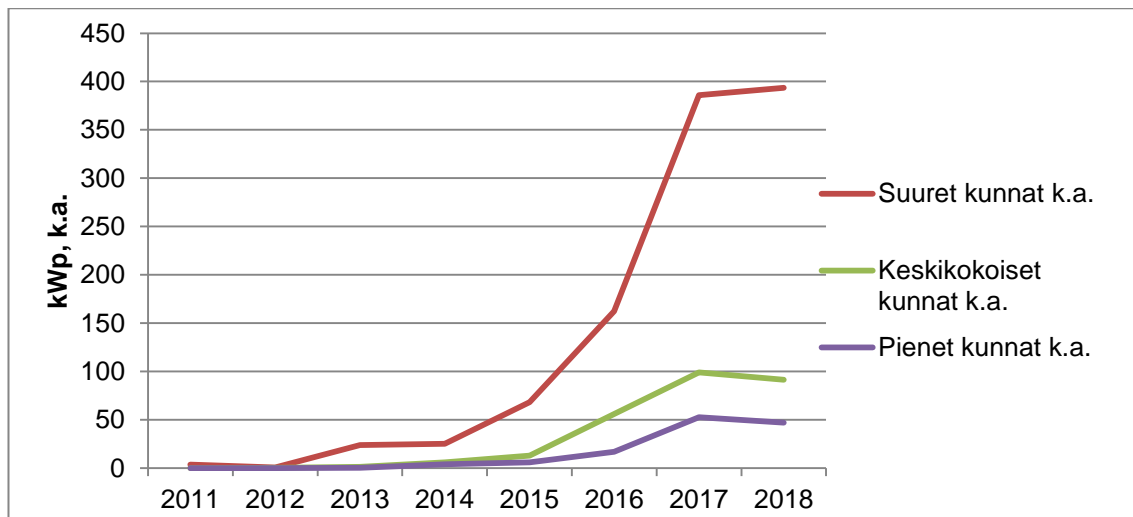
Kerätyn datan perusteella sähköverkkoon liitetyn aurinkoenergian kapasiteetti on yli tuhatkertaistunut vuodesta 2011 vuoteen 2019. Tästä voidaan päätellä aurinkosähkön alhainen lähtötaso ennen vuotta 2014. Vuoden 2011 lopulla tiedossa olleet sähköverkkoon liitetyt paneelit olivat kokonaiskapasiteetiltaan noin 81 kWp. Kesäkuun 2019 lopulla kerätyn datan mukainen kokonaiskapasiteetti oli noin 86 500 kWp (todellinen sähköverkkoon liitetty kapasiteetti on todennäköisesti huomattavasti yli 100 000 kWp).

Kuvassa 7 on kerätyn datan perusteella tehty kuvaaja aurinkosähkön kokonaiskapasiteetista koko Suomen alueelta. Saadusta datasta voidaan olettaa, että kapasiteetin kasvu vuonna 2019 seuraa vähintään vuosien 2017–2018 trendiä. Kaikki yhtiöt eivät toimittaneet tietoja vuoden 2018 kapasiteeteista, joten on mahdollista, että vuoden 2018 todellinen kasvu on vielä voimakkaampaa kuin kuvaajasta voidaan päätellä.



Kuva 7. Sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkön kokonaiskapasiteetti jakeluverkkoyhtiöiltä kerätyn aineiston perusteella koko Suomen alueelta.

Kuva 8 esittää vertailuryhmittäin keskimääräisen kuntakohtaisen aurinkosähkön asennuskapasiteetin vuosittain. Kuvaajista nähdään, että tuulivoimasta poiketen aurinkosähkön kuntakohtaiset asennuskapasiteetit ovat enemmän riippuvaisia kunnan asukasmäärästä. Aurinkosähkön kapasiteetti ei ole kuitenkaan suoraan verrannollinen asukasmäärään, mikä voidaan todeta taulukosta 2.



Kuva 8. Keskimääräiset kuntakohtaiset sähköverkkoon liitetyt aurinkosähkökapasiteetit vertailuryhmittäin.

Aurinkosähkön asennuskapasiteetit eivät ole suoraan verrannollisia kunnan asukasmäärään, vaikka ovatkin enemmän riippuvaisia asukasmäärästä kuin esimerkiksi tuulivoiman kapasiteetti. Taulukossa 2 nähdään vuoden 2017 aurinkosähkökapasiteetin keskimääräinen asennusmäärä 1 000 henkilöä kohden. Vastaavat suhteet näkyvät myös muina vuosina, mutta vuoden 2017 kapasiteettitiedot ovat kattavimmat kerättyssä materiaalissa.

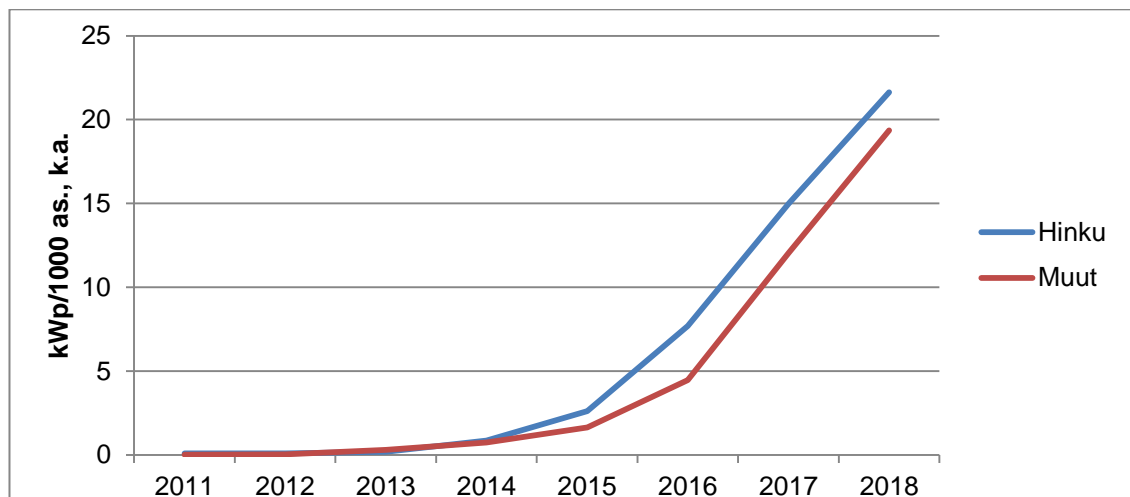
Taulukko 2. Asukaskohtainen aurinkosähkön asennuskapasiteetti eri vertailuryhmissä.

Ryhvät	Keskimääräinen kuntakohtainen kumulatiivinen aurinkosähkön asennuskapasiteetti vuonna 2017	Keskimääräinen kuntakohtainen asukasmäärä	Keskimääräinen aurinkosähkön asennuskapasiteetti per 1 000 asukasta
Suuret kunnat, vertailuryhmä 1	385,9 kWp	51 905	7,4 kWp/1 000 asukasta
Keskikokoiset kunnat, vertailuryhmä 2	99,1 kWp	15 240	6,5 kWp/1 000 asukasta
Pienet kunnat, vertailuryhmä 3	52,5 kWp	4 398	11,9 kWp/1 000 asukasta

Vertailuryhmien 1 ja 2 välillä ei ole havaittavissa suurta eroa. Vertailuryhmän 3, eli pienimpien kuntien, keskimääräiset kuntakohtaiset aurinkosähkön asennuskapasiteetit ovat kuitenkin asukasmääriin nähden huomattavasti suuremmat, kuin vertailuryhmissä

1 ja 2. Yksityisyydensuojan takia yksittäisten paneeleiden osoite- tai kapasiteettitietoja ei ollut saatavilla. Täten tarkempaa tarkastelua kohteiden luonteesta ja siten erojen syistä ei kyetty toteuttamaan tämän opinnäytetyön puitteissa.

