

Kalle Jokela

# KESÄMÖKIN SÄHKÖISTYKSEN VAIH- TOEHDOT AURINKOVOIMAN AVULLA

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Toukokuu 2019

# TIIVISTELMÄ

Kalle Jokela: Kesämökin sähköistuksen vaihtoehdot aurinkovoiman avulla  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Sähkötekniikan kandidaatti  
Toukokuu 2019

---

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan eri tapoja toteuttaa kesämökin sähköistys aurinkovoiman avulla. Työssä käydään läpi aurinkosähkön toimintaperiaate, pientaloon sopivan aurinkosähkijärjestelmän rakennetta ja mitoitusmenetelmiä. Työssä mitoitetaan aurinkovoimala ja tutkitaan, onko aurinkovoimalaan investointi taloudellisesti kannattavaa. Sen lisäksi tarkastellaan akuston liittämistä osaksi verkkoon kytkettyä aurinkosähkijärjestelmää ja verkosta irrallisen aurinkovoimalan potentiaalia sähköistyksessä.

Aurinkovoimala voi olla liitetty verkkoon tai olla saarekekäytössä itsenäisenä järjestelmänä. Verkkoon liitettyssä järjestelmässä on aina sähköä saatavilla, joten sen oikea mitoitus ei ole yhtä kriittistä kuin verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä. Verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä sähköä pitää pystyä varastoimaan niitä hetkiä varten, jolloin tuotanto ei kata sähkön tarvetta. Varastointiin käytetään useimmiten akkuja. Tämän vuoksi järjestelmien rakenne vaihtelee. Myös verkkoon liitettyyn järjestelmään voidaan liittää akut tasaamaan tuotannon ja kulutuksen ajallista eroa.

Aurinkovoiman avulla pystytään osa sähköstä ja joissain tapauksissa kaikki kesämökillä tarvittava sähkö tuottamaan itse, jolloin sähköä tarvitsee ostaa vähemmän ja muodostuu säästöä. Kuitenkin aurinkovoimalan hankintakustannus on usein niin suuri, että investoinnin kannattavuus on tärkeää arvioida etukäteen.

Työssä huomataan aurinkovoimalan vaikutuksen sähkön ostoon olevan niin pieni, ettei investointi maksa itseään takaisin 30 vuoden tarkastelujakson aikana. Myöskään akuston avulla tuotetun sähkön ajallinen siirtäminen ei ole kannattavaa, sillä vaadittava investointi on moninkertainen saatuun hyötyyn nähden. Jos järjestelmää ei liitetä verkkoon, säästytään verkkoon liittämisen kustannuksilta sekä sähkön siirron perusmaksuilta. Työssä kuitenkin todetaan, että aurinkoenergialla ei pystytä kattamaan talven sähköntarvetta, mikäli mökkiä halutaan käyttää ympärivuotisesti.

Avainsanat: aurinkovoima, kesämökki, off-grid, mitoitus, akusto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. TARKASTELTAVA KOHDE .....	2
3. AURINKOSÄHKÖ SUOMESSA .....	4
3.1 Aurinkovoimalan toimintaperiaate ja rakenne .....	4
3.2 Sähkömarkkinat toimintaympäristönä .....	10
3.2.1 Sähkön tuotanto .....	10
3.2.2 Sähkön siirto .....	10
3.2.3 Sähkön kulutus .....	12
4. KOHTEEN ENERGIANTARVE .....	13
5. AURINKOVOIMALAN MITOITTAMINEN JA SOPIVAN KAUPALLISEN RATKAISUN VALINTA .....	15
5.1 Mitoitusmenetelmiä .....	15
5.2 Järjestelmän mitoitus kohteeseen .....	16
6. SÄHKÖISTYSVAIHTOEHTOJEN ANALYYSI .....	18
6.1 Aurinkovoimala ja loppu sähkö verkosta .....	19
6.2 Akullinen aurinkovoimala ja loppu sähkö verkosta .....	22
6.3 Kaikki sähkö akullisesta aurinkovoimalasta .....	22
7. YHTEENVETO .....	24
LÄHTEET .....	25

# 1. JOHDANTO

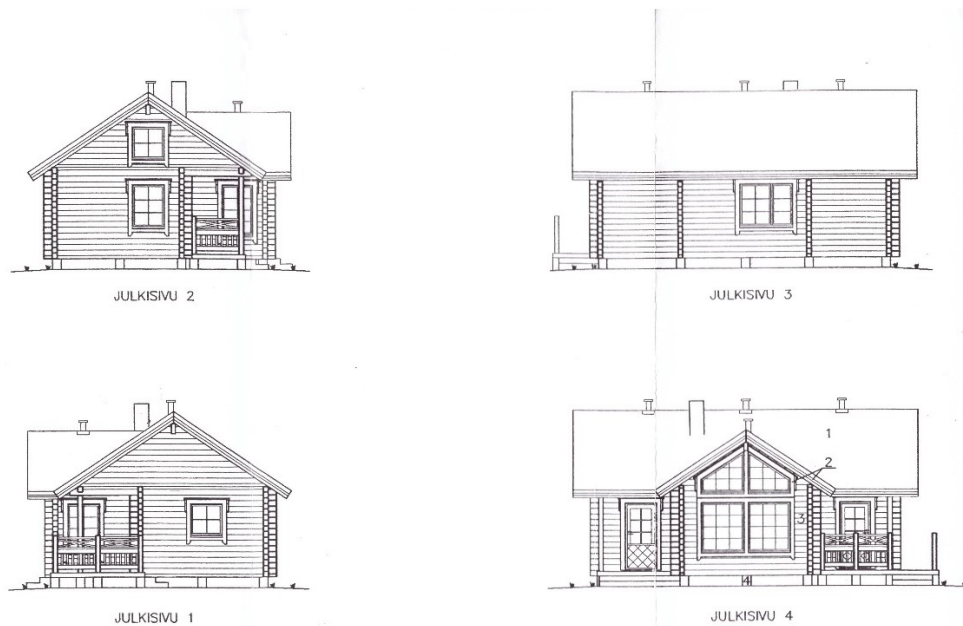
Sähkö on nykyään jo lähes arjen eilinehto ja yhä useampi vaatii sähköä myös kesämökkiinsä tai muuhun vapaa-ajan asuntoonsa. Usein sähköistys toteutetaan liittämällä kohde valtakunnalliseen sähköverkkoon, mutta aina se ei ole kustannusten kannalta paras ratkaisu. Verkkoon liittäminen maksaa lähes aina useita tuhansia euroja ja se voi tulla sähköön käyttöön nähden hyvinkin kalliiksi, mikäli kohde sijaitsee kaukana jakelumuuntamosta. Liittymän rakentamisen lisäksi kuluja tulee energian ostamisesta, sähkön siirtomaksuista ja veroista. Syrjäisille, vähän käytetyille mökeille on sähköistysratkaisuksi käytetty aurinkopaneeleita ja akkua verkkoon liittämisen sijaan. Vaikka mökki olisikin liitetty verkkoon, voidaan pitkällä aikavälillä saada säästöä tuottamalla osa sähköstä aurinkopaneeleilla.

Tässä työssä esitellään kolme eri vaihtoehtoa, joissa hyödynnetään aurinkosähköä osana kesämökin sähköistystä ja verrataan niitä ratkaisuun, jossa kaikki sähkö ostetaan sähköverkosta. Vaihtoehdoille tehdään kustannusarviot ja valitaan tarkasteltavaan kohteeseen sopivin vaihtoehto. Puhtaan ostosähköön lisäksi vaihtoehdot ovat hankkia aurinkovoimala ja ostaa loput tarvittavasta sähköstä verkosta, hankkia akullinen aurinkovoimala ja ostaa loput tarvittavasta sähköstä verkosta sekä tuottaa kaikki tarvittava sähkö aurinkovoimalalla. Kustannusten lisäksi vaihtoehdoista pohditaan myös eri vaihtoehtojen ongelmia ja muita valintaan vaikuttavia asioita.

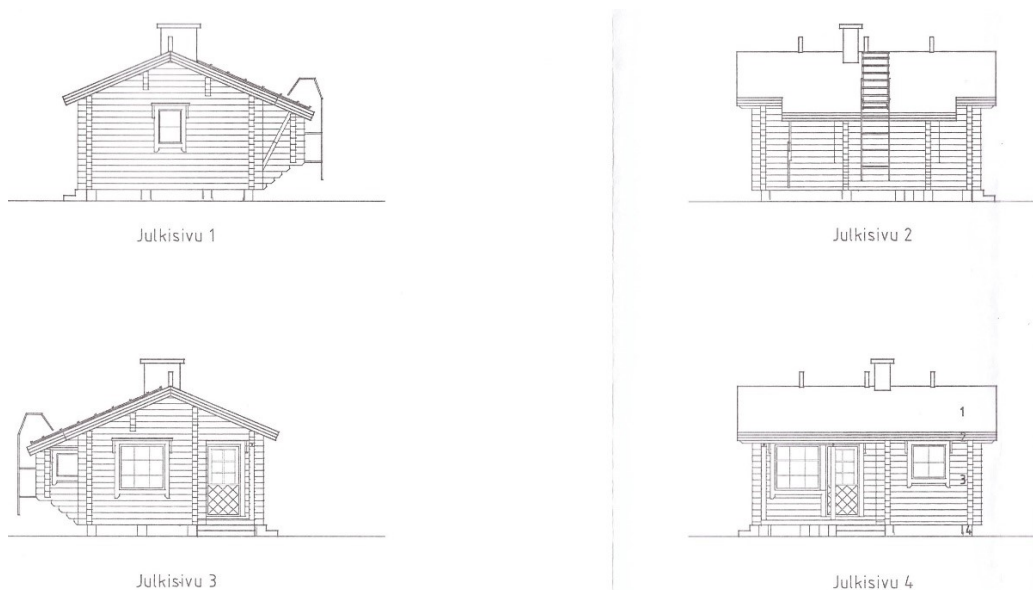
Työn luvussa 2 esitellään ensin tarkasteltava kiinteistö ja käyttöympäristö, johon aurinkosähköjärjestelmä mitoitetaan. Luvussa 3 käydään läpi aurinkosähköön perusteita yleisellä tasolla ja pohditaan Suomen sähköjärjestelmää sekä aurinkosähköön merkitystä ja asemaa siinä. Luvussa 4 muodostetaan sähköön käytön tilastoista pohja kohteen aurinkosähköjärjestelmän mitoitukselle. Järjestelmän mitoitusvaihtoehdot esitellään luvussa 5 ja valitaan kohteeseen sopivin vaihtoehto sekä kaupallinen ratkaisu vastaamaan mitoitusta. Luvussa 6 tehdään teknistaloudellinen analyysi sähköistysvaihtoehdoille ja valitaan käyttötarkoitukseen sopivin ratkaisu. Lopuksi luvussa 7 tehdään yhteenveto tuloksista.

