



Suuntauksen vaikutus aurinkovoimalan tuotantoon

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

Elmeri Seistola

Tarkastaja(t): Tutkijaopettaja, TkT Antti Kosonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Elmeri Seistola

Suuntauksen vaikutus aurinkovoimalan tuotantoon

2022

Sähkötekniikan kandidaatintyö

30 sivua, 25 kuvaa, 2 taulukkoa.

Tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Antti Kosonen

Avainsanat: Aurinkosähkö, lämpötila, pilvisuus, suuntaus, vuosituotanto.

Aurinkovoima on uusiutuva energialähde, jonka käyttö Suomessa ja maailmalla jatkaa kasvuaan vuodesta toiseen. Aurinkovoiman kasvua maailmalla ajaa osaksi teknologian kehitys, maiden tavoitteet vähentävät hiilidioksidipäästöjä ja aurinkoenergian kannattavuuden paraneminen. Sähkön kallistuessa aurinkovoiman käyttö on yleistynyt yritysten ja yksityiskäyttäjien vaihtoehdoksi nostattamaan omavaraisuutta ja laskemaan piinaavaa sähkölaskua.

Tässä kandidaatin työssä tutkitaan ja analysoidaan olemassa olevan aurinkovoimalan tuotantoa. Työssä käsitellään oikealta 21,1 kWp aurinkovoimalalta saatua dataa aurinkovoimalan tuotannosta kahden vuoden ajalta. Työssä tulkitaan aurinkovoimalan tuotantoa vuosi-, kuukausi- ja päivätasolla ja tutkitaan aurinkovoimalan tuotantoon vaikuttavia tekijöitä. Työssä vertaillaan aurinkovoimalan eri suuntausten vaikutusta tuotantoon. Vertailtavat aurinkovoimalan suuntaukset ovat itä (-90°), länsi (90°) ja etelä (0°).

Abstract

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Elmeri Seistola

Impact of the orientation on the production of a solar PV plant

2022

Bachelor's Thesis

30 pages, 25 pictures, 2 tables.

Tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Antti Kosonen

Keywords: Solar electricity, temperature, cloud cover, orientation, annual production

Solar power is a renewable energy source, the use of which in Finland and the world continues to grow year after year. The growth of solar power in the world is partly driven by the development of technology, the goals of countries to reduce carbon dioxide emissions and the improvement of the profitability of solar energy. As electricity becomes more expensive, the use of solar power has become more common as an option for companies and private users to increase their self-sufficiency and reduce the burdensome electricity bill.

In this thesis, the production of the existing solar power plant is studied and interpreted. The thesis deals with data obtained from 21.1 kWp solar power plant from two seasons. The work interprets the production of the solar power plant on an annual, monthly and daily level and examines the factors affecting the production of the plant. The work compares the impact of solar powers different trends on production. The comparable directions of the plant are east (-90°), west (90°) and south (0°).

SISÄLLYSLUETTELO

....

1	Johdanto.....	5
2	Aurinkovoima Suomessa.....	5
3	Aurinkovoimalan tuotantoon vaikuttavia tekijöitä.....	6
3.1	Suuntaus ja kallistuskulma.....	7
3.2	Lämpötila.....	8
3.3	Kokonaissäteily.....	8
3.4	Pilvien vaikutus.....	8
4	Kohde.....	9
5.	Tulokset.....	9
5.1	Vuosituotanto.....	9
5.2	Vuorokauden vaikutus aurinkovoimalan tuotantoon.....	12
5.3	Pilvisyyden vaikutus tuotantoon.....	15
5.4	Lämpötilan vaikutus tuotantoon.....	18
5.5	Tehoalueella vietetty aika.....	21
5.6	Tehoalueella tuotettu tuotto.....	23
5.7	Tuotannon leikkaantuminen.....	25
6.	Simulointi.....	27
7	Johtopäätökset.....	28
	Lähteet.....	30

1 Johdanto

Aurinkovoiman yleistymisen yksityis- ja yrityskäytössä ennustetaan jatkuvan entistä kiihtyvämmin. Vuodesta 2019 aurinkosähkön pientuotannon kapasiteetti oli kaksinkertaistunut vuoteen 2021 mennessä. Yhteensä kapasiteettia vuonna 2021 oli 395 MW. (Energiavirasto, 2022). Ilmaston lämpeneminen ja sähköhinnan nousu ovat saaneet ihmiset etsimään uusia vaihtoehtoja vähentää energian kulutusta, päästöjä ja vaihtamaan halvempaan energiamuotoon. Aurinkovoimasta on tullut suosittu tapa, jolla voidaan lisätä omavaraisuutta ja näin ollen laskea sähkölaskun hintaa.

Aurinkovoiman käytössä on tärkeitä osata sijoittaa ja suunnata aurinkovoimala siten, että aurinkovoimalalle kohdistuu mahdollisimman paljon säteilyä ja aurinkovoimalan tuotanto kohdistuu haluttuun ajankohtaan. Käyttäjä voi aurinkovoimalan suuntauksella valita, kohdistuuko tuotanto aamu-, keski- vai iltapäivään. Yleisesti talon lappeen suunta määrää mihin suuntaukseen ja kulmaan aurinkovoimala suunnataan.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan aurinkovoimalan suuntausten vaikutusta tuotantoon Suomen olosuhteissa. Työssä vertaillaan ja tutkitaan aurinkovoimalan itä-, länsi- ja etelä suuntausten tuotantoa ja tuotantoon vaikuttavia tekijöitä. Työssä tutkitaan miten lämpötila, pilvisuus ja vuodenajat vaikuttavat aurinkovoimalan kokonaistuotantoon. Työssä käsitellään oikealta 21,1 kWp aurinkovoimalalta saatua dataa aurinkovoimalan tuotannosta kahden vuoden ajalta (Kosonen ym. 2020). Aurinkovoimalalta saatu dataa käsitellään Excel-ohjelmistolla ja datasta saaduilla tuloksilla pyritään vastaamaan edellä määriteltyihin tutkimuskysymyksiin.

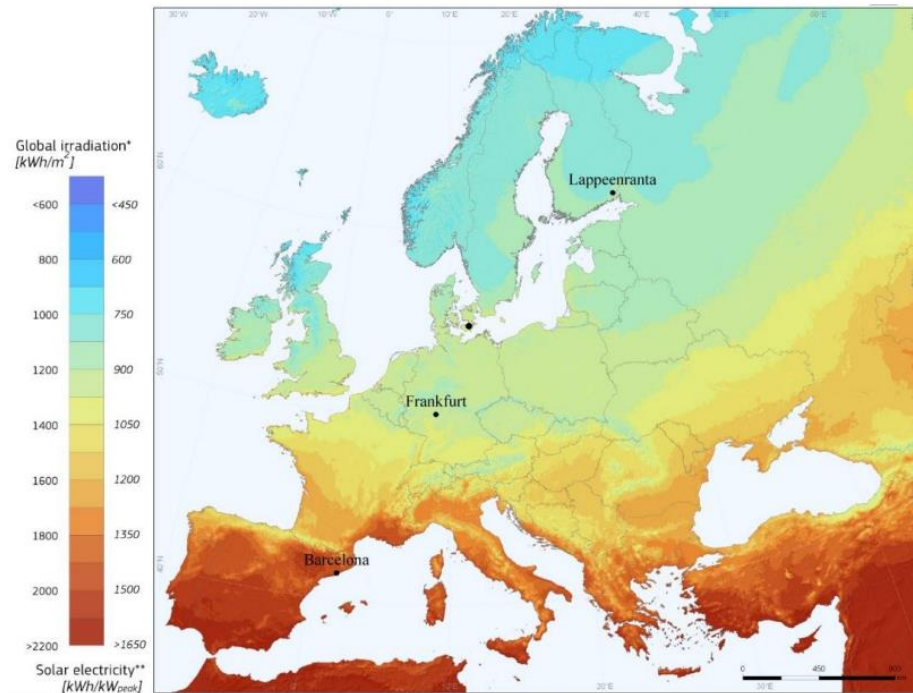
2 Aurinkovoima Suomessa

Suomen pohjoisen sijainnin ja pimeiden talvien takia voisi ajatella, että aurinkovoimajärjestelmiä ei pidetä hyvänä vaihtoehtona tuottaa sähköä. Vastoin pessimististä ajattelutapaa aurinkovoimajärjestelmien kannattavuudesta, Suomessa pimeää ja lumista talvea kompensoi aurinkoinen ja viileä kesä, jolloin aurinko paistaa melkein vuorokauden ympäri.

