

**Omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän mitoitus  
vapaa-ajan asunnolle**  
**Dimensioning self-sufficient photovoltaic system for  
summerhouse**  
Jenni Tuominen

## **TIIVISTELMÄ**

LUT-yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Sähkötekniikka

Jenni Tuominen

### **Omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän mitoitus vapaa-ajan asunnolle**

2019

Kandidaatintyö.

22 s.

Tarkastaja: Juha Haakana

Hakusanat: aurinkosähköjärjestelmä, omavarainen, vapaa-ajan asunto, kesäaika, esimerkkikohte, algoritmi, mitoitus, kustannukset

Suomessa on hyvät mahdollisuudet tuottaa aurinkosähköä, mutta potentiaalia ei ole otettu käyttöön. Erityisesti kesäaikaan sijoittuva kulutus on mahdollista kattaa sähkönjakeluverkostosta irrallaan olevalla eli omavaraisella aurinkosähköjärjestelmällä. Kesäisin pohjoisen sijainnin tuottamien haasteiden vaikutus on vähäisempää verrattaessa talven olosuhteisiin, mutta eivät täysin poistettavissa. Lisäksi asennusympäristö ja järjestelmän häviöt luovat omat haasteet.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintaa edistävät ympäristökysymykset, oma mielenkiinto ja sähkönjakeluverkkoon yhdistämisen haasteet. Järjestelmän valinnassa on otettava huomioon vuosittaisten kulutusten vaihtelut ja järjestelmän käyttötarkoitus.

Tutkimuksen tarkoituksena on kehittää mitoitusalgoritmi omavaraiselle aurinkosähköjärjestelmälle vapaa-ajan asunnon tarpeisiin. Algoritmi soveltuu kaikkien käytettäväksi, mikäli käytössä on arvioidut tai todelliset tuntikohtaiset tuotanto- ja kulutustiedot. Algoritmilla saadaan määritettyä kulutuksen kattava tuotanto- ja energiavarastokapasiteetti. Tutkimusmenetelminä käytetään matemaattista ja kirjallista tutkimusta. Työn tuloksia havainnollistetaan esimerkkikohteen avulla, jonka kulutus on satunnaisesti muuttuvaa.

Algoritmin tuloksena saatujen mitoitus- ja kustannusten kannalta katsottuna esimerkkikohteelle on tehokkainta hankkia järjestelmä, jossa on vähän aurinkopaneeleita ja paljon akkuja. Järjestelmän kokoon voi vaikuttaa omilla kulutustottumuksillaan sekä laitteiden ja lämmitysmuodon valinnalla. Pienempi kulutus vaatii pienemmän järjestelmän ja vähemmän investointeja. Myös tasaisella kulutuksella saadaan järjestelmäkoon tarvetta pienennettyä.

## **ABSTRACT**

LUT University  
LUT School of Energy Systems  
Electrical Engineering

Jenni Tuominen

### **Dimensioning self-sufficient photovoltaic system for summerhouse**

2019

Bachelor's Thesis.

22 p.

Examiner: Juha Haakana

Keywords: photovoltaic system, self-sufficient, summerhouse, summertime, example object, algorithm, dimensioning, costs

Finland has good possibilities to produce solar power, but the potential hasn't been taken for use. Especially the consumption that is in the summertime can be covered by self-sufficient photovoltaic system aka system, which is disconnected from the electricity distribution network. In the summer, the impact of the northern location is affected less compared to winter conditions, but do not eliminate the challenges. In addition, the installation environment and system losses create their own challenges.

Matters, that lead you towards buying our own photovoltaic system, are environmental issues, your own interests and challenges of connecting to the electricity distribution network. While choosing your system you should take into consideration the variations in annual consumption and the purpose of the system.

The purpose of the study is to develop dimensioning-algorithm for self-sufficient photovoltaic system for the needs of a summerhouse. The algorithm is suitable for everyone to use, if estimated or actual hourly production and consumption data are available. The algorithm determines the production and energy storage capacities that cover consumption. Research methods are mathematical and written methods. The results of the work are demonstrated with an example object which consumption is randomly variable.

As the results of the algorithm, from the point of view of the dimensioning and costs, it is most efficient to buy a system with few solar panels and a lot of batteries. The size of the system can be influenced by your own consumption habits as well as the choice of equipment and heating system. Lower consumption requires a smaller system and less investment. Also, with steady consumption, the need for system size is decreased.

## SISÄLLYSLUETTELO

### Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
2.	Aurinkoenergian käyttö .....	7
2.1	Aurinkoenergiajärjestelmän hankinnan syitä .....	8
2.2	Aurinkoenergian rajoitukset .....	8
3.	Esimerkkikohteen varustelu ja kulutus.....	10
4.	Algoritmi akku- ja paneelijärjestelmän mitoitukseen sekä esimerkkikohteen tulokset .....	12
4.1	Algoritmin tulokset esimerkkikohteelle .....	14
5.	Tuotteet ja kustannukset .....	16
5.1	Aurinkosähköjärjestelmä ja esimerkkikohteen tuotetiedot.....	16
5.2	Kustannuslaskenta .....	16
6.	Järjestelmän valinta .....	19
7.	Sähkönkulutuksen sovittaminen aurinkosähköjärjestelmään .....	20
8.	Yhteenveto.....	21
	Lähteet .....	22

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

IRENA	International Renewable Energy Agency, kansainvälinen uusiutuvan energian virasto
LUT	LUT University, LUT-yliopisto
PWM	Pulse-Width Modulation, Pulssinleveysmodulaatio
MPPT	Maximum Power Point Tracking, Maksimitehopisteen seuranta
$\epsilon$	hinta
$I$	virta
$i$	tarkasteltava tunti
$kpl$	paneelien lukumäärä
$P$	teho
$Q$	varaus
$U$	jännite
$W$	energia
$x$	tunnin arvo

### Alaindeksit

180	180 ampeeritunnin akku
220	220 ampeeritunnin akku
järjestelmä	paneelien ja akustojen muodostama järjestelmä
paneeli	yksi aurinkopaneeli
paneelisto	järjestelmän aurinkopaneelit

## 1. JOHDANTO

Aurinkosähköjärjestelmät ovat yksi ratkaisu, jolla voidaan korvata saasteita aiheuttavia sähköntuotantomuotoja. Aurinkosähkö on uusiutuvaa energiaa, jota riittää niin kauan kuin aurinko paistaa. Nykyisin aurinkosähköä hyödynnetään omavaraisissa järjestelmissä sekä energiantuotannon tukimuotona. Tässä tutkimuksessa perehdytään omavaraiseen aurinkosähköjärjestelmään. Omavaraisella järjestelmällä tarkoitetaan julkisesta sähköjakeluverkosta irti olevaa, oman kulutuksensa kattavaa järjestelmää.

Omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän keskeisimpiä komponentteja ovat paneelit ja akusto. Paneelit keräävät auringosta saatavaa energiaa auringon paisteen aikana. Kerätty energia voidaan käyttää heti. Tuotettua sähköenergiaa pystytään myös varastoimaan akustoihin ja käyttämään aikoina, kun aurinko ei paista ja uutta tuotantoa ei synny. Akkukapasiteetti on rajallinen, joten sen mitoitus on yksi energiankulutuksen rajoittavista tekijöistä. Akuston mitoituksen mukaan määräytyy, kuinka paljon ja kauan sähköenergiaa saadaan varastoista, kun energiaa ei saada tuotettua lisää.

Työn tavoitteena on kehittää menetelmä aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen vapaa-ajan asunnon tarpeisiin. Vapaa-ajan asunnon käyttö sijoittuu huhtikuusta syyskuun loppuun. Mitoitus tapahtuu tuotantotietojen ja kesäasunnosta saatavilla olevien kulutustietojen mukaan. Mitoitusanalyysissä tarkastellaan rajoittavia ja määrääviä tekijöitä sekä nostetaan esille huomioon otettavia asioita.