## 2. TARKASTELTAVA KOHDE

Työssä tarkastellaan yksikerroksellista kesämökkiä, jonka kerrosala on 40 m<sup>2</sup>. Mökin lisäksi kohteessa on erillinen saunamökki, kerrosalaltaan 20 m<sup>2</sup>. Kesäisin mökki on aktiivisessa käytössä ja talvisin usein viikonloppuina käytössä. Rakennusten lämmitys tapahtuu suoralla sähkölämmityksellä ja saunamökissä pidetään talvella peruslämpö. Molemmissa rakennuksissa on myös takka, joilla pystyy lämmittämään silloin, kun rakennuksia käytetään. Mökin ja saunamökin julkisivukuvat on esitetty kuvissa 1 ja 2.

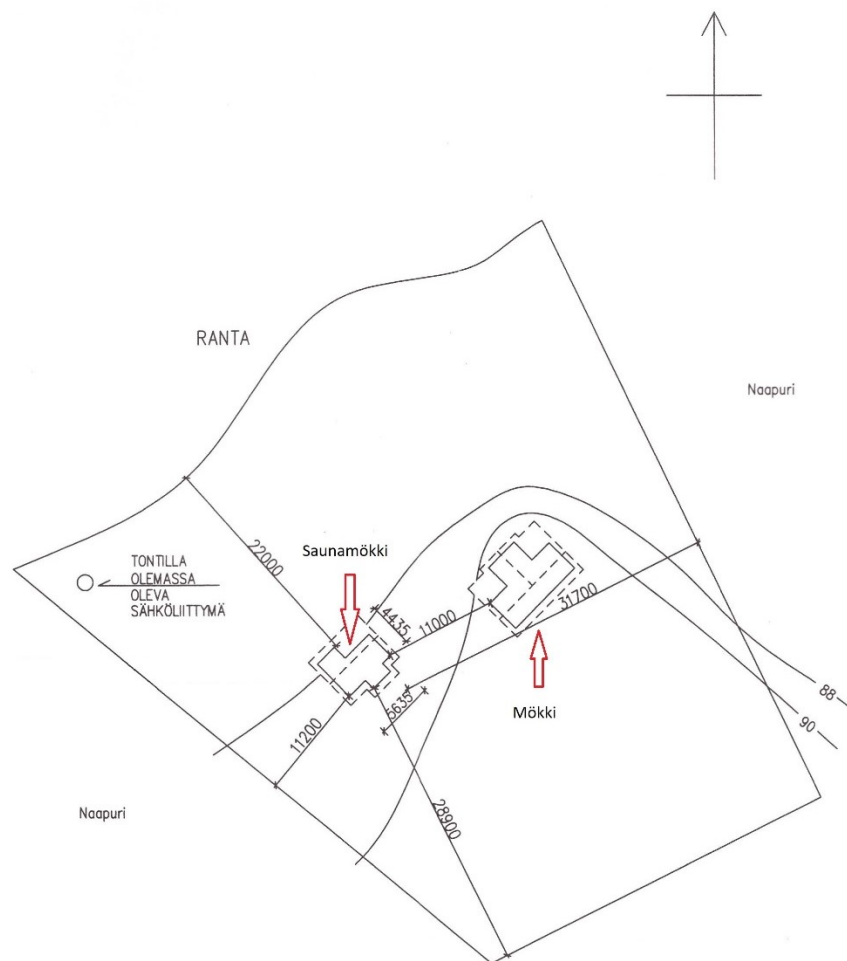


**Kuva 1: Mökin julkisivukuvat**



**Kuva 2: Saunamökin julkisivukuvat**

Kohde sijaitsee Pälkäneen kunnassa, saaren pohjoisrannalla. Kohde on Elenia-verkkoyhtiön toiminta-alueella. Tontin rajalla sijaitsee sähköliittymä ja mökki on liitetty valtakunnalliseen sähköverkkoon. Jakokaappi on yhdistetty kaapelilla jakelumuuntamoon, joka sijaitsee viereisessä saarella noin 700 metrin etäisyydellä jakokaapista. Sähköliittymän alkuperäisiä hankintatietoja ei ollut saatavilla tätä työtä varten, mutta verkkoyhtiölle lähetetyn tarjouspyynnön perusteella liittymän uusi hinta olisi 5171 euroa. Tontin asemapiirros on esitetty kuvassa 3.



**Kuva 3: Kohteen asemapiirros**

Rakennuksien kattojen kaltevuuskulmat ja suunnat on tärkeää tietää, sillä ne vaikuttavat paneelien tuotto-odotukseen. Myös soveltuva kattopinta-ala asettaa rajoituksia järjestelmän mitoitukselle.

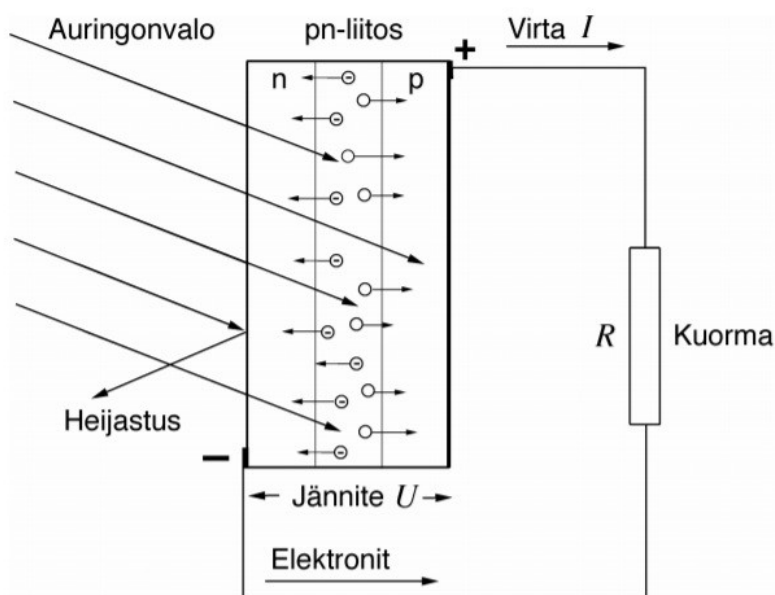
### 3. AURINKOSÄHKÖ SUOMESSA

Tässä luvussa käsitellään aurinkovoimalan toimintaperiaatetta ja rakennetta sekä aurinkovoimalan merkitystä energian tuottajana. Voimalan rakenteessa keskitytään rakennuskohtaisiin voimaloihin, eikä suurempia aurinkopuistoja käsitellä.

#### 3.1 Aurinkovoimalan toimintaperiaate ja rakenne

Aurinkovoimalassa auringon säteilyenergiaa muutetaan sähköksi aurinkopaneelien avulla. Aurinkopaneelit muodostetaan pienemmistä aurinkokennoista, joita kytketään rinnan ja sarjaan halutun jännitteen ja virran aikaansaamiseksi. Yleisimmät kaupalliset aurinkokennot on valmistettu yksi- tai monikiteisestä piistä, mutta myös muita materiaaleja, kuten gallium-arseenikennoja, ohutkalvomateriaaleja ja väriainekenoja, käytetään. Pii-kennojen suuren markkinaosuuden vuoksi tässä työssä käsitellään vain niitä.

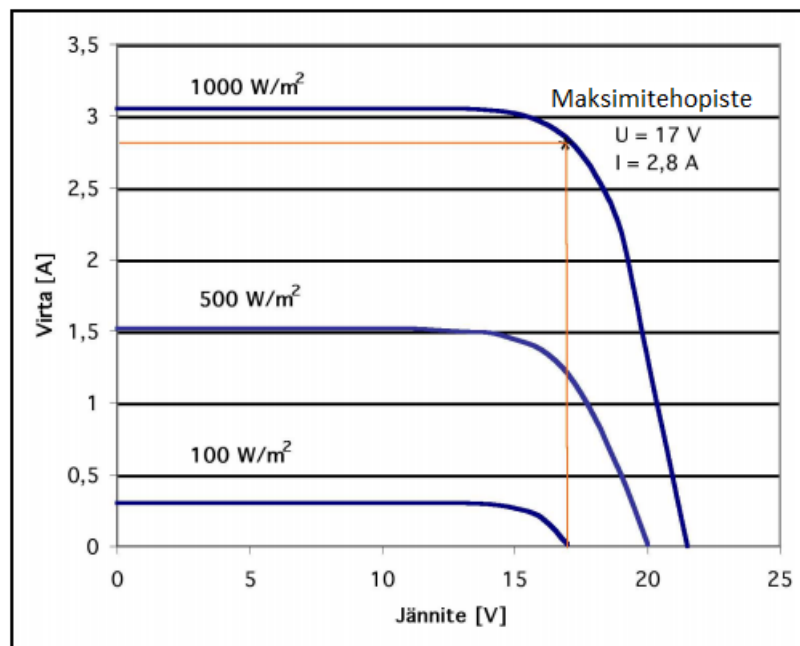
Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa puolijohdemateriaali kuljettaa osan fotonin energiasta varauksenkuljettajille. Fotonin osuessa pn-liitokseen muodostuu elektroni-aukopareja. Liitoksen rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Jotta elektronit ja aukot voivat yhdistyä, on elektronien kuljettava ulkoisen kuorman kautta p-puolelle, jolloin syntyy tasasähkövirta. Yhden aurinkokennon antama jännite on 0,5–0,6 V. [1] Aurinkokennon toimintaa on havainnollistettu kuvassa 4.



**Kuva 4: Aurinkokennon toimintaperiaate [1]**

Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina, joka lyhennetään  $W_p$ . Piikkiwatti kuvaa paneelin tehoa standardiolosuhteissa, joissa auringon säteily määrä on  $1000 \text{ W/m}^2$  ja kennon lämpötila on  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . [2] Nykyaikaiset rakennuksiin asennettavat piikidepaneelit ovat nimellisteholtaan noin  $260\text{--}300 \text{ W}_p$ , mutta myös pienempiä paneeleita käytetään esimerkiksi mökki- ja venekäytössä. Järjestelmän nimellistehon määrittävät käytetty paneelityyppi ja paneelien lukumäärä. Esimerkiksi järjestelmän, joka sisältää 6 kappaletta  $260 \text{ W}_p$ :n paneeleita, teho on  $1,56 \text{ kW}_p$ .

