



Aurinkovoimalla sähköistetty kesämökki

Opinnäytetyö

Anton Oey

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkinto
Sähkövoimatekniikka

OEY, ANTON
Aurinkovoimalla sähköistetty kesämökki

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Tammikuu 2022

Aurinkovoimalan sähköntuotanto kehittyy ja lisääntyy Suomessa. Tämä mahdollistaa aurinkovoimaloiden rakentamista yksityisiin ja julkisiin rakennuksiin. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan aurinkovoimalan soveltuvuutta kesämökille. Tavoitteena oli analysoida aurinkovoimalan sähköntuotantoa tunti- sekä vuositasolla. Tarkoituksena oli löytää myös oikeanlainen sähkövoimalan laitteisto, joka sopisi mökille.

Opinnäytetyössä selvitettiin aurinkovoimalan tuotantoa Jani Vesan opinnäytetyöstä saaduilla kaavoilla ja kuvaajilla. Näitä kaavoja ja kuvaajia käytettiin, jotta saataisiin tuloksia tunti- ja kuukausitasolla aurinkovoimalan tuotannosta. Haasteena oli laskea tarkkoja lukemia Jani Vesan opinnäytetyöstä saaduilla laskukaavoilla. Toisena menetelmänä käytettiin PVGIS-järjestelmää, joka antoi tarkemmat säteilyn intensiteetin mittaustulokset. Jani Vesan opinnäytetyön ja PVGIS-järjestelmän avulla lasketut tulokset osoittivat eri vuodenaikojen heikkoudet ja vahvuudet kesämökillä oleskellessa.

Maantieteellisen sijainnin takia Suomessa on usein haasteellista tuottaa aurinkoenergiaa talvi- ja syyskuukausina, jolloin on pimeää ja pilvistä. Tulevaisuudessa aurinkovoimaloiden akut ja paneelit kehittyvät. Tämä mahdollistaa aurinkoenergian keräämistä entistä enemmän varastoon ja kuluttajan valintaa myydä ylijäämäenergiaa sähköverkkoon.

Asiasanat: aurinkovoimala, sähköntuotanto, säteilyn intensiteetti, pvgis-järjestelmä

ABSTRACT

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

OEY, ANTON:
Solar Electrified Summer Cottage

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 3 pages
January 2022

The solar power plant's electricity production is developing and increasing in Finland. This makes it possible to build solar power plants in private and public buildings. In this thesis, the suitability of a solar power plant for a summer cottage is investigated. The aim was to analyze the solar power plant's electricity production on an hourly and annual basis. The intention was also to find the right type of power plant equipment that would be suitable for the cottage.

In the thesis, the production of a solar power plant was investigated with the formulas and graphs obtained from Jani Vesa's thesis. These formulas and graphs were used to obtain results on an hourly and monthly basis for solar power plant production. The challenge was to calculate accurate readings with the calculation formulas obtained from Jani Vesa's thesis. The second method used was the PVGIS system, which gave more accurate measurement results of radiation intensity. The results calculated with the help of Jani Vesa's thesis and the PVGIS system showed the weaknesses and strengths of different seasons when staying at a summer cottage.

Due to its geographical location, it is often challenging in Finland to produce solar energy during the winter and autumn months, when it is dark and cloudy. In the future, the batteries and panels of solar power plants will develop. This will allow more solar energy to be stored and the consumer to choose to sell surplus energy to the grid.

Key words: solar power plant, electricity generation radiation intensity, pvgis-system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KIINTEISTÖ	7
	2.1 Sijainti	8
	2.2 Pohjapiirros	9
3	SÄHKÖLAITTEET	10
	3.1 Sähkölaitteet.....	10
	3.2 Sähkönkulutus.....	11
	3.2.1 Kevät.....	11
	3.2.2 Kesä.....	11
	3.2.3 Syksy	12
4	SÄHKÖVOIMALA.....	13
	4.1.1 Huipputuotanto	13
	4.1.2 Heikoimmat tuotannot.....	14
	4.2 SÄHKÖNTUOTANNON ANALYYSI TUNTITASOLLA.....	15
	4.2.1 Huhtikuun huippu- ja minimituotanto.....	15
	4.2.2 Elokuun huippu- ja minimituotanto	17
	4.2.3 Lokakuun huippu- ja minimituotanto	19
	4.3 Säteilyn intensiteetin laskeminen PVGIS-järjestelmällä	21
5	MITTAUSJÄRJESTELMIEN TULOSTEN ANALYSOINTI	25
	5.1 Viikkotuotanto huhtikuussa.....	25
	5.2 Viikkotuotanto elokuussa.....	25
	5.3 Viikkotuotanto lokakuussa	25
6	AURINKOJÄRJESTELMÄ.....	26
	6.1 Mitoitus.....	26
	6.1.1 Akustot.....	26
	6.1.2 Aurinkopaneelit	27
	6.1.3 Invertteri.....	28
7	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET	30
	LIITTEET	31
	Liite 1. Karttakuva. Arkkitehdin piirustus	31
	Liite 2. Julkisivu-kuva. Arkkitehdin piirustus	32
	Liitteet 3-12. Sähkölaitteet.....	33

LYHENTEET JA TERMIT

PVGIS= Photovoltaic Geographical Information System

PV Power= Photovoltaic Power

System Loss= Järjestelmän kokonaishäviöt

Azimuth= Atsimuutti, suunnan horisontaalinen komponentti (suuntima)

Slope= Kallistuskulma

LED=Light Emitting Diode

Smart Grid= Älykäs sähköverkko

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan aurinkovoimalan soveltuvuutta kesämökkiin, joka sijaitsee Kangasniemellä. Opinnäytetyössä tutkitaan, kuinka paljon aurinkovoimala voi tuottaa energiaa ja kuinka paljon energiaa voidaan varastoida. Työssä on käytetty hyödyksi Jani Vesan saamia tuloksia, sekä tehty analyysia sähkön tuotannon tuloksista tuntitasolla. Toinen tapa tarkastella säteilyn intensiteettiä ja mahdollista tuotantoa on käyttää EU:n komission suosimaa PVGIS-työkalua. PVGIS-ohjelmaa käytetään realististen kuukausituotantojen mallinnukseen. PVGIS:llä saadaan laskettua keskiarvotuotannot jokaiselle kuukaudelle. Jani Vesan mallin avulla voidaan varioida kuukauteen sääolosuhteiltaan sellaisia päiviä, joilla PVGIS:n antama kuukausituotanto toteutuu. Tarkastelussa on hyvä ottaa huomioon sääolosuhteiltaan parhaat ja huonoimmat sähköntuotantopäivät aurinkovoimalalla.

Kangasniemen kesämökille voi majoittua maksimissaan neljä henkilöä kerrallaan. Mökin asukkaille on luotu oma Whatsapp-ryhmä, jossa osallistujat varaavat mökin itselleen haluamallensa ajankohdalle. Mökkikausi avataan jo huhtikuussa, mutta suosituimmat kuukaudet ovat kesä-heinä-elokuu. Mökkikausi päätetään lokakuussa, jolloin käynnit ovat vähäisiä. Kyseinen kuukausi on silti työssä otettu huomioon, jotta aurinkovoimala voidaan mitoittaa oikein koko mökkikaudelle.

Asukkaille suunnitellaan mökille sähköt pienelektroniikkaan, valaistukseen, sähkölieteen, sekä jääkaappiin. Tarkoituksena on kerätä energiaa aurinkopaneeleilla, jota voidaan varastoida akustossa käyttäjää varten. Liikkeelle lähdetään laske-malla kahdella Sinosolan 275 W paneelilla ja tarkastellaan, riittävätkö aurinkopaneelien lukumäärä, sekä kaksi 220 Ah akkua.

Kesällä on tyypillistä, että kun edelliset asukkaat poistuvat, niin seuraavat saavat saapua saman päivän aikana. Käyttäjien määrä asettaa rajat, millainen aurinkovoimalasta tulee, jotta perustarpeet tulevat tyydytetyksi.

Opinnäytetyössä on keskitytty kolmeen kuukauteen, jolloin mökillä vietetään aikaa. Näistä tuotantokuukausista on luotu tuntitasoanalyysi sähköntuotannosta ja -kulutuksesta.