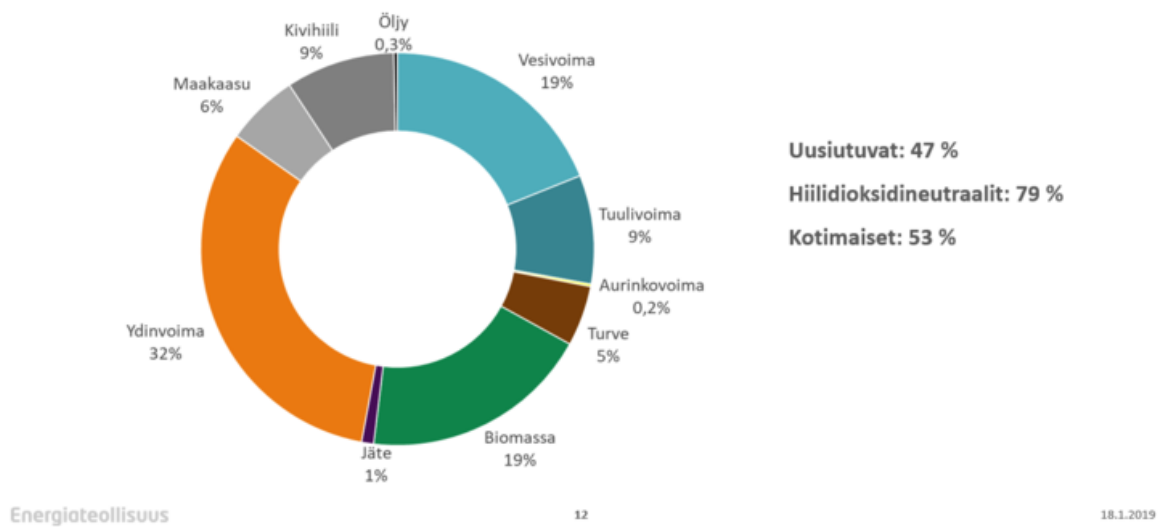
Tutkimus toteutetaan matemaattisena tarkasteluna. Matemaattisen tarkastelun tuloksena saadaan algoritmi omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän aurinkopaneelien tuotantotarpeen ja akuston varauskyvyn mitoittamiseen. Muodostetun algoritmin avulla on tehty aurinkosähköjärjestelmän mitoituslaskelma esimerkkikohteelle. Mitoituslaskelmasta saaduille järjestelmävaihtoehdoille on laskettu kustannuksia ja tehty analyysiä sekä mitoituksesta että kustannuksista. Algoritmia voidaan hyödyntää esimerkiksi hankalissa olosuhteissa sijaitsevissa jakeluverkon ulkopuolella olevien vapaa-ajan asuntojen sähkötarpeisiin.

Työ aloitetaan kirjallisuustutkielmalla. Kirjallisuustutkielmassa perehdytään aurinkosähköjärjestelmän tämän hetkiseen tilanteeseen, mahdollisuuksiin ja rajoituksiin Suomen olosuhteissa sekä hankintaan vaikuttaviin tekijöihin. Tämän jälkeen perehdytään esimerkkikohteen kulutustietoihin ja varusteluun sekä matemaattisen tarkastelun tuloksena saatuun algoritmiin ja esimerkkikohteen mitoituksiin. Aurinkosähköjärjestelmän rakenteen ja valittujen laitteiden läpikäynnin jälkeen on vuorossa analysointi kustannuksista. Tutkimuksen loppupuolella käydään läpi järjestelmän valintaan ja sähkönkulutuksen sovittamiseen aurinkosähköjärjestelmään liittyviä huomioita. Tutkimuksen lopusta löytyy yhteenveto.

## 2. AURINKOENERGIAN KÄYTTÖ

Tilastokeskuksen tietojen mukaan vuonna 2017 Suomessa oli 507 200 kesäasuntoa. Mökkikanta on keskittynyt eteläiseen Suomeen. (Tilastokeskus 2018) Tällä hetkellä hyvin harvassa kesämökissä on käytössä aurinkoenergiajärjestelmä ainoana sähköntuotantomuotona, mutta mahdollisuuksia olisi useampaan järjestelmään. Yhteistuotantomuotona järjestelmiä löytyy pääosin omakotitaloista. Energiategollisuuden tekemä vuosikatsaus osoittaa, että Suomen sähköntuotanto vuonna 2018 oli 67 TWh, josta 47 % tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä. Aurinkosähkötuotanto oli vain 0,2 % koko vuoden sähköntuotannosta. (Energiategollisuus 2018)

### Sähköntuotanto energialähteittäin 2018 67 TWh



Kuva 2.1 Sähköntuotanto energialähteittäin Suomessa vuonna 2018 (Energiategollisuus)

LUT-yliopiston (LUT) tekemän tutkimuksen mukaan Suomen Lappeenrannassa on mahdollista tuottaa yhtä paljon sähköä aurinkovoimalla kuin Saksan Frankfurtissa. (Kosonen et al. 2014) Kuitenkin kansainvälisen uusiutuvan energian viraston (IRENA) tilastot vuodelta 2018 osoittavat, että vuonna 2012 maailmassa oli 95 850 megawatin kapasiteetti, josta 69 999 megawattia sijaitsi Euroopassa. Suomen osuus oli 8 megawattia ja Saksassa kapasiteettia oli 32 641 megawattia. Viiden vuoden aikana maailman kapasiteetti on kasvanut 385 674 megawattiin ja Euroopan osuus 109 467 megawattiin. Suomen kapasiteetti on kasvanut hyvin vaisusti 50 megawattiin verrattuna Saksan 42 394 megawattiin. Tilastot osoittavat, että Saksa on Euroopan johtavia maita kapasiteetin määrällä mitattuna koko tarkastelun ajalla. (IRENA 2018) Vaikka varsinkin Suomen eteläosissa olisi samanlaiset mahdollisuudet tuottaa aurinkosähköä kuin Saksassa, ei tarkastelun ajalla havaita yhtä voimakkaita investointeja.

## 2.1 Aurinkoenergiajärjestelmän hankinnan syitä

Aurinkoenergiajärjestelmän hankinnalle voi olla moniakkin erilaisia syitä. Suurimpia vaikuttavia tekijöitä ovat ympäristökysymykset sekä sähköjakeluverkkoon yhdistyminen. Aurinkosähköjärjestelmä on uusiutuvaa energiantuotantoa, koska siinä ei tarvita fossiilisia polttoaineita. Välttämällä fossiilisia polttoaineita voidaan ilmastonmuutosta hidastaa. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä on tehty myös monia kansainvälisiä sopimuksia. Tällainen sopimus on esimerkiksi Pariisin ilmastopöytäkirja. (Ympäristöministeriö 2018) Aurinkosähköjärjestelmä voi olla yksi edistävistä ratkaisuista kohti annettuja tavoitteita. Ihmisten mielenkiinto ympäristöä kohtaan on noussut ja suurin vaikuttaja ympäristökysymyksissä on kuitenkin oma asenne asiaan. Edellä mainitut asiat ja aurinkoenergiajärjestelmien kehitys teknisesti ja taloudellisesti vaikuttavat positiivisesti järjestelmien hankintaan.

Aurinkoenergiajärjestelmän hankinnan syynä voi olla myös ympäristöolosuhteet. Sähköjakeluverkkoon yhdistäminen voi joissain tilanteissa olla hankalaa. Jakeluverkko voi sijaita niin kaukana kohteesta, että liittymiskustannukset ovat hyvin korkeat. Tämän vuoksi liittymisen jakeluverkkoon ei ole kannattavaa. Sähköjakeluverkon liittymiskustannusten noustessa korkeammiksi kuin omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän investointikustannukset, on kannattavampaa hankkia aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmän hintaan ei vaikuta muita kustannuksia kuin hankintahinta. Kun järjestelmä on kerran hankittu, tuotanto on ilmaista. Maantieteelliset olosuhteet, esimerkiksi vuoret ja saaret, tarjoavat omat haasteensa verkkojen rakentamiselle. Haasteet saattavat olla niin suuret, ettei verkkoa ole rakennettu kyseiselle alueelle. Alueella sijaitsevat kohteet jäävät myös ilman sähköverkkoa. Sähköverkon rakentamisen kustannukset saattavat olla suuremmat kuin aurinkosähköenergiajärjestelmän hankinta, jolloin järjestelmän hankinta on taloudellisesti kannattavampi vaihtoehto.