Paneelien todellinen teho ja tuotanto vaihtelevat kuitenkin paljon olosuhteiden mukaan. Niihin vaikuttavat paneelien lämpötila ja erityisesti niihin osuva säteily määrä. Lämpötila vaikuttaa paneelin ominaiskäyrään, joka ilmaisee millä virran ja jännitteen arvoilla se voi toimia. Teholtaan  $50 \text{ W}_p$  paneelin ominaiskäyrä on esitetty kuvassa 5. Paneelien toiminnan kannalta tärkeä piste ominaiskäyrältä on maksimitehopiste. Maksimitehopiste ilmaisee jännitteen ja virran arvot, joilla paneeli tuottaa suurimman tehon vallitsevissa olosuhteissa. [1]



**Kuva 5:  $50 \text{ W}_p$  paneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa. Muokattu lähteestä [1]**

Paneelit tuottavat paremmin matalissa lämpötiloissa [2], minkä vuoksi on hyvä huomioida riittävä ilman vaihtuvuus ja viileneminen paneelien läheisyydessä. Katolle asennettaessa paneelien ja katon väliin saatetaankin jättää tilaa ilman kiertämistä varten.

Paneelille kohdistuvaan säteily määrään vaikuttavat varjostukset ja suuntaus. Varjostuksia aiheuttavat esimerkiksi pilvet, lähellä olevat puut ja rakennukset sekä paneelien



päälle kertynyt lika ja lumi. Paneelien sijoituksella voidaan ehkäistä osaa varjostumista. Jo pienenkin varjon osuessa paneelille paneelin teho voi tippua suuresti, sillä kennot on kytketty sarjaan [3].

Paneelien suuntauksessa tulee ottaa huomioon kallistuskulma ja ilmansuunta. Esimerkiksi Tampereen seudulla optimaalinen kallistuskulma on noin 43 astetta ja etelään suunnattu 1 kW<sub>p</sub> järjestelmä tuottaa sähköä vuodessa arviolta 817 kWh [4]. Usein kuitenkin harjakatolle paneelit asennetaan katon lappeen suuntaisesti, jolloin asennuksesta tulee siistimpi ja yksinkertaisempi, mutta tuotto ei välttämättä ole suurin mahdollinen. Jos vastaavan järjestelmän kallistuskulma muutetaan 30 asteeseen, on sen vuosituotto 803 kWh, joten tuotannon kannalta muutos ei ole kovin suuri [4]. Pienemmällä kallistuskulmalla tuotanto saa terävämmän huipun keskikesällä, kun taas pystympään asennetut paneelit tuottavat sähköä tasaisemmin vuoden aikana [5]. Tasakatolle asennettaessa on sen sijaan järkevää käyttää telineitä, joilla paneelit saadaan asennettua optimaaliseen kulmaan.

Paneelit on mahdollista asentaa myös maahan tai rakennuksen seinään. Maahan asennettuna käytetään samankaltaisia telineitä kuin tasakattoasennuksissa. Maahan asennetut järjestelmät vaativat kuitenkin lisää maa-alaa ja matalalle sijoitettuina ne ovat alttiimpia varjostuksille kuin katolle asennettuina. Seinään asennettuja paneeleita usein käytetään arkkitehtuurisina yksityiskohtina rakennuksissa, jolloin niiden sijoittelu suunnitellaan sopimaan rakennuksen ulkoasuun. Seinään asennetut järjestelmät ovat parhaimmillaan talvella, jolloin lumi ei jää paneelien pinnalle ja auringon paistaessa matalalta, on tuotto talvikuuksina parempi kuin vuosituoton kannalta optimikulmaan asennetuilla järjestelmillä. Pystysuoraan asennettu ja etelään suunnattu 1 kW<sub>p</sub>:n järjestelmä tuottaa tammikuussa 13,3 kWh, kun vastaava optimikulmaan asennettu järjestelmä tuottaa 10,8 kWh. Vuoden kokonaistuotto kuitenkin jää seinäasennuksella 610 kWh:iin. [4]

Paneelin ilmansuunta voidaan esittää atsimuuttikulmana. Tässä työssä etelä on atsimuuttikulmassa 0°, itä -90° ja länsi 90°. Parhaan vuosituoton paneeleilla saa asentamalla ne kohti etelää, mutta paneelit voidaan kuitenkin asentaa jopa länteen tai itään ilman, että tuotanto pienenee kohtuuttomasti. Suuntauksen vaikutuksia paneelin tuottoon on havainnollistettu taulukossa 1, jossa järjestelmän nimellisteho on 1 kW<sub>p</sub> ja paneelien kaltevuuskulma on 43°.

**Taulukko 1: Ilmansuunnan vaikutus tuotantoon [4]**

Atsimuutti	Vuosituotanto	Verrattuna etelään suunnattuun
-90°	629 kWh	77 %
-45°	769 kWh	94 %
0°	817 kWh	100 %
45°	756 kWh	93 %
90°	614 kWh	75 %

Paneelit kannattaa sijoittaa katon niille lappeille, jotka laskevat suunnilleen etelän suuntaan. Paneelien tuottoon vaikuttaa myös niiden ikä, sillä ajan myötä aurinkopaneelien hyötysuhde pienenee. Laadukkaille paneeleille kuitenkin myönnetään usein tuottotakuu, joka voi esimerkiksi määrittää, että paneelin teho on 25 vuoden jälkeen vähintään 80 % nimellistehosta.

Useimmat kodin sähkölaitteet tarvitsevat vaihtovirtaa toimiakseen, joten paneeleilla tuotettu tasasähkö täytyy vaihtosuunnata. Vaihtosuuntaukseen käytetään invertteriä. Inverttereitä on sekä 1-vaiheisia että 3-vaiheisia sen mukaan, moneenko vaiheeseen invertteri liitetään. 1-vaiheinen invertteri liitetään yhteen järjestelmän kolmesta vaiheesta, jolloin se pystyy syöttämään vain kyseiseen vaiheeseen liitettyjä sähkölaitteita. 3-vaiheinen invertteri liitetään kaikkiin kolmeen vaiheeseen, ja se voi syöttää kaikkia kohteen sähkölaitteita. Sähkölaitteiden ryhmittelystä riippuen 3-vaiheisista inverttereistä saadaan usein suurempi hyöty. Pieniä 3-vaiheisia inverttereitä ei kuitenkaan markkinoilta juurikaan löydy, joten alle 3 kWp:n järjestelmiin joudutaan käyttämään 1-vaiheisia inverttereitä. [6]

On myös mahdollista käyttää paneelikohtaisia mikroinverttereitä. Mikroinverttereillä varustettu järjestelmä on yhden invertterin järjestelmää tehokkaampi, kun osalle paneeleista tulee varjoja. Mikroinverttereillä toteutettu järjestelmä on kuitenkin yleensä kalliimpi ja monen invertterin uusiminen on työläämpää. [6]

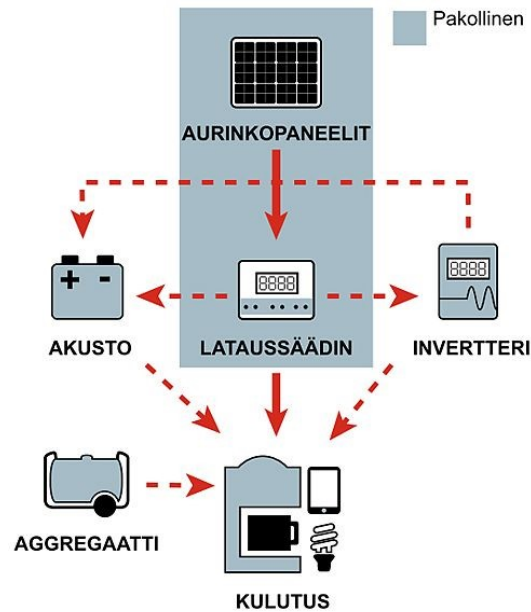
Aurinkosähköjärjestelmän rakenteeseen ja komponentteihin vaikuttaa se, onko järjestelmä liitetty verkkoon vai ei. Verkkoon liitetyn järjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 6.



**Kuva 6: Verkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän rakenne [6]**

Yleensä inverttereihin on integroitu pakolliset suojalaitteet ja tasavirtapiirin suojakytkin, mutta muuten ne on asennettava erillisinä komponentteina. Paneelit liitetään invertterin kautta kohteen sähköpääkeskukseen, josta on lähdöt ryhmäkeskuksiin ja sähköä kulutaviin laitteisiin. Myös valtakunnallinen sähköverkko liitetään sähköpääkeskukseen sähkömittarin kautta. Mittarilla mitataan verkosta otettua ja sinne syötettyä tehoa. Aurinkosähköjärjestelmä pitää pystyä erottamaan valtakunnallisesta sähköverkosta lukittavalla vaihtovirtapiirin turvakytkimellä, joka on liitetty invertterin ja sähköpääkeskuksen väliin. Turvakytkin sijoitetaan paikkaan, johon verkkoyhtiöllä on vapaa pääsy, esimerkiksi ulos. [6]

Mikäli järjestelmää ei liitetä sähköverkkoon, tulee sähkön tuotannon ja kulutuksen ajallista eroa tasoittaa energian varastoinnilla. Nykyään käytännössä ainoa kuluttajalle järkevä energiavarasto on akku. Tulevaisuudessa mahdollisesti muutkin energiavarastoteknologiat, kuten elektrolyysin avulla tuotetun vedyn polttaminen polttokennossa, yleistyvät. Verkkoon kytkemättömään eli off-grid-järjestelmään kuuluu aurinkopaneelien, invertterin ja akuston lisäksi myös lataussäädin, joka kytketään aurinkopaneelien ja akuston väliin [7]. Verkkoon kytkemättömän järjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7: Verkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän rakenne [7]**