2 KIINTEISTÖ

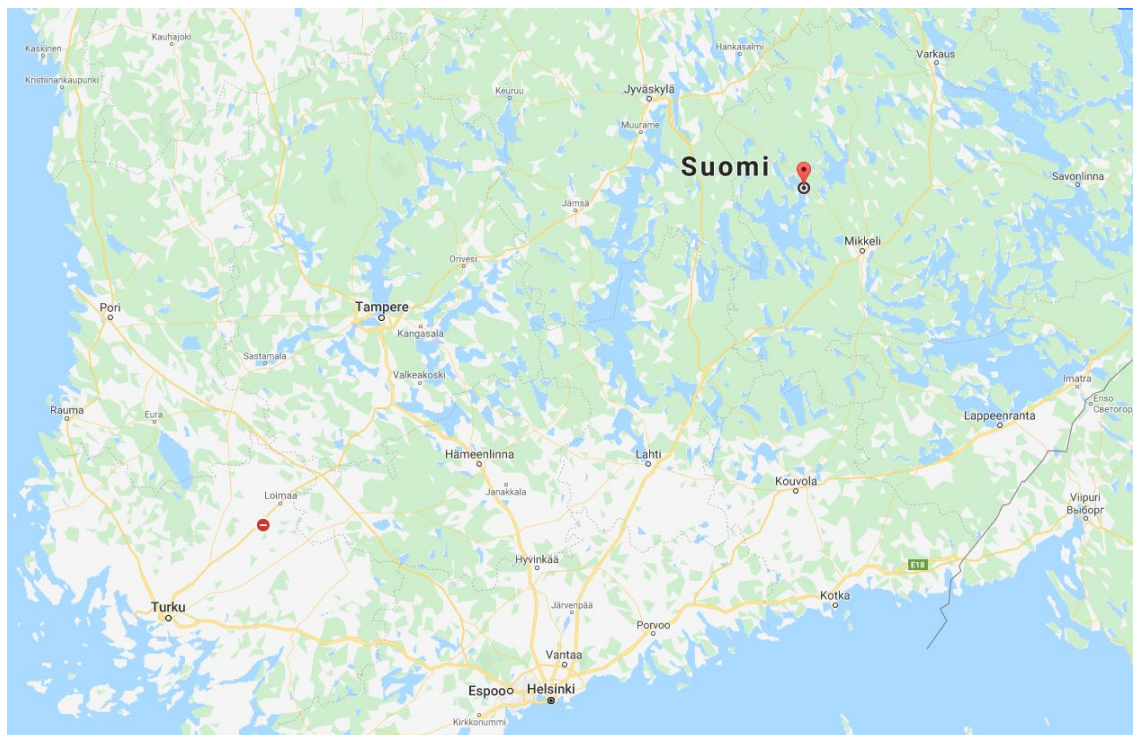
Kangasniemen hirsimökki on rakennettu 1970-luvulla. Mökki on tarkoitettu alun perin saunarakennukseksi. Päärakennusta ei ole koskaan rakennettu tontille. Mökille ei ole kiinteää sähköverkkoa, mutta sähköverkko kulkee päätiellä noin 50 m mökistä. Mökissä on käytössä tulisija. Mökki on käytössä perikunnalla huhtikuusta lokakuuhun.



Kuva 1. Kangasniemen mökki.

2.1 Sijainti

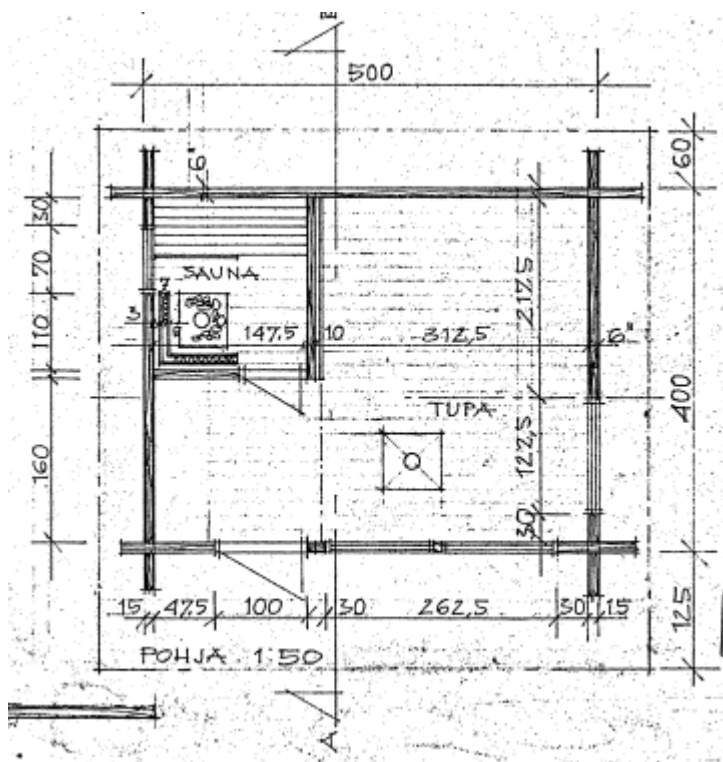
Mökki sijaitsee kuvan 2 mukaisesti järven rannalla, missä on avaraa lounaan ja etelän ilmansuuntaan kohden.



Kuva 2. Mökin sijainti.

2.2 Pohjapiirros

Mökin leveyskulma on 30° etelän suuntaan. (Liite 1.) Sisä-oleskelutilan pinta-ala on 20m^2 seinien kantavuus poislaskettuna. Pinta-alaa katolle on aurinkopaneeleille varattu $9,3\text{m}^2$ lounasta kohti. Mökissä on sauna ja tupa, jossa sisään astuessa vasemmalla sijaitsee keittiötila. Katon kaltevuuskulma horisontaalia kohti on noin 10° asteen kulmassa. Kiinteän asennuksen vuosituotanto maksimoituu, jos kiinteä asennuskulma on 45° astetta vaakatasosta.



Kuva 3. Pohjapiirustus

3 SÄHKÖLAITTEET

3.1 Sähkölaitteet

Taulukossa 1 on esitetty laiteluettelo ja kokonaisteho.

Sähkölaitteet	Teho (W)
Tietokone 2x	250
Matkakaiutin	30
Matkapuhelimet 4x	60
Valaistus 8x (LED)	60
Kattovalaisin (LED)	10
Televisio (LED)	60
Jääkaappi	32
Pölynimuri	700
Sähköliesi	1500
Yhteensä	2702

Taulukko 1. Laiteluettelo ja kokonaisteho. (Liite 3-12.)

Kuluttajan kannalta mökillä olisi tärkeintä saada virtaa matkapuhelimiin ja tietokoneisiin, jotta mökillä olisi mahdollista työskennellä pidempiä ajanjaksoja etänä, sekä olla useampia päiviä. Arviolta noin kahdesta kolmeen päivään olisi optimaalinen oleskeluaika olla mökillä. Kiinteistön omistajat toivovat mökin sähköntuotannon olevan ympäristöystävällistä, mutta silti haluavat säilyttää kertalämmitteisen tulisijan mökin lämmitykseen. Ensisijainen oleskeluaika on kesällä, mutta keväällä ja syksyllä mökillä oleskellaan sään salliessa, ja kun perikunnan jäsenillä on vapaa-aikaa.

Keväällä ja syksyllä on tärkeä saada hyvä valaistus mökkiin. Valaistus on oleellista selkeyden, mukavuuden ja turvallisuuden kannalta. Mökin keittiön pöydän yläpuolelle asennetaan suuritehoinen kattovalaisin. Sohvien eli nukkumistilan yläpuolelle asennetaan pienempitehoiset LED-valot sekä saunatilaan, jossa ei tällä hetkellä ole turvallista ja riittävää valaistusta pimeille illoille.

Mökistä löytyy kaasuhella, mutta tarkoituksena on vähentää kaasun käyttöä ja korvata fossiiliset polttoaineet ympäristöystävällisellä energialla. Tällä hetkellä kaasuhellaa käytetään ruuan laittoon noin 30 minuuttia päivässä. Kaasuhellaa lisäksi laitetaan sähköliesi. Mökin ulkopuolella on maakuoppa, jossa säilytetään kylmiä ruokia. Jääkaapin on tarkoitus korvata maakuoppa.

3.2 Sähkönkulutus

Sähkölaitteiden energiankulutus saadaan kertomalla teho keskimääräisen käyttöajan kanssa.