Kiinteistöjen omistajien mielenkiinto omaa kulutusta ja ympäristöä kohtaan saattavat toimia motivaationa hankkia aurinkosähköjärjestelmä. Mielenkiinto saattaa kohdistua järjestelmän rahalliseen arvoon. Näissä tapauksissa usein vertaillaan mahdollisen hankinnan sijoituskustannusten takaisinmaksuaikaa, kun huomioidaan aurinkosähköjärjestelmän käytön tuottamat kustannusedut. Mielenkiinto voi myös kohdistua oman kulutuksen analysointiin, esimerkiksi miten kulutusta voi kohdistaa järjestelmän tuotantoaikaan tai miten kulutusta voidaan entisestään vähentää. Ympäristöajattelussa usein nousee esiin kysymys, miten voi tuottaa käyttämänsä energian vähemmän ympäristöä kuormittavalla tavalla.

## 2.2 Aurinkoenergian rajoitukset

Suomen ilmastolliset olosuhteet ja järjestelmän asennusympäristö luovat järjestelmän tuotantokapasiteetille omat haasteensa. Ympäristön muuttuvat olosuhteet aiheuttavat häviöitä tuotannossa ja lisätyötä, mikäli tuotanto halutaan pitää mahdollisimman tuottavana. Lisätyöllä tarkoitetaan paneelien puhdistamista ja muita vastaavia töitä.

Asennustapa itsessään vaikuttaa myös saatavaan tuotantoon, mikäli asennusta ei ole tehty optimaalisella tavalla. Paneelit voidaan asentaa hyvin monella tavalla, esimerkiksi järjestelmää varten rakennettuihin telineisiin, auringonpaistetta seuraaviin telineisiin tai katolle. Asennuksessa tulee huomioida erityisesti ilmansuunta ja kaltevuus.

Aurinkopaneeleilla kerätyksi saatua energiaa rajoittaa erityisesti ympäristöolosuhteiden aiheuttamat haasteet. Pohjoinen sijainti luo omat haasteensa vuodenajan vaihteluiden takia. Tämä havaitaan talvella lyhyinä päivinä valoisalla ajalla mitattuna verrattuna kesäpäiviin.



Suomen pohjoisosissa muutamana päivänä vuodessa ei aurinko nouse horisontin yläpuolelle lainkaan eli alueella vallitsee kaamos. (Ilmatieteenlaitos 2019) Lyhyiden päivien seurauksena talvisin saadaan tuotettua paljon vähemmän aurinkosähköä verrattuna kesäpäiviin. Siksi aurinkosähköjärjestelmät sopivat paremmin kesäaikaan painottuvaan sähkönkäyttöön eli kesäaikaan. Lisäksi talvisin paneeleihin kerääntyvä lumi ja syksyisin paneeleille puutoavat lehdet rajoittavat saatavaa energiamäärää. Paneeleihin kertyvät muut epäpuhtaudet, esimerkiksi kesällä siitepöly, alentavat tuotantokapasiteettia.

Auringon liikkeen seurauksena järjestelmän ympärillä olevat puut saattavat aiheuttaa varjoja. Pahimmassa tapauksessa ne voivat peittää kaikki paneelit, ja tuotantoa ei synny lähes lainkaan. Pilvisellä säällä auringon säteet eivät pääse paneeleille asti ja ajoittain aurinko ei paista lainkaan. Riippuen asennustavasta, aurinko saattaa paistaa niin alhaalla horisontin rajassa, ettei paneeleilla saada kerättyä säteilyä. Joskus valoisaan aikaan auringon säteet voivat hajaantua niin, että energiaa saadaan talteen vain taittuneista ja heijastuneista säteistä.

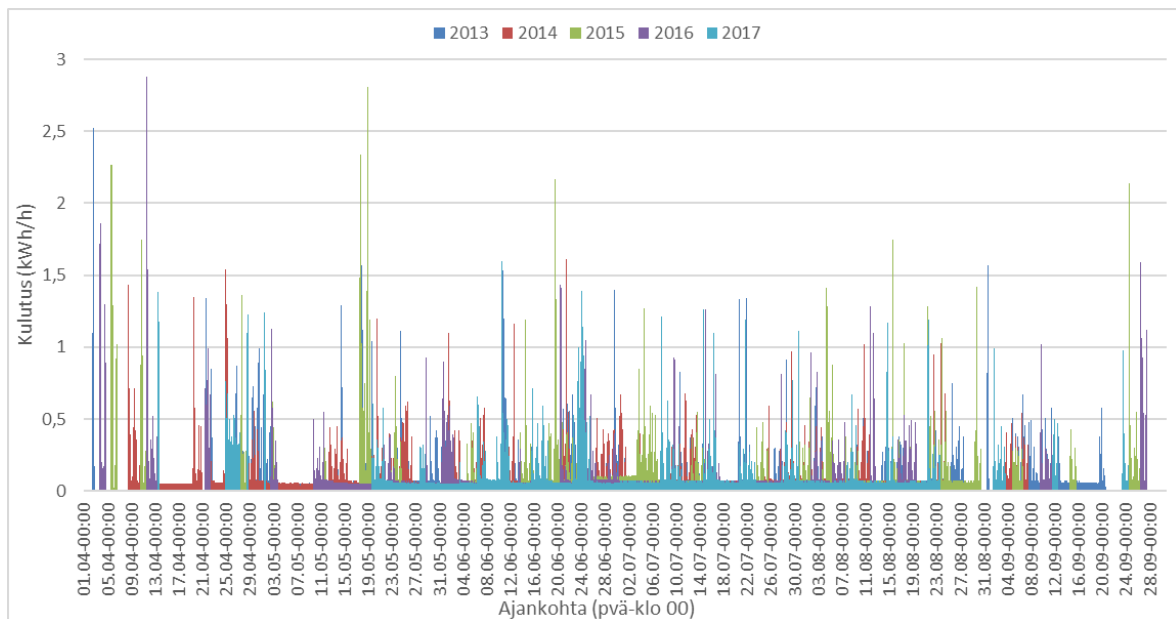
Järjestelmän laitteet tuottavat itsessään myös häviöitä. Energian siirrossa ja yksittäisissä laitteissa tapahtuu häviöitä. Kun yksittäiset komponentit liitetään yhteen, järjestelmä saattaa aiheuttaa häviöitä laitteiden komponenttihäviöiden lisäksi.

### 3. ESIMERKKIKOHTTEEN VARUSTELU JA KULUTUS

Esimerkkikohteen jatkuvaa sähkönkulutusta tuottaa jääkaappipakastinyhdistelmä. Lisäksi pidempi aikaisesti jatkuvaksi kuormaksi vuorokauden sisällä voidaan luokitella valaistus ja varalämmitysmuotona käytettävät sähköpatterit. Näiden käyttö on usein vuoden- ja vuorokaudenaikakohtaisia. Muutaman tunnin kulutuksia syntyy liedestä, uunista ja televisiosta. Käyttö ei ole päivittäistä, mutta ne muodostavat merkittävän kulutuksen käytönaikana. Kuormaa lisää myös yksittäiset satunnaiset sähkötarpeet.

Esimerkkikohteen käyttö ajoittuu pääosin vuosittain huhtikuusta syyskuun loppuun. Kohteen kulutustiedot ovat tunneittain yksikössä kWh/h vuosilta 2013-2017. Kohde ei ole käytössä ympärivuotisesti ja sen käytönaikakohta on satunnaisesti muuttuvaa. Tämän vuoksi kulutus ei noudata minkäänlaista systemaattista jaksoa. Sama voidaan havaita kuvasta 3.1, jossa kulutukset erivuosisilta on esitettyinä. Kulutus on esitetty kilowateissa ja ajankohta neljän päivän välein kello 00 huhtikuun ensimmäisestä päivästä alkaen.