Lataussäätimen kautta pystytään tasasähkölaitteita käyttämään suoraan ilman vaihtosuuntaamista. Invertteriä joudutaan kuitenkin käyttämään, mikäli vaihtosähkölle on tarvetta. Usein järjestelmään liitetään myös bensiini- tai dieselkäyttöinen aggregaatti varavoimaksi, jolla taataan tarvittava teho silloin, kun aurinkopaneelit eivät tuota tarpeeksi sähköä. [7]

Lataussäädin on laite, jolla estetään akun lataaminen liian täyteen ja akun purkautuminen liian tyhjäksi. Lataussäädin voi olla pulssinleveysmodulaatio- eli PWM-tyyppinen (Pulse Width Modulation) tai maksimitehopisteen seuraaja- eli MPPT-tyyppinen (Maximum Power Point Tracking). MPPT-säädin säätää latausjännitettä suurimman saatavan tehon mukaan ja hyödyntää ylimääräisen jännitteen hakkurilla virran kasvattamiseksi. MPPT-säätimellä saadaan parempi lataushyötysuhde, mutta sen hankintahinta on suurempi kuin PWM-säätimellä. [8]

Aurinkosähköjärjestelmissä käytetyt akut ovat usein huoltovapaita ja suljettuja AGM-akkuja. AGM-akut ovat lyijyhappoakkuja, joissa elektrolyytti on imeytetty lasivillaerottiin, jolloin happo ei ole nestemäisenä. Myös litiumakut ovat alkaneet yleistymään, mutta ne ovat toistaiseksi kalliimpia kuin lyijyhappoakut. Litiumakut ovat usein kevyempiä, mutta toisaalta kiinteästi asennetuissa aurinkosähköjärjestelmissä voidaan käyttää myös painavampia akkuja. Akkujen käyttöikään vaikuttaa lataus-purkusykli eli kuinka monta kertaa akku ladataan ja puretaan. Akkuja ei tulisi purkaa täysin tyhjiksi, koska silloin akun käyttöikä lyhenee. Akun käyttöikä on vaikea arvioida tarkkaan, mutta AGM-akuille usein arvioidaan 7-10 vuoden käyttöikä [9][10].

## 3.2 Sähkömarkkinat toimintaympäristönä

Sähköjärjestelmä voidaan karkeasti jakaa kolmeen osaan: sähkön tuotantoon, siirtoon ja kulutukseen. Suomen sähköjärjestelmä kuuluu pohjoismaiseen sähköjärjestelmään eli sähköjärjestelmän osa on yhteydessä kaikkiin muihin sähköjärjestelmän osiin ympäri Pohjoismaita. Tämän ansiosta esimerkiksi Suomen sähkönkulutuksessa voidaan hyödyntää Norjan vesivoimakapasiteettia. Sähköjärjestelmille ominaista on myös tehotasapaino eli tuotannon ja kulutuksen tulee joka hetki olla yhtä suurta. Sähköjärjestelmän toimintaa säätelee sähkömarkkinalaki.

### 3.2.1 Sähkön tuotanto

Tuotanto on perinteisesti toteutettu voimalaitoksissa, esimerkiksi vesivoimalla, ydinvoimalla tai polttamalla fossiilisia polttoaineita, kuten kivihiltä. Perinteiset tuotantotavat kuitenkin aiheuttavat erilaisia ympäristöhaittoja, kuten rikki- ja hiilidioksidipäästöjä sekä ydinjätettä. Vaikka vesivoima on puhdasta, on lähes kaikki Suomen potentiaaliset paikat jo hyödynnetty sähkön tuotantoon, joten sitä ei voida juurikaan lisätä. Ympäristöhaittojen vuoksi perinteisten tuotantoteknologioiden käyttöä on pyritty vähentämään ja korvaamaan puhtaammilla, uusiutuvilla energialähteillä, esimerkiksi bioenergialla, tuuli- ja aurinkovoimalla.

Tuuli- ja aurinkovoiman suurimpia ongelmia on tuotannon epätasaisuus. Tuotanto on hyvin riippuvaista sääolosuhteista. Tuulivoiman sähköntuotantoon luonnollisesti vaikuttaa etenkin tuulisuus ja aurinkosähkön tuotantoon aurinkoisuus. Suomessa eri vuodenaikoina aurinkoisuus vaihtelee suuresti, talvella tuotto on hyvin pientä lyhyen päivän vuoksi, mutta kesällä paneelit tuottavat suuren osan vuorokaudesta. Tuotannon epätasaisuus on merkittävä tehotasapainon kannalta ja usein sähkönkulutus on suurinta juuri silloin, kun aurinkoenergian tuotanto on pienimmillään eli talvella. Usein myös valaistusta tarvitaan aikana, jolloin aurinkoenergiaa ei ole saatavana.

### 3.2.2 Sähkön siirto

Sähkön siirto tapahtuu sähköverkon avulla. Sähköverkko voidaan jakaa suurjännitteeseen kantaverkkoon, keskijännitteeseen jakeluverkkoon ja pienjännitteeseen jakeluverkkoon. Kantaverkkoon kuuluu Suomen 400 kV ja 220 kV johdot sekä suurin osa 110 kV johdoista. Kantaverkkoon ovat liittyneet suuret voimalaitokset, tehtaita ja alueelliset jakeluverkot. Fingrid Oyj vastaa kantaverkon ylläpidosta ja kehittämisestä.

Alueelliset jakeluverkot omistaa paikalliset verkkoyhtiöt, joilla on verkkonsa alueella luonnollinen monopoli. Jakeluverkko on luonnollinen monopoli, sillä rinnakkaista verkkoa ei ole taloudellisesti järkevää rakentaa. Koska kilpailua ei ole, on sähköverkkotoiminta luvanvaraista ja säänneltyä. Sääntelyllä taataan asiakkaille riittävä sähkön laatu ja toimitusvarmuus kohtuulliseen hintaan. Suurin osa keskijänniteverkosta on 20 kV jännitteeltään, mutta myös muita jännitetasoja käytetään.

Sähkömarkkinalain [11] mukaan verkonhaltijan on liitettävä alueellaan oleva asiakas pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan. Verkonhaltijan tulee antaa liittyjälle yksityiskohtainen arvio liittymiskustannuksista. Kustannuksiin vaikuttavat liittymän pääsulakekoko, liittymisteho ja etäisyys lähimmältä jakelumuuntamolta. Esimerkiksi Elenia käyttää hinnoittelussaan sijaintiin perustuvaa vyöhykejakoja. Vyöhyke 1 on voimassa oleva asemakaava-alue, jossa liittymishinta on pienin. Vyöhykkeet 2 ja 3 ovat asemakaavan ulkopuolisia ja vyöhykkeeseen 2 kuuluvat alueet, jotka ovat enintään 400 m etäisyydellä lähimmältä jakelumuuntamolta. Vyöhykkeen 3 etäisyydet jakelumuuntamosta ovat 400 m–600 m. Vyöhykkeiden sisälle sijoittuvien liittymien rakennuskustannukset asiakkaalle saadaan suoraan listasta, mutta vyöhykkeiden ulkopuolisille kohteille kustannukset määritellään tapauskohtaisesti. [12]

Liittymän hankinnan lisäksi siirrosta maksetaan yleensä kuukausittaista perusmaksua ja kulutusperusteista siirtomaksua. Vähän sähköä käyttävissä kohteissa perusmaksun osuus sähkön hankinnassa voi olla niin suuri, että verkkoon kytkemätön järjestelmä voi tulla halvemmaksi pitkällä aikavälillä. Kuluttaja maksaa myös veroa ostamastaan sähköstä. Itse tuotettu sähkö on arvokasta, sillä siitä ei tarvitse maksaa energian ja siirron hintaa eikä veroja. Jos esimerkiksi energian hinta on 5,5 snt/kWh, siirron hinta 4,7 snt/kWh ja vero 2,8 snt/kWh, on ostetun kilowattitunnin hinta 13 senttiä, mikä on myös itse tuotetun ja käytetyn sähkön hinta. Myydystä ylijäämästä sen sijaan saadaan yleensä vain sen hetkinen spot-hinta, joka on yleensä luokkaa 3–7 snt/kWh [13], josta mahdollisesti vähennetään vielä palvelumaksu. Tämän vuoksi itse käytetty sähkö on arvokkaampaa kuin verkkoon myyty, joten aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa siten, että suurin osa tuotetusta sähköstä käytetään itse. Spot-hinnalla tarkoitetaan hintaa, jonka tukkumyyjä maksaa sähköstä sen tuottajalle. Spot-hinta määritellään joka tunnille erikseen ja joskus siitä käytetään myös nimitystä markkinahinta.

### 3.2.3 Sähkön kulutus

Sähkön kulutuksella tarkoitetaan sähköenergian muuttamista toiseksi energiamuodoksi, kuten lämpöenergiaksi, liike-energiaksi tai kemialliseksi energiaksi. Suomen ilmasto-olosuhteissa suuri osa kotitalouksien sähköstä kuluu kodin ja käyttöveden lämmitykseen. Teollisuudessa sähköä käytetään lämmityksen lisäksi paljon sähkömoottoreissa ja esimerkiksi kemian teollisuuden prosesseissa. Kotitalouden sähkön kulutuksen jakautuminen on esitetty kuvassa 8.



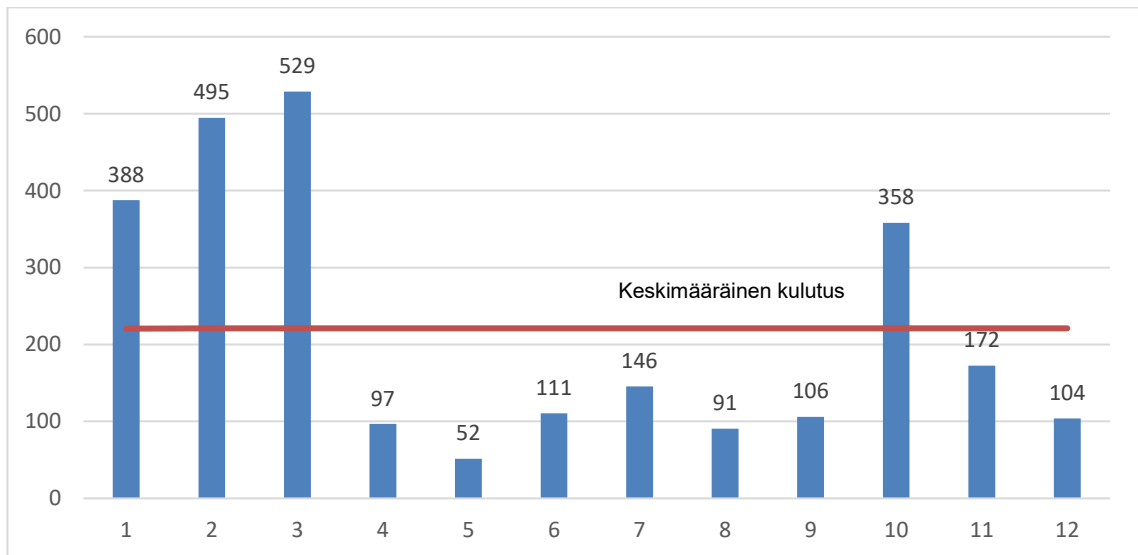
**Kuva 8: Kotitalouden sähkönkulutuksen jakautuminen [14]**

Sähkön kulutus vaihtelee kausittain ja päivän sisäisesti paljon. Talvella lämmityksen ja valaistuksen osuus korostuu ja sen vuoksi kulutus usein on suurempaa kuin kesällä. Jotkin sähkölaitteet kuten koneellinen ilmanvaihto ja kylmälaitteet kuluttavat sähköä melko tasaisesti päivän aikana, mutta sähkökiukaat tai keittiöuunit muodostavat kulutuspiikkejä, usein tiettyyn aikaan päivästä.