3.2.1 Kevät

Taulukossa 2 on lueteltu kevään energiankulutukset ja arvioidut käyttöajat. Arvio energiankulutuksesta keväisenä päivänä on 2,22 kWh.

Sähkölaitteet	Teho (W)	Keskimääräinen käyttöaika (h/d)	Energiankulutus ilman sähköliettä	Energiankulutus (kWh)
Tietokone 2x	250	2.0	0.50	0.50
Matkakaiutin	30	1.0	0.03	0.03
Matkapuhelimet 4x	60	1.5	0.09	0.09
Valaistus 8x (LED)	60	4.0	0.24	0.24
Kattovalaisin (LED)	10	3.0	0.03	0.03
Televisio (LED)	60	2.0	0.12	0.12
Jääkaappi	32	24	0.77	0.77
Pölynimuri	700	0.2	0.14	0.14
Sähköliesi	1500	0.2	0.00	0.30
Yhteensä	2702		1.92	2.22

Taulukko 2. Kevätpäivän päivittäinen sähkönkulutus.

3.2.2 Kesä

Taulukossa 3 on lueteltu kesän energian kulutukset ja arvioidut käyttöajat. Arvio energiankulutuksesta kesäisenä päivänä on 2.53 kWh.

Sähkölaitteet	Teho (W)	Keskimääräinen käyttöaika (h/d)	Energiankulutus ilman sähköliettä	Energiankulutus (kWh)
Tietokone 2x	250	2.0	0.50	0.50
Matkakaiutin	30	1.0	0.03	0.03
Matkapuhelimet 4x	60	1.5	0.09	0.09
Valaistus 8x (LED)	60	2.0	0.12	0.12
Kattovalaisin (LED)	10	1.0	0.01	0.01
Televisio (LED)	60	2.0	0.12	0.12
Jääkaappi	32	24	0.77	0.77
Pölynimuri	700	0.2	0.14	0.14
Sähköliesi	1500	0.5	0.00	0.75
Yhteensä	2702		1.78	2.53

Taulukko 3. Kesäpäivän sähkönkulutus.

3.2.3 Syksy

Taulukossa 4 on esitetty syksyn energiankulutus. Arvio energiankulutuksesta syksyisenä päivänä on 2,78 kWh.

Sähkölaitteet	Teho (W)	Keskimääräinen käyttöaika (h/d)	Energiankulutus ilman sähköliettä	Energiankulutus (kWh)
Tietokone 2x	250	2.0	0.50	0.50
Matkakaiutin	30	1.0	0.03	0.03
Matkapuhelimet 4x	60	1.5	0.09	0.09
Valaistus 8x (LED)	60	6.0	0.36	0.36
Kattovalaisin (LED)	10	2.0	0.02	0.02
Televisio (LED)	60	2.0	0.12	0.12
Jääkaappi	32	24	0.77	0.77
Pölynimuri	700	0.2	0.14	0.14
Sähköliesi	1500	0.5	0.00	0.75
Yhteensä	2702		2.03	2.78

Taulukko 4. Syyspäivän päivittäinen sähkönkulutus.

Kesäpäivien energiankulutus on syksyyn ja kevääseen verrattuna vähäisempi, kun mökillä ollaan kesällä vuodenaajoista kaikista eniten. Energiankulutus ei erityisemmin eroa kevään ja syksyn energiantarpeisiin, joten mitoittaessa akustoja ja aurinkopaneeleiden lukumäärää, sekä tehoa, niin ei tulisi ilmetä suurempia haasteita energian oton vaihtelevuuden kannalta. Tuleva sähkövoimala on hyvä mitoittaa yli 10 % suuremmaksi arvioituista sähkönkulutuksista.

Jääkaappi ja sähköliesi vievät huomattavasti enemmän energiaa, kuin elektroniikka ja valaistus. Energian tuotanto ja kulutus eivät ole tasaista eri vuodenaikoina. Sen vuoksi eri vuodenaikoina toisia sähkölaitteita tarvitaan enemmän kuin toisia.

4 SÄHKÖVOIMALA

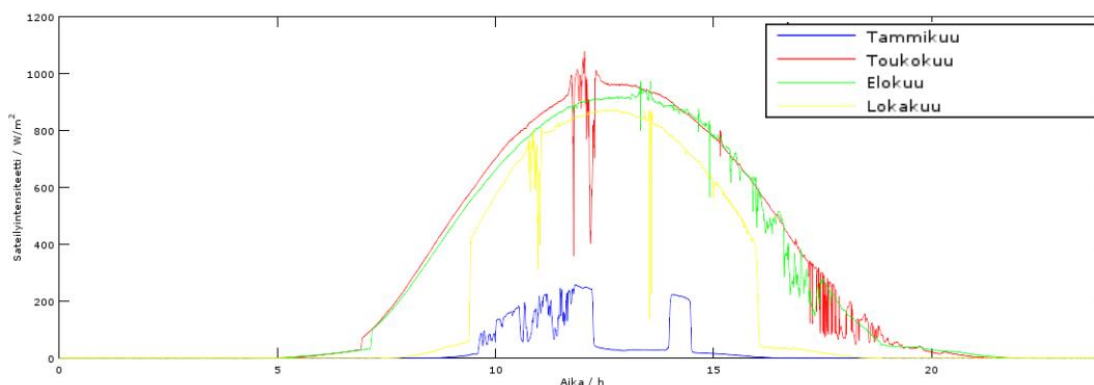
Kun tiedetään, kuinka paljon mökillä kulutetaan sähköä eri vuodenaikoina, voidaan ryhtyä selvittämään, kuinka paljon energiaa on tuotettava, jotta energiaa olisi riittävästi keväällä, kesällä ja syksyllä.

Arviointiapuna käytetään Jani Vesan (2016) opinnäytetyöstä saatuja tuloksia Tampereen teknillisen yliopiston katolla sijaitsevasta aurinkovoimalasta ja EU:n komission PVGIS-järjestelmää. (PVGIS. Valokuva-maantieteellinen tietojärjestelmä. 2021.)

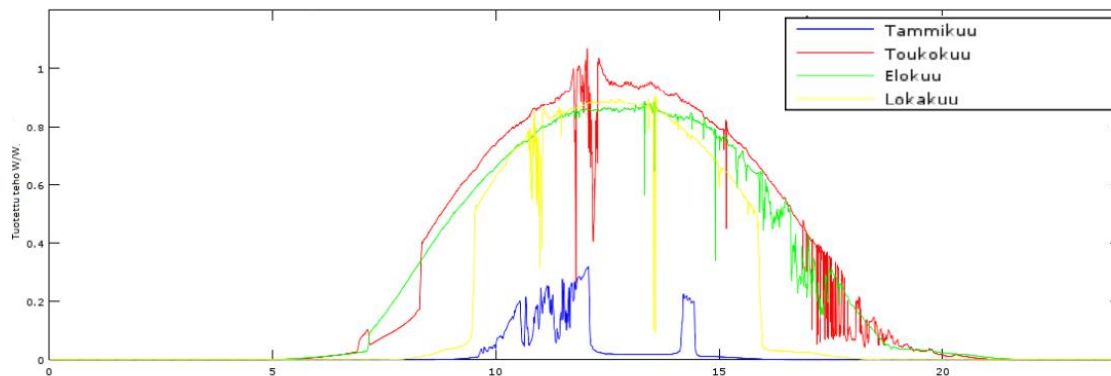
Ensiksi selvitetään Kangasniemen mökin sijainti ja paneelien suuntaus aurinkoa kohden. Tämän jälkeen vertaillaan TTY:llä olevan aurinkopaneelin suunta ja laskemme kertoimen näiden kahden kohteen välillä. TTY:llä saaduista tutkimusdata-analyysistä voimme kertoimen avulla arvioida, kuinka paljon Kangasniemen mökille asennetut aurinkopaneelit voivat tuottaa sähköenergiaa.

4.1.1 Huipputuotanto

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty Jani Vesan (2016) TTY:n kuvaajien huipputuotannot touko-, elo-, loka- ja tammikuulta. Kuvat havainnollistavat, kuinka auringon horisontaalinen alhainen kulma ja pilvien estyminen vaikuttavat auringon säteilyn määrään. Säteilyintensiteettikuvaajat johtuvat vaihtelevasta pilvisyydestä. Kuvaajat osoittavat, että touko-, elo- ja lokakuussa auringonsäteilyn intensiteetin arvo voi parhaimmillaan olla yli 800-1000 W/m².