Kuvaajasta on nähtävissä yksittäisiä piikkejä. Kuvaajan korkein yksittäinen huippu on väriltään violetti, se ajoittuu vuoden 2016 huhtikuun alkuun ja on arvoltaan 2,88 kW. Vuodelle ei ole muita yli 2 kW yli nousevia huippuja. Toiseksi korkein, väriltään vihreä, on vuoden 2015 toukokuun puolivälissä oleva 2,81 kW huippu. Tämän huipun vieressä on ikään kuin yksi keskittymä, missä on nähtävissä muitakin vihreitä huippuja. Koko tarkkailun ajalta löytyy monia yksittäisiä vihreitä yli 2 kW huippuja. Myös vuosi 2013 yltää huipullaan kerran 2,5 kW asti. Vuosien 2014 ja 2017 huiput eivät ylitä kertaakaan 1,7 kW arvoa.



Kuva 3.1 Kohteen kulutus ajanjaksolla 1.4-30.9 vuosina 2013-2017

Vaikka vuonna 2016 on korkein huippukulutus, on sen kokonaisenergiankulutus tarkasteluajanjaksolla verrattuna taulukon 3.1 mukaan toiseksi pienin. Vuoden 2015 korkeiden huippujen perusteella voisi olettaa kulutuksen olevan vuosien vertailussa korkein, mutta se sijoittuu toiseksi. Vuoden 2013 korkea kokonaiskulutus selittyy sillä, että lukuun ottamatta alun yhtä korkeaa kulutushuippua, kulutus on tasaisen vähäistä koko tarkasteluajanjaksolla.

Tehtäessä tuntikohtainen analyysi kappaleen 4 mukaan, huomataan vuoden 2013 olevan pienin rajoittava vuosi vaikka 2017 on kokonaiskulutukseltaan pienin. Pienimmällä rajoittavalla vuodella tarkoitetaan mitoituksessa pienintä saatua järjestelmän kokoa, joka kattaa tarkasteluvuoden kulutuksen. Tällaisen järjestelmän hankinta ei pysty kattamaan muiden vuosien korkeampaa kulutusta. Vastaavasti korkeimman rajoittavan vuoden järjestelmä on suurin järjestelmä, joka kattaa kaikkien tarkastelu vuosien kulutuksen. Muina vuosina se kuitenkin tuottaa sähköä ylimäärin, jota ei saada varastoitua ja se menee hukkaan. Vuosi 2015 on korkein rajoittava vuosi tehtäessä analyysi kappaleen 4 mukaan.

Taulukko 3.1 Kokonaiskulutus ja huipputeho vuosittain ajanjaksolta 1.4-30.9

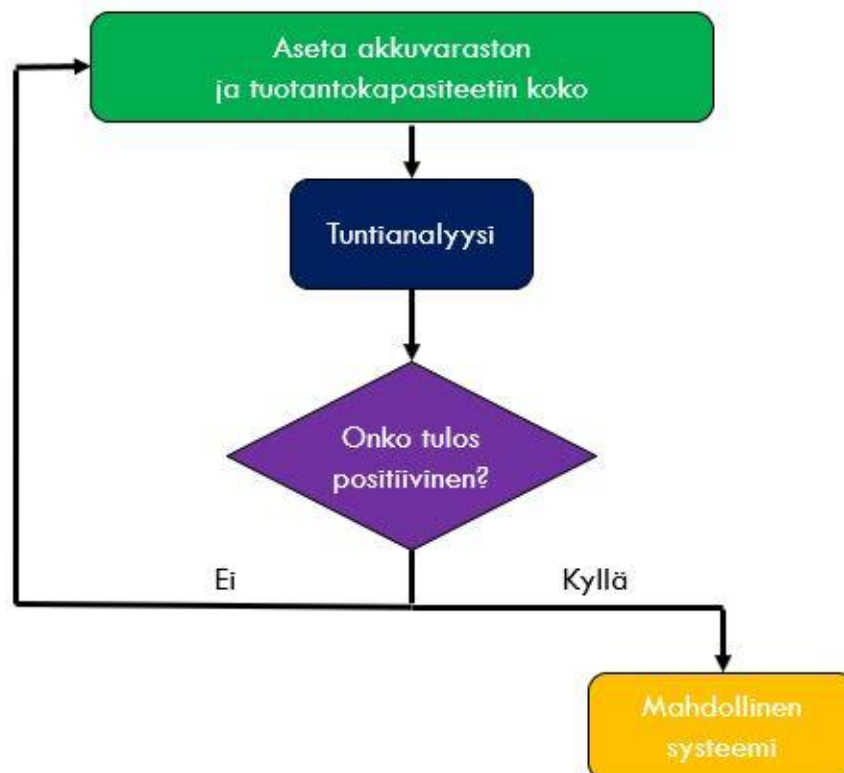
Vuosi	Kulutus (kWh)	Huipputeho (kW)
2013	387,92	2,52
2014	354,22	1,61
2015	331,55	2,81
2016	281,53	2,88
2017	274,74	1,6

#### 4. ALGORITMI AKKU- JA PANEELIJÄRJESTELMÄN MITOITUKSEEN SEKÄ ESIMERKKIKOHTTEEN TULOKSET

Algoritmissa ja sen analysoinnissa on käytetty mallikohteen kulutustietoja huhtikuun alusta syyskuun loppuun vuosilta 2013-2017. Kiinteistö ei ole ympärivuotisessa käytössä ja kulutus perustuu satunnaisesti muuttuviin kulutustietoihin. Tuotantotiedot on saatu LUT-yliopiston autokatoksen tuntikohtaisista tuotantotiedoista vuodelta 2015. Järjestelmä on kolmivaiheinen ja sen tuotantotiedot ovat skaalattu vastaamaan yhden kilowatin järjestelmää.

Algoritmi on kehitetty niin, että kuka tahansa voi sen avulla mitoittaa omaan vapaa-ajan asuntoonsa kulutuksen kattavan aurinkosähköjärjestelmän. Itsenäiseen algoritmin käyttöön tarvitaan tuntikohtaiset kulutus- ja tuotantotiedot. Tuntikohtaisia kulutustietoja saa esimerkiksi oman verkkoyhtiön sähköisistä palveluista. Lisäksi tulee itse määrittää tuotanto- ja akkukapasiteetti. Algoritmin edetessä itsemääritettyjen kapasiteettien kokoja muutetaan, mikäli valitut koot eivät tuota kulutusta kattavaa järjestelmää.