Vuosina 2015—2016 aurinkosähkön asukaskohtainen kapasiteetin kasvu on ollut voimakkaampaa 2 000—100 000 asukkaan kunnista Hinku-kunnissa kuin muissa kunnissa (Kuva 9). Tämän jälkeen kapasiteetin kasvu on ollut jotakuinkin yhtä suurta.



Kuva 9. Sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkön kapasiteetti asukasmäärään suhteutettuna Hinku-kunnissa ja muissa kunnissa.

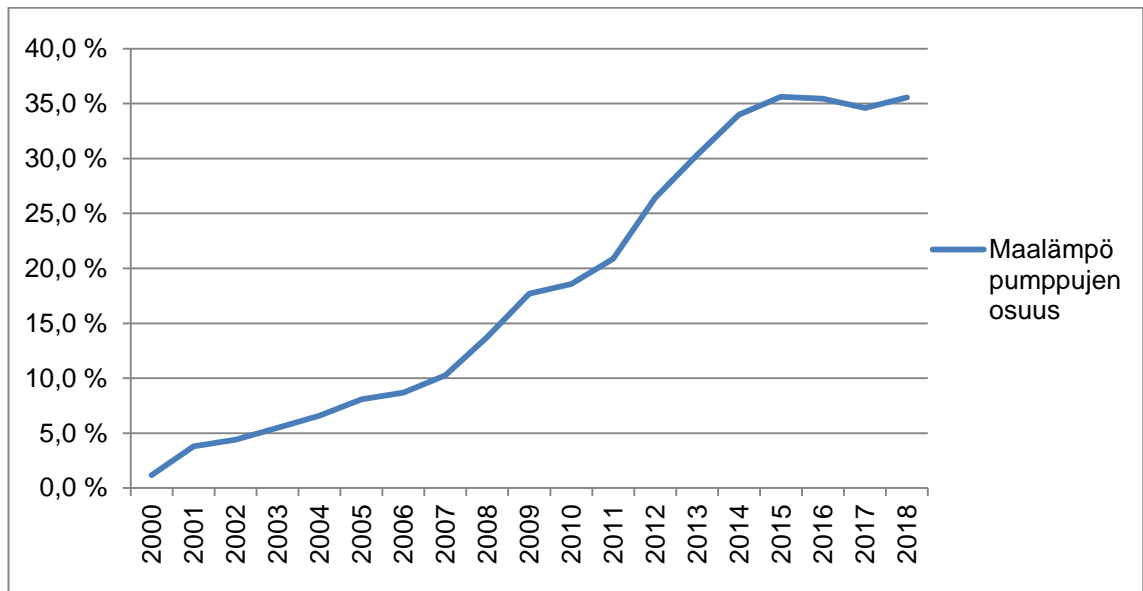
Kaikissa kunnissa, joiden alueelta opinnäytetyöhön saatiin kerättyä dataa, on nähtävillä voimakas aurinkosähkön kapasiteetin kasvu ilman selkeää hiipumista. Sama muutos on nähtävillä kaikkialla maailmassa, ja suurin vaikuttava tekijä tähän on hyvin suurella todennäköisyydellä Swansonin laki. Swansonin lain mukaan aurinkosähkökennojen hinta laskee 20 prosenttia aina kun kaikkien tuotettujen kennojen kokonaismäärä kaksinkertaistuu (Swansonin laki 2017).

#### 4.4 Maalämpöpumput

Maalämpöpumppujen osuus uudiskohteiden pääasiallisena lämmitysmuotona on kasvanut tasaisesti koko Suomessa vuodesta 2001 vuoteen 2014. Vuodesta 2014 vuoteen 2018 maalämpöpumppujen osuus pysyi jotakuinkin samalla tasolla. Maalämpöpumppujen osuus uudiskohteiden pääasiallisena lämmitysmuotona Suomessa nousi vuoden 2001 alle 4 prosentista vuosien 2015—2018 noin 35 prosenttiin. Jokaiseen Suomen

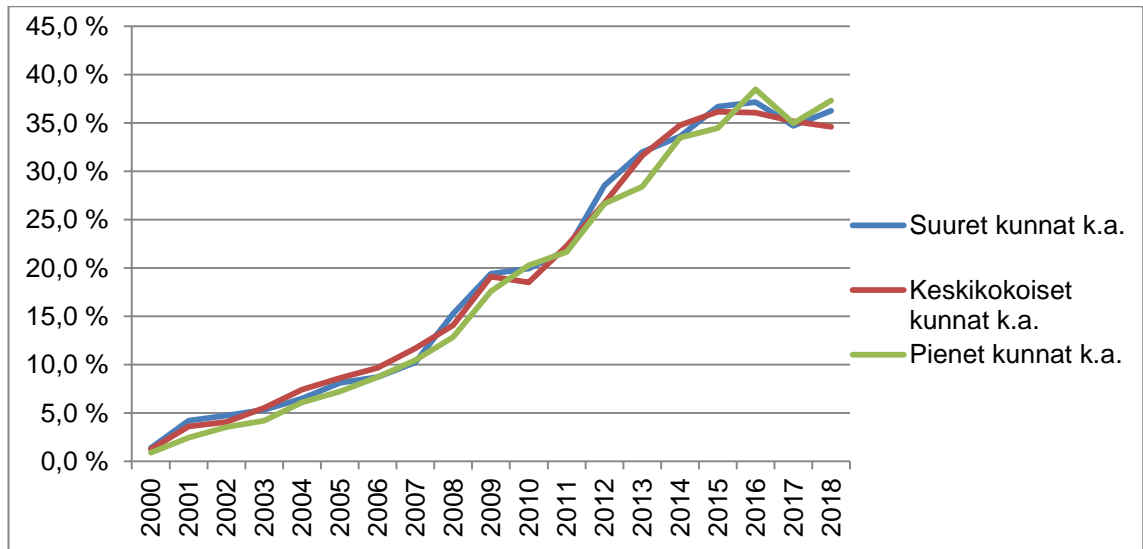
kuntaan on rakennettu uudiskohteita, joiden pääasiallinen lämmitysmuoto on maalämpöpumppu.

Kuvassa 10 nähdään maalämpöpumppujen suosion kasvu uudiskohteiden lämmitys-  
muotona tällä vuosituhannella. Kuvaaja kertoo uudiskohteiden lämmitys-  
muodon osuuden vuosittain, ei koko rakennuskannan maalämpöpumppujen osuutta.