Vaikka sähkön siirrossa alueen verkkoyhtiöllä on monopoliasema, voi kuluttaja itse valita yrityksen, jolta ostaa käyttämänsä sähköenergian. Sopimustyyppi kannattaa valita sähkön käytön mukaan eli esimerkiksi vähän sähköä käyttävälle kulutuspaikalle kannattaa valita sopimus, joka ei sisällä perusmaksua, kun taas paljon sähköä käyttävän voi olla järkevää hankkia perusmaksullinen sopimus, jossa kulutusriippuvainen kustannus on pienempi.

## 4. KOHTEEN ENERGIANTARVE

Aurinkovoimalan taloudellisesti järkevää mitoitusta varten on tärkeää tietää kohteen energian kulutus. Usein sähkön kulutuksen tiedot ovat saatavilla sähkönsiirtoyhtiöltä ja myös tätä työtä varten Elenian asiakasportaalista kerättiin neljän vuoden ajalta tiedot, joista muodostettiin keskiarvoina tyypillisen vuoden malli. Vuosina 2015–2018 kuukausittaisen kulutuksen keskiarvot on esitetty kuvassa 9. Kuvaan on merkitty myös vuoden keskimääräinen kuukausikulutus (punainen viiva), joka on 221 kWh. Vuoden kokonaiskulutus on 2647 kWh.



**Kuva 9: Sähköenergian kuukausittainen kulutus. Vuosien 2015–2018 keskiarvot**

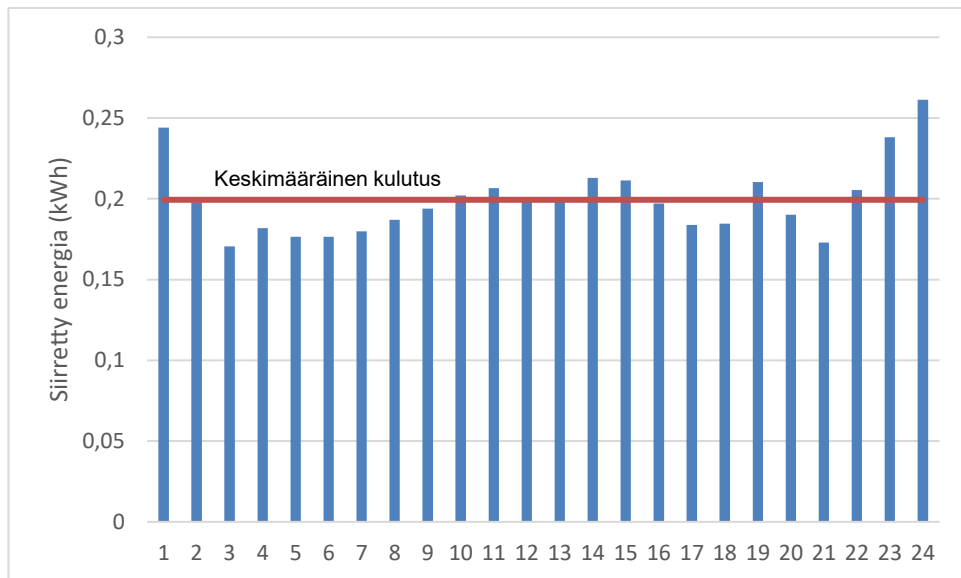
Kuten kuvasta nähdään, kulutus on suurempaa talvella, lämmityksen vuoksi ja kesällä kulutus on melko tasaista. Esitetty kulutus on suuntaa antava ja todellinen kulutus voi vuosittain vaihdella hyvinkin paljon. Vaihteluun vaikuttavat esimerkiksi mökin käyttömäärä, rakentamisessa kuluva ylimääräinen sähkön käyttö, lämpötila ja jäättilanne. Kohteessa on usein myös pitkiäkin sähkökatkoja, sillä myrskyjen ja muiden suurempien jakeluhäiriöiden aikaan kesämökkialueiden verkot korjataan yleensä vasta tärkeämpien alueiden jälkeen. Huhti-, touko-, marras- ja joulukuussa voi olla pitkiäkin aikoja, jolloin saareen ei pääse jäätilangan vuoksi, mikä näkyy pienentyneenä sähkön käyttönä. Usein näinä kuukausina sähköt onkin katkaistu kohteesta.

Talvisin kulutus koostuu suurimmaksi osaksi saunamökin peruslämmön ylläpitämisestä ja käytön aikana kulutus voi nousta hetkellisesti paljonkin, kun saunamökin lämpötila



nostetaan nopeasti oleskelua varten tai käytetään muita sähkölaitteita, kuten kahvinkeitintä tai televisiota. Kesällä lämmityksen osuus pienenee, mutta käytännössä jatkuvaa sähkön kulutusta aiheuttavat jääkaappi ja pakastin. Kesäkuukausista sähkön käyttö on suurinta heinäkuussa, jolloin mökkiä yleensä käytetään eniten ja lämpimän sään vuoksi kylmälaitteet joutuvat käyttämään enemmän sähköä.

Koska usein aurinkosähkölaitteet mitoitetaan kesäkuukausien kulutuksen perusteella, muodostetaan heinäkuulle tuntitason kulutusprofiili. Tiedot on kerätty vuosilta 2015–2018, jolloin mökin käyttömäärä on vakiintunut ja rakentaminen on vähentynyt. Keskimääräisen heinäkuun päivän kulutusprofiili on esitetty kuvassa 10. Kuvaan on merkitty myös keskimääräinen kulutus, joka on noin 0,2 kWh. Päivän kokonaiskulutus on 4,7 kWh ja kuukauden kokonaiskulutus 146 kWh.



**Kuva 10: Heinäkuun päivän kulutusprofiili. Vuosien 2015–2018 keskiarvot**

Mökin ollessa käytössä voi kulutus olla moninkertainen tässä esitettyyn keskimääräiseen kulutukseen nähden. Toisaalta kulutus voi olla huomattavasti pienempi silloin, kun mökki ei ole käytössä. Profiilista nähdään, että kulutus on joka tunti melko tasaista, kun monen päivän ajalta otetaan keskiarvo.

## 5. AURINKOVOIMALAN MITOITTAMINEN JA SOPIVAN KAUPALLISEN RATKAISUN VALINTA

Tässä luvussa tarkastellaan eri tapoja mitoittaa aurinkovoimala. Mitoituksen pohjana käytetään sähkönkulutuksen tietoa, joka voi olla mitattua tai laskettua. Laskemiseen voidaan käyttää apuna simulaatio-ohjelmaa. Verkkoon liitetyissä järjestelmissä mitoitus ei ole yhtä kriittinen kuin itsenäisillä järjestelmillä, sillä sähköä on kuitenkin aina saatavilla.

### 5.1 Mitoitusmenetelmiä

Voimala voidaan mitoittaa esimerkiksi

- pohjakulutuksen
- kesäkuukausien keskimääräisen tai kesän enimmäiskulutuksen
- nettonollaenergian eli vuoden keskimääräisen kulutuksen
- sähköenergian omavaraisuuden mukaan

Lisäksi rajoittavia tekijöitä mitoitukselle voi olla käytettävissä oleva kattopinta-ala tai rahamäärä, joka halutaan enintään investoida järjestelmään. [15]

Pohjakulutuksella tarkoitetaan pienintä jatkuvaa tehontarvetta. Pohjakulutukseen perustuva mitoitus on hyvä silloin, kun tavoitteena on mahdollisimman lyhyt takaisinmaksuaika. Tarkasteltavan kohteen osalta pohjakulutukseen perustuva mitoitus ei ole järkevää, sillä kohteen pohjakulutus ja osuus vuotuisesta kokonaiskulutuksesta on niin pieni. Myös kohteen tuntikohtaisesta kulutustiedosta nähdään, että suuren osan ajasta kulutus on nolla, eli pohjakulutusta ei voida määrittää. Pohjakulutukseen perustuva mitoitus sopii paremmin suuremman pohjakulutuksen kohteille, joissa kulutus on suurinta päivällä, esimerkiksi toimistorakennuksille. [16]

Kesäkuukausien keskimääräiseen kulutukseen perustuvassa mitoituksessa pyritään kattamaan mahdollisimman suuri osa sähkön kulutuksesta omalla tuotannolla. Tällaisessa mitoituksessa ylijäämäsähkö myydään verkkoon, mikäli sitä ei voida varastoida. Nykyään tavallisella kuluttajalla ei ole juurikaan muita vaihtoehtoja sähkön varastointiin kuin akusto. Kuitenkin ylijäämäsähköä voidaan hyödyntää käyttämällä sitä esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen lämminvesivaraajassa. [17] Koska tarkasteltavassa kohteessa ei ole lämminvesivaraajaa, ei energiaa voida varastoida veteen.

Jos mitoitus tehdään kesän enimmäiskulutuksen mukaan, saadaan suurin osa kesältä käytetystä sähköstä tuotettua itse, mutta talvella joudutaan turvautumaan ostosähköön. Kesäkuukausina myös tuotto ja kulutus voidaan sovittaa parhaiten yhteen, joten sähköä ei tarvitse ostaa verkosta tai myydä markkinahintaan.

