

Aurinkoenergian pientuotantojärjestelmän suunnittelu musiikkistudion energiantarpeeseen

Ville-Petteri Leinonen
OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkötekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkötekniikka

LEINONEN VILLE-PETTERI

Aurinkoenergian pientuotantojärjestelmän suunnittelu musiikkistudion energiantarpeeseen

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Maaliskuu 2022

Opinnäytetyön suunnittelukohteena oli Sonic Pump Studios Oy -musiikkistudio, joka sijaitsee osoitteessa Vanha Talvitie 19 A 4, 00580 Helsinki. Kyseessä on Suomen toiseksi suurin musiikin äänitys- ja miksauspalveluja tarjoava musiikkistudio. Opinnäytetyön taustalla oli halu selvittää aurinkovoiman pientuotantojärjestelmän hyödyntämistä musiikkistudion energiantarpeessa. Työssä tarkasteltiin aurinkosähköjärjestelmän hyödyllisyyttä ja selvitettiin, missä mittakaavassa suunnittelukohteen verkosta ostaman sähkön osuutta saataisiin leikattua kevät-, kesä- ja syyskuukausien osalta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitoitaa musiikkistudiokohteen energiantarvetta vastaava aurinkoenergian pientuotantojärjestelmä sähköverkkoliittymän rinnalle. Pientuotantojärjestelmän mitoituksen perusteena toimi sähköyhtiöltä saatu musiikkistudion energiankäyttödata. Opinnäytetyössä laadittiin oma laskentatyökalu aurinkovoimaloiden tuotannon arvioimiseksi eri sääolosuhteissa sekä eri vuodenaikoina.

Osana opinnäytetyötä analysoitiin, kuinka nimellisteholtaan 5 ja 6 kW:n tuotantotehokapasiteetin aurinkopaneelijärjestelmät suoriutuivat eri sääolosuhteissa ja eri vuodenaikoihin aurinkoenergian pientuotannosta. Todetaan, että nimellisteholtaan 5 kW:n aurinkopaneelijärjestelmä on suunnittelukohteen energiantarpeeseen paremmin sopiva. Todetaan myös, että opinnäytetyössä luodun laskentatyökalun tulokset pitävät paikkansa, kun niitä verrataan Euroopan komission tiedejärjestön interaktiivisen aurinkopaneelien "PVGIS-5"-tuotantoennustetyökalun laskemiin tuloksiin. Opinnäytetyön suunnittelukohteessa oli aurinkovoiman pientuotannon ja sen tuottaman energian hyödyntämisen kannalta se suuri etu verrattuna esimerkiksi kotitalouksiin, että valtaosa kohteessa käytetystä sähköenergiasta käytettiin valoisaan vuorokaudenaikaan. Aurinkopaneelien tuottama energiamäärä vuodessa on noin 4 537 kWh, kun taas suunnittelukohteen vuosittainen energiankulutus on 19 317 kWh. Arviolta 23,5 % Sonic Pump Studios Oy:n energiankulutuksesta pystytään siis kattamaan oman nimellisteholtaan 5 kW:n aurinkoenergian pientuotannon avulla. Investoinnin takaisinmaksuaika on noin 8 vuotta ja 5 kuukautta olettaen aurinkovoiman pientuotantoinvestoinnin maksavan yritykselle 6 000 e (alv. 24 %). Investoinnin kannattavuutta nosti huomattavasti se, ettei akkujärjestelmää kohteen sähkönkulutusprofiiliin ansiosta koettu musiikkistudiolle hyödylliseksi. Lisätutkimus voisi olla tarpeen aurinkovoiman pientuotannon hyödyntämisestä esimerkiksi oppilaitoksien ja sairaaloiden energiantarpeen osalta.

Asiasanat: aurinkoenergia, sähköntuotanto, aurinkopaneelit

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Power Engineering

LEINONEN, VILLE-PETTERI:
Designing a Photovoltaic System for a Recording Studio

Bachelor's thesis 47 pages
March 2022

As the price of electricity continues to soar globally, taking small steps towards utilizing a more self-sufficient renewable power strategy will undoubtedly become increasingly important in the foreseeable future of running a business. The purpose of this thesis was to theoretically analyze the benefits of adding a photovoltaic system in a large-sized professional music recording studio location, Sonic Pump Studios OY. Its premises are located in the district of Kalasatama, Helsinki, Finland. The main working hours of the premises are between 9am and 6pm, during which the sunlight exposure can successfully be turned into electricity without expensive battery system investments.

The goal of this thesis was not to design a completely off-the-grid location, but to cut the electrical costs of running the studio during the months of spring, summer and autumn. As a part of the thesis, the amount of energy harvested by two differently sized photovoltaic systems were comprehensively compared in varying weather conditions. It is worth mentioning that the nature of the thesis was solely theoretical. Nevertheless, the outcome of this study could be considered as a general guide concerning the utilization of solar energy amongst businesses and schools that share a similar electricity consumption profile.

Key words: solar power, photovoltaic, solar panel

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AURINKOENERGIAN TEORIAA	8
2.1	Sähkömagneettisen säteilyn teoriaa	8
2.2	Aurinkopaneelien teoriaa	10
3	SUUNNITTELUKOHDE JA SEN ENERGIANKULUTUS	12
3.1	Opinnäytetyön suunnittelukohteen esittely	12
3.2	Suunnittelukohteen energiankulutuksen tarkastelu	13
3.3	Aurinkosähkön keskimääräisen tuotannon ennustaminen	16
4	TUOTANTOENNUSTEVERTAILU 5 kW ja 6 kW JÄRJESTELMIEN VÄLILLÄ	18
4.1	Tuotantovertailussa huomioitavia seikkoja	18
4.2	Kevätkuukausien tuotantovertailu	19
4.3	Kesäkuukausien tuotantovertailu	23
4.4	Syyskuukausien tuotantovertailu	26
4.5	Johtopäätöksiä	28
5	TALOUDELLISET HYÖDYT	30
5.1	Investoinnin kustannukset	30
5.2	Aurinkopaneelien tuottaman energian yhteenveto	30
5.3	Investoinnin tuottamat säästöt ja takaisinmaksuaika	32
5.4	Laitteiston elinkaari	34
6	AURINKOPANEELIEN SIJOITTELUN MERKITYS ENERGIANTUOTANNOSSA	35
7	POHDINTA	38
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	41
	Liite 1. Aurinkopaneelien tuotantoennuste kevätkuukausien ajalta	41
	Liite 3. Aurinkopaneelien tuotantoennuste kesäkuukausien ajalta	43
	Liite 4. Viiden ja kuuden kilowatin aurinkopaneelijärjestelmien tuotantoennustevertailua kesäkuukausilta	44
	Liite 5. Aurinkopaneelien tuotantoennuste syyskuukausien ajalta.	45

LYHENTEET JA TERMIT

W	tehon yksikkö, watti
kWh	energian yksikkö, kilowattitunti
A	virran yksikkö, ampeeri
V	jännitteen yksikkö, voltti
f	taajuus (Hz)
A	pinta-ala (m^2)
PV	aurinkokennon valosähköinen ilmiö, PV eli photovoltaic
W_p	piikkiwatin yksikkö. Aurinkopaneelin suurimmillaan tuotama teho standardiolosuhteissa. Kennolämpötila 25 °C, säteilyintensiteetti $1000 W/m^2$
S	Aurinkovakio. Auringonsäteilyn intensiteetti maan kiertoradalla
W_f	fotonin energian yksikkö
P	teho, watti
m	massa, kilogramma
c	valonnopeus tyhjiössä, 299 792 458 metriä sekunnissa
t	aika, s
kg	
s	sekunti
λ	sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuden yksikkö
h	Planckin vakio. Kvanttimekaniikassa käytetty vakio, joka liittyy taajuuden ja energian yhdistämiseen
AM	ilmamassa
\cos	cosini
s	pituus, metri
h	korkeus, metri

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä halutaan selvittää, kuinka hyödyllinen aurinkopaneelijärjestelmä olisi äänitysstudiokohteessa, jonka suurin energiankulutus kohdistuu vuorokauden valoisimpiin tunteihin. Pyrkimyksenä olisi siirtyä kohti omavaraisempaa ja vihreämpää energiantuotantoa.

Opinnäytetyössä halutaan selvittää, kuinka suunnittelukohteena toimivan musiikkistudion sähkönkulutusta saadaan leikattua hyödyntämällä aurinkovoiman pientuotantoa. Realistisesti ajateltuna Suomen kaltaisessa Pohjoismaassa ei ole mahdollista nojautua pelkästään aurinkovoimalla tuotettuun sähköenergiaan. Sen tähden tässä opinnäytetyössä ei ole tarkoituksena suunnitella täysin energiaomavaraista liiketilaa, vaan tilan oman energiantuotantojärjestelmän rinnalla toimii tavallinen sähköverkkokytkentä, josta tarpeen mukaan voidaan ostaa sähköä ympäri vuorokauden. Taloudellisen kannattamattomuuden vuoksi opinnäytetyössä ei käytetä akkujärjestelmää, jonne ylimääräinen tuotettu sähköenergia voitaisiin varastoida myöhempää käyttöä varten.

Tämän työn suunnittelukohteena olevan musiikkistudion sähkönkulutuksessa otettiin tarkasteluun sääolosuhteiden kannalta aurinkoisin ajankohta, jonka Ilmatieteenlaitos määrittää vuorokauden keskilämpötilojen mukaan seuraavasti: kevät: (maalis-toukokuu), kesä (kesä-elokuu) ja syksy (syys-marraskuu). (Ilmatieteen laitos). Aurinkovoiman pientuotantojärjestelmän mitoituksen perusteena käytettiin kohteen omalta sähköyhtiöltä saatua tuntitason sähkönkulutusdataa.

Tästä tutkimuksesta saatua informaatiota voidaan tulevaisuudessa soveltaa muissa vastaavan kulutusluokan kohteiden pientuotantojärjestelmien suunnittelussa, esimerkiksi oppilaitoksissa. Energiantuotannon osalta vastaavan aurinkosähköjärjestelmän tuottama hyöty olisi lähempänä päivántasaajaa luonnollisesti suurempi kuin Suomessa, sillä valoisuuden kasvun lisäksi aurinkopaneelien tuottamaa sähköenergiaa voitaisiin myös talvikuukausien aikana hyödyntää paremmin.

Aurinkosähkötuotannon osuus on tällä hetkellä määrällisesti tarkasteltuna hyvin pienessä roolissa Suomen kokonaisenergiantuotannossa. Suomen kokonaissähkönkulutus on vuodessa noin 80 TWh eli 80000 GWh. Suomeen on Energiaviraston mukaan asennettu arviolta 300 MW edestä nimellistehoista aurinkosähköä. Kun käytetään 800 tunnin huipunkäyttöaikaa, vuosituotannoksi tulee 240 GWh. Tämän perusteella aurinkosähkötuotannon osuus Suomen sähkönkulutuksesta on noin kolme promillea. (Lähde: Aki Korpela).

2 AURINKOENERGIAN TEORIAA

2.1 Sähkömagneettisen säteilyn teoriaa

Auringon ytimessä jatkuvasti tapahtuva fuusioreaktio muuntaa 600 miljoonaa tonnia vetyä joka sekunti noin 590 miljoonaksi tonniksi heliumia. Fuusioreaktiossa puuttuva massa muuttuu Albert Einsteinin suppeaan suhteellisuusteoriaan liittyvän kaavan $E = mc^2$ mukaisesti energiaksi. Sijoittamalla tehon yhtälö massan ja energian vastaavuuden yhtälöön saadaan yhtälö:

$$P = \frac{mc^2}{t} = \frac{4 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{1 \text{ s}} = 3.6 \cdot 10^{26} \text{ W} \quad 1$$

Kaava (1) kuvaa sitä, kuinka Auringon fuusioreaktiossa puuttuva massa muuttuu energiaksi joka sekunti. Samalla kaavalla voidaan kuvata myös esimerkiksi hiukkaskiihdyttimen toimintaperiaatetta. Sähkömagneettisen säteilyn luonnetta voidaan kuvailla kvantittuneeksi. Hiukkastasolla kvantti on pienin mahdollinen määrä energiaa, jonka jokin systeemi voi sisältää. Sähkömagneettista energiaa käsiteltäessä valokvantti eli fotonit toimii energian välittäjänä. Tyhjiössä fotonit kulkevat valon nopeudella eli noin 300 000 km sekunnissa. (Aka 2017). Sähkömagneettisen säteily koostuu massattomista hiukkasista. Aurinkokennojen toimintaa tarkastellessa on hyvä huomioida, että säteilyn fotonin energia riippuu sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudesta. (Korpela 2019).

$$W_f = \frac{hc}{\lambda} \quad 2$$

Kaavassa (2) kuvataan fotonin energian W_f riippuvuussuhdetta säteilyn aallonpituuden λ ja valonnopeuden c välillä. Ilmakehän molekyylit vaimentavat maanpinnalle asti päässeeseen sähkömagneettisen säteilyn intensiteettiä. Säteilystä voidaan kuvailla suorana tai diffuusina (epäsuorana, esimerkiksi pilven läpi maahan osuvana) säteilyä. Suorasta säteilystä poiketen epäsuoran eli diffuusisen säteilyn aallonpituusjakaumaa muuttaa hieman esimerkiksi pilvistä taittuminen (Korpela 2019).

Ilmamassa AM (englanniksi Air Mass) on määre, joka kuvaa ilmakehän paksuutta ja siten auringonsäteilyn intensiteettiä (Tieteen termipankki). Ilmamassa on oleellinen suure käsiteltäessä aurinkokennojen standardimittausolosuhteita, sillä se vaikuttaa suoraan jakaumaan sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuksissa. Auringon ollessa täsmälleen havaintopisteen yläpuolella ilmamassa on yksi: AM1. (Korpela, 2019).