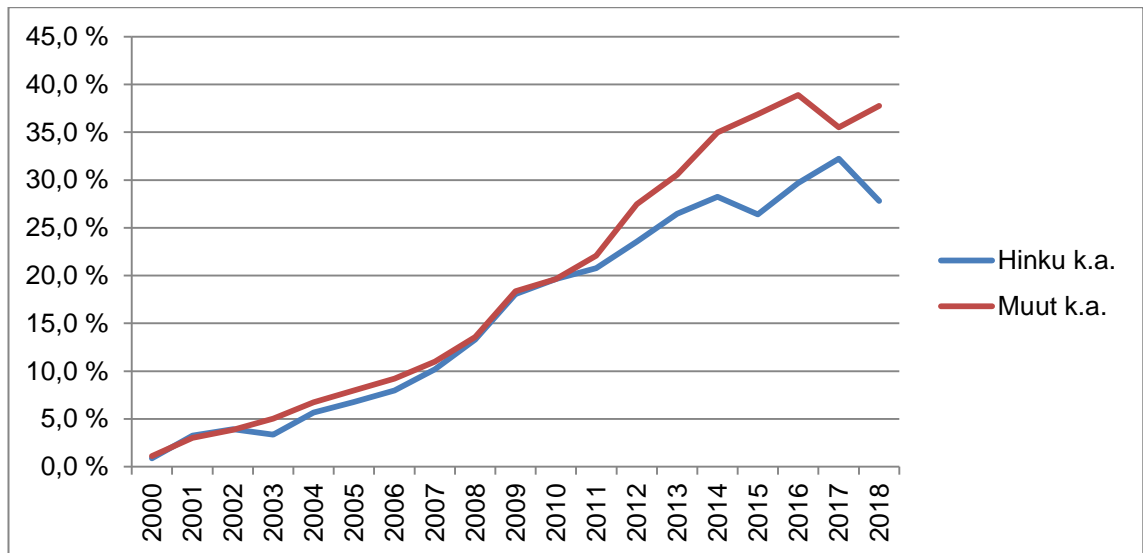
Kuva 10. Maalämpöpumppujen prosentuaalisen osuuden kehitys uudiskohteiden pääasiallisena lämmitysmuotona koko Suomen alueella.

Kunnan koolla ei ole merkitystä maalämpöpumppujen suosioon (Kuva 10). Suosio on yhteneväinen kaikenkokoisissa kunnissa. Maalämpöpumpun käyttö on riippuvainen vain kohteen maaperän laadusta ja soveltuvuudesta lämmön keräysputkille.



Kuva 11. Maalämpöpumppujen osuus uudisrakennusten pääasiallisena lämmitysmuotona eri vertailuryhmissä.

Hinku-kunnissa ei ole kerättyjen lukujen perusteella selkeää eroa muihin kuntiin nähden maalämpöpumppujen määriin uudiskohteissa koko Hinku-verkostoa tarkastellessa (Kuva 12). Hinku-kuntien maalämpöpumppujen osuus uudiskohteiden pääasiallisena lämmitysmuotona on jopa pienempi kuin maalämpöpumppujen osuus muissa kunnissa.



Kuva 12. Maalämpöpumppujen osuus Hinku-kunnissa ja muissa kunnissa uudiskohteiden pääasiallisena lämmitysmuotona.

Suurimmaksi tekijäksi maalämpöpumppujen suosion kasvamiseen voidaan arvioida maalämmön edullisuus verrattuna muihin vähäpäästöisiin lämmitysmuotoihin. 15 vuoden käyttöajalla maalämpö on edullisempi lämmitysmuoto kuin esimerkiksi pellettiläm-



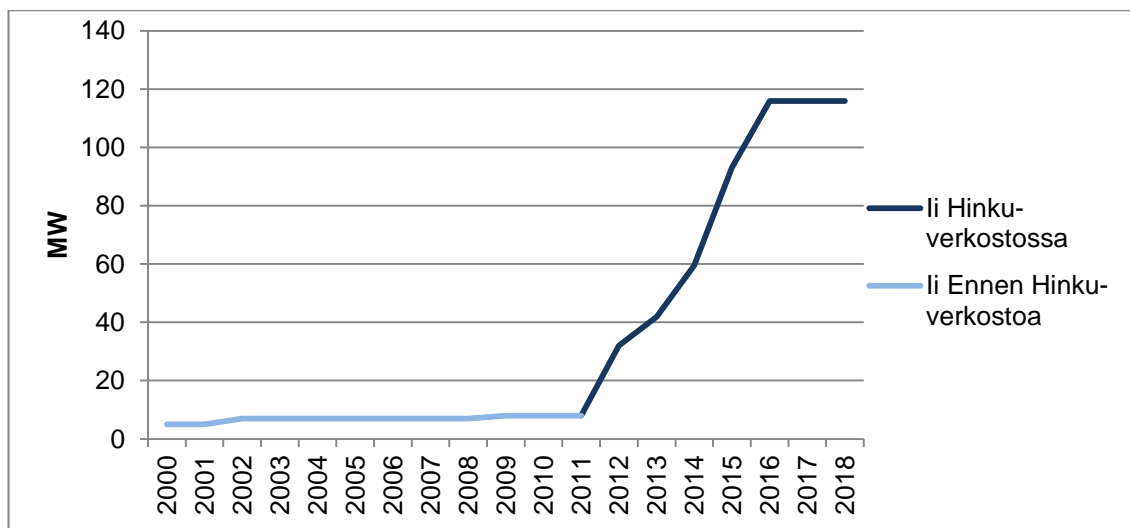
mitys tai kaukolämpö (Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri 2017). Lämpöpumppujen käyttöajan kustannuksia on myös mahdollista pienentää entisestään uusien älykäden ohjainjärjestelmien avulla. Näin lämpöpumpun toiminta voidaan ohjata vuorokaudessa sille ajalle, kun sähkön kysyntä ja hinta ovat alhaisimmillaan. Sähkösovimuksen ollessa sidoksissa joko aikaan, tai suoraan sähkön pörssihintaan, voivat säästöt olla merkittäviä.

## 5 Vertailut kuntien välillä ja tulokset

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli hahmottaa Hinku-verkoston mahdollisia vaikutuksia uusiutuvien energiamuotojen suosion kasvuun. Väkiluvun mukaan tehdyn rajauksen puitteissa tuulivoimaa oli 52 kunnan alueella, joista Hinku-verkostossa olevia oli 8 kuntaa. Sähköverkkoon liitettyä aurinkosähköä oli 207 kunnan alueella, joista Hinku-verkostossa olevia oli 34 kuntaa. Maalämpöpumppuja oli 252 kunnan alueella, joista Hinku-verkostossa olevia oli 38 kuntaa. Kuntia joiden alueella oli kaikkia tutkittuja energiantuotantomuotoja, oli 27 ja näistä Hinku-verkoston kuuluvia oli 4 kuntaa.

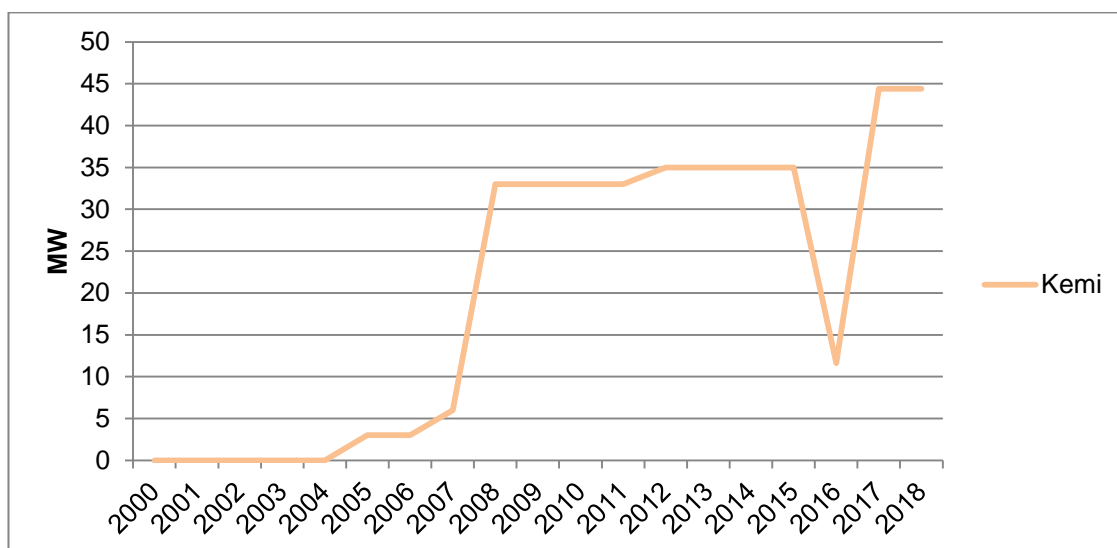
### 5.1 Tuulivoiman kapasiteettien vertailu