Nollaenergiamitoituksessa paneelien vuotuinen tuotto on yhtä suuri kuin kohteen vuotuinen kulutus. Tarkasteltavassa kohteessa mitoitus vastaisi siis kuvan 9 keskimääräistä kulutusta. Koska Suomessa paneelien tuotto talvella on selvästi kulutusta pienempi, pitää kesällä tuottaa reilusti omaa kulutusta enemmän sähköä. Tämä mitoitustapa ei yleensä ole taloudellisesti järkevä, sillä järjestelmästä tulee iso ja kallis. Samalla joudutaan kuitenkin ostamaan sähköä talvella ja kesällä ylijäämänsähkö myydään markkinahintaan. Etenkin suuremmissa mittakaavassa tällä mitoituksella kuitenkin voi olla merkitystä ympäristön kannalta, sillä tuotettu aurinkosähkö käytetään muualla verkossa, mikä vähentää fossiilisten polttoaineiden kulutusta ja pienentää ympäristöhaittoja. Yksittäisen toimijan tuotannolla ei ole kovin suurta merkitystä ympäristöhaittojen pienentämisessä, mutta esimerkiksi ylimitoituksen tukemisella nostettaisiin aurinkosähkön tuotantoa.

Jos järjestelmä mitoitetaan sähköenergian suhteen omavaraiseksi, on paneelien tuotettava kesällä moninkertaisesti ylijäämänsähköä, jotta ylituotanto riittäisi myös talven käyttöön. Järjestelmästä tulee siten todella suuri ja kallis. Omavaraisen mitoituksen haasteena on sähkön lyhytaikainen eli päivästä yöhön ja kausivarastointi eli kesästä talveen. [18] Kuten aikaisemmin todettiin, tällä hetkellä akusto on ainoa laajemmassa käytössä oleva kuluttajalle soveltuva varastointiteknologia. Akut kuitenkin ovat kalliita, joten mitoitustapa on usein järkevä vain verkkoon kytkemättömänä. Tulevaisuudessa polttokennoilla voidaan mahdollisesti korvata akusto.

## 5.2 Järjestelmän mitoitus kohteeseen

Koska kohteessa ei ole jatkuvasti sähköä kuluttavia laitteita, kuten koneellista ilmanvaihtoa, ei järjestelmää kannata mitoittaa pohjakulutuksen perusteella. Myöskään nettonollaenergiaan perustuva mitoitus ei ole järkevä, sillä järjestelmästä tulisi hyötyyn nähden liian kallis.

Koska talvella tuotanto on erittäin pientä verrattuna kesän tuotantoon, ei järjestelmää kannata mitoittaa tuottamaan talvella kovin suurta osaa sähkönkulutuksesta. Valitaan mitoituksen pohjaksi heinäkuun keskimääräinen kulutus ja asetetaan kuukausituotannon tavoitteeksi luvussa 4 laskettu 146 kWh:n energiamäärä. Mitoituksen apuna käytetään Euroopan komission ylläpitämää PVGIS-työkalua [4], jolla saadaan arvioitua tuottoa eri

kuukausina. Paras sijoituspaikka aurinkopaneeleille on mökin katto, joka osoittaa kaakkoon. Lounaaseen laskeva katon osa olisi tuotannon ajoittumisen kannalta parempi vaihtoehto, mutta katon pinta-ala rajoittaa paneelien määrää. Työkalulle annetaan kaltevuuskulmaksi  $32^\circ$ , mikä vastaa katon kaltevuutta ja atsimuuttikulmaksi  $-45^\circ$ . Järjestelmähäviöt pidetään työkalun antamana oletusarvona eli 14 %:ssa. Työkalu laskee myös optimaalisen kaltevuuskulman, joka on  $41^\circ$ , mutta vaikutus on niin pieni, ettei kulmaa kannata muuttaa telineillä. Nimellistehoa muuttamalla etsitään järjestelmälle teho, jolla heinäkuun tuotto on tavoite eli 146 kWh. Tavoitteeseen päästään 1,16 kW<sub>p</sub>:n järjestelmällä.

Jos kohteessa käytetään 270 W<sub>p</sub>:n paneeleita, voidaan paneelien lukumäärä selvittää jakamalla järjestelmän tavoitteellinen kokonaisteho paneelin teholla. Tulokseksi saadaan 4,30 eli sopiva paneelimäärä olisi neljä ja järjestelmän nimellisteho olisi 1,08 kW<sub>p</sub>. Kolmella paneelilla järjestelmän nimellisteho olisi vain 0,81 kW<sub>p</sub>, joten järjestelmän tuotto kattaisi pienemmän osan kulutuksesta. Tällöin järjestelmän hinta kilowattia kohden olisi suurempi, sillä järjestelmän hinta painottuisi enemmän asennukseen ja järjestelmän muihin osiin. Viiden paneelin järjestelmän nimellisteho olisi 1,35 kW<sub>p</sub>, jolloin verkkoon siirrettäisiin enemmän energiaa.

Käytetään tarkastelujen pohjana aurinkosähköpakettia, joka sisältää neljä 270 W<sub>p</sub>:n monikidepaneelia, yksivaiheisen Solax X1-1,5-S-invertterin, jonka teho on 1,5 kW ja kaikki muut tarvittavat komponentit asennusta varten. Järjestelmän hinta ilman asennusta on 1 775 €. [19] Järjestelmän hintaan lisätään vielä invertterin hinta ja asennus toisen kerran, sillä se joudutaan vaihtamaan järjestelmän elinkaaren aikana. Vastaavanlaisen yksivaiheisen invertterin hinta on noin 750 € [20][21][22]. Arvioidaan invertterin vaihtamisen maksavan 15 vuoden päästä asennustöineen 1000 €. Katon lappeen pinta-ala on noin 39 m<sup>2</sup> ja paneelit vaativat tilaa yhteensä noin 7,2 m<sup>2</sup>, joten tila ei ole rajoittavana tekijänä. Paneelit tulisi sijoittaa katolle siten, että niihin osuu mahdollisimman vähän varjoja. Tarvittaessa varjostavia puita kaadettaisiin.

Järjestelmän asennuksen hinta voi vaihdella paljonkin eri toimittajan ja järjestelmän mukaan. Ylen tekemän kyselyn [23] perusteella arvioidaan järjestelmän asennuksen hinnan olevan 1 800€. Oletetaan, että asennuksesta saadaan täysi kotitalousvähennys eli 50% työn osuudesta, josta vähennetään 100 €:n omavastuu, jolloin järjestelmän hinnaksi muodostuu elinkaarensa aikana 3 775 €.

## 6. SÄHKÖISTYSVAIHTOEHTOJEN ANALYYSI

Vaihtoehtojen kannattavuuden arvioinnissa selvitetään sähkönkäytön kokonaiskustannukset tarkastelujaksolla. Vaihtoehtoja vertaillaan myös käyttäen takaisinmaksuajan menetelmää sekä nykyarvomenetelmää. Takaisinmaksuaika kertoo kuinka kauan investoinnilla kestää tuottaa hankintahintansa verran. Tuotto voi olla myös säästettyjä kustannuksia, kuten tässä työssä. Nykyarvomenetelmässä kustannukset ja tuotot diskontataan nykyhetkeen käyttäen valittua laskentakorkokantaa. Jos nykyarvojen summa on positiivinen, on investointi kannattava. Koska kaikki sähköistysvaihtoehdot eivät ole keskenään vertailukelpoisia erilaisten lähtöoletuksien vuoksi, eivät taloudelliset analyysit sisällä kaikkia samoja tarkasteluja.

Koroton takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{\text{hankintakustannus}}{\text{vuosituotto}}. \quad (1)$$

Nykyarvomenetelmässä tuotot ja kulut diskontataan nykyhetkeen kertomalla ne diskonttaustekijällä  $d_n$ , joka lasketaan kaavalla

$$d_n = \frac{1}{(1+i)^n}, \quad (2)$$

missä  $i$  on laskentakorkokanta ja  $n$  on vuosi, jonka tuloja diskontataan nykyhetkeen.

Aurinkopaneelin iäksi oletetaan 30 vuotta ja invertterin iäksi noin puolet siitä eli 15 vuotta. Taloudellista tarkastelua varten on järkevää käyttää tarkastelujaksona 30 vuotta, sillä voidaan ajatella, että järjestelmä tulee uusia kokonaisuudessaan 30 vuoden päästä käyttöönotosta. Laskentakorkokannaksi valitaan 2 %, mikä vastaa suurin piirtein euroalueen inflaatiotavoitetta [24].

Vaikka sähkön myyntihinta, siirtohintaa, verot sekä komponenttien hinnat voivat muuttua paljonkin tarkastelujakson aikana, käytetään laskuissa tämänhetkisiä hintoja yksinkertaistuksen vuoksi. Aurinkosähköjärjestelmän asentamisen ja sähköliittymän hankinnan lisäksi muita sähkötoimia ei oteta huomioon. Laskuissa käytetyt tiedot on koottu taulukoon 2.

**Taulukko 2: Taloudellisten tarkastelujen lähtötiedot**

Liittymishinta	5171 €
Sähkön ostohinta	5,48 snt/kWh
Siirron perusmaksu	17,90 €/kk
Siirtomaksu	4,74 snt/kWh
Sähkövero	2,79372 snt/kWh
Tarkastelujakso	30 a
Laskentakorkokanta	2 %
Aurinkosähköjärjestelmän hinta	3775 €
Sähkön vuosikäyttö	2647 kWh/a

Ostetun sähkön hinta muodostuu sähkön ostohinnasta, siirtomaksusta ja veroista, joten kulutuksesta riippuva ostohinta on 13,01 snt/kWh. Tämän lisäksi kustannuksia tulee siirron perusmaksusta ja verkkoon liittymisestä. Usein sähkö sopimukseen kuuluu myös perusmaksu, mutta tässä sopimuksessa sitä ei ole. Siirron perusmaksuja maksetaan vuosittain 214,80 € ja kun ne diskontataan nykyhetkeen, on perusmaksujen kokonaismäärä tarkastelujaksolta 4810,66 €.