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad 3$$

Kaavassa (3) kuvataan ilmamassan (AM) kaavaa, jossa θ on mitattu kulma verrattuna täysin kohtisuoraan säteilyyn. Kulman kasvaessa valon ilmakehässä kuluma matka myös siihen verrattaessa kasvaa. Ilmamassa on vaivattomasti, mutta suurpiirteisesti, havainnollistettavissa Pythagoraan lauseen avulla, jossa hypotenuusa jaettuna objektin korkeudella antaa tuloksen:

$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h}\right)^2} \quad 4$$

Kaavassa (4) lyhenne s kuvaa varjon objektin varjon pituutta ja h kohtisuoran objektin pituutta. Kaavaa 3 käytettäessä on kuitenkin huomioitava, ettei siinä ole otettu laskennallisesti huomioon maanpinnan kaareutuvuutta. Se soveltuukin enemmän ilmamassan laskennan konkreettiseen havainnollistamiseen.

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta) + 0,50572(96,07955 - \theta)^{-1,6364}} \quad 5$$

Kaavassa (5) havainnollistetaan paremmin ilmamassan laskentaa. Siinä on otettu huomioon maanpinnan kaareutuvuus. (PVEDUCATION. Air mass.) Ihmissilmän näkemää valoa on Auringon sähkömagneettisesta säteilystä noin puolet. Toinen puolikas koostuu infrapunasäteilystä ja pieni osa ultraviolettisäteilystä. Ilmakehä suodattaa pois suuren osan siihen saapuvasta ultraviolettisäteilystä sekä tiettyjä aallonpituuksia infrapuna-alueilta. Lyhytaaltoiset Auringossa syntyvät röntgen- ja gammasäteilyt ovat lähes mitättömiä kokonaisenergiaa tarkasteltuna. (Ilmatieteenlaitos).

2.2 Aurinkopaneelien teoriaa

Aurinkokennojen toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön puolijohteessa. Yleisin aurinkopaneeleissa käytetty puolijohdemateriaali on pii, ja sen energia-aukon (W_g) suuruus on 1.09 eV. Sähkövirtaa voidaan kuvailla elektronien liikkeeksi, jossa elektronit toimivat varauksenkuljettajina. Kun Auringon säteestä puolijoh-teeseen osuneen fotonin energia on joko yhtä suuri tai suurempi kuin puolijoh-teen energia-aukko, fotoni saa elektronin virittäytymään puolijohteen valenssi-vyöltä sen johtavuusvyölle. Toisin kuin johteessa, eristeessä sekä puolijoh-teessa on alhaisissa lämpötiloissa vain joko kokonaisia tai tyhjiä energiavöitä. (Korpela, 2019.) Mikäli fotonin energia ei viritä elektronia valenssivyöltä johtavuusvyölle, kulkee tällöin fotoni aurinkokennon läpi. Toisin sanoen, mikäli fotonin energia on liian heikko, jää se aurinkokennolta sähkökuljetuksen kannalta huomaamatta. Jos fotonin energia on puolestaan energia-aukkoa tarkastellen liian suuri, saa se joka tapauksessa puolijoh-teessa aikaan elektronin virittäytymisen, mutta ylimää-räinen energia muuttuu lämmöksi heikentäen aurinkokennon toimintaa. (Pveducation: absorption of light). Toisin kuin perinteisissä puolijohdeaurinkokennoissa, suuria hyötysuhteita tavoittelevat moniliitosrakenteiset ohutkalvoaurinkokennot pyrkivät nimenomaan vähentämään fotonien hukkaenergian osuutta.

Johteet eivät toimi rakenteensa vuoksi aurinkokennoina, koska säteilyn fotonit eivät onnistu lisäämään niissä elektronien määrää. Eristeessä puolestaan elekt-ronien irroitus atomien sidoksista on fotonien energialle liian haastavaa, eikä toi-vottua johtavuutta tai elektronien virittämistä johtavuusvyölle myöskään täten synny. (Korpela, 2019). Suora säteily tarkoittaa sitä, ettei säteily ole muuttanut suuntaansa matkalla Auringosta aurinkopaneelin pintaan. Hajasäteily sitä vastoin tarkoittaa Auringon säteilyä, joka heijastuu esimerkiksi pilven tai ilmansaasteiden läpi tarkastelukohteeseen. Auringon valon kokonaissäteilystä noin 40–50 % on Suomessa hajasäteilyä. (Motiva). Aurinkopaneelin nimellisteho W_p (Watt-peak) tarkoittaa sitä sähkötehoa, jonka paneeli tuottaa standardimittausolosuhteissa. Näissä olosuhteissa säteilyintensiteetin arvo on 1000 W/m^2 , kennolämpötila on 25 °C ja ilmamassan arvo on AM1,5. (Finnwind).

Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään standardimittausolosuhteissa paneelista saatavan sähkötehon ja paneelille tulevan säteilytehon osamääränä. Esimerkiksi, kun paneelin nimellisteho on $350 W_p$ ja sen pinta-ala on $1,7 m^2$, voidaan aurinkopaneelin hyötysuhde laskea seuraavalla tavalla:

$$\frac{350 W_p}{\left(1,9m^2 \cdot 1000 \frac{W}{m^2}\right)} \cdot 100 = 18,42 \% \quad 6$$

, josta saadaan aurinkopaneelin hyötysuhteeksi 18,42 %. (Motiva. Aurinkosähköjärjestelmän teho).

3 SUUNNITTELUKOHDE JA SEN ENERGIANKULUTUS

3.1 Opinnäytetyön suunnittelukohteen esittely

Opinnäytetyössä käsiteltävänä olevan aurinkoenergian pientuotantojärjestelmän suunnittelukohteenä on Sonic Pump Studios Oy, joka on Helsingin Kalasatamassa sijaitseva hyvin korkeatasoisesti varusteltu äänitysstudio. Studio on perustettu vuonna 2000, ja se sisältää sekä laitteiston että tilojen akustisten ominaisuuksiensa kannalta tarkasteltuna kolme huippuluokan tarkkaamoja ja useampia erikokoisia soittotiloja moninaisia äänitystarpeita varten. Kohteen suurin äänityshuone on kooltaan 70 m². Studiopäällikkönä, tuottajana, ja ääniteknikkona Sonic Pump Studios:lla toimii Nino Laurene.

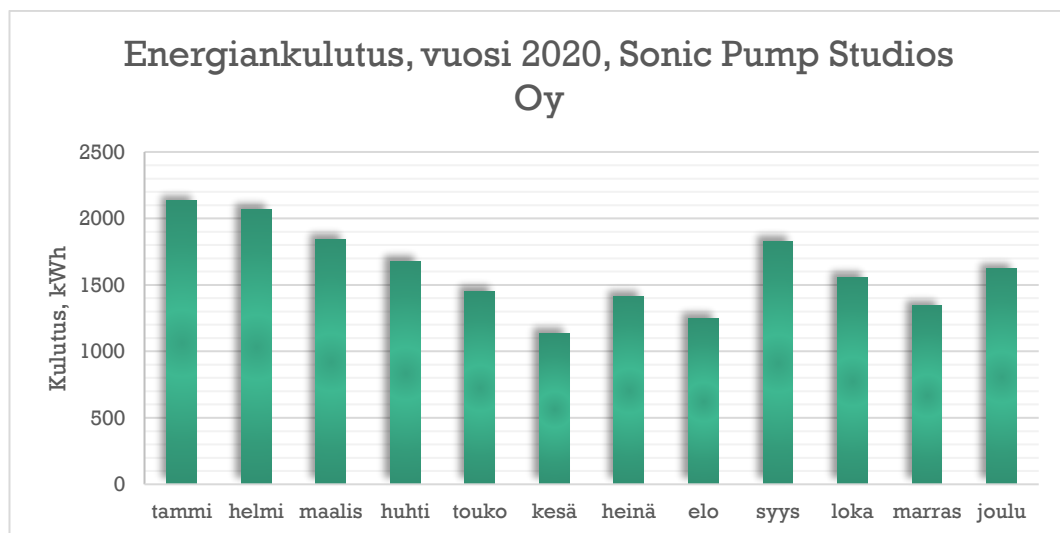
Sonic Pump Studios on Suomen mittakaavassa tarkasteltuna hyvin kiireinen äänitysstudio, jossa ovat työstäneet musiikkiansa monet kotimaamme etulinjan artistit, joihin muun muassa lukeutuvat Amorphis, Apocalyptica, Stratovarius, Finntroll, The 69 Eyes, Dingo, Disco Ensemble, Kotiteollisuus, Anssi Kela ja Sunrise Avenue (Discogs).

Musiikkistudion varusteluun kuuluu hyvin korkealaatuisten ja arvostettujen valmistajien, muun muassa Genelecin, Neumannin, Avalonin, Neven, Teletronixin, Moogin, sekä Hammondin laitteistoa. Toisaalta tilojen sähköenergiaa kuluttavien laitteiden lisäksi myös itse studion energiankulutus on kokoluokaltaan huomattava. Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan teoreettisesti Sonic Pump Studios Oy:lle aurinkosähkön pientuotantojärjestelmä, jolla pyritään leikkaamaan sen sähköverkosta ottaman sähkön määrää. Lähtökohtaisesti suunnitellaan aurinkopaneelijärjestelmä siten, että energiantuotannon kannalta parhaimman eli aurinkoisimman sään vallitessa aurinkopaneelien tuottama sähköenergia kattaisi lähestulkoon koko studion energiantarpeen. Toisin sanoen normaalin sähköverkoliittymän rinnalle asennetun aurinkovoiman pientuotantojärjestelmän avulla leikataan eri sääolosuhteiden (sääoloista riippuen eri tuotantotehoilla toimivien paneelien) puitteissa verkosta otetun energian kulutusta.

Auringonsäteilyn määrää ei pystytä itse kontrolloimaan. Aurinkopaneelien mitoitusteho määritetään sähköyhtiön mittausdatasta saadun kesäpäivän huippukulutuksen mukaan. Opinnäytetyössä suunnittelukohteen energiantarpeen selvittämiseksi on käytetty sähköyhtiöltä saatua Sonic Pump Studios Oy:n energiankulutusdataa eri kuukausilta ja viikoilta vuodelta 2020.

3.2 Suunnittelukohteen energiankulutuksen tarkastelu

Aurinkovoiman pientuotantojärjestelmän suunnittelu alkaa kohteen energiankulutuksen yleisellä tarkastelulla. Sähköyhtiöltä saadusta datasta käy ilmi sähkön kulutusprofiili tunti- sekä päiväkohtaisesti. Kuvio (1) esittää Sonic Pump Studios Oy:n energiankulutusta kuukausitasolla vuodelta 2020.



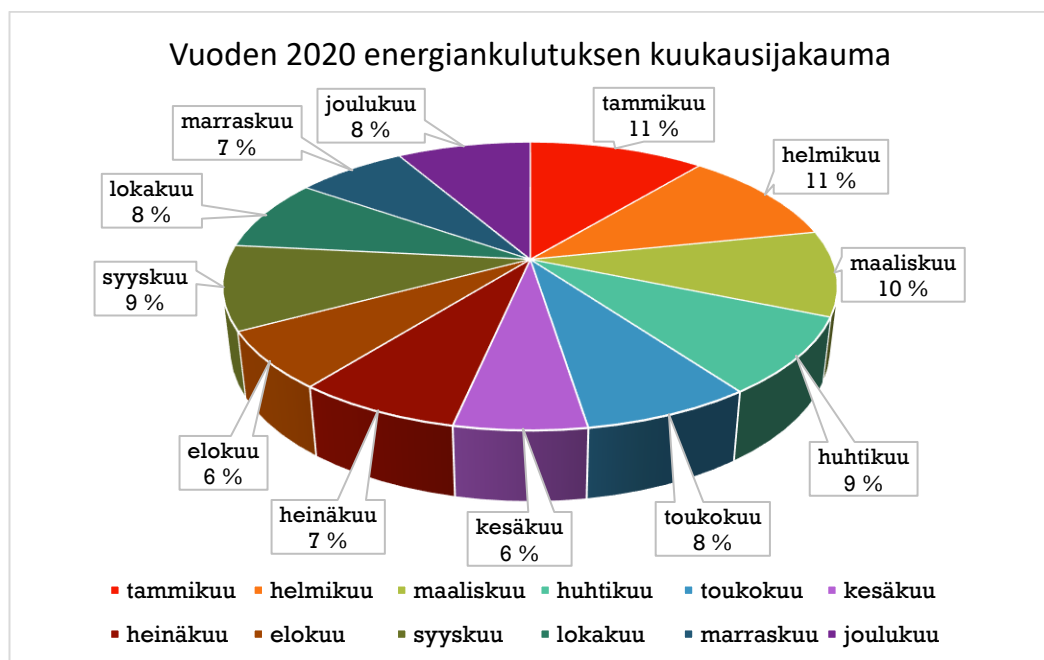
KUVIO 1. Energiankulutuksen kuukausijakauma vuodelta 2020.

Vuodessa suunnittelukohteen sähkönkulutus on yhteensä 19317 kWh, joka vastaa päiväkohtaista keskikulutusta 52,9 kWh. Verrataan kulutusta hieman eri kotitalouksien kulutukseen: Adaton vuonna 2011 tekemässä kotitalouksien suuntaantavassa sähkönkäyttötutkimuksessa käy ilmi, että kahden hengen kaukolämpöverkkoon kiinnitetyn rivitaloasunnon keskimääräinen kulutus on noin 3300 kWh/vuosi, joka on vuorokausitasolla keskiarviolta noin 9 kWh. Kun verrataan kohteita keskenään, on Sonic Pump Studios Oy:n kulutus siihen vuositason 5,9-kertainen. Vertailun vuoksi otetaan lisäksi tarkasteluun 120 m² kokoinen neljän

hengen sähkölämmitetty omakoti- tai rivitalokoti, jonka vuosittainen keskimääräinen sähkönkulutus Suomessa on noin 18480 kWh. Kyseisen kokoluokan talouden kulutus on jo suhteellisen lähellä äänitysstudion vuosittaista energiankulutusta.