Tuulivoiman kapasiteetin kehityksessä selkein kasvu Hinku-verkoston liittymisen jälkeiseltä ajalta on nähtävissä lin kunnassa. Kuvasta 13 voidaan nähdä, miten tuulivoiman kapasiteetti on kehittynyt lin kunnan alueella. Li liittyi Hinku-verkoston vuonna 2011. Jo vuodelle 2012 pitkään vakaalla 5–7 MW:n tasolla ollut tuulivoiman kapasiteetti kasvoi 32 MW:iin, ja jatkoi kasvamistaan vuoteen 2016, jolloin tuulivoiman kapasiteetti lin kunnassa oli 115,9 MW.



Kuva 13. Tuulivoimakapasiteetin kehitys lissä Hinku-verkostoon liittymisajankohtaan suhteutettuna.

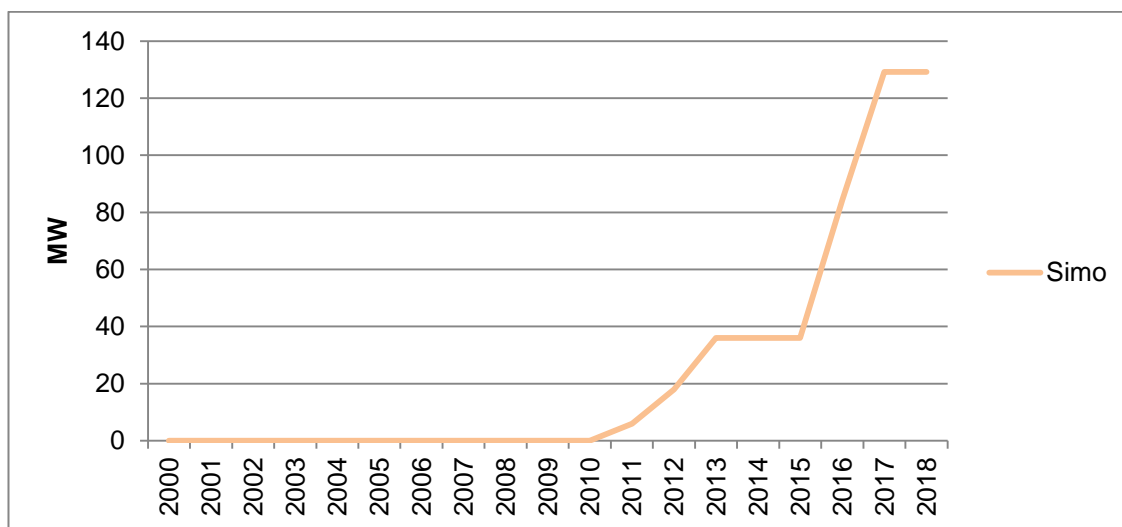
Maantieteellisesti vastaavalla alueella lin kanssa sijaitsevassa Kemissä tuulivoiman kapasiteetin kehitys on ollut maltillisempaa. Kuvasta 14 nähdään, että Kemissä tuulivoiman kapasiteetti on ollut vuodesta 2008 vuoteen 2015 noin 35 MW:n tienoilla. Tuulivoimaloita on purettu vuonna 2016, mutta korvaavia on rakennettu vuonna 2017. Tuulivoiman kapasiteetti Kemissä on ollut 44,4 MW vuoden 2017 lopulla. Kemi ei ole liittynyt Hinku-verkostoon.



Kuva 14. Tuulivoimakapasiteetin kehitys Kemissä.

Samalla alueella Kemin ja lin kanssa sijaitsevassa Simossa tuulivoiman kapasiteetin kasvu on ollut voimakasta, listä poiketen kuitenkin ilman Hinku-verkosta. Kuvasta 15

voidaan nähdä, että Simossa tuulivoiman kapasiteetin kasvu on lähtenyt vauhtiin hieman maltillisemmin kuin lissä, kuitenkin samoihin aikoihin vuonna 2011, ja päätyen 129,15 MW:n kokonaiskapasiteettiin vuonna 2017.



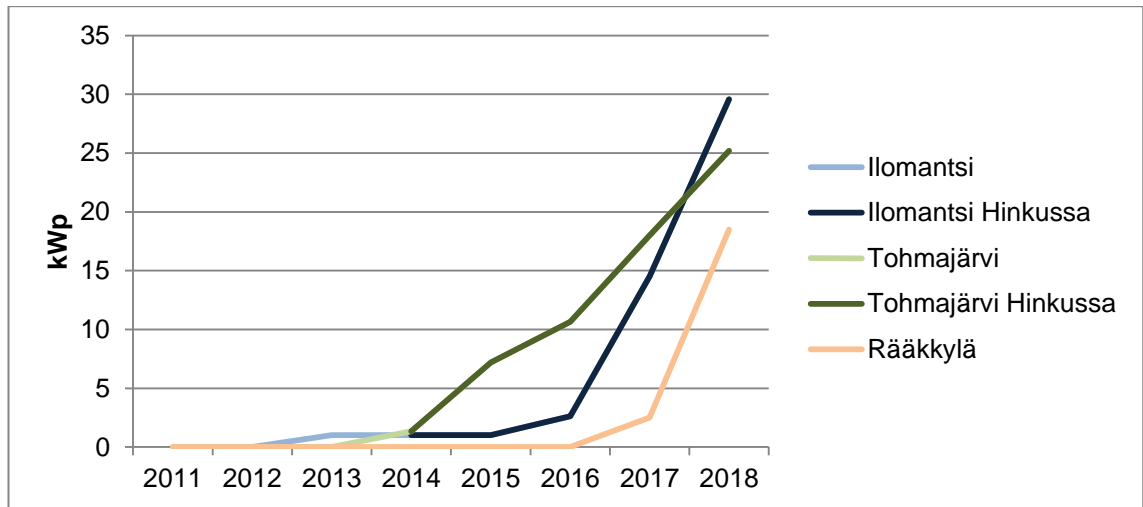
Kuva 15. Tuulivoimakapasiteetin kehitys Simossa.

Kuntakohtaisia kapasiteetteja tarkastellessa kuntien väliset erot tuulivoiman määrässä voivat olla hyvinkin suuria. Yksi tuulivoimala on usein 3–4 MW, mutta yhdessä tuulivoimapuistossa voi olla kymmeniä tuulivoimaloita. Tällöin kunnan alueen kapasiteetti voi nousta yhden tuulivoimapuiston ansiosta tulevaisuudessa jopa 100 MW:ia.