Aurinkovoiman osuus Suomen sähkötuotannosta oli vuonna 2020 alle prosentin (0,4 %). Suomessa aurinkovoimakapasiteetti on jatkanut kasvuaan keskiarvoltaan 69 % vuodessa vuodesta 2015 lähtien (KPMG Oy Ab, 2022) ja kasvun ennustetaan kiihtyvän entisestään.

Kuvasta 1 nähdään säteilyn määrä Euroopassa. Etelä-Suomessa auringon vuotuinen säteilyn määrä on noin 900 kWh/m². Maailman parhaimmilla alueilla kokonaissäteilyn määrä voi

olla jopa kaksikertainen Suomeen verrattuna 2500 kWh/m^2 . Kuvasta 2.1 nähdään, että Suomessa aurinkosähkön tuottomahdollisuudet ovat samaa luokkaa kuin esimerkiksi Pohjois-Saksassa, jossa aurinkoenergian käyttö on yleistä lämmityksessä ja sähköntuotannossa. Vuonna 2021 Saksassa aurinkosähkökapasiteettia oli noin 59 GW (Statista, 2022). Osa syy tähän Saksan suureen aurinkovoiman tuotantoon on syöttötariffit, jotka kannustavat aurinkovoiman käyttöön.



Kuva 2.1. Aurinkosäteily Euroopassa. Source: European Union, Joint Research Centre, (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>)

3 Aurinkovoimalan tuotantoon vaikuttavia tekijöitä

Aurinkoenergian tuotossa tärkeintä on aurinkovoimalalle kerääntyvä auringonsäteilyn määrä. Auringonsäteilyn määrään vaikuttaa maantieteellinen sijainti, vuodenaika, ilmasto ja kellonaika. Maapallon ollessa pyöreä auringonsäteily osuu maanpinnalle eri kulmissa, 0 asteesta, jolloin aurinko on juuri horisontin yläpuolella, 90 asteeseen, jolloin kohtisuorassa maata vasten. Kohtisuorassa pinnalle kohdistuu eniten säteilyä. Mitä epäsuoremasta suunnasta säteilyä kohdistuu, sitä pidempää säteilyllä kestää osua maanpinnalle ja sitä enemmän säteily hajaantuu ilmakehässä kulkiessa.

Maapallon kallistuskulma vaikuttaa suuresti säteilyn määrään tietyllä alueella. Maapallon kallistuskulma on 23,5 astetta, minkä takia meillä on vuodenaajat. Suomen sijainti pohjoisella pallonpuoliskolla jakaa vuodenaajat neljään. Pohjoisella pallonpuoliskolla päivät ovat

pidempiä keväästä syksyyn. Kun taas syksystä kevääseen päivät ovat lyhyempiä, jolloin myös säteilyä kohdistuu vähemmän maanpinnalle.

Auringonsäteilyn määrään vaikuttaa myös etäisyys päiväntasaajalta eli leveyspiiri. Auringon säteilyä kohdistuu eniten päiväntasaajalle eli leveyspiirille 0 astetta. Mitä kauemmas päiväntasaajalta mennään, sitä vähemmän säteilyä kohdistuu alueelle ja sitä suuremmaksi optimaalinen kallistuskulma aurinkopaneelille kasvaa.

Auringon kulkureitti tarkoittaa auringon kulkureittiä taivaalla vuodenaikojen ja kellonaikojen vaihdellessa. Auringon kulkureitti, nousu- ja laskuaika sekä korkeuskulma muuttuvat vuodenaikojen vaihtuessa. Auringon korkeus taivaalla on korkeimmillaan kesäpäivänseisauksena ja matalimpana joulukuussa.

3.1 Suuntaus ja kallistuskulma

Aurinkopaneelien suuntaus ja kallistuskulma ovat kaksi asiaa, jotka vaikuttavat siihen kuinka paljon auringonsäteilyä osuu aurinkopaneelille. Yleinen lähestyminen aurinkovoimalan suuntauksen ja paneelien kulman valitsemiseen on maksimoida suoran säteilyn puotaminen aurinkopaneelille.

Aurinkovoimalan suuntauksen valintaan vaikuttaa aurinkovoiman käyttötarkoitus. Jos aurinkosähkön tuotto asuintalossa halutaan maksimoida eikä tuotannon ajankohdalla ole väliä, paneelit on asennettava etelään kohti, jolloin tuotanto kohdistuu keskipäivään. Tuottoisin vaihtoehto, kun ylijäämä sähkö myydään verkkoon, on aurinkovoimalan atsimuuttikulman ollessa -15° – -5° ja kallistuskulman ollessa 35° – 45° . Jos aurinkovoiman omakäyttöaste halutaan maksimoida, suuntaus tulee valita siten, että tuotannon ajankohta vastaa kulutuksen ajankohtaa, eli yleensä aamu- tai iltapäivää, jolloin sähkönkulutus on korkeimmillaan. Omakäyttöasteen maksimoidessa on parempi valita kaksoisatsimuutti järjestelmä, jolloin aurinkovoimalan tuotanto kohdistuu päivän aikana aamupäivään sekä iltapäivään. Asuintalossa optimaalisimmat suuntaukset ovat $\pm 45^{\circ}$ ja $\pm 75^{\circ}$ väliltä ja kallistuskulma 10° ja 55° väliltä (Meriläinen ym. 2022).

Mutta näihin asennustapoihin liittyy ongelmia. Isot aurinkopaneelien kallistuskulmat eivät ole ihanteelliset useimpiin kiinteistöihin. Suuri kulma aiheuttaa varjostuksia ja siten vaatii enemmän tilaa kuin loivemmassa kulmassa asennetut aurinkopaneelit. Myös aurinkovoimalan suuntauksessa on ongelma, jos talon lappeet eivät osoita haluttuihin optimaalisimpiin suuntauksiin. Siksi yleisin aurinkovoimalan paneelien asennustapa onkin kiinteä asennus kiinteistön katolle. Asuintalojen katto asennuksissa yleisin tapa on asentaa aurinkopaneelit lappeen suuntaisesti, eikä katon kaltevuudesta poiketa.

Auringon paikka taivaalla muuttuu päivän ja vuoden mittaan kiertoradan mukaan. Aurinkoa seuraava asennus onkin tehokkain tapa auringonsäteilyn keräämiseksi. Auringon liikettä seuraava järjestelmä on kallis ja vaatii suurempia huoltokustannuksia liikkuvien osiensa vuoksi. Suurten investointi- ja huoltokustannusten lisäksi Suomen pilvinen ilmasto heikentää aurinkoa seuraavan järjestelmän potentiaalia.

Aurinkopaneelit voidaan myös asentaa seinäasennuksena. Suomen sijainti ja sääolosuhteet ovat hyvät myös julkisivuasennuksille ja se näkyy varsinkin selkeinä talvipäivinä, jolloin aurinko paistaa matalalta ja lumi heijastaa säteilyä. Myös Suomen pohjoinen sijainti

nostattaa paneelien optimaalisinta kallistuskulmaa, jolloin erilaiset asennukset ovat mahdollisia. Seinäasennukset toimisivat parhaiten korkeissa rakennuksissa, kuten kerrostaloissa tai yritysten tiloissa.

3.2 Lämpötila

Aurinkopaneelit toimivat sitä paremmin, mitä kylmempi ympäristön lämpötila on, joten aurinkopaneelien yksi heikkouksista on lämpötilasta aiheutuva hyötysuhteen laskeminen. Varsinkin kuumemmissa maissa aurinkopaneelien lämpenemisestä johtuva tehon lasku on iso ongelma, koska paneelit voivat olla jatkuvasti yli standardiolosuhteiden. Aurinkopaneelin tehokkuutta tarkastellessa aurinkopaneelin standardi olosuhde on 25 celsiusta ja auringon säteilyn voimakkuus on yksi kilowatti neliötä kohden

Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelien hyötysuhteeseen on paneeli- ja teknologiakohtainen. Yleensä paneelien lämpötilakerroin on $-0.3\% / ^\circ\text{C}$ ja $-0.5\% / ^\circ\text{C}$ väliltä (Solar.com, 2022). Paneelin datalehdestä nähdään tuotekohtaisesti, kuinka yhden lämpötila-asteen nousu standardi olosuhteista laskee tehokkuutta.