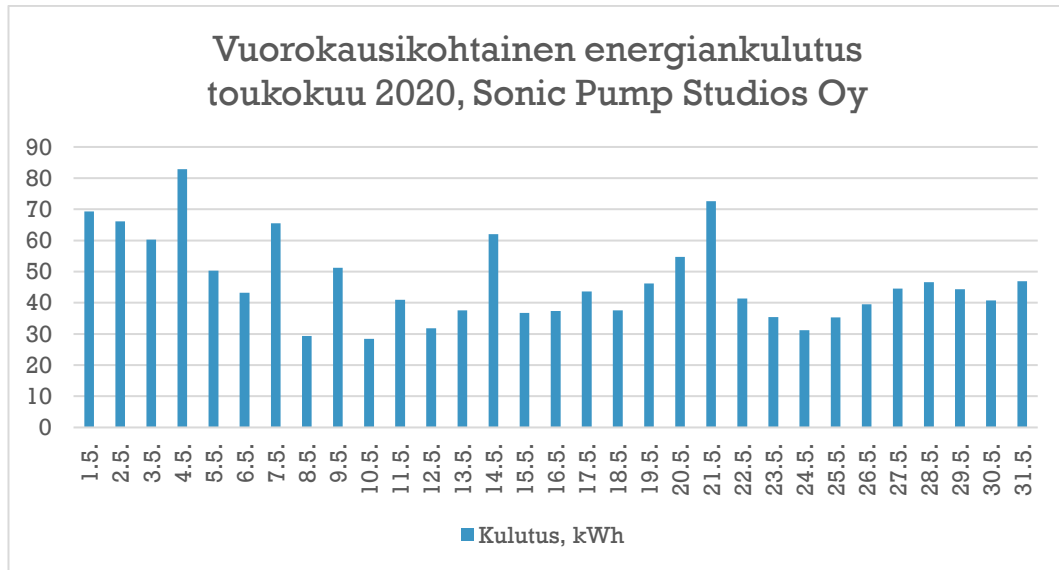
Huomioon otettava ero suunnittelukohteen ja kotitalouksien sähkönkulutusprofiilien välillä on se, että suurin osa kodin sähkön kulutuksesta tapahtuu iltaisin eli aikaan, jolloin tyypillisen talouden asukkaat ovat kotona. Tällöin myöskään aurinkosta saatava energia ei ole vuorokausitasolla tarkasteltuna suurimmillaan. Toisin on äänitysstudiossa, jossa suurin osa käytetystä sähköenergiasta kulutetaan aamukymmenen ja iltakuuden välillä. Tällöin saadaan hyödynnettyä aurinkopaneeleita huomattavasti paremmin, vaikkei akkujärjestelmää kohteeseen olekaan asennettu (Vattenfall).

Kuvio (2) esittää Sonic Pump Studios Oy:n vuoden 2020 energiankulutuksen kuukausijakaumaa. Kuviosta (2) voidaan tulkita, että kohteen energiankulutus kasvaa vuoden kylmimpien talvikuukausien aikana kesäkuukausiin verrattuna noin 5 %. Kesäkuukausien aikana havaitaan energiankulutuksessa pudotus, joka voi johtua peruslämmön ylläpitämiseen kuluneen energian poisjäämisestä kulutuksessa.



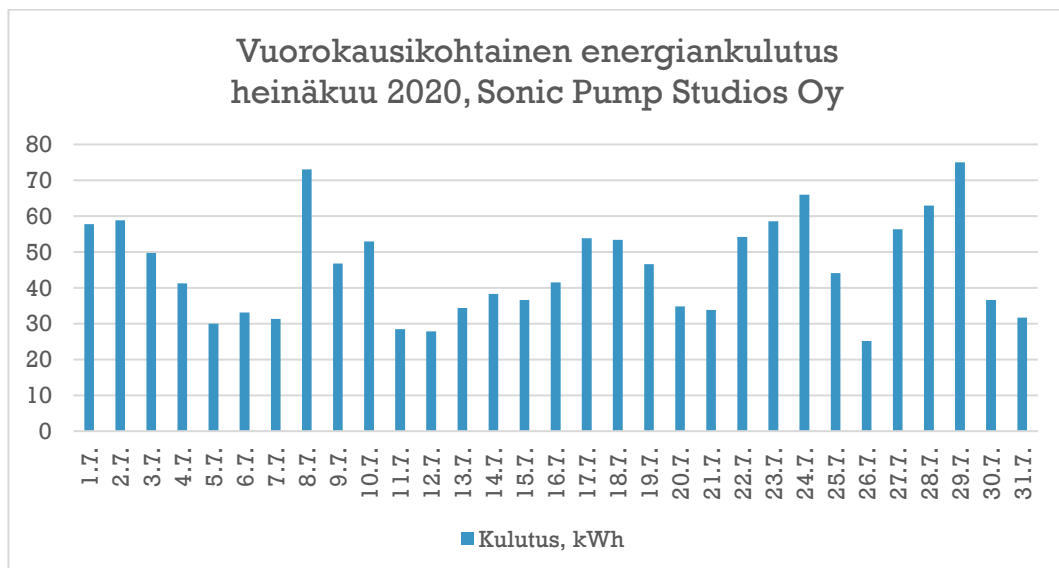
KUVIO 2. Suunnittelukohteen energiankulutus kuukausittain vuodelta 2020 (%).

Kuviossa (3) on koottuna vuorokausikohtainen energiankulutus toukokuun 2020 ajalta. Energiankulutus on tarkasteluvälillä noin 29 kWh:n ja 83 kWh:n välillä.



KUVIO 3. Sonic Pump Studios Oy:n energiankulutus ajalta 1.-31.5.2020.

Kuvio (4) esittää vuorokausikohtaista energiankulutusta heinäkuun 2020 ajalta. Energiankulutus on tarkasteluvälillä noin 28 ja 75 kWh:n välillä.

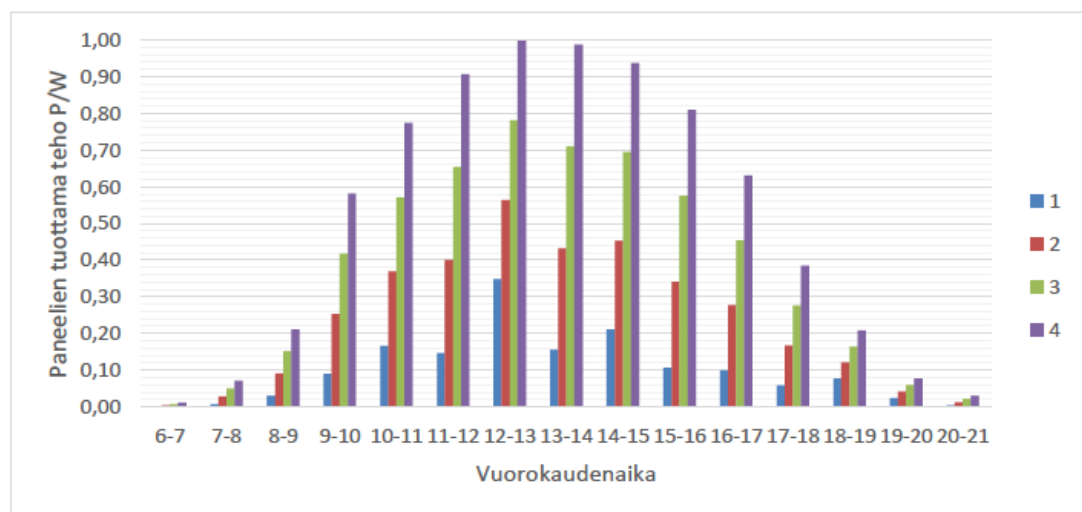


KUVIO 4. Sonic Pump Studios Oy:n vuorokausikohtainen energiankulutus ajalta 1.-31.7.2020.

3.3 Aurinkosähkön keskimääräisen tuotannon ennustaminen

Aurinkosähkön keskimääräisen tuotannon arviointi luo omat haasteensa, kun aletaan arvioida aurinkopaneelien soveltuvuutta suunnittelukohteeseen. Sääolosuhteet vaihtelevat hyvin herkästi, eikä Suomen kaltaisessa, talvisin hyvin pimeässä, maassa pystytä käyttämään aurinkopaneeleita niin tehokkaasti kuin mahdollista. Mikäli vuorokauden normaalisti aurinkoisimmat tunnit ovatkin pilvisiä, tippuu päivän aikana paneelista saadun sähkötehon määrä huomattavasti.

Paneelien keskimääräisen tuotannon ennusteessa käytetään Jani Vesan opinnäytetyössä ”Aurinko- ja tuulisähkön tuotantoprofiilit ja aurinkosähkön tuntitason ennustaminen” kehittelemää ennusteprofiilia (Vesa Jani, 2016). Kuvassa (1) esitetään huhtikuun eritasoisten tuntien tuotannot. Samalla kuva (1) toimii esimerkkinä kuvaajasta, jonka pohjalta tämän opinnäytetyön laskentatyökalu on laadittu.



KUVIO 19. Huhtikuun eritasoisten tuntien tuotannot

KUVA 1. Huhtikuu, tuotantoennuste. Opinnäytetyö, Jani Vesa.

Jani Vesan (2016) opinnäytetyössään esittelemät aurinkopaneelien tuntitason tuotantoennusteet kevät- kesä- ja syyskausien verrokkikuukausilta taulukoitiin kaikki taulukon (5) mukaisesti Exceliin, jotta sen avulla saataisiin tuotantoprofiilista työkalu aurinkovoimalan kokoluokan ja sen tuntikohtaisen tuotantoarvion mittaamiseksi varten. Mitä lähempänä laskentataulukon arvot ovat lukua 1, sitä lähempänä nimellistehoaan aurinkopaneeli toimii. Toisin sanoen arvoakselin (Y-

akselin) arvon lähentyessä lukua yksi (1), yhden watin tehoisen paneelin tuotanto lähenee yhden watin tehoa.

	sateinen	epävaka	puolipilvinen	aurinkoinen
Kellonaika	1	2	3	4
6:00-7:00	0	0	0,005	0,01
7:00-8:00	0	0,03	0,05	0,07
8:00-9:00	0,03	0,09	0,15	0,21
9:00-10:00	0,09	0,25	0,42	0,58
10:00-11:00	0,162	0,37	0,57	0,775
11:00-12:00	0,145	0,4	0,655	0,905
12:00-13:00	0,35	0,56	0,78	1
13:00-14:00	0,16	0,435	0,71	0,983
14:00-15:00	0,21	0,45	0,695	0,94
15:00-16:00	0,11	0,34	0,575	0,81
16:00-17:00	0,1	0,28	0,455	0,63
17:00-18:00	0,06	0,165	0,28	0,38
18:00-19:00	0,08	0,12	0,16	0,21
19:00-20:00	0,02	0,04	0,06	0,08
20:00-21:00	0	0,01	0,02	0,015
21:00-22:00	0	0	0	0
22:00-23:00	0	0	0	0
23:00-00:00	0	0	0	0

1 = sateinen päivä; 2 = epävakaan sään tuntikohtaisen aurinkosähkön tuotantoennuste;

3 = puolipilvinen päivä; 4 = tuotantoennuste aurinkoisen päivän ajalta.

TAULUKKO 1. Excel-laskentatyökalu. Paneelien tuotantotehot (W) tunneittain huhtikuun tuotantoennustedatasta.

Taulukkoa (1) tarkastellessa on otettava huomioon ne vuorokauden kuusi puuttuvaa tuntia, joita tuotantoennustetaulukossa ei ole mainittu. Sonic Pump Studios Oy:n perustason energiantarve öisin tunnin aikana sijoittuu noin 1,8–2,0 kWh välille. Tällöin vuorokaudessa sähköverkosta (taulukossa mainitun lisäksi) ostettava energia on yhtä vuorokautta kohden noin 10,8–12,0 kWh kokoluokkaa.

4 TUOTANTOENNUSTEVERTAILU 5 kW ja 6 kW JÄRJESTELMIEN VÄLILLÄ

4.1 Tuotantovertailussa huomioitavia seikkoja

Suunnittelukohteena toimivan musiikkistudion päivittäinen energiankulutus ei ole luonteeltaan vakio, vaan se vaihtelee jatkuvasti. Energiankulutukseen vaikuttaa esimerkiksi se, kuinka paljon laitteistoa milläkin hetkellä on suunnittelukohteessa käytössä. Myös aurinkosähkön tuotannon osalta muuttujia on paljon; sääolosuhteita on erittäin hankala etukäteen ennustaa, ja esimerkiksi pidempi pilvinen tai sateinen kausi helposti romahduttaa energiantuotannon määrän. Lisäksi sääolosuhteet vaihtelevat hyvinkin nopeasti, ja mikäli pilvinen ajankohta osuu energiantuotannon kannalta otollisimpaan aikaan, päivän energiantuotanto määrällisesti kärsii. Siksi onkin tärkeä painottaa, ettei tämän opinnäytetyön tarkoituksena ole selvittää absoluuttisia tuotantoarvoja, vaan tulokset pohjautuvat ennusteisiin. Huomattavaa on myös, että Jani Vesan (2016) opinnäytetyössään luoma ennusteprofiili on hieman ylioptimistinen energiantuotannon suhteen johtuen järjestelmän kokonaishäviöistä, joita ei ole Vesan mallissa suoranaisesti huomioitu. Realistisemmat lukemat saadaan, kun kerrotaan aurinkopaneelien arvioidut tuotantolukemat 0,9:lla. (Aki Korpela, sähköpostiviesti.) Suunnittelukohteen aurinkovoiman pientuotantojärjestelmä kytketään sähköverkkoliittymän rinnalle, ja mahdollinen ylimääräinen tuotettu sähköenergia myydään takaisin sähköverkkoon.