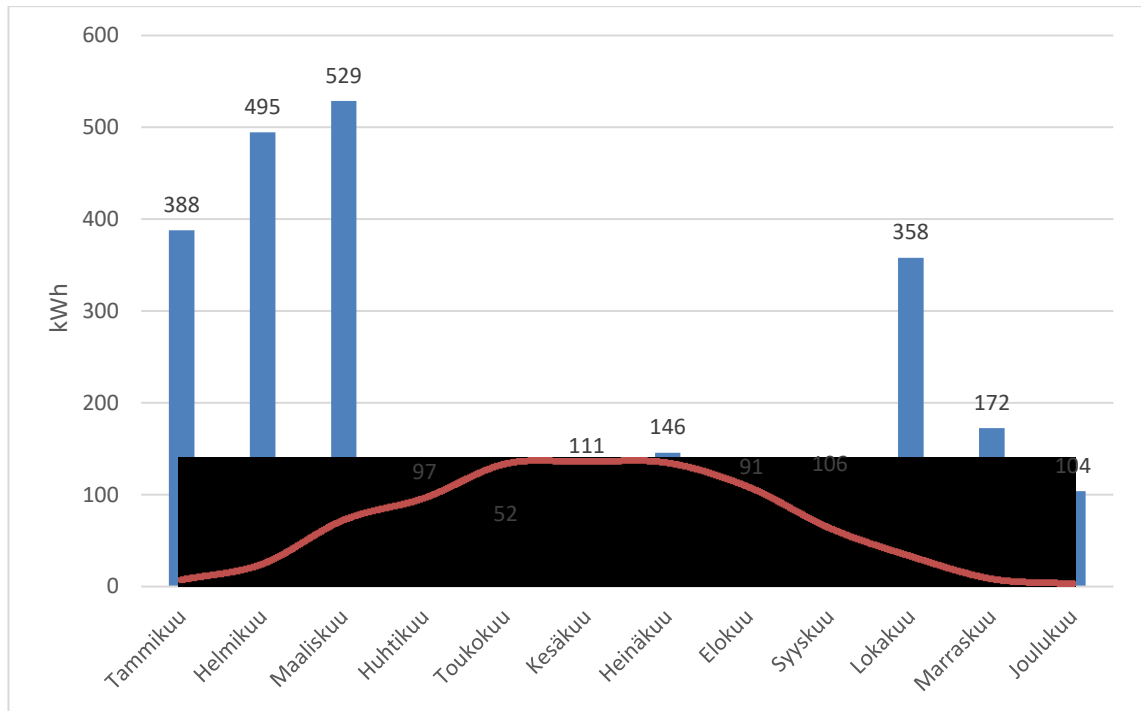
Ilman aurinkosähköjärjestelmää tai muuta omaa tuotantoa on kaikki sähkö ostettava verkosta. Tämä sähköistystapa on usein helpoin, mutta voi tulla kalliiksi, mikäli sähköä käytetään vähän tai kohde on kaukana jakelumuuntamosta. Ostetusta sähköstä maksetaan vuosittain 344,37 € ja tarkastelujaksolla sähkön ostamisen kustannukset nykyhetkeen diskontattuna ovat 7712,62 €. Kokonaiskustannukset puhtaaseen ostosähköön perustavalle järjestelmälle ovat

$$5171 \text{ €} + 4810,66 \text{ €} + 7712,62 \text{ €} = 17\,694,28 \text{ €}.$$

Puhdas ostosähkö on kuitenkin altis erityisesti siirtohinnan ja sähköveron nousulle.

## 6.1 Aurinkovoimala ja loppu sähkö verkosta

Koska hetkellistä tuottoa ja kulutusta ei voida ennustaa tarkkaan, tarkastellaan oman tuotannon ja kulutuksen tasapainossa kuukausittaisia nettoenergioita. Tuotannon arvioinnissa oletetaan, etteivät puut tuota varjostuksia ja että paneelit pysyvät puhtaina. Kuvassa 11 on esitetty kuukausittaiset kulutukset (siniset palkit) ja PVGIS-työkalun laskevat tuotantoennusteet (punainen viiva).



**Kuva 11: Kuukausittainen kulutus ja tuotantoennuste**

Kulutukset, tuotantoennusteet sekä niiden netto on myös esitetty taulukossa 3. Netto-sarakkeessa negatiiviset luvut tarkoittavat, että energiaa täytyy ostaa ja positiivisten lukujen kohdalla on ollut ylituotantoa, joka myydään tai varastoidaan silloin, kun se on mahdollista.

**Taulukko 3: Kuukausittaisen kulutuksen ja tuotantoennusteen ero**

Kuukausi	Tuotanto (kWh)	Kulutus (kWh)	Netto (kWh)
Tammikuu	8	388	-380
Helmikuu	25	495	-470
Maaliskuu	72	529	-457
Huhtikuu	96	97	-1
Toukokuu	133	52	81
Kesäkuu	135	111	24
Heinäkuu	134	146	-12
Elokuu	108	91	17
Syyskuu	64	106	-42
Lokakuu	33	358	-325
Marraskuu	9	172	-163
Joulukuu	4	104	-100
<b>Yhteensä</b>	<b>821</b>	<b>2647</b>	<b>-1828</b>

Negatiivisten kuukausien nettosumma on -1950 kWh, joka vastaa ostetun sähkön määrää. Kun varastointi ei ole mahdollista, myytävän ylijäämäsähkön määrä vuodessa on 122 kWh.

Ostetun sähkön kustannukset vuosittain ovat 253,70 €. Myydystä ylijäämäsähköstä sähköyhtiö maksaa yleensä spot-hinnan, josta mahdollisesti vähennetään palvelumaksu. Sopimukseen voi kuulua myös perusmaksu. Sähkøyhtiö, johon sähkösoyimus on tehty, ei kuitenkaan toistaiseksi peri perusmaksua tai palvelumaksua. Koska ylijäämäsähköä tuotetaan lähinnä kesäkuukausina, määritetään todennäköinen myyntihinta kesäkuukausina päivällä kello 8–20 väliltä. Toukokuun alusta elokuun loppuun vuonna 2018 kello 8–20 välisenä aikana spot-hinnan keskiarvo oli 5,4 snt/kWh [13].

Ylijäämäsähkön myynnistä tuottoa saadaan 6,59 €, mikä vähennetään vuotuisesta kustannuksesta eli vuosikustannukset ovat 247,11 €. Nykyarvoon diskontatut kustannukset sähkön ostosta ja myynnistä tarkastelujakson ajalta ovat 5534,29 €. Aurinkosähköjärjestelmän ansiosta ostosähkön osalta saadaan vuosittain säästöä 97,26 €, joten järjestelmän takaisinmaksuajaksi muodostuu 38,9 vuotta. Koska takaisinmaksuaika on pidempi kuin järjestelmän odotettu elinikä, ei aurinkosähköjärjestelmään investointi ole kannattavaa takaisinmaksuajan kautta tarkasteltuna.

Säästöistä aiheutuva hyöty on 2178,28 €, josta vähentämällä hankintakustannus saadaan nettonykyarvoksi -1596,72 €. Kokonaiskustannukset järjestelmälle ovat

$$5171 \text{ €} + 3775 \text{ €} + 4810,66 \text{ €} + 5534,29 \text{ €} = 19290,95 \text{ €},$$

joten aurinkosähköjärjestelmä ei tuo säästöä verrattuna puhtaaseen ostosähköön perustuvaan järjestelmään. Voidaan todeta aurinkosähköjärjestelmään investoinnin olevan taloudellisesti kannattamatonta.

Laskelmissa on kuitenkin aina epävarmuuksia kuten järjestelmän hankintahinnassa ja sähkön hinnassa. Nettonykyarvosta nähdään, että investointi olisi kannattava, jos järjestelmä saataisiin hankittua noin 1600 € halvemmalla. Hintaa voidaan laskea hankkimalla komponentit halvemmalla esimerkiksi ulkomailta ja tekemällä osa asennustöistä itse.

Sähkön hinnan noustessa oma tuottaminen voi kuitenkin tulla kannattavammaksi, mutta toisaalta myös paneelien tuotanto tippuu ajan myötä. Näin pienessä järjestelmässä joudutaan lisäksi käyttämään yksivaiheista invertteriä, joten kaikilla sähkölaitteilla ei voida hyödyntää tuotettua aurinkosähköä. Tämän takia sähköä voidaan joutua myymään verkkoon samaan aikaan, kun verkosta ostetaan sähköä kalliimmalla. Invertteri on järkevää



sijoittaa siihen vaiheeseen, johon on liitetty laitteet, jotka kuluttavat eniten sähköä valoisin aikana, mahdollisimman tasaisesti. Tarkasteltavassa kohteessa tällaisia laitteita ovat kylmälaitteet. Usein rakennuksen koneellinen ilmanvaihto on myös tällainen laite.

## 6.2 Akullinen aurinkovoimala ja loppu sähkö verkosta

Akun avulla voidaan tasata sähkön kulutuksen ja tuotannon ajallista eroa eli ylijäämä-sähkö varastoidaan tilannetta varten, jolloin oma tuotanto ei kata sähkön kulutusta. Näin aurinkosähköjärjestelmän hyöty kasvaa, kun suurempi osa tuotetusta sähköstä pystytään käyttämään itse. Usein ongelmaksi muodostuu kuitenkin akkujen korkea hinta verrattuna niistä saatavaan hyötyyn.

Jos esimerkkijärjestelmällä tuotetaan vuosittain 122 kWh ylijäämä-sähköä ja se pystytään akuston avulla käyttämään itse, tuottaa akku säästöä 9,28 €. Tarkastelujakson ajalta säästö on diskontattuna 207,93 €. Jos toukokuun ja elokuun välinen ylituotanto halutaan varastoida, tarvitaan akkukapasiteettia 110 kWh, mikä vastaa 12 V:n akuilla 9167 Ah. Akkuja ei yleensä voi purkaa aivan tyhjäksi ja esimerkiksi AGM-akut yleensä puretaan enintään 40 %:in kapasiteetistaan. Vaadittu kapasiteetti on silloin 15278 Ah. Näin suuri akusto AGM-akuilla toteutettuna maksaa 20000–25000 €, joten akustoa ei ole järkevää mitoittaa tällä tavalla.

Akuston kannattavuutta voidaan tarkastella myös mitoittamalla akusto pienemmäksi, esimerkiksi käyttämällä kahta 220 Ah:n akkua. Kun otetaan huomioon, ettei akkuja voi purkaa tyhjäksi, voi niiden avulla vähentää sähkön myyntiä verkkoon 3,17 kWh. Jos akut maksavat yhteensä 698 € ja sopiva lataussäädin 250 € [22], tuottaa 948 €:n investointi vuosittain säästöä 24 senttiä.