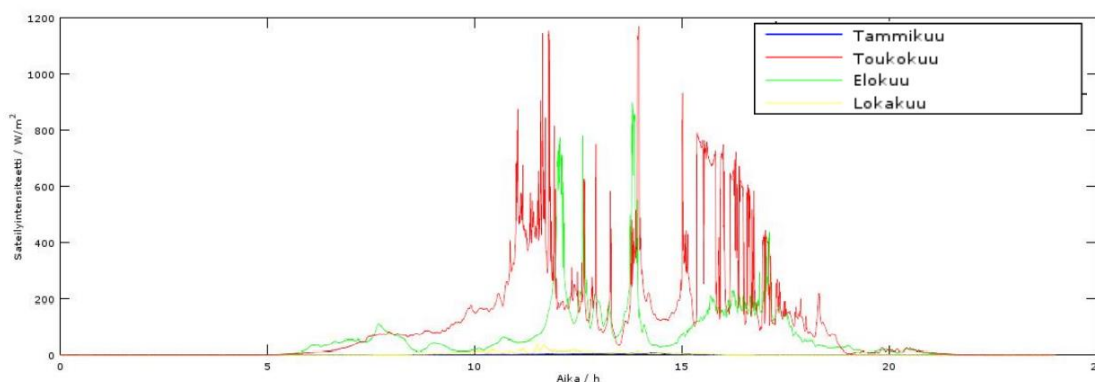
Kuva 7. Auringon säteilyn intensiteetti touko-, elo-, loka- ja tammikuulta. (Vesa. 2016. 29.)



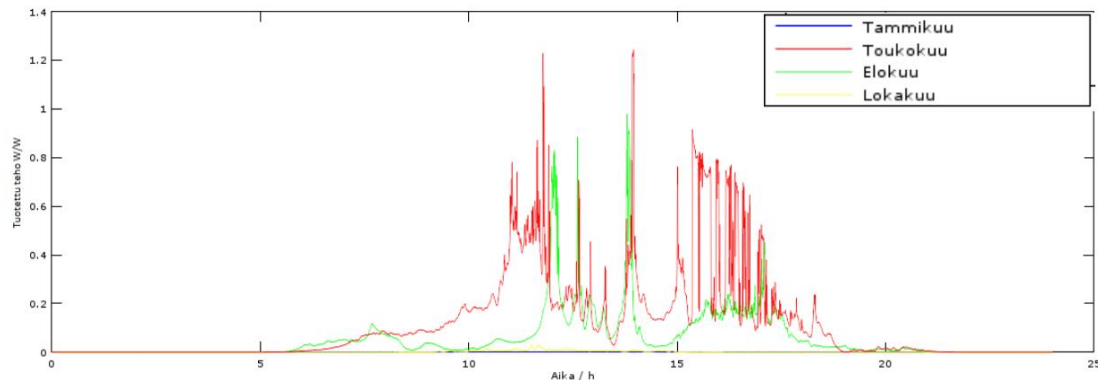
Kuva 8. Nimellistehoon suhteutettu aurinkopaneelin tuotantoteho touko-, elo-, loka- ja tammikuulta. (Vesa. 2016. 30.)

4.1.2 Heikoimmat tuotannot

Kuvissa 9 ja 10 on esitetty touko-, elo-, loka- ja tammikuun heikoimpien päivien sähkön tuotannot. Kuvista huomataan säteilyn olevan todella hajanaista ja kyseisen datan luovan haasteita esim. sateisille viikkokausille. Päivien tuotannot jäävät selvästi huipputuotantopäivien määrystä.



Kuva 9. Auringon säteilyn intensiteetti touko-, elo-, loka- ja tammikuulta. (Vesa. 2016. 31.)



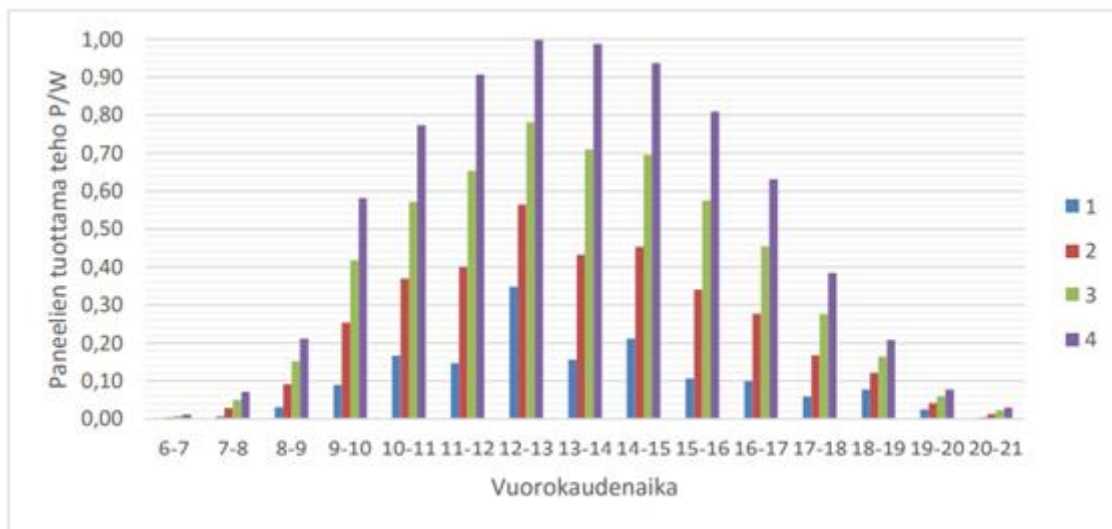
Kuva 10. Nimellistehoon suhteutettu aurinkopaneelin tuotantoteho touko-, elo-, loka- ja tammikuulta. (Vesa. 2016. 32.)

4.2 SÄHKÖNTUOTANNON ANALYYSI TUNTITASOLLA

Jani Vesa on opinnäytetyössään tarkastellut sähköntuotantoa tuntitasolla. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Jani Vesan tekemää mallia aurinkosähkön tuntitason tuotantoennusteissa sääolosuhteiltaan erilaisina päivinä (Vesa 2016). Jani Vesan laskentamallia hyödyntämällä kokonaisteho 550 W (2 x 275W) saadaan laskettua arvio huippu- ja minimituotannoista huhti-, touko-, ja lokakuulle Kangasniemellä.

4.2.1 Huhtikuun huippu- ja minimituotanto

Vertaamalla Jani Vesan työstä saatuihin tuloksiin ja graafeihin, huhtikuussa 2x275W paneelilla energiaa riittää huomattavasti enemmän kuin tarpeeksi hyvinä päivinä. Huhtikuussa hyvinä päivinä energiaa saadaan tuotettua 3,894 kWh. Heikkompina päivinä päiväkohtainen tuotanto on noin 0.83 kWh, joka on huomattavasti puutteellinen tarvitusta 2,22 kWh:sta. (Taulukko 2). Täten 1,29 kWh on otettava akustosta heikkona päivänä ja hyvänä päivänä akkuun saadaan ladattua 1,674 kWh. Kuvassa 11 on huhtikuun yhden päivän huipputuotanto.



Kuva 11. Huhtikuun yhden päivän huipputuotanto (Vesa. 2016. 34.)

Jani Vesan huippuarvo (violetti pylväs) tunneittain kerrottuna mökille tulevan kahden 275W paneelin teholla.