Aurinkopaneelin lämpenemistä vastaan pyritään kehittämään ratkaisuja. Tästä syystä esimerkiksi aurinkopaneelien väleihin on jätettävä tuuletusrako. Muita kehityksessä ja käytössä olevia jäähdystystapoja ovat veden käyttö ja uusien materiaalien kyky vastustaa lämpenemistä. Suomen kylmä ilmasto on siis ihanteellinen aurinkopaneeleille.

3.3 Kokonaissäteily

Kokonaissäteily koostuu suorasta säteilystä, hajasäteilystä ja heijastuneesta säteilystä. Suoralla säteilyllä tarkoitetaan säteilyä, joka ei taitu ilmakehän tai pilvien vaikutuksesta vaan osuu suoraan paneelille. Hajasäteily tarkoittaa säteilyä, joka taittuu ilmakehän tai pilvien vaikutuksesta ja hajautuu eri suuntiin. Suomessa hajasäteilyn määrä kokonaissäteilystä on noin 40–50 prosenttia (Motiva, 2020). Heijastunut säteily on säteilyä, joka heijastuu esimerkiksi maasta, vedestä, lumesta tai rakennuksista. Varsinkin talvella korostuu heijastuneen säteilyn vaikutus. Vastasanut lumi voi lisätä pystysuoralle pinnalle tulevan säteilyn määrää jopa 20–45 % (Silomaa, 2010)

3.4 Pilvien vaikutus

Suomessa aurinkovoimaloiden mahdollista tuottoa vähentävät eniten pilvet. Säteilyn osuessa pilveen, osa säteilystä heijastuu pois käytettävistä ja osa säteilystä muuttuu hajasäteilyksi. Pilvien aiheuttamalla hajasäteilyllä ei ole tarkkaa suuntaa, jolloin aurinkopaneelien suuntauksella ei ole juurikaan väliä tuotantoon. Pilvien aiheuttama hajasäteily voidaan ajatella tulevan laajalta alueelta taivaalta, kun taas suora säteily on enemmän pistemäistä. Näin ollen, mitä pienempi asennuskulma on, sitä paremmin hajasäteilyä saadaan kerättyä (Kitunen, 2007).

Pilvisyyden vaikutus aurinkovoimalan tuotantoon on hyvin vaihtelevaa ja sen vaikutus riippuu monesta asiasta, kuten pilvien määrästä, paksuudesta ja kestosta. Pilvisuus on Suomessa runsasta varsinkin syksyllä ja talvella. Pilvisiä päiviä, jolloin vähintään 80 % taivaankannesta on pilvien peitossa, on kaikkina kuukausina yleensä enemmän kuin selkeitä enintään 20 % taivaankannesta pilvien peitossa tai osittain pilvisiä päiviä. Eniten selkeitä päiviä esiintyy touko-kesäkuussa, vähiten marras-joulukuussa. (Ilmatieteenlaitos, 2010).

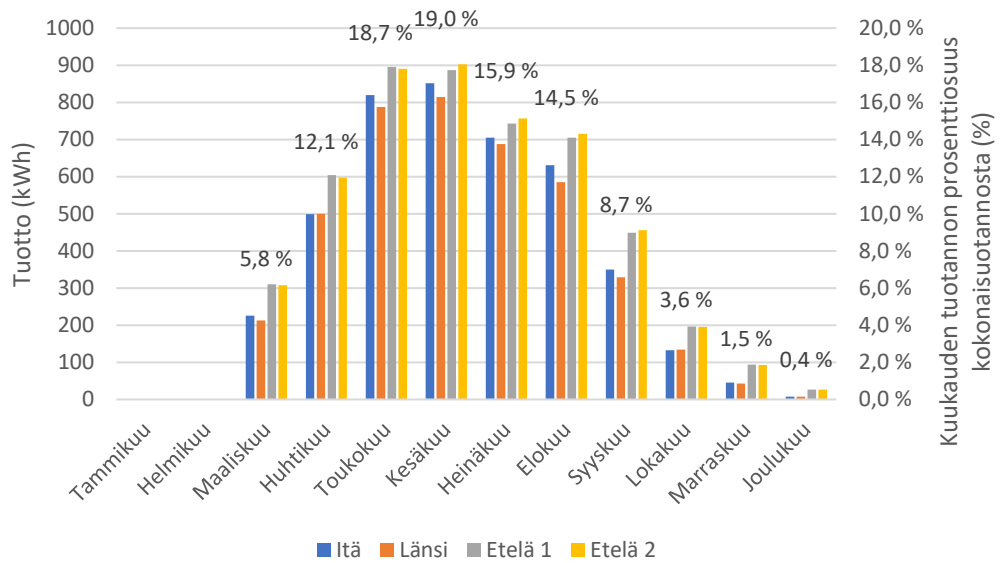
4 Kohde

Työssä tutkitaan ja analysoidaan oikealta aurinkovoimajärjestelmästä saatua dataa. Tutkittavaa dataa saadaan aurinkovoimalan invertterin dc puolelta. Aurinkovoimajärjestelmä sijaitsee Imatralla ja on kapasiteetiltaan 21,1 kWp. Kapasiteetti on jaettu kolmeen ilmansuuntaan: Etelään 0°, itään -90° ja länteen 90°. Etelän suuntaan on sijoitettu kaksi paneeliketjua, yhteensä 10,4 kWp. (2x20, 260 Wp). Eteläsuuntauksen paneeliketjut on nimetty etelä 1 ja etelä 2, molempien kapasiteetti on 5,2 kWp. Itä- ja länsisuuntauksen paneeliketjuille on jaettu kapasiteettia 10,71 kWp. (2x21, 255 Wp). Eli yhteensä 5,355 kWp molempiin suuntiin. Eteläsuuntauksen invertterin nimellisteho on 9 kW kahdella maksimitehopisteen (MPPT) säätimellä. Itä- ja länsisuuntauksessa invertterin nimellisteho on 7 kW myös kahdella MPPT-säätimellä.

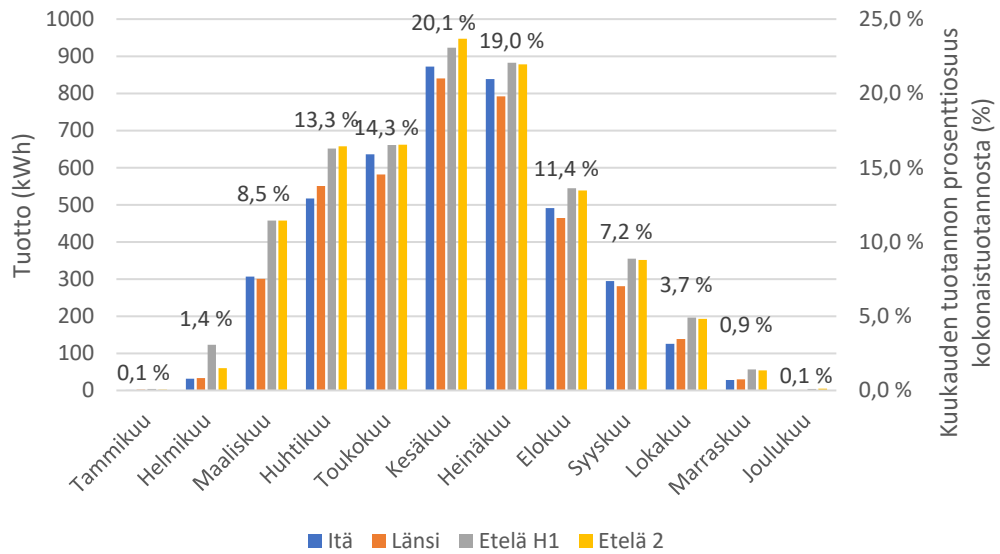
5. Tulokset

5.1 Vuosituotanto

Kohteelta on kerätty tuotantodataa vuosien 2020 ja 2021 ajalta. Vuosituotannoista on tehty kuvat 5.1 ja 5.2, joista nähdään vuositason suuntauksien tuotannot ja kuukauden tuotannon osuus koko vuoden tuotannosta. Vuosituotannot on myös taulukoitu alla olevaan taulukkoon 5.1. Taulukosta nähdään myös suuntausten kuukausituotannon prosenttiosuus vuoden tuotannosta. Taulukosta nähdään myös suuntauksen kuukauden tuotanto prosenttiosuutena kokovuoden tuotannosta. Vuoden 2020 tammikuulta ja helmikuulta ei saatu dataa, mutta voitaisiin olettaa tuotantojen olevan samaa luokkaa kuin 2021. Koska dataa ei saatu, kyseisiä kuukausia ei huomioida 2020 kokonaistuotantoon.