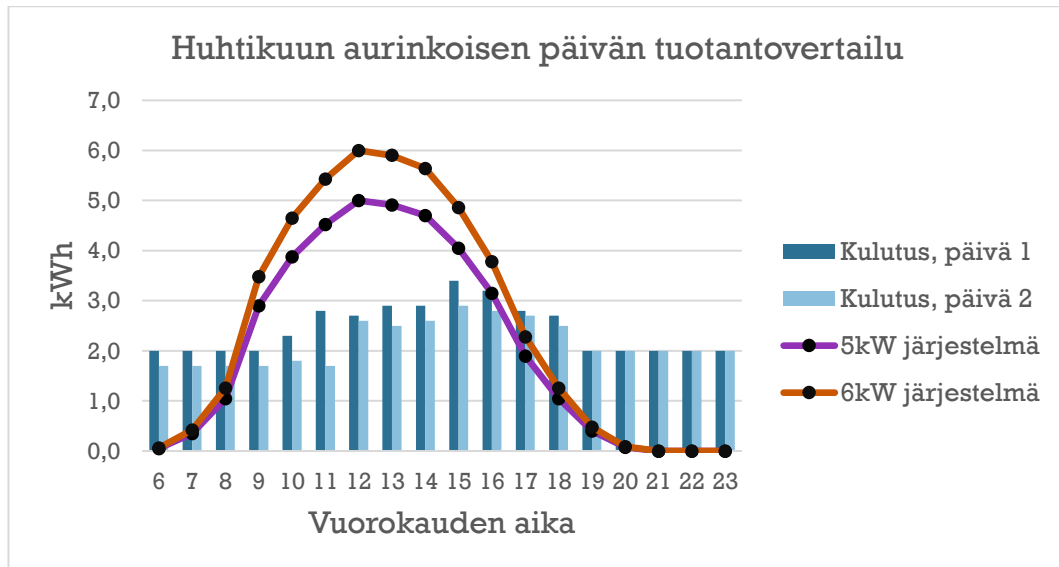
Aurinkopaneelien tuottama sähkö on tasavirtaa. Kun sillä halutaan syöttää verkovirtaan kytkettäviä, vaihtosähköllä syötettäviä laitteita, täytyy järjestelmän osaksi valita oikeanlainen invertteri. Invertteri yhdistetään turvakytkimen kautta kiinteistön sähköpääkeskukseen. (Motiva. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä.) Kun kyseessä on nimellistehoaltaan yli 3–4 kW:n aurinkovoiman pientuotantojärjestelmä, on sen suositeltavaa olla kolmivaiheinen. Yhden invertterin sijaan voidaan myös valita useampi mikroinvertteri, jotka ovat paneelikohtaisia. Mikroinvertterien etuna on se, että osan paneeleista ollessa varjossa järjestelmän tehontuotto on suurempi yksi-invertteriseen järjestelmään verrattuna. Mikroinvertterit ovat kuitenkin investointina kalliimpia, eikä järjestelmän varmuuden kannalta rikkoontuvien osien lisääminen ole välttämättä suotavaa (Motiva: verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä).

Tuotantovertailun kuvaajat pystyttiin luomaan eri sääolosuhteiden ja vuodenaikojen mukaan käyttäen apuna tuotantoennusteprofiilia. Taulukon vaaka-akselille on sijoitettu suunnittelukohteen kahden peräkkäisen päivän energiakulutukset, jotta energiatuotannon riittävyttä pystytään hieman kattavammin selvittämään. Tuotantovertailussa on otettava huomioon, että Sonic Pump Studios Oy:n perusenergiankulutus on tunnissa noin 1,8–2,0 kWh:n luokkaa ympäri vuorokauden, mutta aurinkopaneelit pystyvät tuottamaan sähköenergiaa ainoastaan valoisaan vuorokaudenaikaan. Taulukoissa on huomioitu vain aurinkoenergian tuotannon kannalta järkevimmat vuorokauden tunnit eli kello 6–23:n välinen aika, jotta taulukoiden ulkoasut olisivat mahdollisimman selkeät. Luodun Excel-laskentatyökalun avulla voidaan vertailla erilaisten sääolosuhteiden vallitessa eri kokoisten aurinkosähkön pienvoimaloiden sen hetkistä tuotantoa keskenään syöttämällä niiden kW-arvo laskuriin.

Ilmatieteen laitos erottelee neljä vuodenaikaa ilmastollisesti termisinä vuodenaikoina, jotka määritellään päivien keskilämpötilan avulla. Vuodenaikoja vertaillessa on kuitenkin helpompi käyttää kolmen kuukauden mittaisia jaksoja; kevätkuukaudet koostuvat maaliskuu-, huhtikuu- ja toukokuusta, kesäkuukaudet kesä-, heinä- ja elokuusta, sekä syyskuukaudet syys-, loka- ja marraskuusta. (Ilmatieteenlaitos)

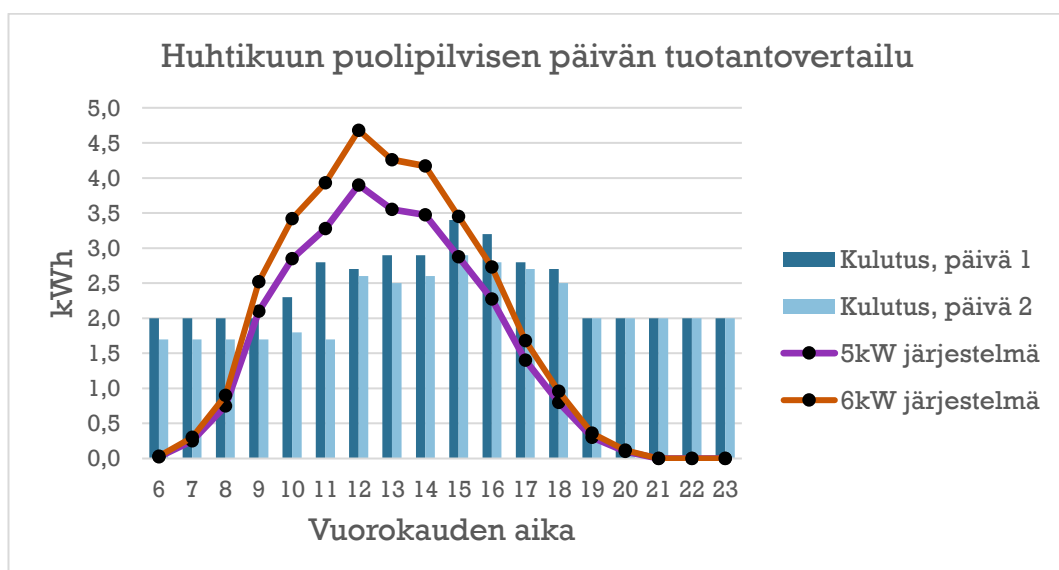
4.2 Kevätkuukausien tuotantovertailu

Kuviossa (5) on vertailtu nimellisteholtaan sekä viiden että kuuden kW:n aurinkopaneelijärjestelmien tuotantolukemia kevätkuukauden (huhtikuun) kahtena peräkkäisenä aurinkoisena päivänä. Kuviossa (5) on tulkittavissa suurimman sähkökulutuksen ajoittuvan molempina päivinä kellonaikojen 09–18 välille kulutuksen ollessa suurimmillaan kello 11–15 välillä. Kuvion (5) avulla havaitaan molempien järjestelmien suoriutuvan tuotannon osalta kiitettävästi aamukahdeksan sekä iltaviiden välillä, kun sen hetken energiantuotantoa verrataan studion sen hetkiseen energiankulutukseen. Suurimman hyödyn saamiseksi pientuotantojärjestelmä kuitenkin hyötyisi huomattavasti akkujärjestelmästä, jotta ylimääräisenä tuotettu energia saataisiin varastoitua myöhempää käyttöä varten. Akkujärjestelmä kuitenkin kasvattaisi investoinnin hintaa huomattavasti.



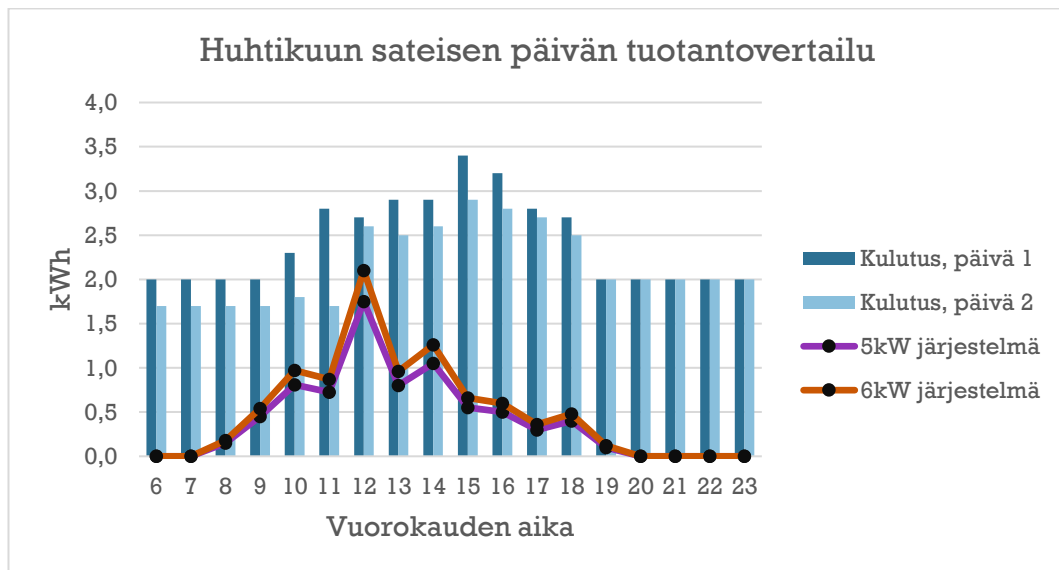
KUVIO 5. Kevätkuukauden (huhtikuu) aurinkoisen päivän tuotantoverailua.

Kuvio (6) esittää huhtikuun puolipilvisen päivän tuotantoverailua nimellisteholtaan 5 ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä. Kuvioista (6) voidaan tulkita, että aurinkopaneelien tuotanto on parhaimmillaan keskipäivällä. Silloin sähköntuotanto ylittää sen kulutuksen noin 2 kWh:lla. Molempien järjestelmien sähköntuotanto ylittää suunnittelukohteen kyseisten päivien sähkönkulutuksen kello 9–14 välisenä aikana; kello 20 jälkeen energiantuotannon määrä on sen kulutukseen verrattuna jo mitätön. Tarkasteltaessa kevätkuukauden puolipilvisen päivän ylijäämäenergian tuotantoa akkujärjestelmän hyödyllisyyttä voidaan kyseenalaisistaa.



KUVIO 6. Kevätkuukauden (huhtikuu) puolipilvisen päivän tuotantoverailua.

Kuvio (7) esittää huhtikuun sateisen päivän tuotantoverailua nimellisteholtaan 5 ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä. Kun sääolosuhteet eivät ole suotuisat, se korreloi suoraan aurinkosähkön tuotantoon. Energiantuotanto ei ylitä tarkasteltuna ajanjaksona kohteen energiankulutusta missään vaiheessa. Huhtikuun sateisen päivän tuotanto on korkeimmillaan keskipäivällä kello 12, jolloin 6 kW:n järjestelmän tunnin keskiteho on 2,1 kW viiden kilowatin järjestelmän tunnin keskiteho ollessa 1,75 kW. Tällöin eroa järjestelmien tuotannossa on 0,35 kWh, joka ei ole tässä tutkimuksessa tuloksena merkittävä.



KUVIO 7. Kevätkuukauden (huhtikuu) sateisen päivän tuotantoverailua.

Taulukko (2) esittää nimellisteholtaan 5 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän tuntitason tuotantoennusteita. Taulukon (2) arvot saatiin, kun kerrottiin Excel-laskenta-työkalun (taulukko (1)) tulokset luvulla 5.

	sateinen	epävaka	puolipilvinen	aurinkoinen
Kellonaika	1	2	3	4
6	0	0	0,025	0,05
7	0	0,15	0,25	0,35
8	0,15	0,45	0,75	1,05
9	0,45	1,25	2,1	2,9
10	0,81	1,85	2,85	3,875
11	0,725	2	3,275	4,525
12	1,75	2,8	3,9	5
13	0,8	2,175	3,55	4,915
14	1,05	2,25	3,475	4,7
15	0,55	1,7	2,875	4,05
16	0,5	1,4	2,275	3,15
17	0,3	0,825	1,4	1,9
18	0,4	0,6	0,8	1,05
19	0,1	0,2	0,3	0,4
20	0	0,05	0,1	0,075
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
kWh total:	7,59	17,7	27,93	37,99

TAULUKKO 2. Nimellisteholtaan 5 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän päiväkohtaiset tuotantoennustelukemat kevätkuukausien osalta.

Kuten taulukosta (2) voidaan tulkita, aurinkoisen päivän tuotantoennuste on viisinkertainen verrattuna sateisen päivän tuotantoennusteeseen. Energiantuotanto riippuu siis hyvin voimakkaasti säätilasta ja siitä, mihin vuorokaudenaikaan esimerkiksi vesisade tai pilvirintama asettuu. Energiantuotannollisesti tarkasteltuna on merkityksetöntä, mikäli sadekuuro sijoittuu loppuillan tai yöhön, mutta keskipäivän aikana se saattaa pahimmillaan romahduttaa kyseisen päivän sähköntuotannon.