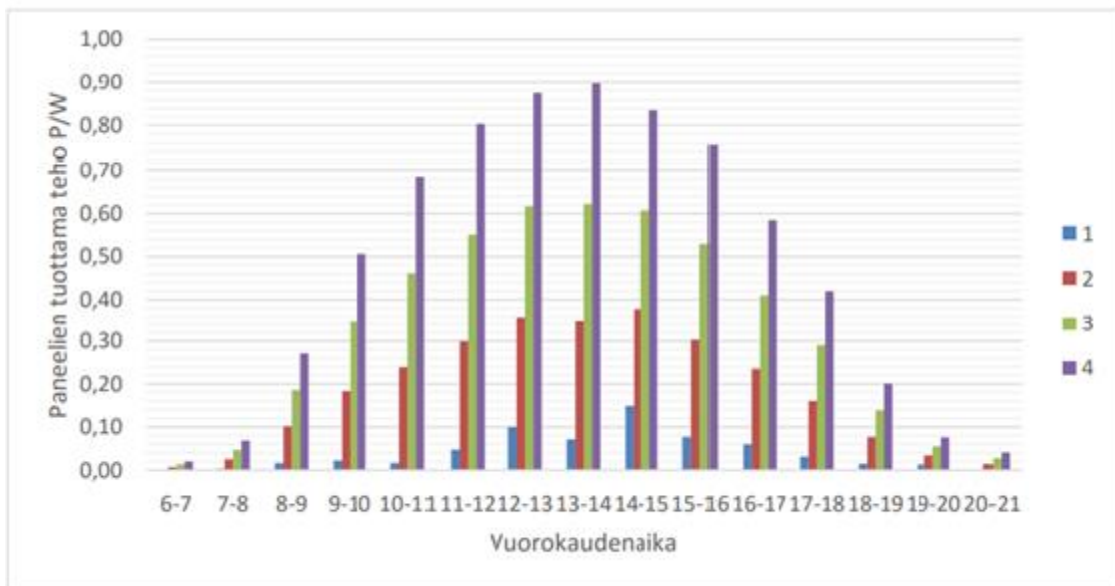
Klo 6-7	$0,01\text{h} \cdot 550\text{W} = 5,5 \text{ Wh}$
Klo 7-8	$0,08\text{h} \cdot 550\text{W} = 44,0 \text{ Wh}$
Klo 8-9	$0,21\text{h} \cdot 550\text{W} = 115,5 \text{ Wh}$
Klo 9-10	$0,58\text{h} \cdot 550\text{W} = 309,0 \text{ Wh}$
Klo 10-11	$0,78\text{h} \cdot 550\text{W} = 429,0 \text{ Wh}$
Klo 11-12	$0,90\text{h} \cdot 550\text{W} = 495,0 \text{ Wh}$
Klo 12-13	$1,00\text{h} \cdot 550\text{W} = 550,0 \text{ Wh}$
Klo 13-14	$0,98\text{h} \cdot 550\text{W} = 539,0 \text{ Wh}$
Klo 14-15	$0,94\text{h} \cdot 550\text{W} = 517,0 \text{ Wh}$
Klo 15-16	$0,82\text{h} \cdot 550\text{W} = 451,0 \text{ Wh}$
Klo 16-17	$0,64\text{h} \cdot 550\text{W} = 352,0 \text{ Wh}$
Klo 17-18	$0,38\text{h} \cdot 550\text{W} = 209,0 \text{ Wh}$
Klo 18-19	$0,22\text{h} \cdot 550\text{W} = 121,0 \text{ Wh}$
Klo 19-20	$0,08\text{h} \cdot 550\text{W} = 44,0 \text{ Wh}$
Klo 20-21	$0,04\text{h} \cdot 550\text{W} = 22,0 \text{ Wh}$
Yhteensä	3894,0 Wh

Huhtikuun yhden päivän minimituotanto

Klo 6-7	$0,0h \cdot 550W = 0,0 \text{ Wh}$
Klo 7-8	$0,01h \cdot 550W = 5,5 \text{ Wh}$
Klo 8-9	$0,04h \cdot 550W = 22,0 \text{ Wh}$
Klo 9-10	$0,08h \cdot 550W = 44,0 \text{ Wh}$
Klo 10-11	$0,16h \cdot 550W = 88,0 \text{ Wh}$
Klo 11-12	$0,14h \cdot 550W = 77,0 \text{ Wh}$
Klo 12-13	$0,36h \cdot 550W = 198,0 \text{ Wh}$
Klo 13-14	$0,14h \cdot 550W = 77,0 \text{ Wh}$
Klo 14-15	$0,22h \cdot 550W = 121,0 \text{ Wh}$
Klo 15-16	$0,10h \cdot 550W = 55,0 \text{ Wh}$
Klo 16-17	$0,10h \cdot 550W = 55,0 \text{ Wh}$
Klo 17-18	$0,06h \cdot 550W = 33,0 \text{ Wh}$
Klo 18-19	$0,08h \cdot 550W = 44,0 \text{ Wh}$
Klo 19-20	$0,02h \cdot 550W = 11,0 \text{ Wh}$
Klo 20-21	$0,0h \cdot 550W = 0,0 \text{ Wh}$
Yhteensä	830,0 Wh

4.2.2 Elokuun huippu- ja minimituotanto

Elokuussa energiaa on paljon hyvinä päivinä, mutta huonoimpina päivinä aurinkoenergiaa saadaan kerättyä keskimäärin 0,368 kWh, jolloin akustosta on otettava 2,162 kWh per päivä, jotta saadaan tarvittu 2,53 kWh. Kts. Taulukko 3. Ylimääräistä energiaa hyvinä päivinä jää 1,264 kWh, joten energiaa pitäisi riittää hyvin. Elokuussa vielä vietetään paljon aikaa mökillä verrattuna lokakuuhun.



Kuva 12. Elokuun yhden päivän huipputuotanto (Vesa. 2016. 34.)

Jani Vesan huippuarvo (violetti pylväs) tunneittain kerrottuna mökille tulevan kahden 275W paneelin teholla.

Klo 6-7	$0,02\text{h} \cdot 550\text{W} = 11,0 \text{ Wh}$
Klo 7-8	$0,07\text{h} \cdot 550\text{W} = 38,5 \text{ Wh}$
Klo 8-9	$0,27\text{h} \cdot 550\text{W} = 148,5 \text{ Wh}$
Klo 9-10	$0,51\text{h} \cdot 550\text{W} = 280,5 \text{ Wh}$
Klo 10-11	$0,68\text{h} \cdot 550\text{W} = 374,0 \text{ Wh}$
Klo 11-12	$0,80\text{h} \cdot 550\text{W} = 440,0 \text{ Wh}$
Klo 12-13	$0,86\text{h} \cdot 550\text{W} = 473,0 \text{ Wh}$
Klo 13-14	$0,90\text{h} \cdot 550\text{W} = 495,0 \text{ Wh}$
Klo 14-15	$0,84\text{h} \cdot 550\text{W} = 462,0 \text{ Wh}$
Klo 15-16	$0,75\text{h} \cdot 550\text{W} = 412,5 \text{ Wh}$
Klo 16-17	$0,58\text{h} \cdot 550\text{W} = 319,0 \text{ Wh}$
Klo 17-18	$0,42\text{h} \cdot 550\text{W} = 231,0 \text{ Wh}$
Klo 18-19	$0,20\text{h} \cdot 550\text{W} = 110,0 \text{ Wh}$
Klo 19-20	$0,08\text{h} \cdot 550\text{W} = 44,0 \text{ Wh}$
Klo 20-21	$0,05\text{h} \cdot 550\text{W} = 27,5 \text{ Wh}$
Yhteensä	3794,0 Wh