Kuva 5.1. Vuosituotanto 2020 ja kuukauden prosenttiosuus vuoden kokonaistuotannosta



Kuva 5.2. Vuosituotanto 2021 ja kuukauden prosenttiosuus vuoden kokonaistuotannosta

Kuukausi	2020				2021			
	Itä	Länsi	Etelä 1	Etelä 2	Itä	Länsi	Etelä 1	Etelä 2
1	–	–	–	–	1 (0%)	2 (0%)	4 (0%)	3 (0%)
2	–	–	–	–	31 (1%)	33 (1%)	123 (3%)	60 (1%)
3	226 (5%)	212 (5%)	310 (6%)	308 (6%)	306 (7%)	300 (7%)	457 (9%)	457 (10%)
4	499 (12%)	500 (12%)	604 (12%)	597 (12%)	517 (12%)	551 (14%)	652 (13%)	657 (14%)
5	820 (19%)	788 (19%)	896 (18%)	890 (18%)	636 (15%)	582 (14%)	661 (14%)	662 (14%)
6	852 (20%)	814 (20%)	887 (18%)	903 (18%)	872 (21%)	840 (21%)	923 (19%)	947 (20%)
7	705 (17%)	687 (17%)	743 (15%)	757 (15%)	838 (20%)	792 (20%)	882 (18%)	878 (18%)
8	631 (15%)	585 (14%)	705 (14%)	715 (14%)	491 (12%)	465 (12%)	545 (11%)	538 (11%)
9	350 (8%)	329 (8%)	449 (9%)	456 (9%)	295 (7%)	281 (7%)	355 (7%)	352 (7%)
10	132 (3%)	134 (3%)	197 (4%)	195 (4%)	125 (3%)	139 (3%)	197 (4%)	193 (4%)
11	46 (1%)	43 (1%)	94 (2%)	93 (2%)	29 (1%)	30 (1%)	57 (1%)	54 (1%)
12	8 (0,2%)	7 (0%)	27 (1%)	26 (1%)	0 (0%)	2 (0%)	4 (0%)	4 (0%)
Yht suuntaus	4267	4101	4911	4941	4143	4016	4860	4805
kWh/kWp	797	766	944	950	774	750	935	924
Yht kWh/v				18220				17825

Taulukko 5.1. Aurinkovoimalan kuukausituotanto 2020 ja 2021 (kWh/kk(%/vuosi))

Tuloksista nähdään kuinka vuodenajat vaikuttavat tuotantoon. Kesällä pohjoisen pallonpuoliskon ollessa kääntyneenä aurinkoon päin, päivät ovat pidempiä ja säteilyä kerääntyy enemmän maanpinnalle. Tuloksista nähdään selkeästi, kuinka kesäkuukausina tuotot ovat moninkertaisia verrattuna talvikuukausiin, jolloin pohjoinen pallonpuolisko on kallistunut pois päin auringosta ja säteilyä kerääntyy päivän mittaan vain vähän. Talvikuukausien tuloksiin vaikuttaa myös lumipeite.

Vuosituotannosta nähdään, että etelän suuntaus vastaa odotuksia ja on suuntauksista tuottoisin. Etelä suuntauksen tuotot ohittavat idän ja lännen tuotot joka kuukausi molempina vuosina. Tarkasteltaessa etelä 1 tuotantoa nähdään, että suuntauksen ominaistuotanto vuonna 2020 oli 944,4 kWh/kWp, mikä oli 19 % (147,6 kWh/kWp) suurempi kuin idän ja 24 % (184,4 kWh/kWp) suurempi kuin lännen ominaistuotanto. Vuonna 2021 etelä 1 ominaistuotanto oli 934,6 kWh/kWp, mikä oli 21 % (160,9 kWh/kWp) enemmän kuin itä ja 23 % (184,6 kWh/kWp) enemmän kuin länsi.

Vuosien 2020 ja 2021 vuosituotannosta nähdään, että tuottoisimpina kuukausina touko- elokuu väliltä, kun säteilyä kerääntyy eniten aurinkovoimalalle, itäsuuntaus on tuottoisampi kuin länsisuuntaus. Länsisuuntaus tuottaa enemmän kuin itä suuntaus vain joinakin kuukausina alku- ja loppuvuodesta. Vuonna 2020 itä tuottaa 4 % (166,3 kWh) enemmän kuin länsi ja vuonna 2021 itä tuottaa 3 % (127,1 kWh) enemmän kuin länsi.

Kahden vuoden datasta voidaan havaita, että kesäkuu on paras tuotantokuukausi. Kesäkuu on ainut kuukausi kahden vuoden aikana, jolloin aurinkovoimalan jokainen suuntaus ylittää yli 800 kWh tuottoihin. Toiseksi parhaat tuotto kuukaudet ovat toukokuu ja heinäkuu. Yhteensä touko-, kesä-, ja heinäkuu tuottavat yli puolet koko vuoden tuotannosta, 53,7 % vuonna 2020 ja 51,8 % vuonna 2021. Vuosituotannosta nähdään myös, että yhteensä maaliskuu-syyskuu aikana aurinkovoimala tuottaa yli 90 % tuotannostaan.

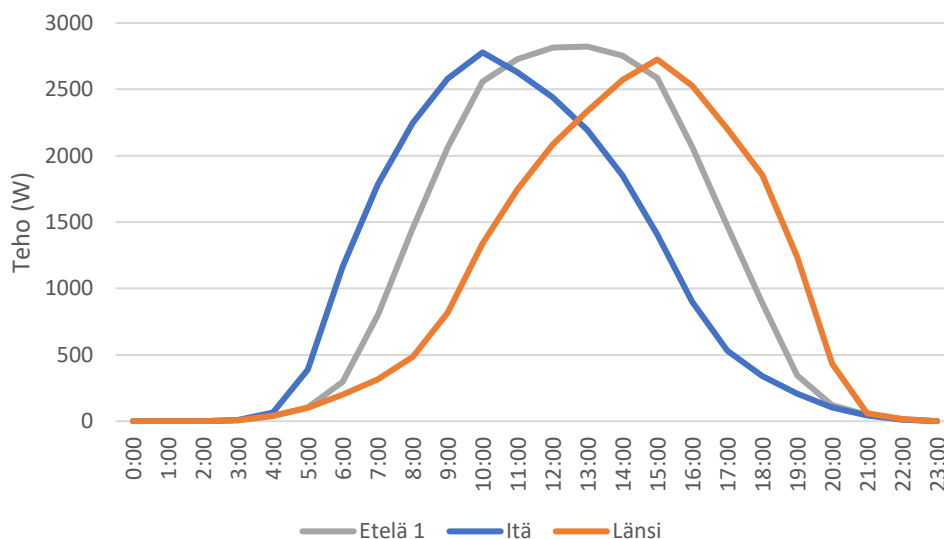
Vuotuisia kuukausituotantoja vertaamalla huomataan, kuinka pilvisuus vaikuttaa kuukausituotantojen eroihin. Toukokuussa vuonna 2020 nähdään, että eteläsuuntauksen tuotanto on lähes 900 kWh, kun taas vuonna 2021 toukokuun tuotto ylittää vain 660 kWh:n. Toukokuun kokonaistuotanto laski siis 36 % edelliseen vuoteen verrattuna. Vuoden 2021 toukokuun

tuotannosta huomataan myös, että pilvisenä kuukautena idän suuntauksen tuotanto on lähimpänä etelä suuntauksen tuotantotasoa kahden vuoden aikana.