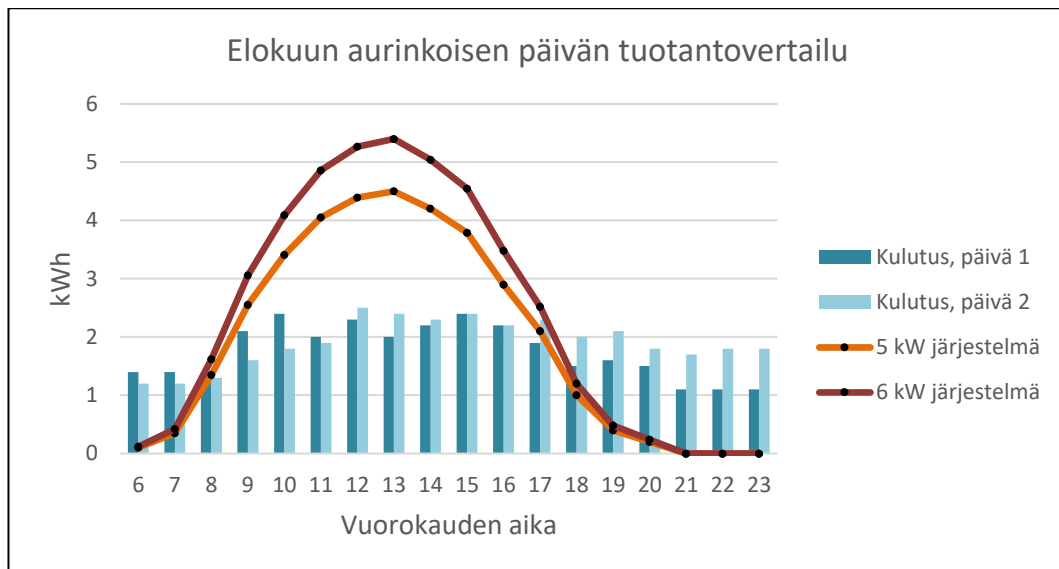
Taulukko (3) esittää nimellisteholtaan 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän tuntitason tuotantoennusteita. Taulukon (3) oikealle puolelle on listattu Sonic Pump Studios Oy:n tuntikohtainen kulutus kahden verrantopäivän ajalta (Kulutus 1 ja Kulutus 2).

6kW	sateinen	epävaka	puolipilvinen	aurinkoinen		
Kellonaika	1	2	3	4	Kulutus 1	Kulutus 2
6	0	0	0,03	0,06	2	1,7
7	0	0,18	0,3	0,42	2	1,7
8	0,18	0,54	0,9	1,26	2	1,7
9	0,54	1,5	2,52	3,48	2	1,7
10	0,972	2,22	3,42	4,65	2,3	1,8
11	0,87	2,4	3,93	5,43	2,8	1,7
12	2,1	3,36	4,68	6	2,7	2,6
13	0,96	2,61	4,26	5,898	2,9	2,5
14	1,26	2,7	4,17	5,64	2,9	2,6
15	0,66	2,04	3,45	4,86	3,4	2,9
16	0,6	1,68	2,73	3,78	3,2	2,8
17	0,36	0,99	1,68	2,28	2,8	2,7
18	0,48	0,72	0,96	1,26	2,7	2,5
19	0,12	0,24	0,36	0,48	2	2
20	0	0,06	0,12	0,09	2	2
21	0	0	0	0	2	2
22	0	0	0	0	2	2
23	0	0	0	0	2	2
kWh total:	9,1	21,24	33,51	45,59	43,7	38,9

TAULUKKO 3. Nimellisteholtaan 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän päiväkohtaiset tuotantoennustelukemat kevätkuukausien (maalis-toukokuu) osalta.

4.3 Kesäkuukausien tuotantoverailu

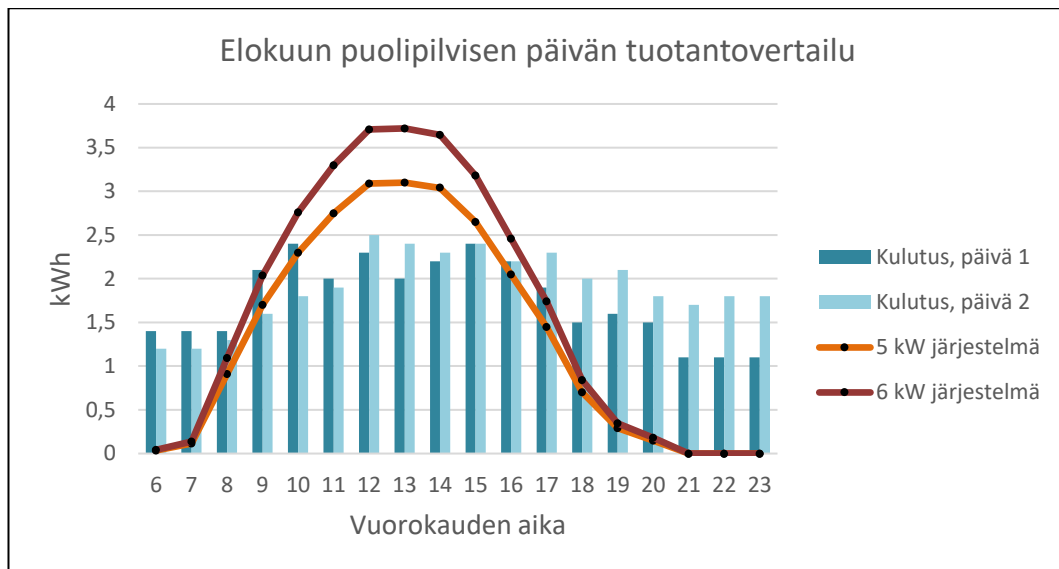
Kesäkuukausien aurinkoiset päivät ovat aurinkopaneelien energiantuotantoa tarkasteltuna niille otollisinta aikaa vuodessa. Kuvio (8) esittää elokuun aurinkoisen päivän tuotantoverailua nimellisteholtaan 5 ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä.



KUVIO 8. Kesäkuukauden (elokuu) aurinkoisen päivän tuotantoverailua.

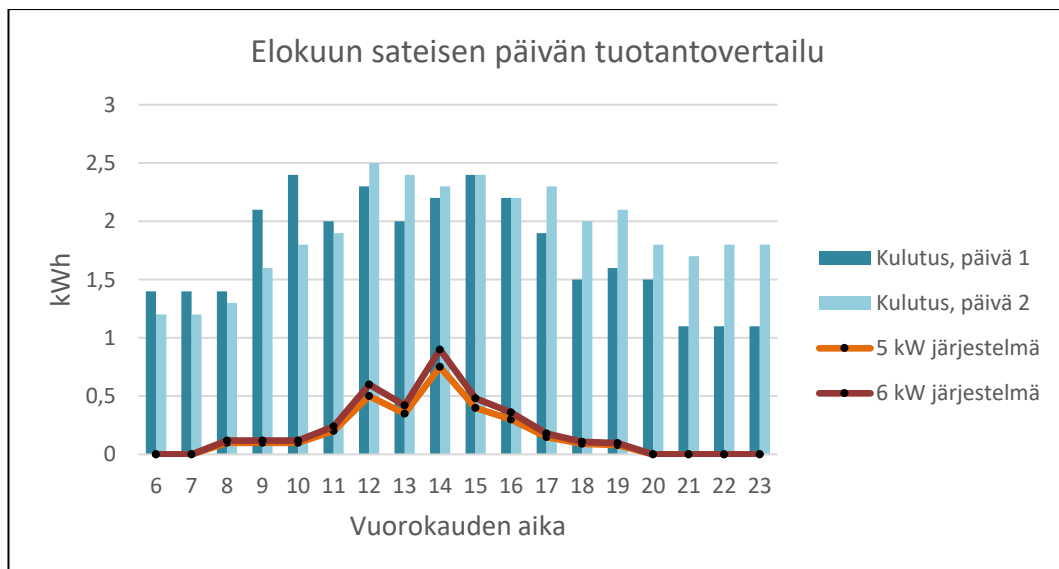
Kuviosta (8) voidaan tulkita, että tuotannon kannalta parhaaseen vuorokaudenaikaan, eli kello 13, 6 kW:n järjestelmä tuottaa 5,40 kWh, kun taas viiden kilowatin järjestelmän sen hetkinen tuotanto on 4,50 kWh. On kuitenkin otettava huomioon tuotantohäviöiden vuoksi ilmenevä korjauskerroin 0,9, joka aiemmin luvussa 4.1 esiteltiin. Tällöin hetkittäiset energiantuotannot ovat 6 kW:n järjestelmän osalta ($5,40 \times 0,9$) 4,86 kWh ja 5 kW:n järjestelmän osalta ($4,50 \times 0,9$) 4,05 kWh.

Kun akkujärjestelmää ei ole käytettävissä, on tuotannon kannalta lähestulkoon samantekevää, valitaanko suunnittelukohteeseen nimellisteholtaan 5 vai 6 kW:n järjestelmä. Energiantuotanto ylittää molempien järjestelmien kohdalla täysin Sonic Pump Studios Oy:n energiankulutuksen kello 9–16 välisenä aikana. Kuvio (9) esittää elokuun puolipilvisen päivän tuotantoverailua nimellisteholtaan 5 ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä.



KUVIO 9. Kesäkuukauden (elokuu) puolipilvisen päivän tuotantoverailua.

Kuviosta (9) voidaan tulkita, ettei elokuun puolipilvisen päivän energiantuotannon osalta viiden ja kuuden kilowattitunnin aurinkopaneelijärjestelmien välillä ole ilman akustoa niin suurta merkitystä, että olisi investoinnillisesti kannattavaa valita kuuden kilowatin järjestelmä. Kuvio (10) esittää elokuun sateisen päivän tuotantoverailun tuloksia nimellisteholtaan 5 kW:n ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä.

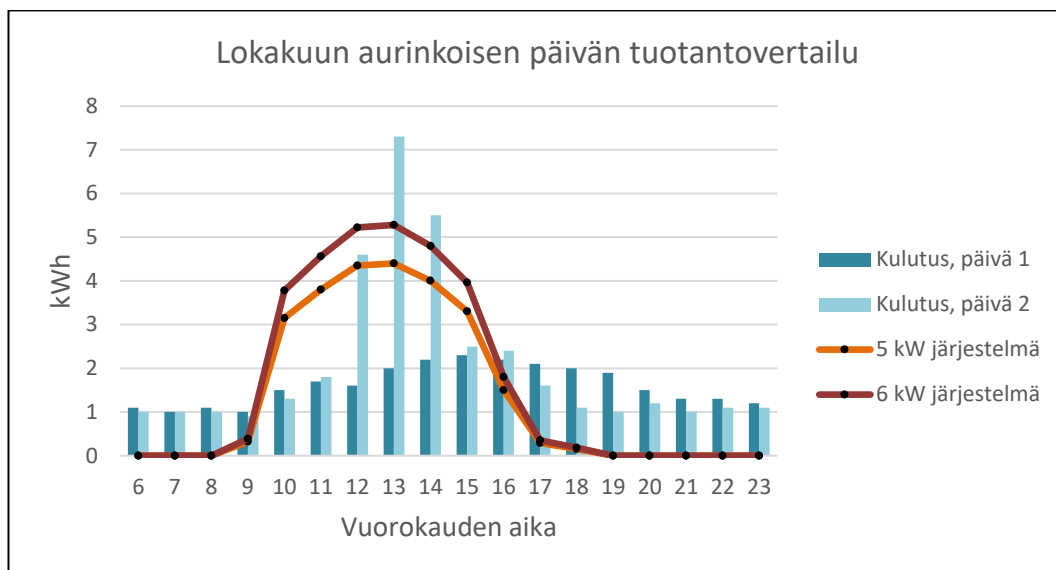


KUVIO 10. Kesäkuukauden (elokuu) sateisen päivän tuotantoverailua.

Kuviosta (10) voidaan elokuun sateisen päivän osalta todeta, ettei aurinkopaneeleista ole silloin juurikaan hyötyä. Tämä osaltaan kertoo siitä, kuinka voimakkaasti kunkin päivän tai tunnin sääolosuhteet suoraan vaikuttavat aurinkosähkön tuotantoon.

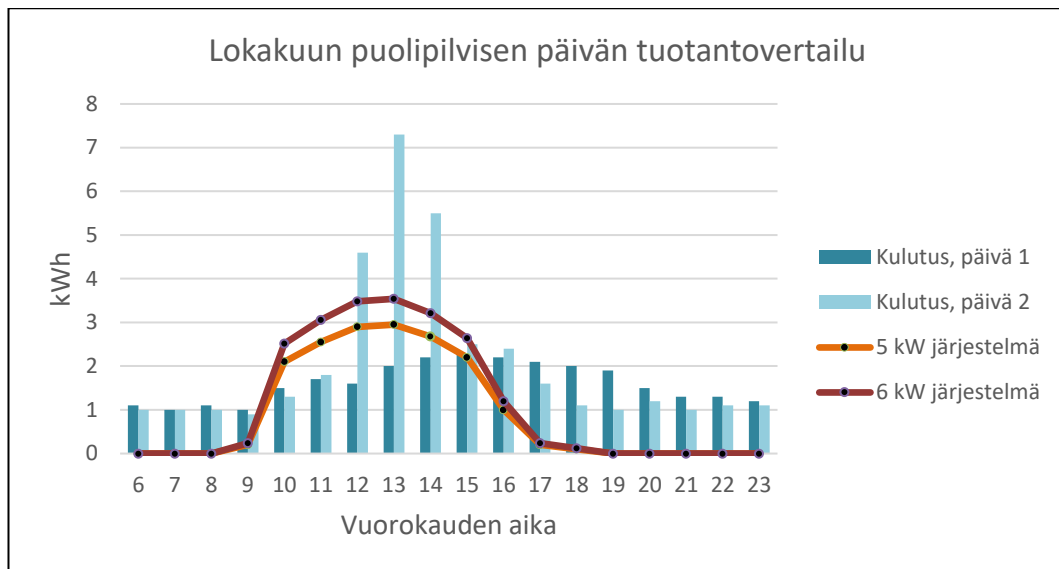
4.4 Syyskuukausien tuotantoverailu

Kuvio (11) esittää lokakuun aurinkoisen päivän tuotantoennusteen nimellisteholtaan 5 kW:n ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä. Kuviosta (11) voidaan tulkita, että paneelien sähköenergiantuotanto kattaa suunnittelukohteen energiantarpeen jo kello 10 lähtien. Aurinkopaneelien tuottama energia kattaa päivän 1 energiantarpeen aina kello 15 asti. Järjestelmän tuottamaa ylijäämäsähköä aletaan myydä sähköverkkoon jo aamuyhdeksän jälkeen.