Elokuun yhden päivän minimituotanto

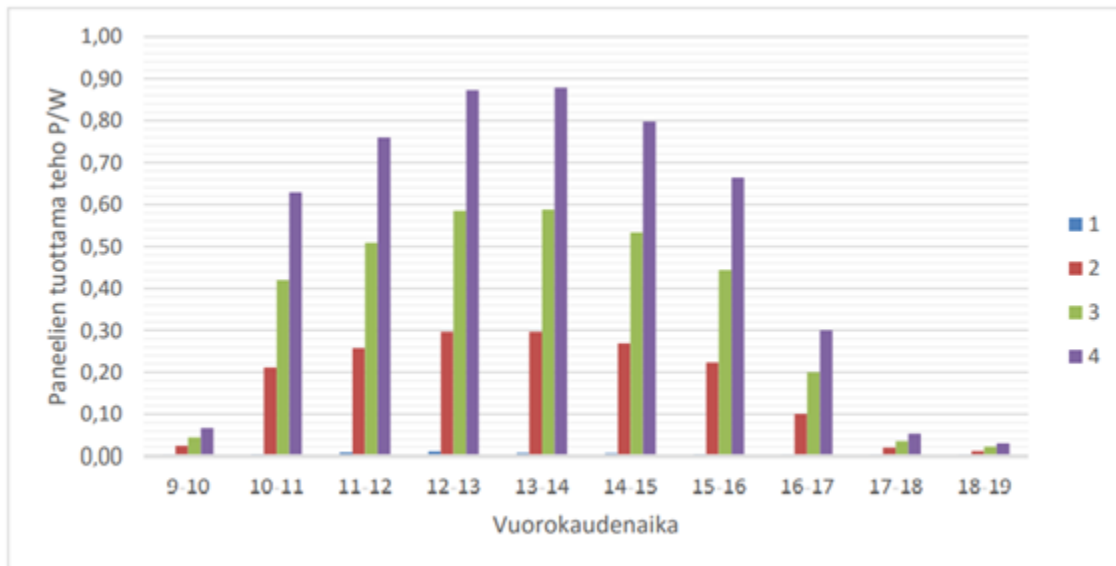
Klo 6-7	$0,01\text{h} \cdot 550\text{W} = 5,5 \text{ Wh}$
Klo 7-8	$0,03\text{h} \cdot 550\text{W} = 16,5 \text{ Wh}$
Klo 8-9	$0,02\text{h} \cdot 550\text{W} = 11,0 \text{ Wh}$
Klo 9-10	$0,03\text{h} \cdot 550\text{W} = 16,5 \text{ Wh}$
Klo 10-11	$0,02\text{h} \cdot 550\text{W} = 11,0 \text{ Wh}$
Klo 11-12	$0,05\text{h} \cdot 550\text{W} = 27,5 \text{ Wh}$
Klo 12-13	$0,06\text{h} \cdot 550\text{W} = 33,0 \text{ Wh}$
Klo 13-14	$0,07\text{h} \cdot 550\text{W} = 38,5 \text{ Wh}$
Klo 14-15	$0,14\text{h} \cdot 550\text{W} = 77,0 \text{ Wh}$
Klo 15-16	$0,08\text{h} \cdot 550\text{W} = 44,0 \text{ Wh}$
Klo 16-17	$0,06\text{h} \cdot 550\text{W} = 33,0 \text{ Wh}$
Klo 17-18	$0,04\text{h} \cdot 550\text{W} = 22,0 \text{ Wh}$
Klo 18-19	$0,02\text{h} \cdot 550\text{W} = 11,0 \text{ Wh}$
Klo 19-20	$0,02\text{h} \cdot 550\text{W} = 11,0 \text{ Wh}$
Klo 20-21	$0,02\text{h} \cdot 550\text{W} = 11,0 \text{ Wh}$
Yhteensä	368,5 Wh

4.2.3 Lokakuun huippu- ja minimituotanto

Lokakuussa energiantuotanto on heikkoina päivinä lähes olematon, joten energiaa on otettava keskimäärin 2.78 kWh akusta joka päivä. (Taulukko 4). Akkuihin voidaan varastoida 5.28 kWh. Paneelit pystyvät lataamaan päivien aikana, koska mökillä vietetään aikaa huomattavasti vähemmän syksyllä. Parhaina päivinä sähköä tuotetaan 2.711 kWh, joten kaksi akkua ovat syksyllä tarpeellisia 2x275W paneeleilla.

Lokakuu on pimeä ajanjakso, jolloin aurinkoenergian tuotannot ovat hyvin vähäiset, ellei olemattomat heikkoina päivinä. Esimerkiksi viikon aikana mökillä pystyttäisiin olla noin neljä arkipäivää, jos akusto olisi valmiiksi ladattu.

Hyvin vähäisistä tuotantopäivistä voidaan todeta, että paneelien lukumäärä ei riitä lokakuussa, koska säteilyn intensiteetti mittauskohteessa on hyvin vähäistä, joten on turvauduttava akkuihin, joihin voidaan varastoida energiaa, mutta se vie viikkoja aikaa. (Ilmantieteenlaitos. Vuodenajat. Talvisään tilastoja. 2021.)



Kuva 13. Lokakuun yhden päivän huipputuotanto (Vesa. 2016, 35.)

Jani Vesan huippuarvo (violetti pylväs) tunneittain kerrottuna mökille tulevan kahden 275W paneelin teholla.

Klo 9-10	$0,06\text{h} \cdot 550\text{W} = 33,0 \text{ Wh}$
Klo 10-11	$0,63\text{h} \cdot 550\text{W} = 346,5 \text{ Wh}$
Klo 11-12	$0,75\text{h} \cdot 550\text{W} = 412,5 \text{ Wh}$
Klo 12-13	$0,86\text{h} \cdot 550\text{W} = 473,0 \text{ Wh}$
Klo 13-14	$0,87\text{h} \cdot 550\text{W} = 478,5 \text{ Wh}$
Klo 14-15	$0,75\text{h} \cdot 550\text{W} = 412,5 \text{ Wh}$
Klo 15-16	$0,66\text{h} \cdot 550\text{W} = 363,0 \text{ Wh}$
Klo 16-17	$0,25\text{h} \cdot 550\text{W} = 137,5 \text{ Wh}$
Klo 17-18	$0,06\text{h} \cdot 550\text{W} = 33,0 \text{ Wh}$
Klo 18-19	$0,04\text{h} \cdot 550\text{W} = 22,0 \text{ Wh}$
Yhteensä	2711,5 Wh

Lokakuun yhden päivän minimituotanto

Klo 9-10	$0,0\text{h} \cdot 550\text{W} = 0,0 \text{ Wh}$
Klo 10-11	$0,0\text{h} \cdot 550\text{W} = 0,0 \text{ Wh}$
Klo 11-12	$0,01\text{h} \cdot 550\text{W} = 5,5 \text{ Wh}$
Klo 12-13	$0,02\text{h} \cdot 550\text{W} = 11,0 \text{ Wh}$
Klo 13-14	$0,01\text{h} \cdot 550\text{W} = 5,5 \text{ Wh}$
Klo 14-15	$0,01\text{h} \cdot 550\text{W} = 5,5 \text{ Wh}$
Klo 15-16	$0,0\text{h} \cdot 550\text{W} = 0,0 \text{ Wh}$
Klo 16-17	$0,0\text{h} \cdot 550\text{W} = 0,0 \text{ Wh}$
Klo 17-18	$0,0\text{h} \cdot 550\text{W} = 0,0 \text{ Wh}$
Klo 18-19	$0,0\text{h} \cdot 550\text{W} = 0,0 \text{ Wh}$
Yhteensä	27,5 Wh

4.3 Säteilyn intensiteetin laskeminen PVGIS-järjestelmällä

Jotta voidaan saada tarkkoja nimellistehotuloksia, kuinka paljon aurinkoenergiaa voidaan tuottaa eri vuodenaikoina, on hyvä käyttää PVGIS- järjestelmää. PVGIS eli Photovoltaic Geographical Information System on järjestelmä, jonka avulla voidaan tarkkailla auringonsäteilyn intensiteettiä ja aurinkosähköjärjestelmien tuotantoja eri puolilla maailmaa. Työkalun on rakentanut EU:n komissio.

Ensin selvitetään aurinkopaneelin asennuskulma ja aurinkoa kohden kerroin, jota voidaan käyttää verrattaviin kohteisiin Etelä-Suomessa. Kerroin selvitetään sijoittamalla optimaalinen tilanne verrattuna todelliseen optimaaliseen tilanteeseen PVGIS-järjestelmän avulla. (PVGIS. Valokuva-maantieteellinen tietojärjestelmä. 2021.)