Taulukosta 5.1 nähdään, että suuntaukset tuottavat suurimman osan tuotannostaan touko-elokuussa. Taulukosta 5.1 nähdään, että suuntausten kuukausituotantojen prosenttiosuudet eivät erotu toisistaan suuresti, vain parin prosentti yksikön verran joinakin kuukausina. Eroa suuntausten kuukausituotantojen prosenttiosuuksien välillä on se, että etelä suuntaus tuottaa paremmin alku- ja loppuvuodesta kuin itä- ja länsisuuntaus, joten itä- ja länsisuuntauksen tuotantojen prosenttiosuus kesällä on suurempi kuin etelä suuntauksella.

5.2 Vuorokauden vaikutus aurinkovoimalan tuotantoon

Aurinkovoimalan tuotot riippuvat vuorokauden ajasta. Auringon liikkeestä taivaalla johtuen, eri suuntaukset aloittavat tuotantonsa eri aikaan ja saavuttavat huippunsa eri aikaan. Kuvassa 5.3 on kuvattu maalisi-syyskuun keskimääräinen päivä tuotanto ja kuvasta nähdään mihin ajankohtaan suuntauksien tuotannot kohdistuvat keskimäärin maalisi- ja syyskuun välillä. Kuvasta nähdään, kuinka auringon paikka taivaalla muuttuu päivän mittaan ja kuinka se vaikuttaa päivän tuottoihin.

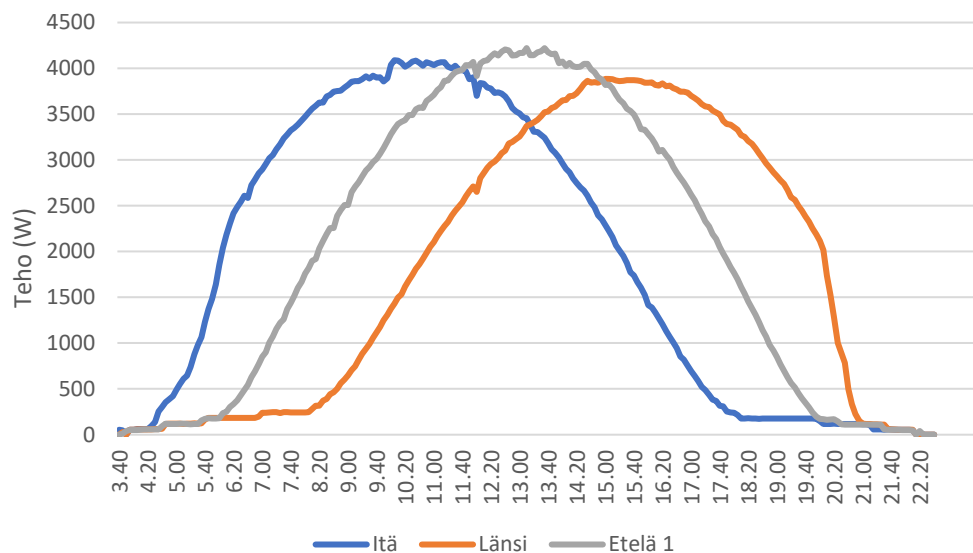


Kuva 5.3. Keskimääräinen päivä tuotanto maalisi-syyskuu 2020. 1 tunnin datasta

Kuvasta 5.3 nähdään kuinka suuntauksien tuotannot kohdistuvat eri päivänaikaan. Auringon noustessa idästä ja laskiessa länteen, itäsuuntaus tuottaa eniten aamupäivällä saadessaan eniten suoraa säteilyä ja länsisuuntaus tuottaa eniten iltpäivällä saadessaan eniten suoraa säteilyä. Kuvasta 5.3 nähdään, että itäsuuntauksen tuotanto on keskimäärin tunnin etelä suuntauksen tuotantoja edellä aamupäivällä. Iltpäivällä länsisuuntaus on keskimäärin tunnin etelä suuntausta jäljessä tuotannossa.

Suuntaukset saavuttavat huippunsa eriaikaan. Idän suuntauksen tuotanto kohdistuu aamupäivään ja suuntaus saavuttaa huippunsa ensimmäisenä keskimäärin kello 10. Idän suuntaus saavuttaa huippunsa noin 3 tuntia ennen etelä suuntausta ja 5 tuntia ennen länsi suuntausta. Idän suuntaus on tuottoisin suuntaus noin kello 11 asti kunnes etelän suuntaus ohittaa sen tuotannossa. Eteläsuuntauksen tuotto painottuu keskipäivään ja suuntauksen tuottoisimmat hetket kohdistuvat kello 11 ja 15 välille. Etelän suuntaus saavuttaa huippunsa noin kello 12–13. Viimeisenä suuntauksista huippunsa saavuttaa länsisuuntaus. Lännen suuntauksen tuotanto kohdistuu iltapäivään ja saavuttaa huippunsa noin kello 15. Kuvasta nähdään, että idän ja lännen käyrät ovat toistensa peilikuvia, ja tuotantoerot etelä-, itä- ja länsisuuntauksien välillä ovat pieniä.

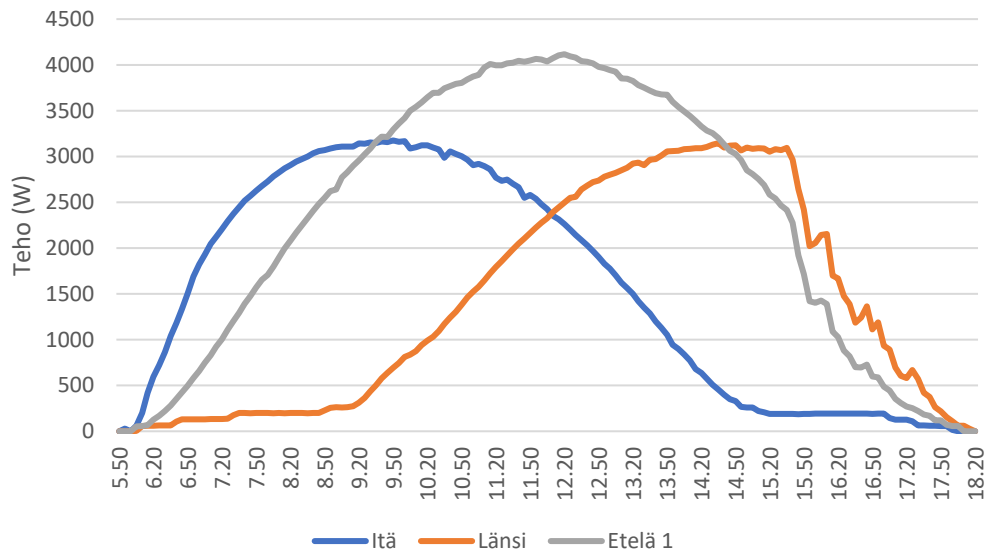
Kuvasta 5.4 nähdään, kuinka tuottoisimpina kuukausina suuntauksien päivätuotannot ovat lähes yhtä suuret.



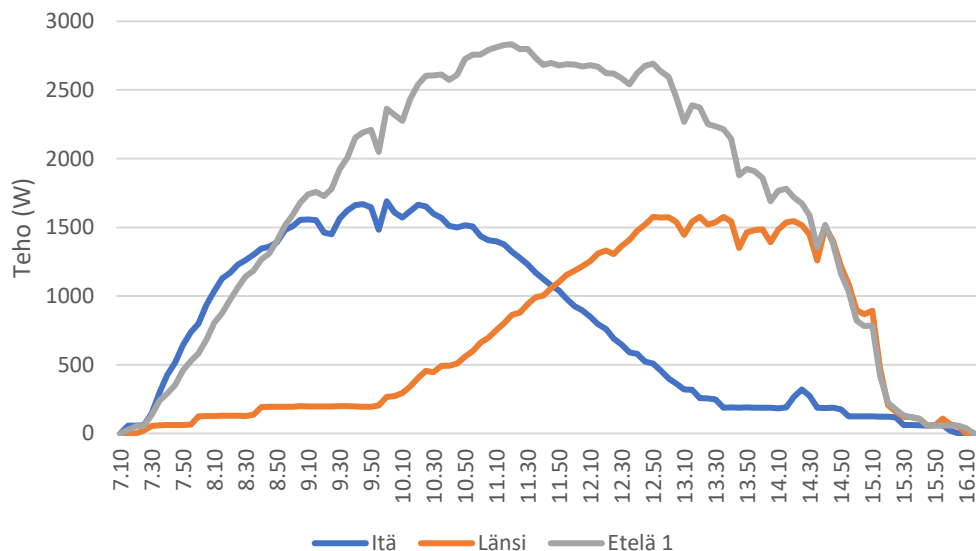
Kuva 5.4 Päivä tuotanto 14.06.2020. 5 minuutin datasta.