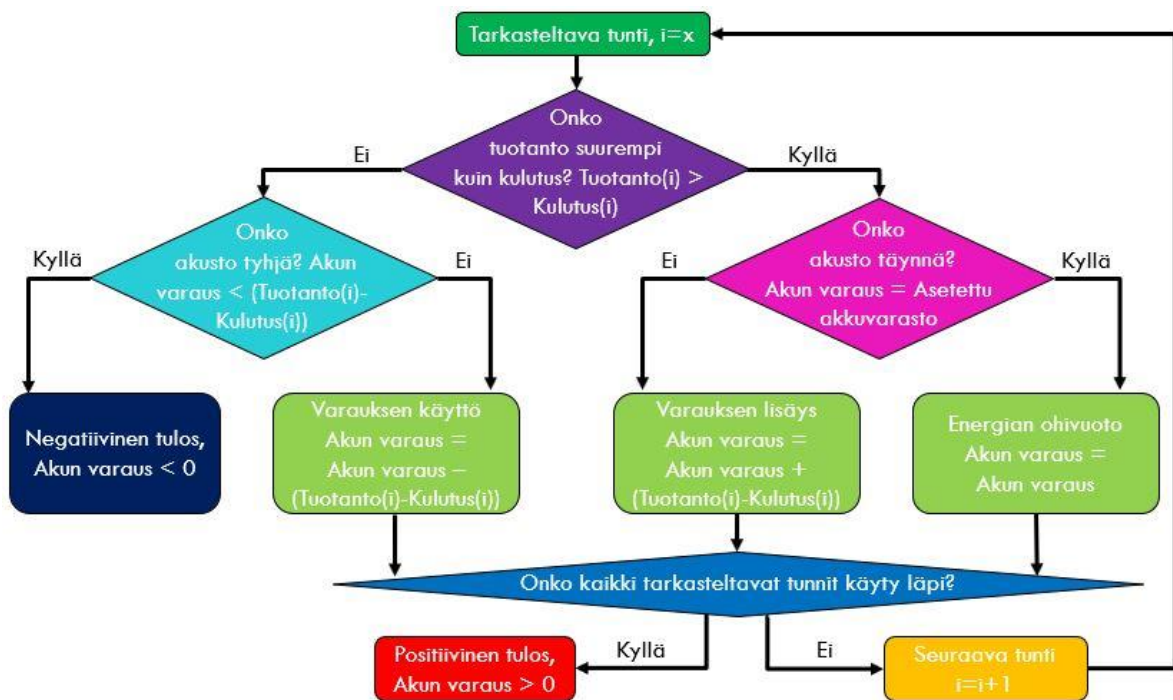
Mitoitusalgoritmissa on kuvan 4.1 mukaisesti kolme vaihetta; akkuvaraston ja tuotantokapasiteetin mitoitus, tuntianalyysi sekä tuntianalyysin tulos. Tuntianalyysi on esitetty kuvassa 4.2. Algoritmin tuloksena saadaan mitoitus akkuvaraston ja tuotantokapasiteetin koolle niin, että aurinkosähköjärjestelmän tuotanto kattaa tarkasteltavan kohteen kulutuksen. Algoritmi aloitetaan tekemällä mitoitukset. Tuotantokapasiteetti tarkoittaa yksittäisten aurinkopaneeleiden tuottamaa energiaa yhteensä kilowateissa (kWp). Akkuvaraston koolla tarkoitetaan sitä energiamäärää kilowattitunneissa (kWh), jota akkujärjestelmän akut yhteensä voivat varastoida. Algoritmissa akkuvaraston oletetaan olevan täynnä keväisin järjestelmää käyttöönotettaessa. Mitoitusten määrittelyn jälkeen vuorossa on tuntianalyysi.



Kuva 4.1 Mitoitusalgoritmin lohkokaavio

Tuntianalyysissä valmiita tuotantokapasiteettitietoja verrataan kulutuksen kanssa jokainen tunti kerrallaan. Jos energiaero on positiivinen eli tuotanto on suurempi kuin kulutus, akuston varausta voidaan kasvattaa, mikäli akustossa on vielä tilaa. Akuston varausta voidaan kasvattaa ainoastaan mitoituksessa määritellyn kapasiteetin suuruiseksi. Tämän jälkeen tuotantoa ei saada enää varastoitua ja se menee hukkaan eli energia vuotaa. Sekä varauksen kasvattamisen että energian vuodon jälkeen algoritmi siirtyy seuraavan tunnin energiaeron vertailuun, jos kaikkia tarkasteltavia tunteja ei ole vielä käyty läpi. Jos kaikki tarkasteltavat tunnit on käyty läpi ja akuston varaus säilyy positiivisena, on tuntianalyysin tulos positiivinen.

Tuntianalyysin tuotannon ollessa pienempi kuin kulutus eli energiaeron ollessa negatiivinen, vähenee akustossa ennestään oleva varaustila. Vähennyksen jälkeen siirrytään seuraavan tunnin energiaeron tarkasteluun, mikäli tunteja on vielä jäljellä. Varausta voidaan vähentää niin kauan, kunnes akuston kokonaisvaraus on käytetty kokonaan. Tässä tilanteessa akusto on edeltävällä tunnilla ollut lähes tai täysin tyhjä ja tarkasteltavalla tunnilla varaustila menee negatiiviseksi. Akuston negatiivinen varaustila tarkoittaa tuntianalyysin negatiivista tulosta.



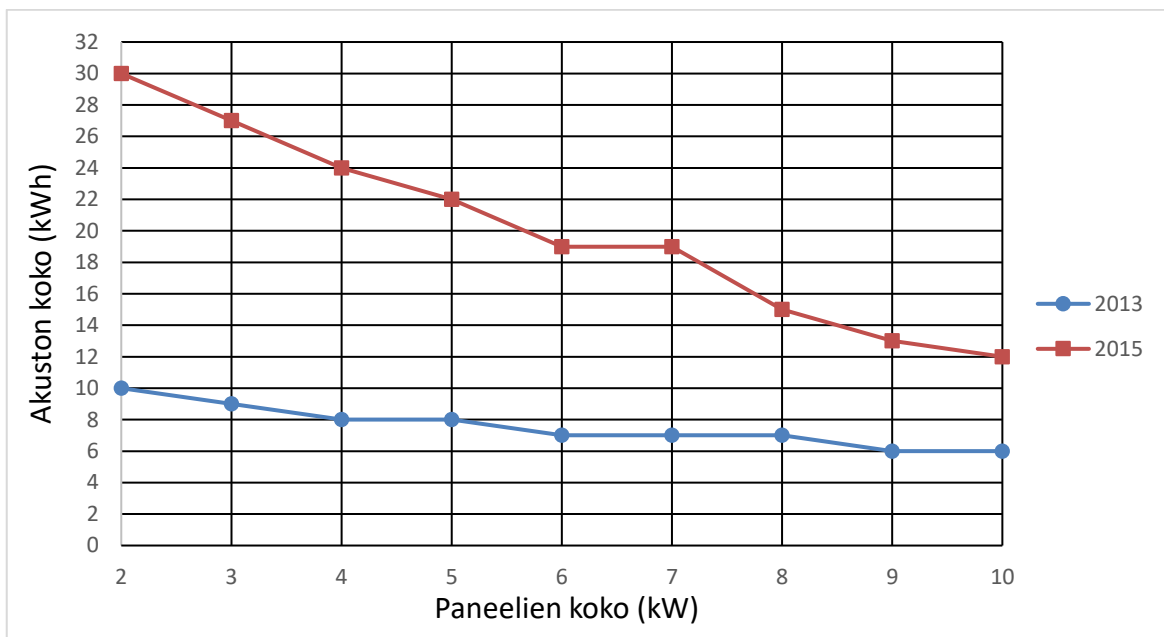
Kuva 4.2 Tuntianalyysi

Tuntianalyysin tulos voi olla positiivinen tai negatiivinen. Positiivinen tulos tarkoittaa, että akun varaus pysyy koko tarkastelun ajan positiivisena. Tällaisen järjestelmän tuotanto kattaa kulutuksen. Järjestelmä on mitoituksen puolesta mahdollinen vaihtoehto ja mitoitusalgoritmi päättyy. Algoritmin voi aloittaa uudelleen löytääkseen muita mahdollisia vaihtoehtoja muuttamalla akkuvaraston, tuotantokapasiteetin tai molempien kokoa. Negatiivisessa tuloksessa akun varaus ei ole positiivinen kaikkien tarkasteltavien tuntien aikana. Tällöin kulutus on suurempaa kuin tuotanto niin monella peräkkäisellä tunnilla, että akuston varaus ei riitä kattamaan suurta kulutusta. Mitoitusalgoritmi palaa takaisin akkuvaraston ja tuotantokapasiteetin mitoitukseen, jossa alussa määriteltyä mitoitusta akustolle, paneeleille tai molemmille täytyy muuttaa.



Yllä olevan taulukon raja-arvoista on piirretty alta löytyvä kuva 4.3. Kuvaajan x-akselilta löytyy paneelien mitoitus kilowateissa ja y-akselilta akuston koko kilowattitunneissa. Ylempanä sijaitseva punainen kuvaaja kuvaa vuoden 2015 tuloksia ja sininen kuvaaja vuoden 2013 tuloksia. Kaikki järjestelmät kuvaajilla ja niiden yläpuolella ovat kulutuksen kattavia järjestelmiä. Vastaavasti kuvaajien alapuolella olevien järjestelmien tuotanto ei pysty kattamaan kulutusta.