Esimerkiksi sijoittamalla seuraavat arvot PVGIS:iin:

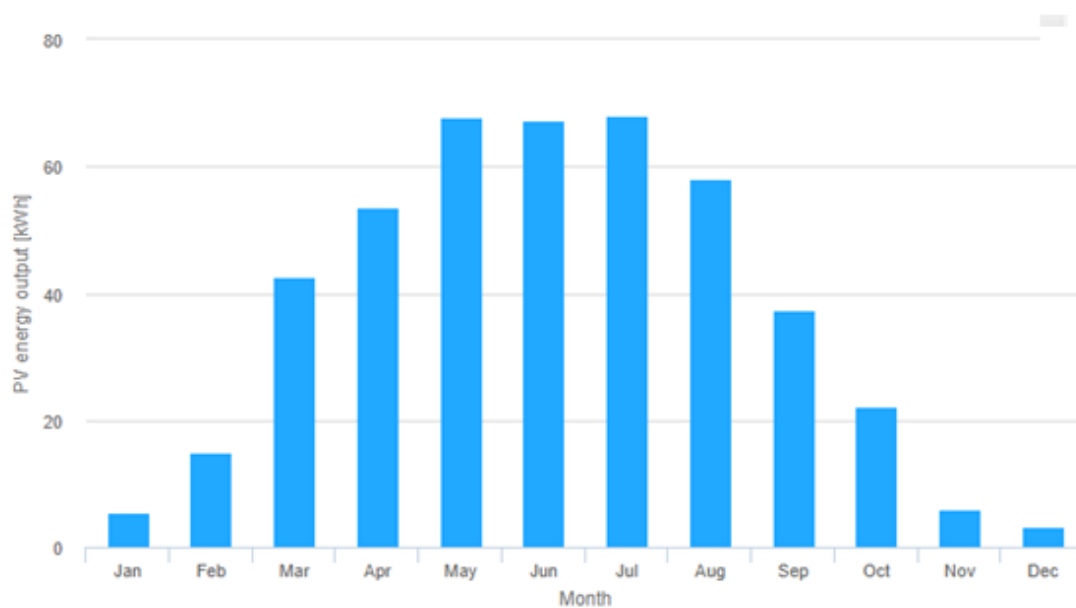
PV Power= 0,55 kW

System Loss= 15%

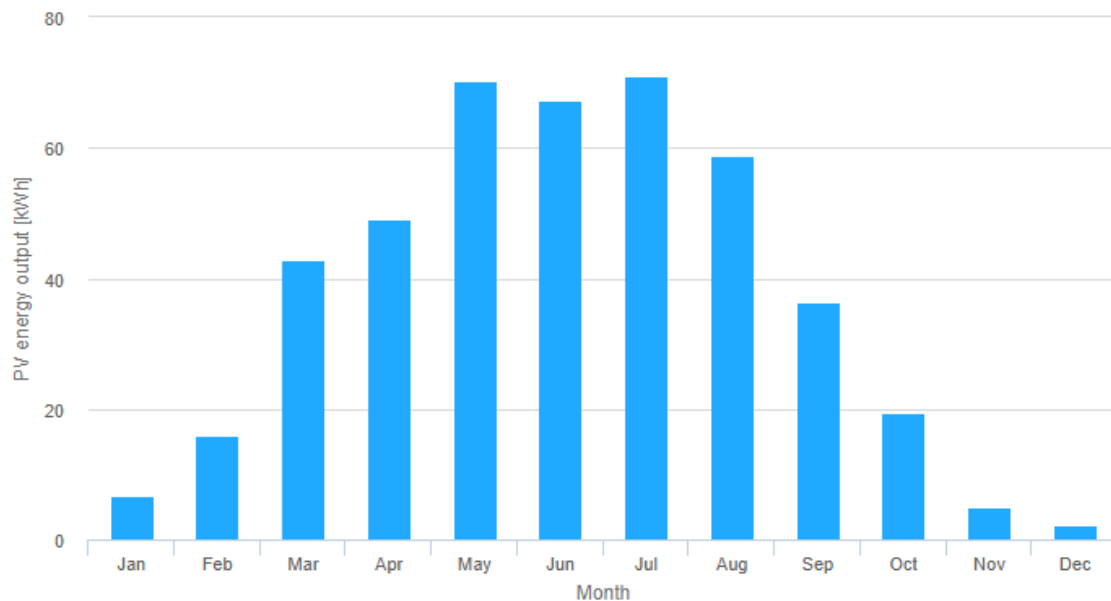
Azimuth=10°

Slope=35°

Saadaan alla olevat graafit.



Kuva 14. PVGIS- järjestelmän arvio vuoden sähkötuotannosta 550 W paneelilla Tampereella.



Kuva 15. PVGIS- järjestelmän arvio vuoden sähköntuotanto 550 W paneelilla Kangasniemellä.

Laskemalla kuukaudet yhteen kuvista 14 ja 15, lukuun ottamatta talvikuukausia, tehon kertoimeksi saadaan 0,996. Tämä on sijaintien välinen tehon kerroin 550W paneelilla, kun kaltevuuskulma on optimisoitu PVGIS:siin. Kuvien 14 ja 15 välinen säteilyn intensiteetin suhde Tampereella ja Kangasniemellä on lähes sama.

Käyttämällä kerrointa voidaan laskea Kangasniemellä olevien aurinkopaneelien tuottamat tehot. Systemin ottoteho on 99,6% optimaalisessa tilanteessa. Käyttämällä dataa Tampereen teknillisellä yliopistolla sijaitsevasta aurinkopaneelistä, saadaan Kangasniemen mökin aurinkopaneelien tuotannot arvioitua riittävän suurella tarkkuudella.

Jani Vesan opinnäytetyössä on kerätty mittaustuloksia TTY:ltä, joista saadaan Tampereelta saatuja tuloksia eri vuodenaikoina ja kertoimen avulla voimme laskea sähkön tuoton suuruuden ja siten analysoida energian tuotantoa tuntitasolla.

Kangasniemen kesämökille laitetaan kaksi 275 W paneelia tarkasteluun, jonka vuosittainen tuotanto olisi 445 kWh. Tässä työssä tarkasteluun valitaan mökillä-käyntikuukaudet huhti-, elo- ja lokakuu.

Lokakuussa energiaa tarvitaan päivässä 2,78 kWh päivää kohden ja kuukaudessa energiaa voidaan tuottaa PVGIS:sin mukaan noin 17 kWh. Jos oletamme energiantuotannon olevan tasaista, niin

$$\frac{17 \text{ kWh}}{31 \text{ päivää}} = 0,548 \text{ kWh/d}$$

$$\frac{2,78 \text{ kWh}}{0,548 \text{ kWh/d}} = 5,07 \text{ päivää}$$

Lokakuussa energiantuotanto on mökkikäytön vuodenajoista vähäisin ja energian tarve on talvea lukuun ottamatta suurin. Tarvitaan noin viisi päivää, jotta saadaan päiväkohtainen tuotanto tuotettua, jos kaikki laitteet olisivat käytössä. Tarve on so-piva, jos asukkaat ovat poissa viikolla ja saapuvat viikonlopuksi, jolloin akut olisivat varautuneet. Huom. kyseessä on vain yksi päivä, mutta tarve olisi olla vähintään kaksi päivää, joten olisi järkevää ottaa kaksi kappaletta akkuja, mutta niiden täytyy latautua useampi päivä, jopa viikkoja.

5 MITTAUSJÄRJESTELMIEN TULOSTEN ANALYSOINTI

PVGIS- järjestelmän ja Jani Vesan opinnäytetyön mittaustuloksia voidaan vertailla seuraavanlaisesti.

5.1 Viikkotuotanto huhtikuussa

PVGIS viikkotuotanto on huhtikuussa 11 kWh. Jani Vesan mittauksissa huipputuotanto päivälle tuotti 3,894 kWh ja alin 0,83 kWh. Tarvitaan vähintään kaksi aurinkoista päivää, jotta saadaan PVGIS:sin antamaa 11 kWh lukemaa. Kaksi aurinkoista päivää ja viisi pilvistä päivää antaa lukemaksi 11,9 kWh.

5.2 Viikkotuotanto elokuussa

PVGIS viikkotuotanto on elokuussa 13,25 kWh. Jani Vesan mittauksissa huipputuotanto päivälle tuotti 3,794 kWh ja alin 0,368 kWh. Tarvitaan vähintään kolme aurinkoista päivää, jotta päästään PVGIS:sin 13,25 kWh tuloksen lähelle. Kolme aurinkoista ja neljä pilvistä päivää antaa tulokseksi 12,85 kWh.

5.3 Viikkotuotanto lokakuussa

PVGIS viikkotuotanto on lokakuussa 4,89 kWh. Jani Vesan mittauksissa huipputuotanto päivälle tuotti 2,711 kWh ja alin 0,027 kWh. Tarvitaan vähintään kaksi aurinkoista ja viisi pilvistä päivää, jotta päästään PVGIS:sin 4,89 kWh tuloksen lähelle. Kaksi aurinkoista ja viisi pilvistä päivää antaa lukemaksi 5,55 kWh.