Kesäkuun päivätuotannosta nähdään, kuinka suuntauksien päivätuotannot ovat lähes yhtä suuret suuntauksien päivätuotannot eroavat toisistaan vain 1–4 kWh. Kuvasta nähdään ajallisen eron olevan suurempi kuin keskimäärin maalisi- ja syyskuun välillä. Esimerkiksi itäsuuntaus saavuttaa 2,5 kW tehorajan kello 6:25 kun taas etelä vasta kello 8:50. Eli itäsuuntauksella on aamupäivällä yli 2 tunnin ajallinen etu etelään verrattuna. Iltapäivällä tapahtuu sama ilmiö länsi- ja eteläsuuntauksen kohdalla. Iltapäivällä länsisuuntauksen teho laskee alle 2,5 kW:n yli 2 tuntia myöhemmin kuin eteläsuuntaus.

Alku- ja loppuvuodesta aurinkovoimalan tuotannot ovat pienimmillään vähäisen auringon säteilyn takia. Kuvista 5.5 ja 5.6 nähdään kuinka selkeinä päivinä alku- ja loppuvuodesta etelään suunnattu paneeliketju tuottaa enemmän päivän aikana kuin itä- tai länsisuuntaus.



Kuva 5.5. Päivä tuotanto 22.03.2020. 5 minuutin datasta.



Kuva 5.6. Päivä tuotanto 25.10.2020. 5 minuutin datasta.

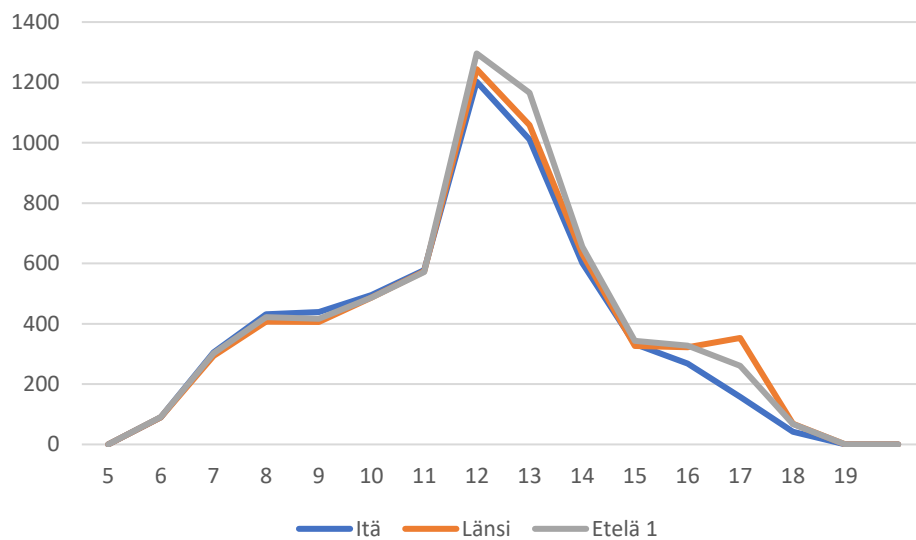
Maaliskuussa selkeänä päivänä (kuva 5.5) etelä 1 ominaistuotanto oli 5,6 kWh/kWp, vain 19 % (1,4 kWh/kWp) vähemmän kuin itä ja länsi suuntausten ominaistuotanto yhteensä (6,9 kWh/kWp). Lokakuussa selkeänä päivänä (kuva 5.6) etelä 1 paneeliketjun ominaistuotanto oli 0,4 kWh/kWp enemmän kuin itä- ja länsisuuntauksen ominaistuotanto yhteensä. Selkeinä päivinä alku- ja loppuvuodesta eteläsuuntaus tuottaa siis selkeästi enemmän kuin itä- tai länsisuuntaus ja loppuvuodesta jopa enemmän kuin itä- ja länsisuuntaus yhdessä. Kuukausitasolla suuntauksien tuotanto erot eivät kuitenkaan erotu muista kuukausista, alku- ja loppuvuoden runsaan pilvisyyden takia.

Kuvasta 5.5 ja 5.6 nähdään, että itä- ja länsisuuntauksien tuotantojen ajallinen ero etelän kanssa tasoittuu alku- ja loppuvuodesta. Kuvasta 5.5 nähdään, että etelä suuntauksen ajallinen ero itä- ja länsi suuntauksiin aamu- ja iltapäivällä on vain tunnin. Kuvasta 5.6 nähdään, kuinka loppuvuodesta eteläsuuntauksen teho käyrä mukailee itä- ja länsisuuntausta aamu- ja

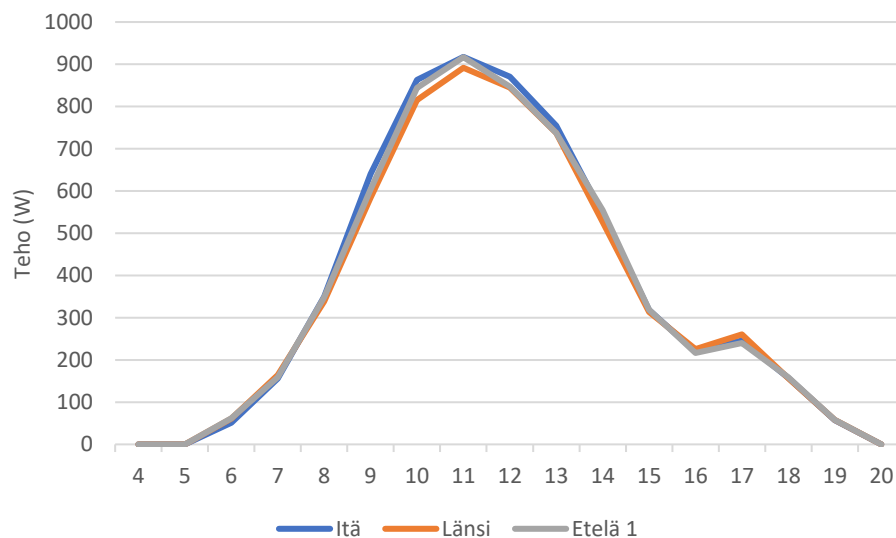
iltapäivällä. Joten itä- ja länsi suuntauksien ajallista eroa etelään aamu- ja iltapäivällä ei ole loppuvuodesta.

5.3 Pilvisyyden vaikutus tuotantoon

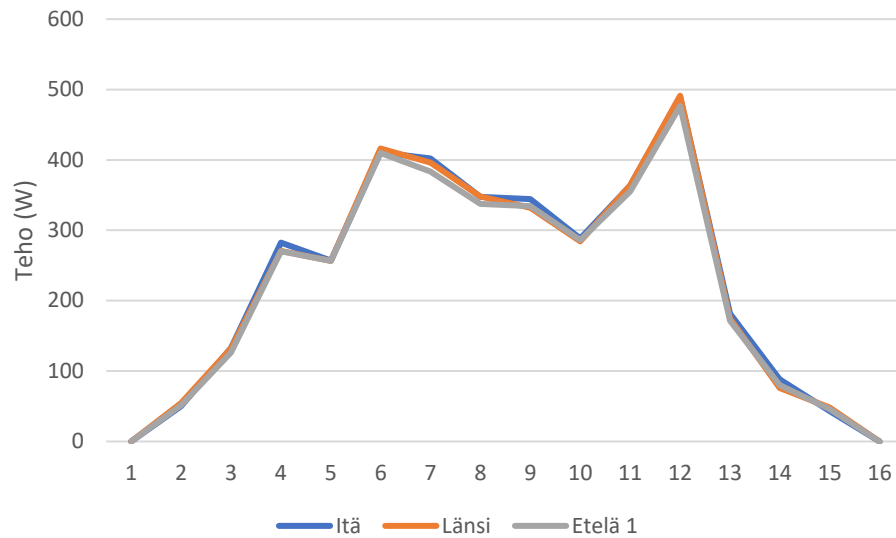
Kohteesta kerätystä datasta huomataan pilvien vaikutus päivätuotantoon. Verrattuna pilvetömään päivään koko päivän kestävä pilvipeite laski päivätuotantoa jopa yli 60 %:a suuntauksesta riippumatta. Kuvista 5.7, 5.8, 5.9 ja 5.10 nähdään kuinka pilvien vaikutus tuottoihin on selkeästi havaittavissa eri vuodenaikoina.