## 6.3 Kaikki sähkö akullisesta aurinkovoimalasta

Jos sähköistys tehdään täysin omavaraiseksi, täytyy kulutusta pienentää etenkin talvi-kuukausien osalta, ettei järjestelmästä tule liian kallis. Käytännössä tämä onnistuu lopettamalla peruslämmön ylläpitäminen saunamökissä ja vähentämällä talvikäyttöä. Talvikäytössä rakennukset voidaan lämmittää takalla, jolloin akkuihin varastoitunut energia jää muuhun käyttöön, kuten kodinkoneisiin tai televisioon. Kuitenkin akuissa ja sähkölaitteissa voi olla rajoituksia käyttö- ja säilytyslämpötiloille, mikä saattaa estää mökin talvikäytön suurelta osin. Kesällä kulutusta ei välttämättä tarvitse juurikaan muuttaa. Esi-

merkkijärjestelmä voidaan muuttaa itsenäiseksi järjestelmäksi lisäämällä siihen lataussäädin ja akusto. Markkinoilla on myös paljon valmiita mökkikäyttöön suunniteltuja paketteja.

Akun mitoitusta varten oletetaan, että kesäkuukausina mökillä oleskellaan neljänä päivänä viikossa yhtäjaksoisesti. Heinäkuun kulutuksen perusteella päivittäinen kulutus on 4,7 kWh eli yhtäjaksoisen oleskelun ajalta sähköä kulutetaan 18,8 kWh. Jos akusto ylimitoitetaan 30 %, on kapasiteetti silloin noin 24,4 kWh. Kun käytetään 12 V:n akkuja, vastaa kapasiteetti 1570 ampeerituntia. Koska akut voidaan purkaa vain 40 %:iin kapasiteetistaan, on akkujen kapasiteetin oltava noin 2620 Ah. Suomalaisissa verkkokaupoissa tavallisten AGM-akkujen hinnat ovat noin 1,5–2 €/Ah ja syväpurkausakuilla hinta on lähellä 3 €/Ah. Käytetään esimerkkinä 220 Ah:n AGM-akkuja, jonka hinta on 349 €. Akkuja tarvitaan 12 kappaletta kattamaan kapasiteettitarve, jolloin akuston hinta on 4188 €. Akkujen eliniäksi oletetaan 10 vuotta, jolloin akusto täytyy vaihtaa kaksi kertaa elinkaaren aikana: 10 vuoden ja 20 vuoden jälkeen alkuinvestoinnista. Nykyarvossa akuston hinta tarkastelujakson aikana on 10441,80 €. Järjestelmään sopiva MPPT-lataussäädin maksaa noin 250 € eli järjestelmä, joka sisältää paneelit, invertterin, lataussäätimen, akuston ja muut tarvikkeet asennuksineen maksaa tarkastelujakson aikana 14466,80 €, kun oletetaan verkkoon kytkemättömän järjestelmän asennuksen olevan saman hintainen kuin verkkoon kytketyn.

Koska akkujen käyttöikä on vaikea arvioida, joudutaan akusto mahdollisesti vaihtamaan kolmannenkin kerran tarkastelujaksolla, mikä nostaa järjestelmän hintaa. Toisaalta akkuteknologian kehittyessä ja akkujen halventuessa on akuston vaihdon aikaan mahdollisesti halvempia ja käyttöikältään parempia vaihtoehtoja markkinoilla.

Akusto on tarkasteluissa mitoitettu melko isoksi, mutta kokoa voidaan pienentää käyttämällä aggregaattia silloin, kun akuston varaus laskee liian alhaiseksi. Jos esimerkiksi akuston koko puolitetaan, järjestelmän kustannuksiksi saadaan 9245,90 €. Sopivan bensiinikäyttöisen aggregaatin saa alle 500 €:lla ja kilowattitunnin sähkön tuottaminen maksaa noin 0,84 €, jos bensiinin hinta on 1,5 €/l. Aggregaatin tarvetta ei voi tarkasti määrittellä, mutta oletetaan sen olevan syyskuun tuotannon ja kulutuksen ero eli 43 kWh, jolloin sen käyttöön kuluu vuodessa noin 36 €. Kokonaiskustannuksiksi saadaan 10552,20 €.

## 7. YHTEENVETO

Kolmen vuoden kulutuksen keskiarvojen perusteella muodostettiin kuukausitason malli sähkön kulutukselle kohteessa. Heinäkuun keskimääräisen kulutuksen perusteella valittiin sopivaksi järjestelmän nimellistehoksi 1,08 kW<sub>p</sub>.

Nykyinen tilanne eli täysin ostosähköön perustuva ratkaisu on helpoin ja myös taloudellisesti paras vaihtoehto. Tämä vaihtoehto on kuitenkin altis sähkön hinnan nousulle ja tulevaisuudessa voi olla järkevää investoida aurinkosähköjärjestelmään.

Aurinkosähköjärjestelmän kustannuksiksi elinkaarensa aikana arvioitiin 3775 € ja järjestelmän avulla saatiin vuosittain säästöä 97,26 €. Säästö ei kuitenkaan riitä kattamaan hankinnasta aiheutuvia kustannuksia tarkastelujakson aikana ja koroton takaisinmaksuaika on 38,9 vuotta eli hankinta ei ole taloudellisesti kannattava. Mikäli järjestelmän hankintahintaa saadaan laskettua hankkimalla komponentit halvemmalla tai tekemällä itse osa asennustyöstä, voi aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen olla taloudellisesti kannattavaa.

Akuston hankinta verkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän tueksi ei ole kannattava, sillä marginaalisen hyödyn saamiseksi vaaditaan todella suuri investointi. Pelkkään aurinkosähköön perustuva ratkaisu tulisi halvaksi, mutta tällöin sähkön käyttöä pitäisi käytännössä lopettaa talven ajaksi tai käyttää aggregaattia sähkön tuottamiseksi.

## LÄHTEET

- [1] Suntekno. Aurinkopaneelit. [Viitattu 28.2.2019] Saatavissa: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- [2] Motiva. Aurinkosähköjärjestelmän teho. [Viitattu 30.4.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)
- [3] Paavola, Minna. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella. 2013. [Viitattu 20.4.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/10884/Verkkoon\\_kytettyjen\\_aurinkosahkojarjestelmien\\_potentiaali\\_Tampereella\\_Minna\\_Paavola\\_Diplomityo.pdf](https://www.motiva.fi/files/10884/Verkkoon_kytettyjen_aurinkosahkojarjestelmien_potentiaali_Tampereella_Minna_Paavola_Diplomityo.pdf)
- [4] Euroopan komissio. PVGIS. [Viitattu 30.4.2019] Saatavissa: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)
- [5] Motiva. Aurinkopaneelien asentaminen. [Viitattu 30.4.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkopaneelien\\_asentaminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen)
- [6] Motiva. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. [Viitattu 15.3.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)
- [7] Motiva. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. [Viitattu 15.3.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_kytkeaton\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma)
- [8] Aurinkosähkö.net. Lataussäätimet. [Viitattu 15.3.2019] Saatavissa: <https://www.aurinkosahko.net/category/11/lataussaatimet>
- [9] Victron energy. Geeli- ja AGM-akut [Viitattu 3.5.2019] Saatavissa: <https://www.victronenergy.fi/batteries/gel-and-agm-batteries>
- [10] Akku-Ässä Oy. Suljetut huoltovapaat AGM-akut. [Viitattu 3.5.2019] Saatavissa: <https://www.aurinkopaneelit.info/akut/huoltovapaat-agm-akut>
- [11] Sähkömarkkinalaki 588/2013. 2013. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588#Pidp446373904>
- [12] Elenia. Liittymishinnasto 1.7.2018. [Viitattu 20.3.2019] Saatavissa: [https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Liittymishinnasto%201.7.2018\\_web.pdf](https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Liittymishinnasto%201.7.2018_web.pdf)
- [13] Nordpool. Day-ahead prices. [Viitattu 15.4. 2019] Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Hourly/?view=table>
- [14] Vattenfall. Kodin sähkönkulutus. [Viitattu 20.3.2019] Saatavissa: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/>

- [15] Motiva. Aurinkojärjestelmän mitoitus. [Viitattu 26.3.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus)
- [16] Motiva. Pohjakulutukseen perustuva mitoitus. [Viitattu 26.3.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen\\_perustuva\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen_perustuva_mitoitus)
- [17] Motiva. Keskimääräinen tai enimmäiskulutus kesällä. [Viitattu 26.3.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/keskimääräinen\\_tai\\_enimmäiskulutus\\_kesalla](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/keskimääräinen_tai_enimmäiskulutus_kesalla)
- [18] Motiva. Sähköenergian omavaraisuus. [Viitattu 3.5.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/sahkoenergian\\_omavaraisuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/sahkoenergian_omavaraisuus)
- [19] Solarshop. Solax 1.08 kWp Verkkoon kytkettävä aurinkosähköpaketti. [Viitattu 12.4.2019] Saatavissa: [http://www.solarpower.fi/index.php?route=product/product&path=25\\_20\\_99&product\\_id=51](http://www.solarpower.fi/index.php?route=product/product&path=25_20_99&product_id=51)
- [20] Kärkkäinen. Solarwatt Stecagrid 1500 aurinkosähkö DC/AC verkkoinvertteri. [Viitattu 22.4.2019] Saatavissa: <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/solarwatt-stecagrid-1500-aurinkosahko-dc-ac-verkkoinvertteri>
- [21] Kärkkäinen. SMA SB 1.5 aurinkosähkö DC/AC verkkoinvertteri. [Viitattu 22.4.2019] Saatavissa: <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/sma-sb-15-aurinkosahko-dc-ac-verkkoinvertteri>
- [22] Vapaakauppa.net. Stecagrid 1500 DC / AC verkkoinvertteri. [Viitattu 22.4.2019] Saatavissa: <https://www.vapaakauppa.net/stecagrid-1500-dc-ac-verkkoinvertteri.html>
- [23] Yle. Mitä kodin aurinkopaneelit maksavat. 2015. [Viitattu 22.4.2019] Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/12/mita-kodin-aurinkopaneelit-maksavat>
- [24] Euroopan keskuspankki. Mitä on inflaatio. [Viitattu 25.4.2019] Saatavissa: <https://www.ecb.europa.eu/ecb/educational/hicp/html/index.fi.html>