6 AURINKOJÄRJESTELMÄ

6.1 Mitoitus

Kesämökin sähkövoimala mitoitetaan siten, että kesämökillä ollaan keskimäärin kaksi vuorokautta, jonka jälkeen asukkaat poistuvat ja seuraavat asukkaat saapuvat. Kapasiteettia olisi hyvä varata kahdeksi päiväksi. Akuston valinnassa on huomioitava, kuinka paljon energiaa aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa, kun ladatut akut alkavat purkautumaan. Akustojen ja aurinkopaneelien ei tulisi olla ylimitoitettu liian korkean kustannusennusteen vuoksi ja taas systeemin alimitoittaminen voi johtaa energian vajeeseen.

6.1.1 Akustot

Akuston kapasiteetti tulee valita siten, että energiaa riittää vähintään kahden päivän ajalle yhteistoiminnassa aurinkopaneelien kanssa. Tarkasteluun otetaan kaksi 220 Ah akkua, jotka soveltuvat hyvin kylmiin olosuhteisiin. Kytettynä 12 V napajännitteeseen, saadaan laskettua akun kapasiteetti. (Akku-Ässä Oy. 2021.)

$$E = Pt$$

$$E = 12 V * 220 Ah$$

$$= 2,64 kWh$$

Mökkiin valitaan kaksi Caldwellin 220 Ah akkua. Akut purkaavat virtaa kahdeksi päiväksi. Mökki kuluttaa maksimissaan sähköä 2,22-2,78 kWh päivän aikana, jos kaikki laitteet olisivat yhtä aikaa käytössä. AMG-akkuja voidaan jatkoa ajatellen käyttää kylmissä olosuhteissa, kuten esimerkiksi talvella. Päivän sähkön tarve saadaan laddattua akustoon keskimäärin 2-5 päivän aikana, jos paneelit tuottavat keskimäärin

2,36, 2,08 ja 1,36 kWh päivässä. Laskut ovat laskettu kolmen eri tuotantokuukauden eli huhti- elo- ja lokakuun ajalta.

6.1.2 Aurinkopaneelit

Mökin katon pinta-ala on 22.0 m². Aurinkopaneelit sijoitetaan etelän puoleiselle katto-pinta-alalle. Kattopinta-alasta käytetään 3.25 m² aurinkopaneeleille. Tilaajan toiveiden mukaisesti aurinkopaneeleita asennetaan yli 2.78 kWh päiväkohtaista kulutusta varten.

Aurinkopaneeleiksi valitaan kaksi kappaletta Sinosolan valmistamaa 275 W aurinkopaneelia. Yhden paneelin mitat ovat 164 x 99,2 x 3,5 cm. Paneeleiden kokonaisteho on 550 W. (Aurinkopaneelit. Sinosola. 2021.)

Sijoittamalla PVGIS:iin paneeleiden kokonaisteho 550 W, sekä atsimuutti, sijainti ja asennuskulma, saadaan lokakuun eli alimman kuukauden tuotannoksi 19.56 kWh, joka on viikkoa kohden 4.89 kWh. Laitteiden yhteiskulutus on 2.78 kWh päivässä. Viidessä päivässä akustoihin voidaan ladata 5.28 kWh. Lokakuun viikkotuotannon avulla nähdään, että aurinkopaneelien tuotanto ei ole riittävä kaikille vuodenaajoille, jolloin mökillä ollaan. Jos tilaaja haluaa pidentää mökkikautta, niin tarvittaessa voidaan lisätä akkujen kapasiteettia tai paneelien määrää.

	PVGIS viik- kokuotanto	Jani Vesan viikkotuotanto
Huhtikuu	11 kWh	11,9 kWh
Elokuu	13,25 kWh	12,85 kWh
Lokakuu	4,89 kWh	5,55 kWh

	Sähkönkulutus vrk	Sähkönkulutus 4vrk	Sähkönkulutus 7vrk
Huhtikuu	2,22 kWh	8,88 kWh	15,54 kWh
Elokuu	2,53 kWh	10,12 kWh	17,71 kWh
Lokakuu	2,78 kWh	11,12 kWh	19,46 kWh

6.1.3 Invertteri

Aurinkopaneelijärjestelmään valitaan 3000 W invertteri. Suurimmat sähkölaitteet kuluttavat yli 1500 W edestä tehoa. Invertteri muuntaa aurinkopaneeleista tuotetun tasasähkön 230 V jännitetasoon. Invertteri ylimitoitetaan tarkoituksella, jotta jatkossa on mahdollista hankkia lisää aurinkopaneeleja. Tulevaisuudessa mökin viereen on tarkoitus rakentaa pieni aitta, jonne vedetään sähköt mökiltä. (Invertteri. Kärkkäinen. 2021.)

7 POHDINTA

Opinnäytetyöaihetta miettiessäni, en osannut päättää, teenkö ydinvoimasta vai aurinkovoimasta opinnäytetyön. Energialähteet ovat aina kiinnostaneet minua. Mielestäni molemmat ovat tulevaisuuden kannalta kiinnostavia tutkimuskohteita omine haasteineen. Ydinvoiman keskeinen ongelma on ydinjäte ja aurinkoenergian haasteet liittyvät vaihtelevaan tuotantoon ja energian varastointiin. Aurinkoenergian tutkiminen vaikutti mielekkäämmältä aiheelta.

Työn lähtökohtana oli pohtia aurinkovoimalan soveltuvuutta kesämökille. Teoriaosassa hyödynnettiin Jani Vesan opinnäytetyötä ja PVGIS-mittausjärjestelmää. Suurin vaikeus oli saada yhtenevät tulokset kahdesta eri mallinnuksesta. Jani Vesan työn hyvä puoli oli, että sillä voitiin huomioida hyvin aurinkoiset ja pilviset päivät viikkokohtaisessa tuotannossa. PVGIS taas antoi tarkemman kuukauden ja vuosikohtaisen tuloksen sähköntuotannossa. PVGIS:llä saadut tulokset ovat tarkempia kuin opinnäytetyön avulla selvitetty tulokset.

Suomessa aurinkosähkön ongelmana on pilvisten päivien lukumäärä verrattuna esimerkiksi Keski- tai Etelä-Eurooppaan. Työssäni suurimpia haasteita oli pilvisten päivien lukumäärän huomioon ottaminen ja oikeiden laskukaavojen löytäminen.

Aluksi lähdettiin liikkeelle kahdella aurinkopaneelilla, jotka yllättäen riittivät käyttäjien perussähkön tarpeisiin kesämökillä. Mökin omistajat halusivat ympäristöystävällistä sähköenergiaa, mutta he eivät ehkä ottaneet huomioon sähkövoimalan kustannuksia. Sähköntuotanto on pientä, eikä sitä voi jakaa verkkoon ilman paljon suurempaa aurinkovoimalaa. Jos halutaan lisätä sähkön käyttöä mökillä, tulisi lisätä aurinkopaneelien määrää vähintään kahdella.

Kestävän kehityksen tuotanto kasvaa huomattavasti sekä Suomessa ja koko maailmassa. Tulevaisuutta ajatellen aurinkopaneelisysteemi on kannattava vaihdettavien komponenttien kuten akkujen ja kehittyvien innovaatioiden, kuten Smart Gridin vuoksi. Ylijäämän siirtäminen keventää fossiilisten polttoaineiden käyttöä, sekä sähkön tuottaja voi saada hyvityksen jaetusta sähköstä.

LÄHTEET

Akusto. Akku-Ässä Oy. Luettu 2.5.2021. <https://www.aurinkopaneelit.info/akut/huoltovapaat-agm-akut>

Aurinkopaneelit. Sinosola. Luettu 2.5.2021. <https://www.karkkainen.com/verkko-kauppa/sinosola-275w-monikide-aurinkopaneeli>

Invertteri. Kärkkäinen. Luettu 17.5.2021. <https://www.karkkainen.com/verkko-kauppa/vatti-3000w-12-230v-siniaaltoinvertteri>

Ilmiantieteenlaitos. Vuodenajat. Talvisään tilastoja. Luettu 1.5.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/talvitalastot>

PVGIS. Valokuva-maantieteellinen tietojärjestelmä. n/d. Luettu, 15.05.2021. Päivitetty 15.10.2019 https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP

Vesa, J. 2016. Aurinko- ja tuulisähkön tuotantoprofiilit ja aurinkosähkön tuntitason ennustaminen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.

LIITTEET

Liite 1. Karttakuva. Arkkitehdin piirustus