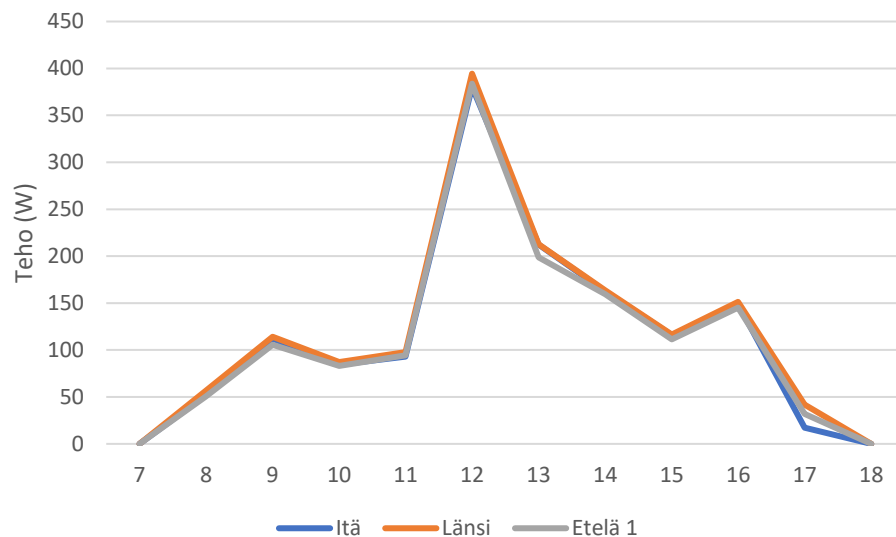
Kuva 5.7. Pilvisen päivän tuotanto 26.03.2020



Kuva 5.8. Pilvisen päivän tuotanto 04.06.2020



Kuva 5.9. Pilvisen päivän tuotanto 31.8.2020



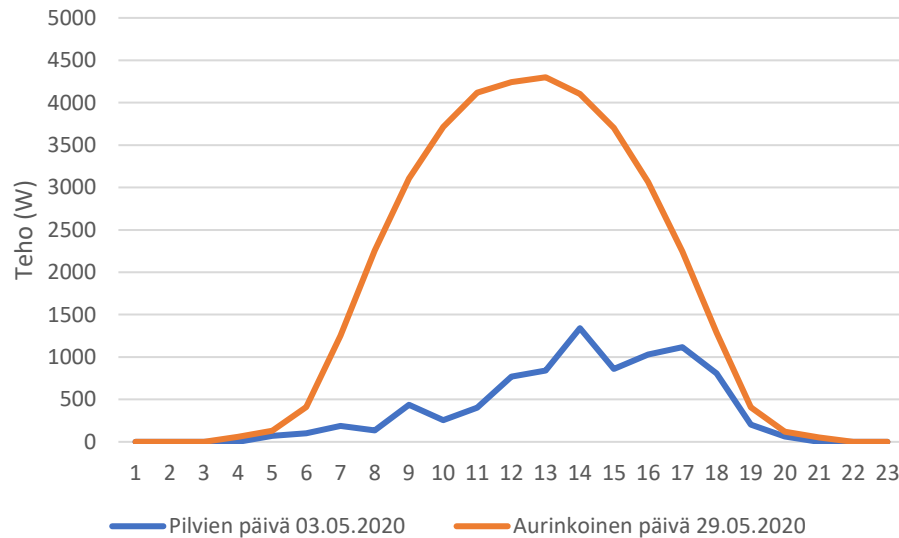
Kuva 5.10. Pilvisen päivän tuotanto 23.10.2020

Kuvista nähdään kuinka pilvisenä päivänä vuodenajalla ei ole väliä tuotantoon ja kuinka auringon liikkeestä johtuvat suuntausten tuotantohuiput eri ajankohtina eivät toteudu. Pilvisenä päivänä vuoden ajasta riippumatta suuntauksien tuotannot ovat yhdenvertaisia ja nähdään, että aurinkovoimalan suuntauksella ei ole väliä tuotannon suuruuteen.

Pilvisen päivän tuotanto riippuu pilvien paksuudesta ja pinta-alasta. Paksu koko taivaan peittävä pilvikerros vähentää säteilyn määrää enemmän kuin ohut pilvikerros. Kuvista 5.7 ja 5.9 huomataan kuinka pilven paksuus vaikuttaa eri tavalla tuotantoon. Kuvassa 5.7 tuotanto ylittää päivän aikana yli 1,2 kW tehoon joka suuntauksissa, mutta kuvassa 5.9 suuntausten teho jää hyvin pieneksi eikä ylitä edes 500 W rajaa päivän aikana ja kuvan 5.9 päivän kokonais-tuotanto on 41 % pienempi kuin kuvan 5.7 tuotanto.

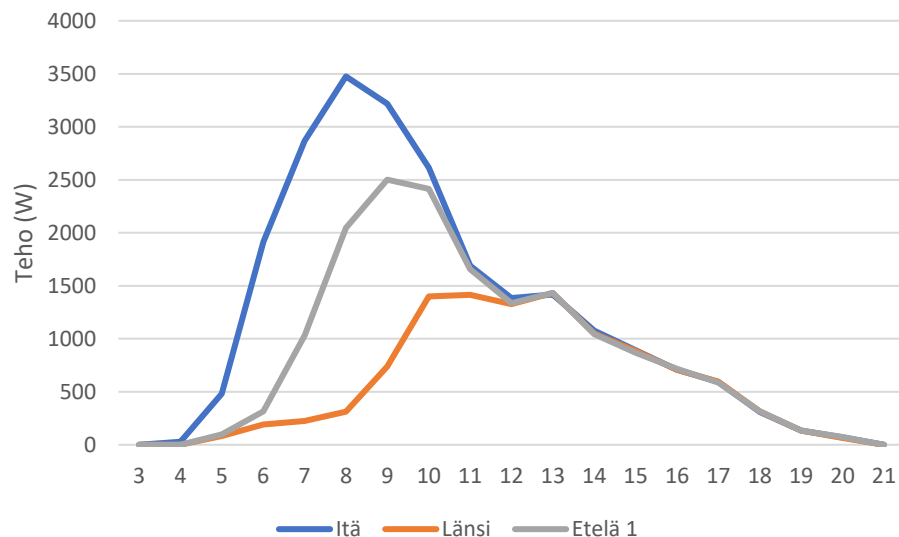
Pilvisen päivän tuotanto laskee huomattavasti aurinkoisesta päivästä. Kuvasta 5.11 nähdään saman kuukauden etelä 1 tuotanto aurinkoisena päivänä ja pilvisenä päivänä. Pilvisen päivän

tuotanto oli 63 % pienempi kuin aurinkoisen päivän. Suomessa pilvisiä päiviä on koko vuoden ajalta enemmän kuin pilvettämiä, joten pilvistä johtuvat tuotantohäviöt ovat suuret vuositasolla.



Kuva 5.11. Etelä-1 aurinkoisen päivän ja pilvisen päivän tuotanto.

Kuvasta 5.12 nähdään kuinka osittain pilvinen päivä vaikuttaa tuotantoon. Päivän tuotannosta nähdään, kuinka aamupäivä on aurinkoinen, kunnes pilvet peittävät aurinkovoimalan.