Molempien vuosien, vuoden 2013 ja 2015, käyrät ovat laskevia. Vuoden 2015 kuvaaja laskee jyrkemmin verrattuna vuoteen 2013. Molemmissa kuvaajissa on havaittavissa, että suurempi paneelimäärä tarvitsee vähemmän akkuja. Käyrät eivät ole suoria, joten akkukapasiteetti ei ole suoraan verrannollinen paneelijärjestelmän kokoon nähden.



Kuva 4.3 Paneelien ja akuston mitoitus

## 5. TUOTTEET JA KUSTANNUKSET

### 5.1 Aurinkosähköjärjestelmä ja esimerkkikohteen tuotetiedot

Julkisesta sähköjakeluverkosta irralliseen järjestelmään tarvitaan vähintään aurinkopaneelit ja lataussäädin. (Motiva 2016) Lataussäätimiä löytyy kahta erilaista, joiden nimet ovat pulssileveysmodulaatio säädin eli PWM ja maksimitehopisteen seuranta säädin eli MPPT. PWM säädintä pidetään yleissäätimenä ja MPPT on korkeamman lataustehon ja -hyötysuhteen säädin. Molempien säätimien hinta on noin 90-140 € väliltä. (Aurinkosähkö.net 2019)

Tutkittavan esimerkkikohteen järjestelmään on lisäksi hankittava akkuvarasto ja taajuusmuuttaja eli invertteri. Akkuvaraston avulla energiaa saadaan käyttöön myös silloin, kun tuotantoa ei ole. Invertterillä eli vaihtosuuntaajalla paneeleilta saatava tasasähkö saadaan muunnettua vaihtovirtasähköksi, jota kulutuslaitteet tarvitsevat toimiakseen. Inverttereitä on saatavana 1-, 2- ja 3-vaiheisena ja niiden hinta vaihtelee noin 900-2600 € euron välillä vaiheiden määrän mukaan. (Sun Solar 2019)

Kustannukset aurinkopaneeleille ja akustolle on laskettu käyttämällä SolarShop-sivustolta löytyvien tuotteiden tietoja. Paneeleista käyttöön on valittu 80 watin monikidepaneeli. Yksittäinen paneeli maksaa 85 €. (SolarShop, 2018) Täten hinta energiahuippua kohden aurinkopaneelille on 1062.5 €/kWp.

Akuista valikoitui käyttöön Euroglobe-merkkisiä 12 voltin AGM-akkuja. Mitoituksessa on käytetty 180 ampeeritunnin ja 220 ampeeritunnin tuotteita. Hintaa 180 Ah akulla on 290 €/kpl ja 220 Ah akulla 390 €/kpl. (SolarShop, 2018) Näistä saadaan laskettua molemmille akuille hinta energiayksikköä kohden, joka on 180 ampeeritunnin akulle 134 €/kWh ja 220 ampeeritunnin akulle 148 €/kWh. Erilaisilla akkuyhdistelmillä on pyritty määrittämään arvoja mahdollisimman lähelle algoritmimitoituksessa käytettyjä kokonaislukuja.

### 5.2 Kustannuslaskenta

Kustannuksissa on otettu huomioon vain kappaleessa 5.1 mainitut paneelien ja akustojen hinnat. Kustannukset eivät sisällä järjestelmään tarvittavien muiden laitteiden ja asennuksen kustannuksia. Kappaleessa 5.1 kerrottujen tuotetietojen avulla on määritetty alta löytyvät kustannukset, taulukko 5.2 ja 5.3. Tuotetiedot ovat koottuna taulukkoon 5.1 ja niitä on käytetty esitetyissä laskelmissa. Taulukon vasemmassa reunassa on tuotetieto oranssin otsikon alla ja oikealla on tuotteen hinta. Taulukoitujen kustannusten vasemmasta reunasta löytyy tumman oranssilla paneelien lukumäärät ja vaaleamman oranssilla paneeliston koko ilmoitettuna kilowateissa. Paneelien koot on saatu laskemalla yhtälön 5.1 mukaisesti.

$$P_{\text{paneelisto}} = P_{\text{paneeli}} * kpl, \quad (5.1)$$

jossa

$P_{\text{paneeli}}$  = yksittäisen aurinkopaneelin teho, 80 W

$kpl$  = paneelien lukumäärä

Taulukkojen yläreunasta tumman oranssilla löytyy tarkasteluissa käytetyt akkukombinaatiot. Akkujen tuotetietojen avulla saadaan laskettua akun energiakapasiteetti wattitunteina seuraavan yhtälön avulla.



$$W = U * Q, \quad (5.2)$$

jossa

$$U = 12 \text{ V}$$

$$Q_{180} = 180 \text{ Ah}$$

$$Q_{220} = 220 \text{ Ah}$$

Pienemmän akun energiakapasiteetiksi saadaan 2160 Wh ja suuremman akun 2640 Wh. Näiden arvojen ja akkujen lukumäärien avulla on laskettu kilowattituntiset määrät yhdistelmille. Taulukoiden 5.2 ja 5.3 keltaiset ruudut vastaavat algoritmilla saatuja taulukon 4.1 EI-tuloksia esimerkkikohteelle. Vaaleissa ruuduissa on euro määräiset tulokset kyseisille mitoituksille. Ne on laskettu kaavan 5.3 avulla.

$$\epsilon_{\text{järjestelmä}} = kpl_{\text{paneeli}} * \epsilon_{\text{paneeli}} + kpl_{180} * \epsilon_{180} + kpl_{220} * \epsilon_{220}, \quad (5.3)$$