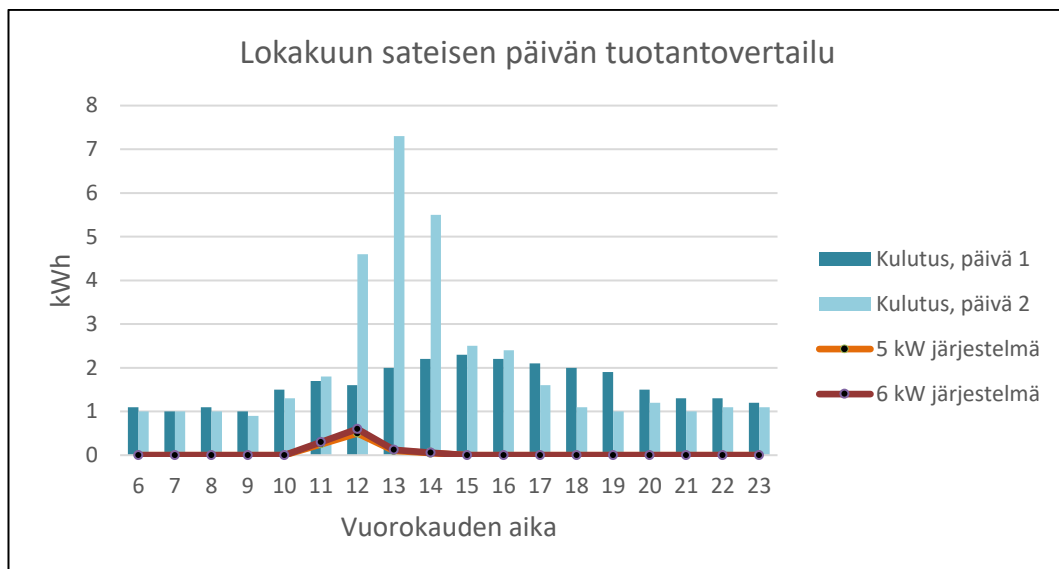
KUVIO 11. Syyskuukauden (lokakuu) aurinkoisen päivän tuotantoverailua.

Lokakuun puolipilvisen päivän aikana suunnittelukohteen oma energiatuotanto sekä 5 kW:n että 6 kW:n järjestelmien osalta riittää kattamaan päivän 1 kulutuksen kello 9–14 välillä. Kuvio (12) esittää lokakuun puolipilvisen päivän tuotantoennusteita nimellisteholtaan 5 kW:n ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä.



KUVIO 12. Syyskuukauden (lokakuu) puolipilvisen päivän tuotantoverailua.

Kuvion (12) data osoittaa, että syyskuukausien puolipilvinenkin päivä tuottaa aurinkoenergiaa suunnittelukohteen omaan käyttöön riittävästi. Kuvio (13) esittää lokakuun sateisen päivän tuotantoennusteita nimellistehoaltaan 5 kW:n ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien välillä. Lokakuun sateisen päivän osalta aurinkoenergian tuotanto on tehotonta.



KUVIO 13. Syyskuukauden (lokakuu) sateisen päivän tuotantoverailua.

4.5 Johtopäätöksiä

Taloudellisesti on järkevämpää mitoitaa aurinkosähköjärjestelmä tuottamaan tarpeeksi omaan energiantarpeeseen, eikä tähdätä ylimääräisen sähkön myymiseen takaisin sähköverkkoon omalle sähköyhtiölle. Ylituotantosähkön myymisestä hyvitetään vain sen hetkisen spot-hinnan verran, joka muodostaa noin kolmanneksen ostetun sähkön kokonaishinnasta. (Helen sähköverkko. Aurinkopaneelien hankintaopas pdf). Vaihtoehtoisesti on mahdollista investoida aurinkovoiman pientuotantojärjestelmän osana tehonsäätimeen, jonka avulla voidaan ohjata ylimääräisenä tuotettu sähköenergia esimerkiksi lämminvesivaraajan tai saunan kiukaan lämmitykseen ennen energian myymistä takaisin sähköverkkoon. Tehonsäädin mahdollistaa maltillisilla kustannuksilla sähkön omakäyttöosuuden kasvattamisen. (Biolan)

Selkeitä hyötyjä nimellisteholtaan 6 kW:n järjestelmään ei ollut, kun sitä verrattiin 5 kW:n järjestelmään olettaen, ettei aurinkopaneeleita ollut kytketty akkujärjestelmään. Tällöin on siis järkevämpää investoida nimellisteholtaan 5 kW:n aurinkopaneelijärjestelmään. Sääolosuhteiden ollessa epäsuotuisat energian tuotannon kannalta ei suuria eroavaisuuksia nimellisteholtaan 5 kW:n ja 6 kW:n tuotantojärjestelmissä ole. Kun aurinkovoiman pientuotantojärjestelmän teho kasvaa, samalla myös sen hinta nousee ja järjestelmän asennukseen tarvittava kattopinta-ala kasvaa. Toisaalta samalla myös ostetun sähkön tarve valtakunnanverkosta leikkaantuu.

Suunnittelukohteen aurinkopaneelijärjestelmää voidaan haluttaessa kuitenkin tulevaisuudessa laajentaa akkujärjestelmällä, jolloin varsinkin aurinkoisten ja puolipilvisten päivien kirkkaimpien tuntien aikana saatu ylimääräinen energia voitaisiin varastoida akustoihin myöhempää käyttöä varten. Akkujärjestelmien taloudellinen kannattavuus tulee jatkossa paranemaan tehomaksujen myötä. Kun sähköverkon asiakkaalle tulee käyttämästään maksimitehosta lisäkustannus sähkölaskuun, akkujärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden leikata kulutuksen huipputehoja ja näin alentaa sähkölaskua. Sähköyhtiöistä esimerkiksi Helenillä on tehomaksu käytössä jo nyt pienasiakkaillekin. (Helen sähköverkko: aikasiirto) Jotkin sähköyhtiöt tarjoavat myös asiakkailleen maksullista virtuaaliakkupalvelua,

jonka avulla hyödyntämättä jäänyttä aurinkosähköä voidaan varastoida myöhem-
pää käyttöä varten. Esimerkiksi Helenillä asiakkaan käyttäessä tallettamaansa
aurinkosähköä virtuaaliakustaan yhtiö hyvittää asiakkaan sähkölaskulta 13
c/kWh. (Helen sähköverkko: virtuaaliakku). Tulevaisuudessa tulee olemaan
myös mahdollista hyödyntää sähköauton akkua kiinteistön sähköenergian tarpei-
siin. Käsitettä kutsutaan nimellä V2G (vehicle-to-grid). Tämä tarkoittaisi sitä, ettei
kiinteistön aurinkovoimalalle tarvisi ostaa varsinaista omaa akustoa välttämättä
erikseen (Evconnect).

5 TALOUDELLISET HYÖDYT

5.1 Investoinnin kustannukset

5 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän hinta avaimet käteen -tyypin asennuksineen oli keväällä 2021 noin 5000–7000 euroa sisältäen arvalisäveron 24 %. Suomessa asennettujen aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys seuraa Euroopan hintakehitystä. (Motiva. Aurinkosähköjärjestelmien hinta).

5.2 Aurinkopaneelien tuottaman energian yhteenveto

Investoinnin tuomia säästöjä kartoitettiin laskemalla kevät-, kesä- ja syyskuukausien aurinkoisten, puolipilvisten, pilvisten ja sateisten päivien aurinkopaneelien tuotantoennusteiden keskiarvot. Kevätkuukausien ajalta aurinkopaneelien tuottaman päiväkohtaisen energian keskiarvo on laskentamallin mukaan 22,80 kWh. On kuitenkin otettava huomioon sähköntuotannolliset häviöt. Lasketaan siis mukaan korjauskerroin 0,9:

$$22,80 \text{ kWh} \cdot 0,9 = 20,52 \text{ kWh} \quad 7$$

Vuoden 2020 maaliskuussa oli 31 päivää, huhtikuussa 30 päivää ja toukokuussa 31 päivää. Kun lasketaan yhteen aurinkopaneelien tuotanto kevätkuukausilta, saadaan:

$$20,52 \text{ kWh} \cdot 92 = 1887,84 \text{ kWh} \quad 8$$

Kun verrataan aurinkopaneelien tuotannon keskiarvoitettua suoriutumista tuntitasolla musiikkistudion sen hetkiseen kulutukseen, verkkoon takaisinmyytävän sähkön osuus on tuotantomallin avulla laskettuna 1,67 kWh / 24 h. Lasketaan mukaan korjauskerroin:

$$1,67 \text{ kWh} \cdot 0,9 \approx 1,5 \text{ kWh} \quad 9$$

Maaliskuun 2020 vuorokausikohtaisen kulutuksen keskiarvo on 59,5 kWh. Huh-
tikuun osalta vastaava keskiarvo on 55,8 kWh, kun taas toukokuun osalta vuoro-
kausikohtaisen kulutuksen keskiarvo on 46,9 kWh. Yhteenlaskettu suunnittelu-
kohteen kevätkuukausien energiankulutuksen keskiarvo on täten 54,06 kWh.

Kesäkuukausien ajalta aurinkopaneelien tuottaman päiväkohtaisen energian
keskiarvo on laskentamallin mukaan 19,13 kWh. Lasketaan mukaan korjausker-
roin 0,9:

$$19,13 \text{ kWh} \cdot 0,9 = 17,217 \text{ kWh} \quad 10$$

Vuoden 2020 toukokuussa oli 30 päivää, kesäkuussa 31 päivää ja heinäkuussa
31 päivää. Kun lasketaan yhteen aurinkopaneelien tuotanto kevätkuukausilta,
saadaan:

$$17,217 \text{ kWh} \cdot 92 = 1583,964 \text{ kWh} \quad 11$$

Kun verrataan aurinkopaneelien tuotannon keskiarvoitettua suoriutumista tuntita-
solla musiikkistudion sen hetkiseen kulutukseen, verkkoon takaisinmyytävän
sähkön osuus on tuotantomallin avulla laskettuna 0,67 kWh / 24 h. Lasketaan
mukaan korjauskerroin:

$$0,67 \text{ kWh} \cdot 0,9 \approx 0,6 \text{ kWh} \quad 12$$

Kesäkuun 2020 vuorokausikohtaisen kulutuksen keskiarvo oli 37,8 kWh, kun taas
heinäkuun vastaava keskiarvo oli 45,6 kWh. Elokuun vuorokausikohtaisen kulu-
tuksen keskiarvo oli puolestaan 40,3 kWh. Suunnittelukohteen kesäkuukausien
energiankulutuksen keskiarvo oli täten 41,23 kWh.

Syyskuukausien ajalta aurinkopaneelien tuottaman vuorokausikohtaisen ener-
gian keskiarvo on laskentamallin mukaan nimellisteholtaan 12,87 kWh. Laske-
taan mukaan korjauskerroin 0,9:

$$12,87 \text{ kWh} \cdot 0,9 = 11,583 \text{ kWh} \quad 13$$

Vuoden 2020 syyskuussa oli 30 päivää, lokakuussa 31 päivää ja marraskuussa 30 päivää. Kun lasketaan yhteen aurinkopaneelien tuotanto kevätkuukausilta, saadaan:

$$11,583 \text{ kWh} \cdot 92 = 1065,636 \text{ kWh} \quad 14$$

Kun verrataan aurinkopaneelien tuotannon keskiarvoitettua suoriutumista tuntitasolla musiikkistudion sen hetkiseen kulutukseen, verkkoon takaisinmyytävän sähkön osuus on tuotantomallin avulla laskettuna 0,4 kWh / 24 h. Lasketaan mukaan korjauskerroin:

$$0,4 \text{ kWh} \cdot 0,9 \approx 0,36 \text{ kWh} \quad 15$$

Syyskuun vuorokausikohtaisen kulutuksen keskiarvo oli 61 kWh, kun taas lokakuun osalta vastaava keskiarvo oli 50,1 kWh. Marraskuun vuorokausikohtaisen energiankulutuksen keskiarvo oli 44,7 kWh. Suunnittelukohteen syyskuukausien energiankulutuksen keskiarvo täten oli 51,93 kWh.

Aurinkopaneelien yhteenlaskettu energiantuotanto on kevätkuukausilta 1887,84 kWh, kesäkuukausilta 1583,964 kWh ja syyskuukausien ajalta 1065,636 kWh. Yhteenlaskettu aurinkopaneelien energiantuotanto on siis 4537,44 kWh.

5.3 Investoinnin tuottamat säästöt ja takaisinmaksuaika

Sähkön hinta koostuu energiahinnasta, sähkön siirto hinnasta sekä verosta. Sonic Pump Studios Oy kuuluu sähköyhtiön veroluokkaan 1. Helenin energiamaksu 11.1.2022 oli 8,60 c/kWh ja siirtomaksu 4,07 c/kWh (sis. alv 24 %). (Helen sähköverkko: asiakaspalvelu) Sähkön energiahinta ja siirtomaksut kustansivat studiolle vuonna 2020 yhteensä (sis. alv 24 %):

$$19317 \text{ kWh} \cdot 0,1266 \text{ e} = 2445,53 \text{ e} \quad 16$$

Aurinkopaneelien tuottama energiamäärä vuodessa on noin 4537 kWh. Laskeetaan sähköenergian hinta, mikäli se ostettaisiin sähköverkosta (sis. alv 24 %):

$$4537 \text{ kWh} \cdot 0,1266e = 574,4e \quad 17$$

Paneelien kevät-, kesä- ja syyskuukausien energiantuotanto on 4537,44 kWh, joka on 23,49 % studion kokonaisenergiankulutuksesta. Oletetaan sähköenergian kustannuksien ja musiikkistudion energiankulutuksen pysyvän vuoden 2020 tasolla seuraavan vuosikymmenen ajan ja 5 kW:n aurinkovoimalan pientuotantoinvestoinnin maksavan yritykselle 6000 e, josta vähennetään alv 24 %:

$$\frac{6000e}{1,24} = 4838,71e \quad 18$$

, josta aurinkovoimalan investoinnin nettohinnaksi saadaan 4838,71 e. Jaetaan nettohinta vuositason säästöillä olettaen sähköenergian hinnan sisältävän verot ja siirtomaksut:

$$\frac{4838,71e}{574,4e} = 8,42 a \quad 19$$

, jossa a on kalenterivuosi. Investoinnin takaisinmaksuaika on siis hyvin kohtuullinen eli noin 8,4 vuotta. Vuositason säästöissä on oletettu, että kohde pystyy käyttämään kaiken itse tuottamansa energian. Tästä johtuen laskelman tulos saattaa olla hieman ylioptimistinen. Jotta kaikki ylimääräinen energia saataisiin itse hyödynnettyä, olisi ylituotanto järkevää ohjata esimerkiksi lämminvesivaraajan lämmittämiseen.