## 5.2 Aurinkosähkön kapasiteettien vertailu

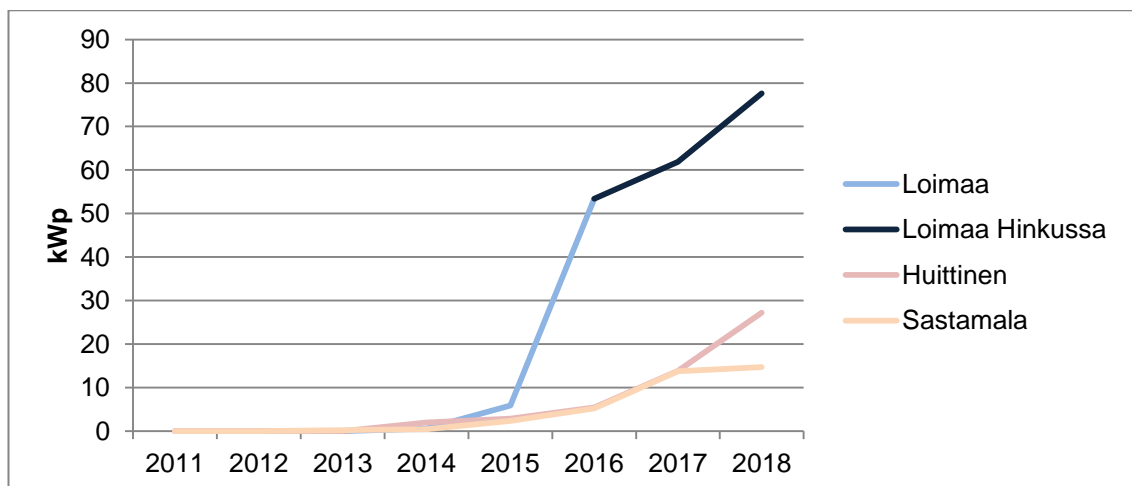
Aurinkosähkön kapasiteetin osalta kuntien välisiä eroja pystytään vertailemaan hieman laajemmin, sillä aurinkosähköä on useamman kunnan alueella kuin tuulivoimaa. Kuvassa 16 on asukaskohtaiset aurinkosähkön kapasiteetit kolmen Pohjois-Karjalan kunnan: Ilomantsin, Tohmajärven sekä Rääkkylän alueelta. Sekä Ilomantsi että Tohmajärvi liittyivät Hinku-verkoston vuonna 2014, Rääkkylä ei ole Hinku-kunta. Nämä kolme kuntaa ovat maantieteellisesti samalta alueelta, kuuluvat tässä opinnäytetyössä samaan vertailuryhmään, eli ovat pieniä kuntia, sekä ovat saman sähköverkkoyhtiön alueella, joten kerätty data on näiden kuntien alueelta hyvinkin vertailukelpoista. Kuvajasta voidaan päätellä, että Tohmajärvellä aurinkosähkön kapasiteetti on lähtenyt voimakkaampaan kasvuun heti Hinku-verkoston liittymisen jälkeen, Ilomantsissa muutamaa vuotta myöhemmin ja Rääkkylässä vasta vuonna 2017. Kokonaiskapasiteetti vuoden

2018 lopulla on näissä kunnissa ollut asukaslukuun suhteutettuna lähes samalla tasolla, mutta kehityksen ajankohdassa eroa on havaittavissa.



Kuva 16. Aurinkosähkön kapasiteetin kehitys kolmessa Pohjois-Karjalan kunnassa.

Kuvassa 17 on asukaskohtaiset aurinkosähkökapasiteetit Huittisen, Loimaan ja Sastamalan kuntien alueelta. Loimaa on liittynyt Hinku-verkostoon vuonna 2016, Huittinen ja Sastamala eivät ole Hinku-verkostossa. Kunnat ovat samalta maantieteelliseltä alueelta, ja kuntien alueella toimii samoja sähköverkkoyhtiöitä, joten vertailun virhemarginaali näiden kuntien välillä on keskiarvoa pienempi. Kuvaajasta voidaan päätellä, että Loimaalla aurinkosähkön kapasiteetin voimakas kasvu on alkanut Hinku-verkostoon liittymisen kanssa samana vuonna.

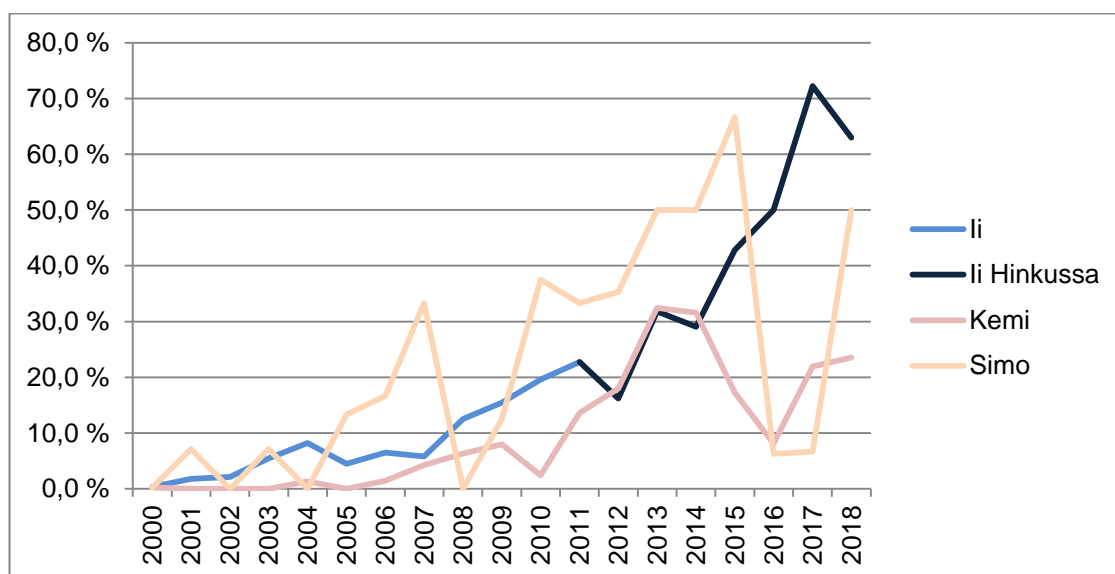


Kuva 17. Aurinkosähkön kapasiteetin kehitys kolmessa Varsinais-Suomen, Satakunnan ja Pirkanmaan alueen kunnassa.

Aurinkosähkön kapasiteetin kehitys kuntien välillä on tasaisempaa kuin tuulivoimalla. Yksityinen henkilö voi tehdä aurinkopaneelihankinnan hyvin pienellä summalla, kun taas tuulivoimalla voi olla jopa yli miljoonan euron investointi.