jossa

$kpl_{\text{paneeli}}$  = paneelien lukumäärä

$\epsilon_{\text{paneeli}}$  = yhden paneelin hinta

$kpl_{180}$  = 180 Ah: n akkujen lukumäärä

$\epsilon_{180}$  = 180 Ah: n akun hinta

$kpl_{220}$  = 220 Ah: n akkujen lukumäärä

$\epsilon_{220}$  = 220 Ah: n akun hinta

Taulukko 5.1 Alkuarvot

Paneelit	Hinta, €
80W	85
Akusto, 12 V	Hinta, €
180Ah	290
220Ah	390

Taulukko 5.2 Paneeli- ja akkuyhdistelmien kustannukset vuodelle 2013

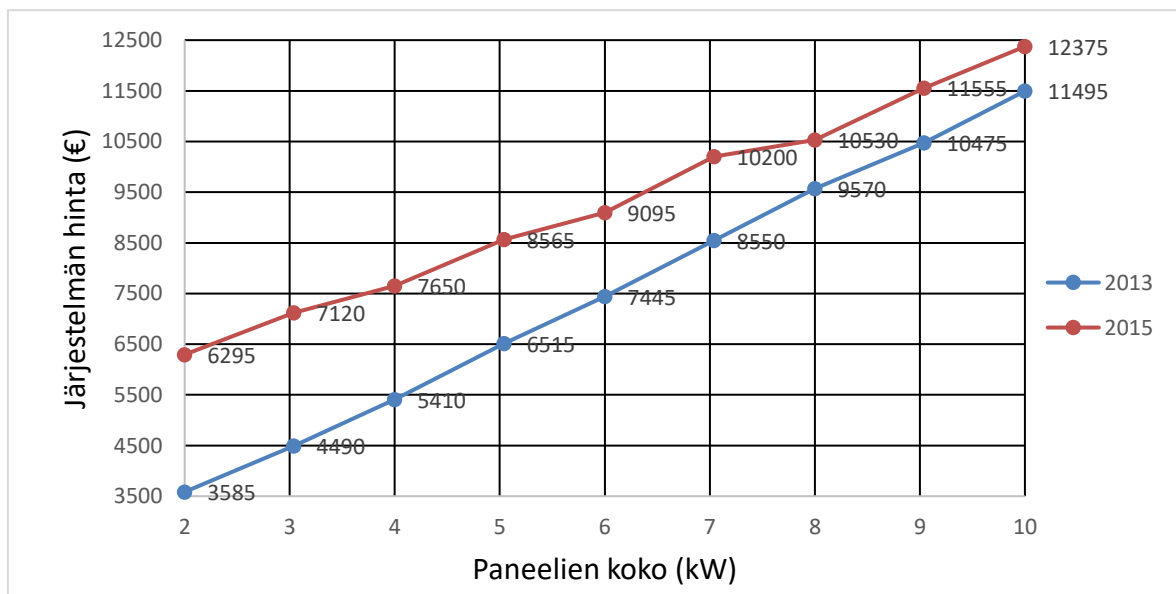
2013	Akusto(Ah)	3x180	2x220+180	4x180	3x180+220	3x220+180
Paneelit(kpl)		6,48 kWh	7,44 kWh	8,64 kWh	9,12 kWh	10,08 kWh
25	2,00 kW	-	-	-	-	3 585 €
38	3,04 kW	-	-	-	4 490 €	4 690 €
50	4,00 kW	-	-	5 410 €	5 510 €	5 710 €
63	5,04 kW	-	-	6 515 €	6 615 €	6 815 €
75	6,00 kW	-	7 445 €	7 535 €	7 635 €	7 835 €
88	7,04 kW	-	8 550 €	8 640 €	8 740 €	8 940 €
100	8,00 kW	-	9 570 €	9 660 €	9 760 €	9 960 €
113	9,04 kW	10 475 €	10 675 €	10 765 €	10 865 €	11 065 €
125	10,00 kW	11 495 €	11 695 €	11 785 €	11 885 €	12 085 €

Taulukko 2.3 Paneeli- ja akkuyhdistelmien kustannukset vuodelle 2015

2015	Akusto(Ah)	2x180+3x220	5x220	7x180	4x180+4x220	3x180+6x220	5x180+5x220	4x180+7x220	9x180+4x220
Paneelit, kpl		12,24 kWh	13,2 kWh	15,12 kWh	19,2 kWh	22,32 kWh	24 kWh	27,12 kWh	30 kWh
25	2,00 kW	-	-	-	-	-	-	-	6 295 €
38	3,04 kW	-	-	-	-	-	-	7 120 €	7 400 €
50	4,00 kW	-	-	-	-	-	7 650 €	8 140 €	8 420 €
63	5,04 kW	-	-	-	-	8 565 €	8 755 €	9 245 €	9 525 €
75	6,00 kW	-	-	-	9 095 €	9 585 €	9 775 €	10 265 €	10 545 €
88	7,04 kW	-	-	-	10 200 €	10 690 €	10 880 €	11 370 €	11 650 €
100	8,00 kW	-	-	10 530 €	11 220 €	11 710 €	11 900 €	12 390 €	12 670 €
113	9,04 kW	-	11 555 €	11 635 €	12 325 €	12 815 €	13 005 €	13 495 €	13 775 €
125	10,00 kW	12 375 €	12 575 €	12 655 €	13 345 €	13 835 €	14 025 €	14 515 €	14 795 €

Yllä olevien taulukoiden avulla on tehty kuva 5.1. Kuvaajat esittävät investointikustannusten riippuvuutta paneelijärjestelmän koosta. Kuvaajan alareunasta löytyy paneelien yhteistuo- tannon koko kilowateissa ja vasemmalta hinta euroissa. Punainen kuvaaja kuvaa vuoden 2015 tuloksia ja sininen vuoden 2013. Jokaisen yksittäisen pisteen tarkka rahallinen arvo on nähtävissä pisteiden oikealla puolella. Kuvaajat ja niiden yläpuolelta löytyvät mitoitusvaihtoehdot ovat mahdollisia järjestelmävaihtoehtoja. Mentäessä kuvaajien pisteistä pystysuo- rasti ylöspäin kustannukset kasvavat, joten kuvaajalla sijaitsevat pisteet kuvaavat halvimpia ja pienimpiä mahdollisia toimivia mitoituksia.

Algoritmin mitoituksista muodostetun kuvaajan avulla havaittiin, että akuston kasvaessa tar- vitaan vähemmän paneeleita. Kustannuskuvaajat ovat mitoituskuvaajille päinvastaisia. Mitoituksessa kuvaaja laskee mentäessä suurempaa paneelijärjestelmän kokoa kohden, toisin kuin kustannuskuvaajat. Molemmat kuvaajat kertovat, että akkukapasiteetin kasvaessa suh- teessa paneelien määrään laskevat hankintakustannukset. Tämä tarkoittaa sitä, että valituilla laskentaparametreilla on edullisempaa investoida suuren akkukapasiteettiin ja muutama- an paneeliin kuin toisinpäin.



Kuva 5.1 Akuston koko ja hinta

## 6. JÄRJESTELMÄN VALINTA

Mitoitusperiaatteiden mukaisesti esimerkkikohteesta tehdyt analyysit osoittivat, että eri vuosien välillä voi olla hyvinkin suuria tuotantovaihteluita. Esimerkiksi vuonna 2015 tarvittava tuotantokapasiteetti on lähes kolminkertainen verrattuna vuoteen 2013. Siksi mitoitusta tehtäessä valmiiden kulutustietojen mukaan, on tarkastelussa syytä huomioida yhden vuoden sijasta muutaman edeltävän vuoden tietoja.

Järjestelmän valinnassa on hyvä ottaa huomioon, että siinä on mahdollisimman vähän yksittäisiä järjestelmän osia. Paneelien ja akkujen käyttöikä on rajallinen, joten niiden uusinta tulee ennemmin tai myöhemmin ajankohtaiseksi. Laitteita valittaessa tulee tarkastella kustannusten kannalta, onko kustannustehokkaampaa sijoittaa lyhytikäisiin akkuihin pienin ostohinnoin kuin pidempi ikäisiin korkeammilla ostohinnoilla. Käyttäjän kannalta on epäedullista, jos esimerkiksi akut vanhenevat pienin väliajoin esimerkiksi kerran kesässä aiheuttaen rajallisen sähkön käytön tai käyttökatkoksen. Lisäksi järjestelmän osien määrän kasvaessa vikojen mahdollisuus kasvaa niin yksittäisessä osassa kuin koko järjestelmässä.

Tutkimuksen tulosten perusteella esimerkkikohteeseen on kustannusten kannalta kannattavampaa hankkia järjestelmä, jossa on vähän paneeleita eli aurinkopaneelien yhteistuotannon koko kilowateissa on mahdollisimman pieni. Vastaavasti myös järjestelmän komponenttien määrä laskee paneelijärjestelmän koon pienetessä. Pienempi kokonaismäärä on vikatilanteiden kannalta parempi vaihtoehto, koska vikojen mahdollisuus koko systeemissä on pienempi eli häiriöriski pienenee. Analyysien perusteella kannattavia järjestelmiä ovat sellaiset, joissa on suuret akkukapasiteetit ja vähän paneeleita. Tämä selittyy esimerkiksi sillä, että kulutus on vähäistä verrattuna tuotantomahdollisuuksiin pois lukien yksittäiset kulutuspiikit. Pienen kulutuksen aikana varastoidulla ylimääräisellä energialla voidaan kompensoida yksittäisiä hetkellisiä kulutuspiikkejä. Varastojen avulla kulutusajankohtaa saadaan myös joustavammaksi eli kulutuksen ei tarvitse ajoittua tuotannon kanssa samaan ajanhetkeen.

Järjestelmän valinta perustuu lopulta siihen, kuinka paljon kiinteistön omistaja on valmis sijoittamaan järjestelmään. Kustannusten määrään vaikuttavat kuluttajien sähkönkäyttötottumukset ja siten kulutuksen määrä. Korkea kulutus vaatii suuremman järjestelmän. Järjestelmää valitessa tulee ottaa huomioon järjestelmän käyttötarkoitus. Onko järjestelmällä tarkoitus kattaa ympärivuorokautinen kulutus vai käyttää järjestelmää ainoastaan tuotannon aikaan, jolloin varastointi järjestelmää ei tarvita. Kustannuksiin vaikuttavat myös järjestelmän hankintakustannukset eli akkuvaraston, aurinkopaneelien, invertterin ja lataussäätimen laitekustannukset sekä tarvittaessa asennuskustannukset. Tarjolla on valmiita paketteja ja hyvin erilaisia laitteita asennuksineen tai ilman, joista valita.