Sähköverkkoon takaisinmyydyin sähkön taloudelliset tuotot ovat häviävän pienet: kevätkuukausien aikana sähköverkkoon takaisinmyydyin sähköenergian määrä oli 138 kWh. Spot-hinnan keskiarvo maaliskuu-, huhti- ja toukokuulta oli vuonna 2020 2,467 snt/kWh. Taloudellinen tuotto oli kevätkuukausilta yhteensä siis noin 5,1 e. Kesäkuukausien aikana verkkoon takaisinmyydyin sähköenergian määrä oli 55,2 kWh. Spot-hinnan keskiarvo kesä-, heinä- ja elokuulta vuonna 2020 oli 3,68 snt/kWh. Kesäkuukausien takaisinmyydyin sähkön tuotot olivat siis yhteensä 2,03 e. Syyskuukausien aikana verkkoon takaisinmyydyin sähköenergian määrä oli

33,12 kWh. Spot-hinnan keskiarvo oli syys-, loka- ja marraskuun ajalta vuonna 2020 keskiarvoltaan 3,99 snt/kWh. Yhteensä syyskuukausilta tuottoa siis tuli 1,32 e. (Sähkön kilpailutus: pörssisähkön hinta)

Yritykset maksavat sähkönsiirrosta sekä arvonlisäveroa, että sähköveroa. Esimerkiksi 19300 kWh:n energiankulutuksen vuositasolla sähköenergian siirtokustannukset (sis. alv 24 %) olivat Helen-sähköverkolla 1390,1 euroa. Ylimääräisenä tuotetun sähkön myynnistä saatu korvaus vaihtelee sähköyhtiön kanssa solmitun sopimuksen mukaan.

Sähkön spot-hinta on etenkin aamuisin ja alkuillasta korkeimmillaan. Suunnitelukohteen sähkökäyttöprofiililla, suurimman energiankulutuksen osuessa päiväaikaan, sähkön pientuottaja hyötyy spot -hinnoittelusta taloudellisesti eniten. Myös päivällä tuotetusta ylijäämästä saadaan paras myyntihinta siihen aikaan. (Motiva. Ylijäämästä myynti). Vaikka ylijäämästä saadut tuotot jäävätkin hyvin vähäisiksi, pientuotantojärjestelmän ylimääräisenä tuotettu sähköenergia täytyy joka tapauksessa syöttää johonkin.

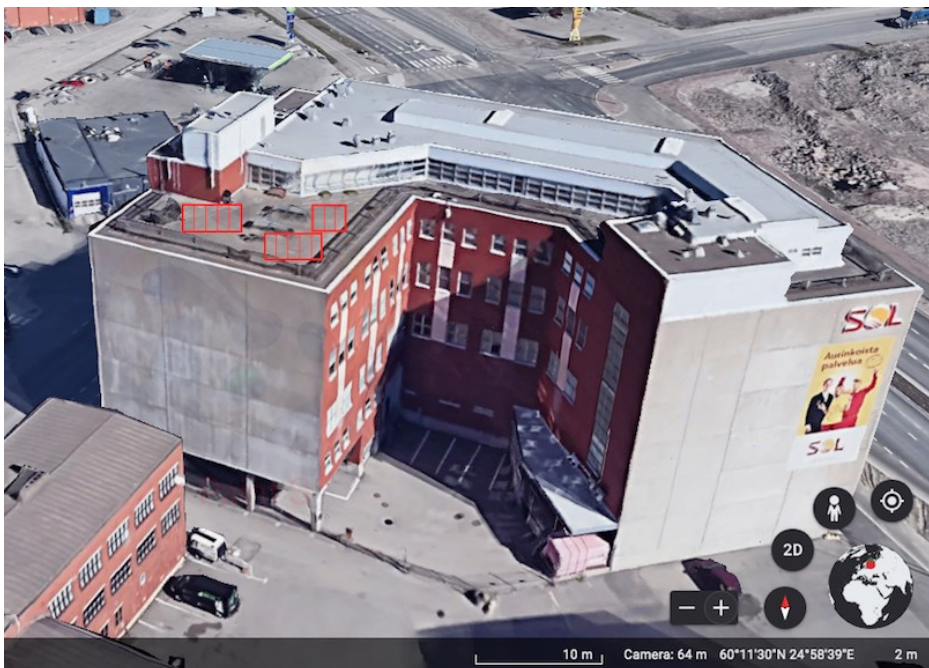
5.4 Laitteiston elinkaari

Aurinkopaneelien teknisenä elinikänä voidaan pitää noin 30 vuotta. Monet valmistajat lupaavat aurinkopaneeleilleen vaihtelevin ehdoin 25 vuoden tehontuototakuun, jonka osana he lupaavat paneeleilleen niiden käyttövuosista riippuen eri tehontuottolupauksia verrattuna uusiin vastaaviin. Yleinen takuu paneelien osalta on se, että valmistaja lupaa niiden toimivan ensimmäisen vuosikymmenen aikana vähintään 90 % alkuperäisestä nimellistehosta. Materiaali- ja valmistusvirheiden osalta aurinkopaneelien takuu-aika on yleisesti noin 12 vuotta. Invertterin osalta elinikänä voidaan pitää noin puolet aurinkopaneelien eliniästä. Tällöin invertterin mahdollinen elinkaari olisi noin 12–15 vuotta. (Motiva: aurinkosähköjärjestelmien teho).

6 AURINKOPANEELIEN SJOITTELUN MERKITYS ENERGIANTUOTANNOSSA

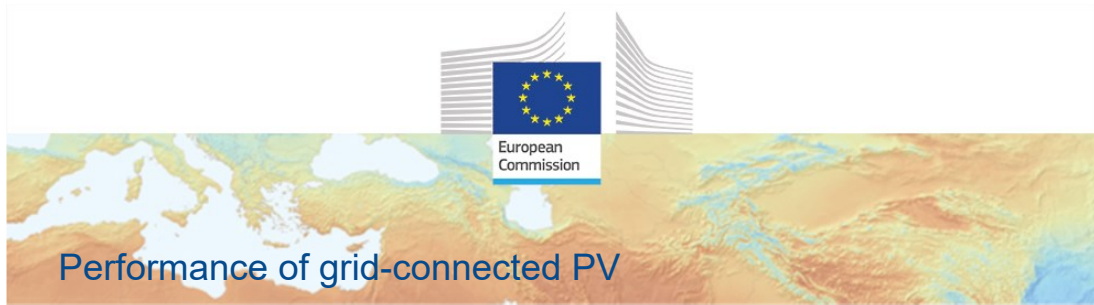
Sonic Pump Studios Oy sijaitsee ylimmässä eli neljännessä kerroksessa Helsingin Kalasataman alueella. Aurinkopaneelien asennuspaikan ympäristössä ei ole sen korkeudella rakennuksia tai muita objekteja varjostamassa auringonsäteiden kulkua. Rakennuksen katon muoto mahdollistaa paneelien asentamisen tuotannon kannalta optimaalisesti suoraan etelän suuntaan.

Käytetään Finnwind:n esimerkkiä hahmotettaessa aurinkopaneelien tarvitsemaa kattopinta-alaa. Käytettäessä 400 W:n tehoisia paneeleita kattamaan 5 kW:n suuruisen tuotannon yhteenlaskettu nimellisteho tarvitaan siihen 12,5 aurinkopaneelia. Finnwind:n esimerkissä yhden nimellisteholtaan 400 W:n aurinkopaneelin fyysinen pinta-ala on $2,013 \text{ m}^2$. Kun aurinkopaneelien määrä pyöristetään lähimpään kokonaislukuun eli kolmeentoista, tilantarpeeksi muodostuu suunnittelukohteen kattopinta-alasta $26,16 \text{ m}^2$. Tällöin aurinkopaneelien yhteenlasketuksi nimellistehoksi saadaan 5,2 kW. (Finnwind: online -kauppa). Kuvassa (2) on satelliittikuva suunnittelukohteesta, jonka katolle on punaisella piirretty aurinkopaneelien mahdolliset asennuspaikat.



KUVA 2. Satelliittikuva suunnittelukohteesta, jonka katolle on merkitty aurinkopaneelien asennuspaikat.

Luodaan Vesan (2016) opinnäytetyön pohjalta luodulle energiantuotantolaskentatyökalulle vertailupohjaa käyttämällä Euroopan komission tiedejärjestön interaktiivista aurinkopaneelien PVGIS-5 -tuotantoennustetyökalua, jonka tulokset näkyvät kuvassa (3). Tämän opinnäytetyön laskuihin perustuen yhteenlaskettu aurinkopaneelien energiantuotanto on 4537,44 kWh per kalenterivuosi. Euroopan komission tiedejärjestön tuotantoennustetyökalun mukaan vuosittainen aurinkoenergian tuotantomäärä olisi 4580,92 kWh. Voidaan siis tieteellisesti todistaa tässä opinnäytetyössä luodun laskentamallin tulosten olevan hyvin lähellä Euroopan komission tuotantoennustetyökalun laskelmien tuloksia. Euroopan komission tiedejärjestön tuotantoennusteen arvioidun aurinkoenergian vuosittainen tuotantohajauma on +/- 238,92 kWh (Photovoltaic Geographical Information System: PVGIS-5).



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

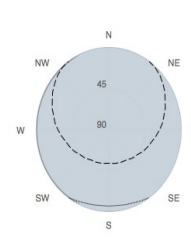
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 60.192, 24.978
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 5 kWp
 System loss: 14 %

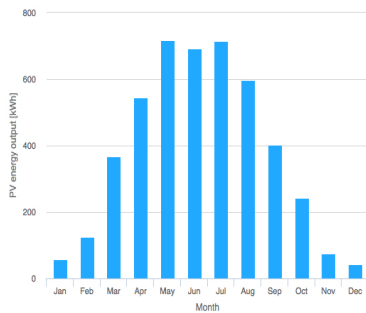
Simulation outputs

Slope angle: 43 (opt) °
 Azimuth angle: 4 (opt) °
 Yearly PV energy production: 4580.92 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1125.28 kWh/m²
 Year-to-year variability: 238.92 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.8 %
 Spectral effects: NaN %
 Temperature and low irradiance: -2.6 %
 Total loss: -18.58 %
 PV electricity cost [per kWh]: 0.079 per kWh

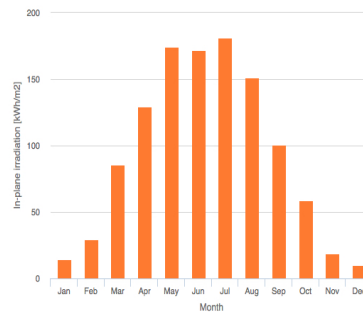
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E _m	H(i) _m	SD _m
January	58.5	14.1	20.9
February	125.4	29.6	32.0
March	368.1	85.6	82.8
April	544.5	129.2	78.3
May	717.5	174.3	70.9
June	692.0	172.0	65.1
July	715.6	181.3	82.6
August	598.1	151.1	103.3
September	402.9	100.3	69.2
October	242.3	58.9	64.5
November	74.5	18.6	20.7
December	41.4	10.3	13.7

E_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.

However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

i) of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity.

ii) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date.

iii) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility.

iv) not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).



PVGIS ©European Union, 2001-2022.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/01/07

KUVA 3. Aurinkopaneelien tuotantoennuste. Photovoltaic Geographical Information System: PVGIS-5.

7 POHDINTA

Musiikkistudio aurinkovoiman pientuotannon suunnittelukohteena oli mielenkiintoinen, sillä kohteen sähkönkäyttöprofiili eroaa vuorokausitasolla merkittävästi esimerkiksi vastaavan energiankulutusluokan omakotitaloudesta. Suurin osa suunnittelukohteen käyttämästä energiasta sijoittui aamuyhdeksän ja iltakuuden väliin, jolloin aurinkopaneelien tuottama sähköenergia saatiin reaaliajassa hyödynnettyä studion omaan energiantarpeeseen. Tämä eroavaisuus tarkoittaa käytännössä sitä, ettei pientuotannosta saatua energiaa tarvitse varastoida akkuihin iltaan sijoittuvaa käyttöä varten.

Nimellisteholtaan 5 kW:n ja 6 kW:n aurinkopaneelijärjestelmien vertailussa havaittiin, että suurimmat erot niiden energiatuotannossa ilmenivät valoisimpaan vuorokaudenaikaan. Tällöin suurin osa suunnittelukohteen sähkönkulutuksesta pystytään tuottamaan aurinkopaneeleilla, usein myös yli oman tuotannon. Lähtökohtaisesti aurinkovoiman pientuotannon nimellisteho on järkevää suhteuttaa kohteen omaan kulutukseen, eikä tarkoituksella tähdätä mitoituksella ylimääräisen sähkömäärän myyntiin takaisin verkkoon. Johtopäätöksenä on, että nimellisteholtaan 5 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän investointi on järkevämpi 6 kW:n järjestelmään verrattuna. Tulevaisuudessa on toki mahdollista suunnittelukohteen niin halutessa lisätä aurinkopaneelijärjestelmän yhteyteen akkujärjestelmä ja täten mahdollistaa ylimääräisenä tuotetun energian varastointi myöhempää käyttöä varten.