### 5.3 Maalämpöpumppujen määrien vertailu

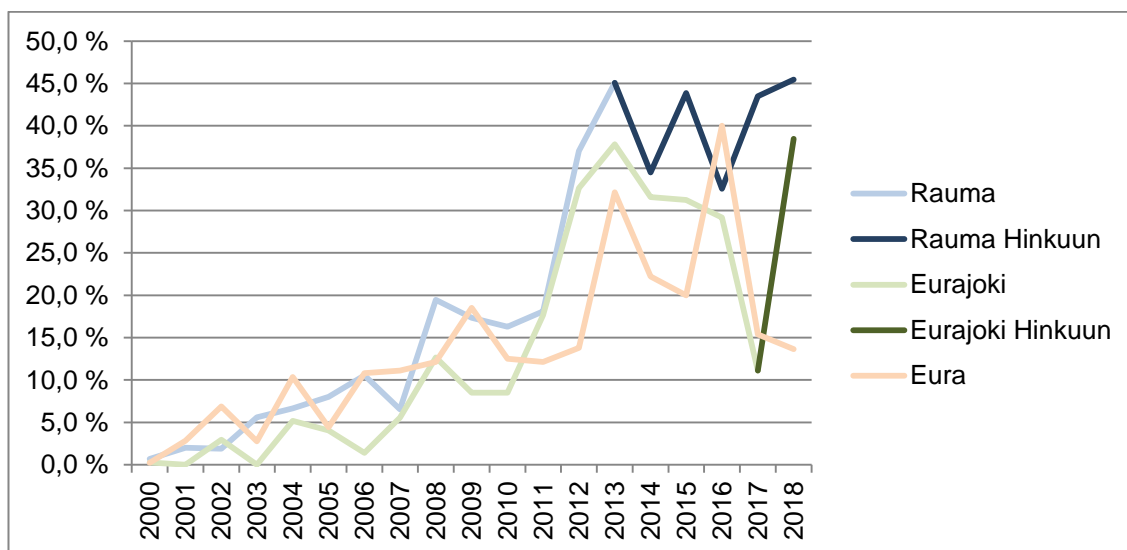
Kuvassa 18 on käsitellyssä samat kolme kuntaa, joita tarkasteltiin tuulivoiman vertailussa, Kemi, Ii ja Simo. Kemi ja Ii ovat vertailuryhmässä 2, Simo on vertailuryhmässä 3. Simon lämpöpumppujen osuutta tarkastellessa huomataan voimakkaat vuosittaiset vaihtelut, ja näin selkeää trendiä on vaikea hahmottaa. Kemissä lämpöpumppujen osuus on ollut koko Suomen keskiarvoa alhaisemmalla tasolla koko tarkastelujakson ajan. Iissä maalämpöpumppujen osuus uudisrakennusten pääasiallisena lämmitysmuotona on ollut lähes jatkuvassa kasvussa Hinku-verkoston liittymisen jälkeen (vuosi 2011). Ja Iissä onkin asennettu prosentuaalisesti paljon maalämpöpumppuja, kun verrataan koko maan keskiarvoon, joka on nähtävissä kuvassa 10.



Kuva 18. Maalämpöpumppujen osuus kolmessa Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin maakuntien kunnissa.

Kuvassa 19 on vertailussa kolme kuntaa samalta maantieteelliseltä alueelta Satakunnan maakunnasta, ja kyseessä on hieman suuremmat kunnat kuin edellisessä vertailussa. Rauma liittyi Hinku-verkostoon vuonna 2013 ja Eurajoki vuonna 2017. Eura ei ole Hinku-verkostossa. Rauman kohdalla on havaittavissa, että maalämpöpumppujen suosio kasvoi vuosien 2011–2013 aikana koko maan keskiarvoa suuremmaksi, ja on

pysytellyt samalla tasolla vuoteen 2018 saakka. Eurajoella suurempi kasvu on tapahtunut samoihin aikoihin Rauman kanssa, hiipuen kuitenkin vuoteen 2017 ja kasvaen taas 2018.



Kuva 19. Maalämpöpumppujen osuus kolmessa Satakunnan kunnassa.

Maalämpöpumppujen määrä uudiskohteiden lämmitysmuotona on kasvattanut suosioaan viimeisen 20 vuoden aikana kaikkialla Suomessa. Kuntien välillä on kuitenkin havaittavissa suuriakin eroja.

## 6 Tulosten tarkastelu

Tuloksista on havaittavissa eroja kuntien välillä uusiutuvien energioiden kapasiteettien kehityspoluissa. Etenkin tuuli- ja aurinkoenergian kohdalla on olemassa yhteisiä selittäviä tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet kaikkien kuntien alueella kapasiteettien kehitykseen. Kerätyissä kapasiteettitiedoissa on olemassa myös epävarmuuksia. Kaikkia näitä käsitellään tässä luvussa.

### 6.1 Tuulivoiman kapasiteetin kehitys

Tuuliolosuhteet määrittelevät suurelta osin tuulivoimainvestointien sijainteja, joten suurella todennäköisyydellä tuulivoiman kapasiteetin kasvu on alkanut ensimmäiseksi tuuliolosuhteiltaan suotuisien kuntien alueelta. Kuntarakenteella, tässä tapauksessa asu-

kasmäärällä, ei tuulivoimainvestointien näkökulmasta ole suurta merkitystä, joten tässä ei oletettukaan ilmenevän suuria eroja. (Kuva 5.)

Hinku-verkoston kuuluvien kuntien alueella tuulivoiman kapasiteetti on lähtenyt selkeään kasvuun vuonna 2011. Hinku-verkoston kuulumattomien kuntien alueella yhtä selkeää kasvu on havaittavissa vasta muutamaa vuotta myöhemmin (Kuva 6). Syynä Hinku-kuntien aikaisempaan tuulivoimainvestointien mahdollistamiseen voi olla Hinku-verkoston tuottama asiantuntijatiedotus syöttötariffijärjestelmän voimaantulosta maaliskuussa 2011 sekä opastus siihen, miten kunta voi helpottaa investointien toteutumista kuntien alueella. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi asiantuntijoiden avustus kaavoituksen suunnittelussa ja lupakäsittelyn helpottamisessa.

Yksittäisten kuntien vertailussa Hinku-verkoston ulkopuolelta positiivisesti esiin nousi Simon kunta. Simo liittyi ensimmäisenä kuntana Suomen Tuulivoimayhdistyksen jäseneksi vuonna 2012, vuosi sen jälkeen, kun Fennovoima ilmoitti uuden ydinvoimalan tulevan Pyhäjoelle Simon ollessa yksi kolmesta vaihtoehdosta ydinvoimalan sijoituspaikkakunnaksi. (Simo 2019.) Tästä voidaan päätellä, että Simon kunnassa on oltu kiinnostuneita energiantuotannon tuomista mahdollisuuksista, ja tilanteiden muuttuessa tuulivoimasta on tullut Simon kunnan valinta vähäpäästöisessä energiantuotannossa. Tällaisten tekijöiden puitteissa myös Hinku-verkoston kuulumattomat kunnat ovat voineet tehdä töitä merkittävän energiantuotantokapasiteetin mahdollistamiseksi.

Hinku-verkoston kuuluneista kunnista lissä on nähtävillä voimakkain tuulivoimakapasiteetin lisäys verkostoon liittymisen jälkeiseltä ajalta. Varsinaisia syitä tällaisille kapasiteettien kehityksille ei tämän opinnäytetyön yhteydessä etsitty. Tämän opinnäytetyön pohjalta suositellaan jatkotutkimuksia kehitysten syiden selvittämiseksi. Selvitystyön pohjalta voidaan ehdottaa muillekin Hinku-verkoston kuuluville kunnille vastaavia tiettyjä yksittäisiä toimia tuulivoimainvestointien tuomiseksi kuntien alueille.

Vuonna 2018 Suomeen ei rakennettu yhtään tuulivoimaa vahvan tuulivoiman kapasiteetin kasvukauden jälkeen. Syynä tälle on aiemmin mainitun syöttötariffijärjestelmän sulkeutuminen 1.11.2017, jonka jälkeen rakennetut tuulivoimalat eivät enää olleet syöttötariffijärjestelmän tukien piirissä. Uusi tukijärjestelmä toteutettiin huutokauppana, ja sen tuloksena uusi syöttötariffi on maltillisempi kuin aikaisemmassa järjestelmässä. Markkinaehtoisia investointeja on kuitenkin tehty Suomeen jo yli 1 000 megawatin edestä. Tehtyjen investointien lisäksi Suomeen on suunnitteilla kokonaisuudessaan

jopa 16 500 megawatin edestä tuulivoimaa. (Tuet tuulivoiman rakentamiselle 2018; Tuulivoimahankkeet Suomessa 2019.)