## 7. SÄHKÖNKULUTUKSEN SOVITTAMINEN AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄÄN

Sähkönkulutukseen voi vaikuttaa omilla käyttötottumuksilla. Aurinkosähköjärjestelmän kannalta on oleellista ajoittaa kulutus päiväaikaan, kun paneeleilla saadaan tuotettua energiaa. Lisäksi energian vuotoa voidaan vähentää, kun kaikki tuotettu energia saadaan käytettyä. Tämä tarkoittaa korkeimman kuormituksen ajoittamista parhaimpaan tuotantoaikaan, esimerkiksi sähkölaitteiden kuten puhelimen ja tietokoneen akun lataamista päivällä yön sijaan. Lataaminen kannattaa ajoittaa niin, että muuta kulutusta on samanaikaisesti vähän eli tasoitetaan päivän kuormitusta pidemmälle aikavälille pienentäen kulutushuippuja tai ajoittaa lataus tehokkaimpaan tuotantoaikaan eli pyritään estämään energian vuoto.

Kulutushuippuja saadaan laskettua ja sen seurauksena kulutusprofiilia tasattua, kun sähköä paljon kuluttavat laitteet korvataan vähän sähköä kuluttaviin eli energiatehokkaisiin tai sähköttömiin tuotteisiin. Korkeat kulutushuiput tarvitsevat suuremman aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen kuin tasaisempi kulutusprofiili. Korkeita hetkellisiä kulutushuippuja syntyy esimerkiksi sähkölieden käytöstä. Huippua saisi pienennettyä esimerkiksi sähkölieden korvaamisella kaasulla toimivaan lieteen tai grilliin.

Tasaista kuormaa syntyy laitteista, jotka täytyy olla koko ajan kytkettynä. Näitä kuormia saadaan alennettua esimerkiksi, kun jääkaapin korvaa maakellarilla. Valaistuksen voi vaihtaa energiatehokkaampiin vaihtoehtoihin. Pidemmän aikaa käyttämättömänä olevat laitteet, kuten television ja digiboksin, voi irrottaa järjestelmän piiristä.

Aurinkosähköjärjestelmä ei pysty tuottamaan sähköä läpi yön. Lämmityksen toimiessa sähköllä ja käytön ajoituessa yöaikaan, akkuihin varastoitu energia vähenee. Akkujen lataus-tarve täytyy ottaa huomioon seuraavan päivän kulutuksessa, jos akut halutaan ladata täyteen. Sähkön kokonaiskulutuksen vähentämiseksi sähköinen lämmitys kannattaa vaihtaa vaihtoehtoihin lämmitysmuotoihin. Vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja ovat puulämmitys tai kaasulämmittimet. Kyseisillä lämmitysmuodoilla voidaan korvata kokonaan tai pääosin sähköisen lämmityksen tarve.

Rajallinen sähkönkäyttökapasiteetti pakottaa käyttäjän sopeuttamaan kulutustottumuksensa saatavilla olevaan energiaan. Käyttäjän on arvioitava omaa määrällistä sähkönkulutustaan ja sen ajoittamista. Tämä voi tehostaa energiankäytön tehokkuutta ja sähkönkulutuksen vähentämistä. Samanlainen efekti voi heijastua myös vapaa-ajan asunnon ulkopuolelle, kun käyttäjä on pysyvästi muuttanut kulutustottumuksiaan.

## 8. YHTEENVETO

Tutkimuksen tuloksena saatiin omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän mitoitusalgoritmi vapaa-ajan asunnolle. Algoritmilla saatiin määritettyä esimerkkikohteelle mahdollisia paneeli- ja akkujärjestelmäkokoja. Mahdollisten järjestelmien kustannuksia tarkasteltiin esimerkkinä käytettyjen paneelin ja kahden erikokoisen akun avulla. Esimerkkikohteen analyysin mukaan suurien akkukapasiteettien rinnalle tarvitaan vähän paneeleita. Kustannusten kannalta katsottuna esimerkkikohteen vähäinen paneelien määrä on tehokkain ratkaisu järjestelmälle.

Kirjallisuustutkielmassa selvisi, että Suomessa olisi yhtäläiset mahdollisuudet tuottaa aurinkosähköä kuin Saksassa, mutta tätä potentiaalia ei olla käytetty yhtä tehokkaasti. Vaikka Suomessa on hyvät mahdollisuudet tuottaa aurinkosähköä, on sille myös omat haasteensa. Erityisesti ilmasto ja asennusympäristö luovat omat haasteensa järjestelmän hankinnalle. Keskeisiä tekijöitä ovat paneeleille kerääntyvät epäpuhtaudet, säävaihtelut, fyysisten esteiden tuottamat varjot, optimaalinen asennustapa ja häviöt.

Aurinkosähköjärjestelmän hankinnalle voi olla monia erilaisia syitä. Keskeisiä tekijöitä ovat ympäristökysymykset, sähköjakeluverkkoon yhdistyminen ja oma mielenkiinto. Järjestelmää valittaessa on syytä ottaa huomioon vuosittaisen kulutuksen vaihtelut, järjestelmän käyttötarkoitus, järjestelmän osien lukumäärä sekä järjestelmän kustannukset.

Sähkönkulutukseen voi vaikuttaa muuttamalla omia kulutustapoja ja ajoittamalla kulutuksen aurinkosähkön tuotantoaikaan. Laittevalinnoilla ja lämmitysmuodolla on hyvin suuri merkitys kokonaiskulutuksen kannalta. Kulutustottumukset heijastuvat myös kulutusprofiiliin. Tasaisempi kulutusprofiili tuottaa pienemmän järjestelmämitoituksen verrattaessa korkeita kulutushuippuja omaaviin profiileihin.

## LÄHTEET

Aurinkosähkö.net 2019. Lataussäätimet. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.3.2019] Saatavissa: <https://www.aurinkosahko.net/category/11/lataussaatimet>

Energiateollisuus 2018. Sähköntuotanto. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.3.2019] Saatavissa: [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto)

Kosonen, A., Ahola, J., Breyer, C., & Albo, A. 2014. Large Scale Solar Power Plant in Nordic Conditions. The 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications. Lappeenranta, Finland. [konferenssi]. IEEE Xplore. [viitattu 18.3.2019] Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6911030&tag=1>

Ilmatieteenlaitos 2019. Tähtitieteelliset vuodenajat. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.3.2019] Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/tahtitieteelliset-vuodenajat>

International Renewable Energy Agency (IRENA) 2018. Renewable capacity statistics 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 18.3.2019] Saatavissa: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2018.pdf)

Motiva 2016. Verkkoon kytkevä aurinkosähköjärjestelmä. [verkkodokumentti]. [viitattu 18.3.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_kytkeva\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeva_aurinkosahkojarjestelma)

SolarShop 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 6.11.2018] Saatavissa: <http://www.solarpower.fi/>

Sun Solar Oy 2019. Invertteri aurinkosähkö. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.3.2019] Saatavissa: <https://kauppa.sunsolar.fi/tuote-osasto/invertteri-aurinkosahko/>

Tilastokeskus 2018. Kesämökit 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.3.2019] Saatavissa: [http://tilastokeskus.fi/til/rakke/2017/rakke\\_2017\\_2018-05-25\\_kat\\_001\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/rakke/2017/rakke_2017_2018-05-25_kat_001_fi.html)

Ympäristöministeriö 2018. Pariisin ilmastopöytäkirja. [verkkodokumentti]. [viitattu 18.3.2019] Saatavissa: <https://www.ym.fi/pariisi2015>