Vaikka todetaankin, että aurinkovoiman pientuotantojärjestelmää hyödyntämällä voidaan sähköverkosta ostetun sähkömäärää huomattavasti vähentää valoisaan vuorokaudenaikaan, täyteen energiaomavaraisuuteen ei suunnittelukohteen kohdalla kyetä. Kun aurinkopaneeliteknologia kehittyy entisestään ja akkujen hinnat laskevat, on saman kokoluokan investointi selvästi nykyistä kannattavampaa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kannustaa vastaavan sähkönkulutusprofiilin omaavia yrityksiä osittaiseen energiaomavaraisuuteen. Lisätutkimusta voitaisiin tehdä aihepiirin osalta esimerkiksi siitä, kuinka vastaavia aurinkosähköpientuotantojärjestelmiä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi oppilaitoksissa ja sairaaloissa.

LÄHTEET

Aurinkosähkösanasto. Luettu 30.8.2021.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/lisatietoja/aurinkosahkosanasto

Ilmatieteen laitos. Vuodenajat tilastoissa kalenterikuukausittain. Luettu 26.9.2021.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuodenaikojen-tilastot>

Motiva. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä, s.10. 20.8.2021. Luettu

29.9.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Korpela, Aki. 2019. Aurinkosähkön perusteet. TAMK.

Aka. Millä nopeudella kvantittunut tieto kulkee. 5.12.2017. Luettu 30.9.2021.

<https://www.aka.fi/tietysti/kysy-tieteesta/milla-nopeudella-quantittunut-tieto-kulkee/-b1227ff8>

Tieteen termipankki. Ilmamassa. Luettu 30.9.2021.

<https://tieteentermipankki.fi/wiki/Tähtitiede:ilmamassa>

Ilmatieteen laitos. Säteily ja kirkkausvaihtelut. Luettu 30.9.2021.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>

Pveducation. Air mass. Luettu 30.9.2021.

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass>

Lumoenergia. Aurinkopaneelit tuottavat hyvin ympäri maan. Luettu 29.9.2021.

<https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ostajan-opas/aurinkosahkojarjestelman-tuotto/>

Pveducation. Absorption of light. Luettu 30.9.2021

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/absorption-of-light>

Finnwind. FAQ Aurinkopaneeli usein kysyttyä. Luettu 30.9.2021

<https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysyttya/>

Discogs. Artistit, Sonic Pump Studios OY. Luettu 29.9.2021.

<https://www.discogs.com/label/272656-Sonic-Pump-Studios>

Aurinko- ja tuulisähkön tuotantoprofiilit ja aurinkosähkön tuntitason ennustaminen. Jani Vesa, 2016. Opinnäytetyö.

Vattenfall. Sähkönkulutus. Luettu 10.10.2021.

<https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/>

Motiva. Ylijäämäsähkön myynti. Luettu 6.1.2022.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

Motiva. Aurinkosähköjärjestelmien hinta. Luettu 6.1.2022.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta

Motiva. Aurinkosähköjärjestelmän teho. Luettu 6.1.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho

Solarquotes. 5kW Solar System. Luettu 6.1.2022.

<https://www.solarquotes.com.au/systems/5kw/>

Finnwind. 4,8kWp paneeliteho. Luettu 6.1.2022.

<https://finnwind.fi/tuote/premium-e4-8-paneeliteho-4-8-kwp-fronius-3/>

Helen sähköverkko. Aikasiirto. Luettu 6.1.2022.

<https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/tuotteet/aikasiirto2>

Evconnect. What Is Vehicle-to-Grid for Electric Vehicles. Luettu 23.3.2022.

<https://www.evconnect.com/blog/what-is-vehicle-to-grid-for-electric-vehicles>

Helen sähköverkko. Aurinkopaneeleiden hankintaopas. Luettu 6.1.2022.

https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/aurinkopaneeleiden_hankintaopas.pdf

Helen sähköverkko. Virtuaaliakku. Luettu 6.1.2022.

<https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku>

Biolan. Aurinkosähköjärjestelmästä paras mahdollinen hyöty. Luettu 11.1.2022.

<https://www.biolan.fi/artikkelit/aurinkosahkojarjestelmasta-paras-mahdollinen-hyoty>

Helen sähköverkko. Sähkön verkkopalveluhinnasto. Luettu 11.1.2022.

<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusedot/hsv/verkkopalvelumaksu.pdf>

Sähkön kilpailutus. Pörssisähkön hinta. Luettu 11.1.2022.

<https://www.sahkon-kilpailutus.fi/porssisahkon-hinta/>

Photovoltaic Geographical Information System: PVGIS-5. Luettu 11.1.2022

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

LIITTEET

PANEELEIDEN TUOTTAMA TEHO P/W				
KEVÄT	tuotantoteho per asennettu watti			
KLO	1	2	3	4
6	0	0	0,005	0,01
7	0	0,03	0,05	0,07
8	0,03	0,09	0,15	0,21
9	0,09	0,25	0,42	0,58
10	0,162	0,37	0,57	0,775
11	0,145	0,4	0,655	0,905
12	0,35	0,56	0,78	1
13	0,16	0,435	0,71	0,983
14	0,21	0,45	0,695	0,94
15	0,11	0,34	0,575	0,81
16	0,1	0,28	0,455	0,63
17	0,06	0,165	0,28	0,38
18	0,08	0,12	0,16	0,21
19	0,02	0,04	0,06	0,08
20	0	0,01	0,02	0,015
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

Liite 1. Aurinkopaneelien tuotantoennuste kevätkaukausien ajalta

KEVÄT		JÄRJESTELMÄN TUOTANTOENNUSTEEN KOKONAISTEHO, P/W													
		1	2	3	4	1	2	3	4	kWh/päivä		kWh/päivä			
Syötä															
järjestelmä 1:	5,0 kWp														
järjestelmä 2:	6,0 kWp														
järjestelmä 1		järjestelmä 2													
KLO		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	Kulutus 1	Kulutus 2
6	0	0	0	0,025	0,05	0	0	0,03	0,06	0	0	0,03	0,06	2,0	1,7
7	0	0	0,15	0,25	0,35	0	0	0,3	0,42	0	0,18	0,3	0,42	2,0	1,7
8	0,15	0,45	0,75	1,05		0,18	0,54	0,9	1,26		0,54	0,9	1,26	2,0	1,7
9	0,45	1,25	2,1	2,9		0,54	1,5	2,52	3,48		0,972	2,22	3,42	2,3	1,8
10	0,81	1,85	2,85	3,875		0,87	2,4	3,93	5,43		2,1	3,36	4,68	2,7	2,6
11	0,725	2	3,275	4,525		0,96	2,61	4,26	5,898		1,26	2,7	4,17	2,9	2,5
12	1,75	2,8	3,9	5		0,66	2,04	3,45	4,86		0,6	1,68	2,73	3,4	2,9
13	0,8	2,175	3,55	4,915		0,36	0,99	1,68	2,28		0,36	0,99	1,68	2,8	2,7
14	1,05	2,25	3,475	4,7		0,48	0,72	0,96	1,26		0,12	0,24	0,36	2,7	2,5
15	0,55	1,7	2,875	4,05		0	0,06	0,12	0,09		0	0	0	2,0	2,0
16	0,5	1,4	2,275	3,15		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
17	0,3	0,825	1,4	1,9		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
18	0,4	0,6	0,8	1,05		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
19	0,1	0,2	0,3	0,4		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
20	0	0,05	0,1	0,075		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
21	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
22	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
23	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	2,0	2,0
kWh total:		7,59	17,70	27,93	37,99	9,10	21,24	33,51	45,59					43,70	38,90

Liite 2. Viiden ja kuuden kilowatin aurinkopaneelijärjestelmien tuotantoennustevertailua kevätkuukausilta

PANEELEIDEN TUOTTAMA TEHO P/W				
<u>KESÄ</u>	tuotantoteho per asennettu watti			
KLO	1	2	3	4
6	0,00	0,00	0,01	0,02
7	0,00	0,02	0,02	0,07
8	0,02	0,10	0,18	0,27
9	0,02	0,18	0,34	0,51
10	0,02	0,24	0,46	0,68
11	0,04	0,30	0,55	0,81
12	0,10	0,36	0,62	0,88
13	0,07	0,35	0,62	0,90
14	0,15	0,38	0,61	0,84
15	0,08	0,30	0,53	0,76
16	0,06	0,24	0,41	0,58
17	0,03	0,16	0,29	0,42
18	0,02	0,08	0,14	0,20
19	0,02	0,04	0,06	0,08
20	0,00	0,01	0,03	0,04
21	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00

Liite 3. Aurinkopaneelien tuotantoennuste kesäkuukausien ajalta

KESÄ		JÄRJESTELMÄN TUOTANTOENNUSTEEN KOKONAISTEHO, P/W									
	Syötä										
Järjestelmä 1:	5,0	kwp									
Järjestelmä 2:	6,0	kwp									
Järjestelmä 1											
KLO	1,00	2,00	3,00	4,00		Järjestelmä 2	1,00	2,00	3,00	4,00	kWh/päivä
6	0,00	0,02	0,04	0,10		KLO	0,00	0,02	0,04	0,12	Kulutus 1
7	0,00	0,11	0,12	0,35		6	0,00	0,13	0,14	0,42	Kulutus 2
8	0,10	0,50	0,91	1,35		7	0,12	0,60	1,09	1,62	1,4
9	0,10	0,90	1,70	2,55		8	0,12	1,08	2,04	3,06	1,4
10	0,10	1,20	2,30	3,41		9	0,24	1,80	3,30	4,86	2,1
11	0,50	1,80	3,09	4,39		10	0,60	2,16	3,71	5,27	2,4
12	0,35	1,75	3,10	4,50		11	0,42	2,10	3,72	5,40	2
14	0,75	1,90	3,04	4,20		12	0,90	2,28	3,65	5,04	2,3
15	0,40	1,50	2,65	3,79		13	0,48	1,80	3,18	4,55	2,4
16	0,30	1,19	2,05	2,90		14	0,36	1,43	2,46	3,48	2,2
17	0,15	0,80	1,45	2,10		15	0,18	0,96	1,74	2,52	1,9
18	0,09	0,40	0,70	1,00		16	0,11	0,48	0,84	1,20	1,5
19	0,08	0,19	0,29	0,40		17	0,10	0,23	0,35	0,48	1,6
20	0,00	0,04	0,15	0,20		18	0,00	0,04	0,18	0,24	1,5
21	0,00	0,00	0,00	0,00		19	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1
22	0,00	0,00	0,00	0,00		20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1
23	0,00	0,00	0,00	0,00		21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1
kWh total:	3,12	13,79	24,33	35,29		22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1
						23	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1
						kWh total:	3,74	16,55	29,20	42,35	31,60
											34,30

Liite 4. Viiden ja kuuden kilowatin aurinkopaneelijärjestelmien tuotantoennustevertailua kesäkuukausilta

PANEELEIDEN TUOTTAMA TEHO P/W				
SYYS	tuotantoteho per asennettu watti			
KLO	1	2	3	4
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0,02	0,04	0,065
10	0	0,21	0,42	0,63
11	0,05	0,26	0,51	0,76
12	0,1	0,29	0,58	0,87
13	0,02	0,29	0,59	0,88
14	0,01	0,27	0,535	0,8
15	0	0,22	0,44	0,66
16	0	0,1	0,2	0,3
17	0	0,02	0,04	0,058
18	0	0,01	0,02	0,03
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

Liite 5. Aurinkopaneelien tuotantoennuste syyskuukausien ajalta.

SYYS	JÄRJESTELMÄN TUOTANTOENNUSTEEN KOKONAISTEHO, P/W												
	Syötä		järjestelmä 1		järjestelmä 2		järjestelmä 1		järjestelmä 2		kWh/päivä		
		5,0	6,0	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00	Kulutus 1	Kulutus 2
		kWp	kWp	KLO								kWh/päivä	kWh/päivä
	Järjestelmä 1:	5,0											
	Järjestelmä 2:	6,0											
	Järjestelmä 1												
	KLO			1,00	2,00	3,00	4,00						
	6			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	1
	7			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	1
	8			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	1
	9			0,00	0,10	0,20	0,33	0,00	0,12	0,24	0,39	1	0,9
	10			0,00	1,05	2,10	3,15	0,00	1,26	2,52	3,78	1,5	1,3
	11			0,25	1,30	2,55	3,80	0,30	1,56	3,06	4,56	1,7	1,8
	12			0,50	1,45	2,90	4,35	0,60	1,74	3,48	5,22	1,6	4,6
	13			0,10	1,45	2,95	4,40	0,12	1,74	3,54	5,28	2	7,3
	14			0,05	1,35	2,68	4,00	0,06	1,62	3,21	4,80	2,2	5,5
	15			0,00	1,10	2,20	3,30	0,00	1,32	2,64	3,96	2,3	2,5
	16			0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,60	1,20	1,80	2,2	2,4
	17			0,00	0,10	0,20	0,29	0,00	0,12	0,24	0,35	2,1	1,6
	18			0,00	0,05	0,10	0,15	0,00	0,06	0,12	0,18	2	1,1
	19			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,9	1
	20			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5	1,2
	21			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,3	1
	22			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,3	1,1
	23			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,2	1,1
	kWh total:			3,12	13,79	24,33	35,29	3,74	16,55	29,20	42,35	31,60	34,30

Liite 6. Viiden ja kuuden kilowatin aurinkopaneelijärjestelmien tuotantoennustevertailua syyskuukausilta

Ajankohta	Kulutus (kWh)
tammikuu	2131,5
helmikuu	2070,6
maaliskuu	1844,7
huhtikuu	1673,3
toukokuu	1454,1
kesäkuu	1135,1
heinäkuu	1414,6
elokuu	1248,6
syyskuu	1828,3
lokakuu	1554,1
marraskuu	1342
joulukuu	1620,5
yhteensä	19317,4

Liite 7. Sonic Pump Studios Oy:n vuosikulutus kuukausitasolla