## 6.2 Aurinkosähkön kapasiteetin kehitys

Sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkön datassa on suurempi virhemarginaali kuin tuulivoiman kapasiteetissa tai maalämpöpumppujen lukumäärässä johtuen jakeluverkkoyhtiöiden erilaisista käytännöistä liittyen aurinkosähköjärjestelmien kirjauksissa. Osalla yhtiöistä on kirjattuna aurinkopaneeleihin liitetyn invertterin suurin teho, joka voi olla huomattavasti suurempi kuin paneelien yhteenlaskettu huipputeho. Osalla yhtiöistä on kirjattuna aurinkopaneelien yhteenlaskettu huipputeho. Myös lukujen pyöristyksissä on eroja. Osalla yhtiöistä data oli kirjattu 10 watin tarkkuudella, osalla 10 000 watin tarkkuudella. Pienissä aurinkopaneelissa tällainen pyöristysero voi johtaa suureen virheeseen kunnan kokonaiskapasiteetissa. Aurinkosähköstä saatiin kerättyä tietoja kuntakohtaisesti vain noin 77 % kokonaiskapasiteetista Energiaviraston vuoden 2017 kansallisen tason lukuihin verrattuna. Tämä tuo myös lisää epävarmuutta lukujen tarkasteluun.

Kokonaislukuja tarkasteltaessa aurinkosähkön voimakas lisääntyminen on alkanut 2014–2016 tienoilla. On myös havaittavissa, että Hinku-verkoston kuuluneiden kuntien alueella kapasiteetin kasvu on muutamaa vuotta muita kuntia edellä (Kuva 9). Yksi selittävä tekijä tässä voi olla toukokuussa 2015 voimaan astunut sähköveron lakimuutos. Lakimuutos poisti sähköverovelvollisuuden alle 100 kVA:n voimaloilta, jotka tuottavat julkiseen sähköverkkoon energiaa. Toisin sanoen yksityisen henkilön ei tarvitse enää maksaa sähköveroa energiasta, jota hän tuottaa julkiseen sähköverkkoon omilla aurinkopaneelillaan. SYKE asiantuntijaorganisaationa on voinut tiedottaa tästä kaikille Hinku-verkoston kuuluneille kunnille ajoissa ja ohjeistaa aurinkopaneelihankeissa heti lakimuutoksen tultua voimaan. Muissa kunnissa tämä lakimuutos on saattanut jäädä huomiotta, ja kasvu on tästä syystä voinut olla hitaampaa vuosina 2015–2016 verkoston kuulumattomien kuntien alueella.

Loimaan aurinkoenergian kehityksen ajankohdasta suhteutettuna Hinku-verkoston liittymisen ajankohtaan voidaan päätellä, että kunta on mahdollisesti havahtunut ympäristötietoisuuteen vuoden 2016 tienoilla. Näihin aikoihin kunnan alueella on tehty useita hiilineutraaliuteen suuntaavia ja ympäristön kannalta kestäviä toimenpiteitä samanaikaisesti. Täten vuoden 2016 suuri aurinkosähkön kapasiteetin kasvu ei välttämättä ole



Hinku-verkoston ansiota. Vuosien 2017—2018 kasvu on kuitenkin ollut voimakkaampaa kuin kahden muun verrokkikunnan alueella, jolloin Hinku-verkostolla on voinut olla vaikutusta tähän kasvuun.

Pohjois-Karjalan maakunnan kolmen vertailukunnan aurinkosähkön kapasiteettien kehityksistä on hahmotettavissa Hinku-verkoston positiivinen vaikutus (Kuva 16). Tohmajärvellä aurinkosähkön kapasiteetti on lähtenyt voimakkaampaan nousuun heti verkostoon liittymistä seuraavana vuonna, noin 3 vuotta ennen Hinku-verkoston ulkopuolista Rääkkylää. Kuten tuulivoiman kohdalla lissä, tästä kehityserosta olisi hyvä tehdä tarkempia jatkotutkimuksia ja pyrkiä löytämään yksittäisiä toimenpiteitä, jotka ovat mahdollistaneet tämän kehityksen aikaisemman ajankohdan Hinku-verkoston kunnissa kuin verkostoon kuulumattomissa kunnissa.

### 6.3 Maalämpöpumppujen osuuden kehitys

Maalämpöpumppujen määriä tarkasteltaessa huomattiin, että kunnan koko vaikuttaa lukujen vertailukelpoisuuteen. Pienissä kunnissa rakennetaan määrällisesti vähemmän uusia asuinrakennuksia, jolloin vuosittaiset vaihtelut maalämpöpumppujen osuudessa uudisrakennusten lämmitysmuotona voivat olla hyvinkin suuria. Suuremmissa kunnissa, missä rakennetaan enemmän uudisrakennuksia, luvuista poistuvat vuosittaiset piikit ja pudotukset, jolloin trendit ovat selkeämmin hahmotettavissa. Tämä kehitystrendin löytämisen haaste on huomattavissa Simon kohdalla verrokkikuntiin verrattessa (Kuva 18).

Syy maalämpöpumppujen suosion maltillisemmalle kasvulle Hinku-kunnissa koko verkostoa tarkastellessa voi olla esimerkiksi muut ympäristöystävälliset lämmitysmuodot, kuten erilaiset ilmalämpöpumput, kaukolämpö tai eri lämmitysmuotojen yhdistelmät. Vanhojen rakennusten muutosremonteissa maalämpöpumppujen asentaminen saattaa olla suositumpaa Hinku-kunnissa, mutta tästä ei ole saatavilla varmaa dataa koko Suomen laajuudessa. Suomessa on tällä hetkellä käynnissä ja lähivuosina tulossa valtavasti remontteja vanhaan rakennuskantaan, joten tällaisten muutosten seuraaminen vaatisi systemaattisia lisäyksiä tietokantoihin.

Eurassa vuosittainen maalämpöpumppujen suosion vaihtelu on ollut Eurajoen tavoin voimakasta, mutta Euran alueelta uupuu vielä suosion uusi kasvu. Rauman kohdalla Hinku-verkoston vaikuttavuudesta maalämpöpumppujen suosion on vaikea lähteä arvi-

oimaan. Rauma on ollut Hinku-verkostossa vuodesta 2013 eteenpäin. Vuosina 2013—2018 sekä Eurassa että Eurajoella on nähtävissä suosion hiipuminen, mutta vastaavanlaista hiipumista ei ole nähtävillä Raumassa. Tämä voi olla mahdollisesti Hinku-verkoston ansiota. Eurajoella on nähtävissä maalämpöpumppujen suosion hiipumisen jälkeinen nousu Hinku-verkoston liittymisen jälkeiseltä ajalta. Eurassa ei ole havaittavissa samanlaista nousua.

Jälkimmäisessä maalämpöpumppujen vertailussa ei ole missään kolmesta kunnasta havaittavissa yhtä selkeää ja voimakasta kasvua kuin ensimmäisessä vertailussa olleen Iin alueella. Iin maalämpöpumppujen suosio on poikkeuksellista koko Manner-Suomen alueella.

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyön alkuperäinen tarkoitus oli kerätä Suomen ympäristökeskuksen tarvitsemia tietoja eri energiamuodoista ja niiden kehityksestä keskitetysti. Tämän ohessa oli tarkoitus tutkia välittäjäorganisaation mahdollista vaikutusta kuntien uusiutuvien energioiden kapasiteettien kehitykseen.

Opinnäytetyötä varten tietoja saatiin kerättyä hyvin. Tuulivoiman ja maalämpöpumppujen tiedot ovat olleet saatavilla kuntakohtaisesti aikaisemminkin. Suomen sähköverkkoon liitetystä aurinkosähkökapasiteetista ei ole aikaisemmin ollut kuntakohtaista tietoa missään keskitetysti. Tässä opinnäytetyön tuoma kontribuutio SYKEN toimintaa ajatellen on ollut suuri. Tehty tietojenkeruutyö on ollut hyvä pohja jatkoa ajatellen, jos SYKEssä koetaan tarpeelliseksi kerätä kyseisiä tietoja vuosittain. Ajan myötä myös datan kattavuus oletettavasti paranee lähelle 100:aa prosenttia koko Suomen sähköverkkoon liitetystä aurinkosähkökapasiteetista.

Vertailua kuntien välillä uusiutuvien energiamuotojen kehityksestä tehtiin opinnäytetyön lopussa. Yksittäisten kuntien kohdalla hyvin selkeitä eroja oli nähtävillä, erinomaisena esimerkkinä Iin kunta sekä tuulivoiman että maalämpöpumppujen osalta. Myös muissa Hinku-kunnissa on havaittavissa Hinku-verkoston liittymisen jälkeiseltä ajalta positiivisia muutoksia uusiutuvien energiamuotojen kehityksestä. Kokonaislukuja tarkasteltaessa sekä tuulivoiman että aurinkosähkön osalta on hahmotettavissa, että Hinku-kunnissa ollaan edelläkävijöitä uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämisessä. Tarkkaa ennustetta välittäjäorganisaation vaikutukselle ei kuitenkaan kyetty tekemään tämän opinnäytetyön puitteissa.

## Lähteet

Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2018. Verkkoaineisto Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perust eet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perust eet/auringonsateilyn_maara_suomessa)> Päivitetty 17.8.2018. Luettu 3.9.2019.

Auringosta sähköä. 2017. Verkkoaineisto. Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perust eet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perust eet/auringosta_sahkoa)> Päivitetty 23.8.2017. Luettu 3.9.2019.

Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. 2019. Verkkoaineisto. LUT.  
<[https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa)> Päivitetty 27.2.2019. Luettu 3.9.2019.

Bruckner T., I.A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Functammasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H.B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wisner, and X. Zhang. 2014. Energy Systems. Climate Change 2014. IPCC. s. 539  
<[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter7.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf)>

Fluoratut kasvihuonekaasut. 2017. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus.  
<[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ ja\\_ ilma/Kasvihuonekaasupaastojen\\_raportointi\\_ ja\\_ seuranta/Kasvihuonekaa supaastojen\\_seuranta\\_Suomessa/Fluoratut\\_kasvihuonekaasut](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ ja_ ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ ja_ seuranta/Kasvihuonekaa supaastojen_seuranta_Suomessa/Fluoratut_kasvihuonekaasut)> Päivitetty 4.9.2019. Luettu 5.9.2019.

Hinrichs, R., Kleinbach, M. Heat pump. Energy: Its Use and the Environment. Valokuva verkkosivulta. <[https://energyeducation.ca/encyclopedia/Heat\\_pump](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Heat_pump)> Päivitetty 18.5.2018. Luettu 8.8.2019.

Karhinen, Santtu. 2019. Tutkija, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Keskustelu kuntien vaikutuksista 9.10.2019.

Kuntajaot ja asukasmäärät kunnittain 2019. 2019. Excel-taulukko. Kuntaliitto.  
<<https://www.kuntaliitto.fi/sites/default/files/media/file/Kuntajaot%20ja%20asukasluvut%202000-2019.xls>> Päivitetty 1.1.2019.

Lounasheimo, Johannes. 2019. Erityisasiantuntija, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Tuulivoiman kuntakohtaiset kapasiteettitiedot. Excel-taulukko. 10.6.2019.

Lukkari, Jukka. 2018. Nurmoon nousee megaluokan aurinkovoimala. Tekniikka & talous, 12.4.2018. Verkkoaineisto.  
<<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/nurmoon-nousee-megaluokan-aurinkovoimala-24-000-paneelia-tuottaa-6-mw/b142bf21-8e92-3a1c-afe1-606f1cf07649>> Luettu 3.9.2019.

Näin energia tuotetaan fossiilivapaassa Suomessa. 2018. Verkkoaineisto. Smart energy transition. <<http://smartenergytransition.fi/fi/suomen-energiajarjestelma-voi-ollataysin-fossiilivapaa/>> Päivitetty 2019. Luettu 10.10.2019.

Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri. 2017. Verkkoaineisto. Motiva. <<https://www.motiva.fi/lammitysvertailu>> Päivitetty 20.9.2017. Luettu 8.8.2019.

PVGIS. 2017. Photovoltaic Geographical information system. Avoin tietokanta. Euroopan komissio. <[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)> Päivitetty 21.9.2017.

Saikku, Laura. 2019. Erikoistutkija, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Keskustelu ja opinnäytetyön aiheen rajaus 3.6.2019.

Seppälä, J. Saikku, L. Soimakallio, S. Lounasheimo, J. Regina, K. Ollikainen, M. 2019. Hiilineutraalius ilmastopolitiikassa – Valtiot, Alueet ja Kunnat. Raportti 5/2019. Suomen ilmastopaneeli. <[https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/09/Hiilineutraalius\\_ilmastopaneeli\\_2019\\_FINAL.pdf](https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/09/Hiilineutraalius_ilmastopaneeli_2019_FINAL.pdf)>

Simo. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Simo#Talous>> Päivitetty 18.6.2019. Luettu 22.10.2019.

Suomen kasvihuonekaasujen päästöt ovat laskussa. 2019. Verkkoaineisto. Ilmastopas, Suomen Ympäristökeskus. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta-/artikkeli/0be63fa0-533f-4986-b674-859b6577c8b5/suomen-kasvihuonekaasujen-paastot-ovat-laskussa.html>> Päivitetty 15.5.2019. Luettu 17.10.2019.

Swansonin laki. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia <[https://fi.wikipedia.org/wiki/Swansonin\\_laki](https://fi.wikipedia.org/wiki/Swansonin_laki)> Päivitetty 3.5.2017. Luettu 8.8.2019.

Sähköntuotanto. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto)> Päivitetty 18.1.2019. Luettu 8.10.2019.

Tietoa tuulivoimasta. Verkkoaineisto. Tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta>> Luettu 11.9.2019.

Tuet tuulivoiman rakentamiselle. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima\\_suomessa/tuet\\_tuulivoiman\\_rakentamiselle](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuet_tuulivoiman_rakentamiselle)> Päivitetty 8.3.2018. Luettu 11.9.2019.

Tuuliatlas – tuulitiedot Suomen kartalla. 2011. Verkkoaineisto. Suomen tuuliatlas. <<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>> Luettu 11.9.2019.

Tuulivoimahankkeet Suomessa. 2019. Verkkoaineisto. Tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/hankelista>> Luettu 12.9.2019.

Tuulivoiman tuotanto Suomessa. 2019. Excel-taulukko. Suomen ympäristökeskus.

Tuulivoiman vaikutukset. Verkkoaineisto. Tuulivoimayhdistys.  
<<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoiman-vaikutukset>> Luettu 11.9.2019.

Uusitalo, Seija. 2018. Helsinkiin rakennetaan jälleen uusi lämpöpumppu. Verkkoaineisto. Helen. <<https://www.helen.fi/uutiset/2018/uusilampopumppu/> > Päivitetty 18.6.2018. Luettu 2.9.2019.

Äänivaikutukset. Verkkoaineisto. Tuulivoimayhdistys.  
<<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoiman-vaikutukset/ymparistovaikutukset/aanivaikutukset>> Luettu 11.9.2019.