Kuva 5.12. Päivän tuotanto. 03.05.2021

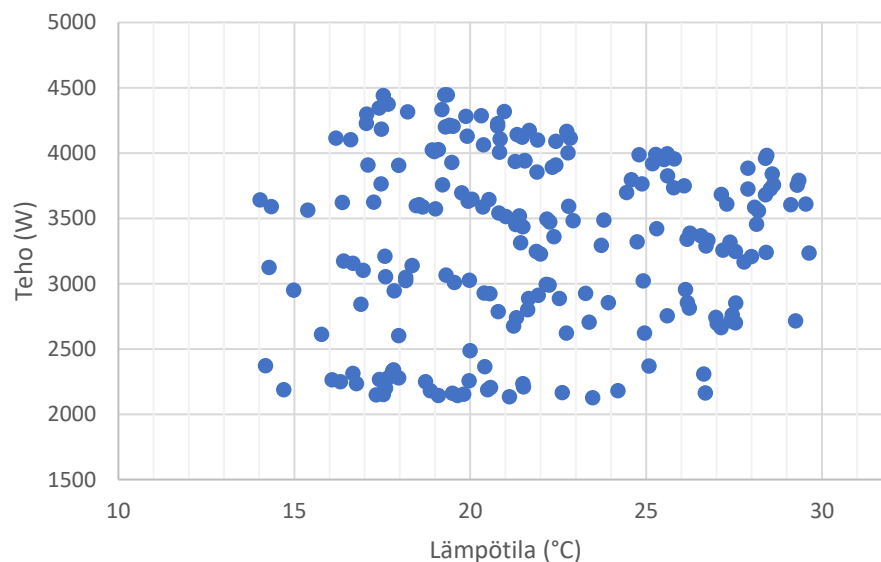
Kuvasta 5.12 nähdään, kuinka itä suuntauksen teho saavuttaa 3,5 kW rajan aamulla, kunnes pilvet peittävät aurinkovoimalan ja teho tippuu alle 1,5 kW jokaisessa suuntauksessa. Tällaisina päivinä idän suuntaus tuottaa suuntauksista eniten ja länsisuuntaus vähiten. Itä suuntauksen ominaistuotanto kuvan 5.12 päivän aikana oli 4,2 kWh/kWp, mikä oli 38 % enemmän kuin etelä 1 ja 110 % enemmän kuin länsisuuntauksen ominaistuotanto. Jos samanlaisia

päiviä toistuu useasti, kuukausitasolla idän suuntaus saavuttaa eteläsuuntausta kuukauden kokonaistuotannossa. Kyseinen päivätuotanto osoittaa osaksi, miksi toukokuussa 2021 itäsuuntauksen kokonaistuotanto on lähes eteläsuuntauksen suuruinen.

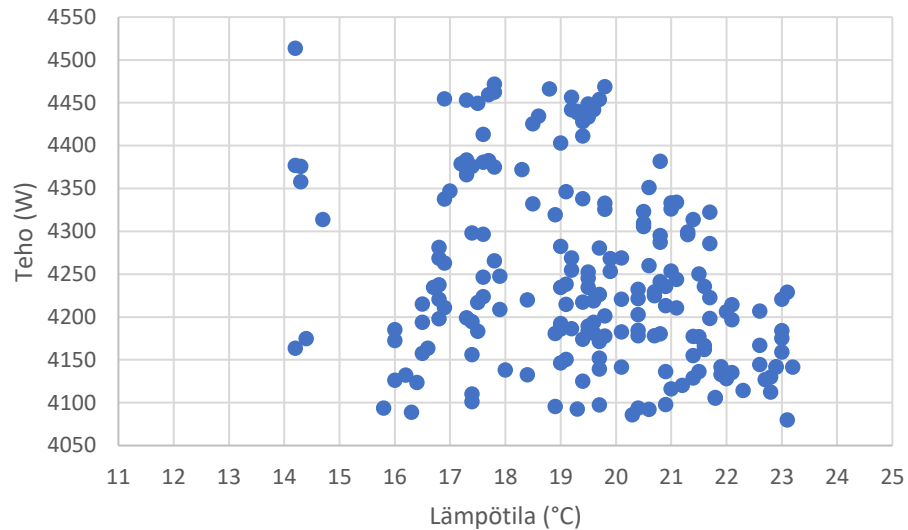
5.4 Lämpötilan vaikutus tuotantoon

Tässä kappaleessa käsitellään lämpötilan vaikutusta tuotantoon. Lämpötiladataa saatiin ilmatieteen laitokselta Lappeenrannan lentoasemalta. Tässä kappaleessa käytettävä ilman lämpötiladata ei kerro paneelin toimintalämpötilaa, jonka voidaan olettaa olevan lämpimämpi kuin ilman lämpötila.

Kuvissa 5.13 ja 5.14 on esitetty etelä 1 suuntauksen tehokkaimmat 200 hetkeä ja niiden lämpötilat 10 minuutin datasta ja 1 tunnin datasta. 10 minuutin datasta tuottoisimpia hetkiä voi kertyä samalta päivältä monta, kun taas 1 h datasta tuottoisimmat hetket kohdistuvat useampiin päiviin. Kuvista nähdään kuinka lämpötila vaikuttaa aurinkovoimalan tuotantoon.



Kuva 5.13. Kesäkuun 2020 etelä 1 tuottoisimmat 200 hetkeä. 1 tunnin data



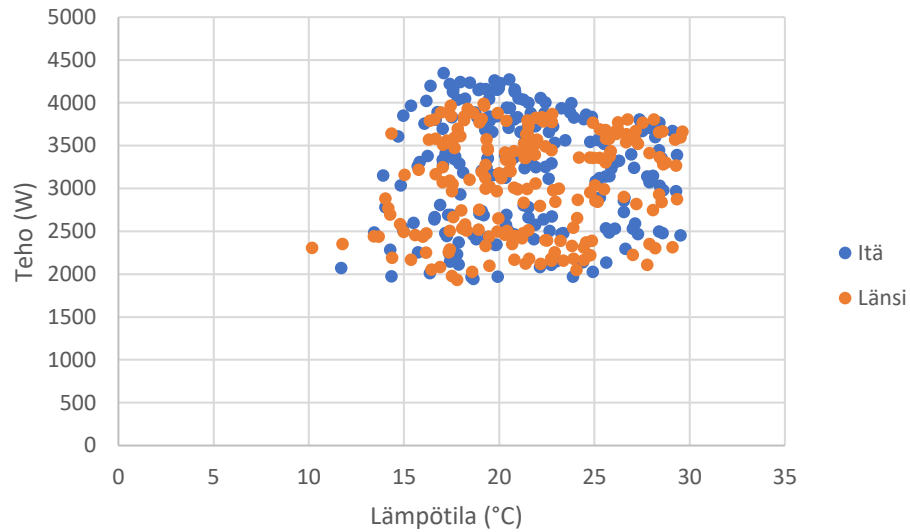
Kuva 5.14. Kesäkuun 2020 etelä 1 tehokkaimmat 200 hetkeä. 10 minuutin data

Tehokkaimmista hetkistä nähdään kuinka lämpötilan noustessa huipputehohetket laskevat. Kuvasta 5.13 nähdään kuinka kesäkuun tuottoisimmat hetket tunnin datasta kohdistuvat lämpötilan ollessa alle 20 °C ja tuottoisin hetki on lämpötilan ollessa 19,5 °C. Kesäkuussa 1 tunnin resoluutiolla teho ei ylitä 4 kW rajaa kertaakaan lämpötilan ollessa yli 25 °C.

Kuvasta 5.14 nähdään selkeämmin 10 min datasta kuinka lämpötila vaikuttaa tuotantoon. Hetkelliset huipputehot käyvät yli 4450 W lämpötilan ollessa alle 20. Kun lämpötila ylittää 20 °C asteen rajan, huipputuotot laskevat, eikä lämpötilan noustessa yli 20 °C, teho ylitä 4400 W rajaa kertaakaan.

Tuloksista huomataan, kuinka lämpötilan noustessa teho laskee ja lämpötilan laskiessa teho nousee. Molemmista kuvista 5.13 ja 5.14 nähdään kuinka tehokkaimmat hetket kohdistuvat lämpötilan ollessa alle 20 °C. Ja lämpötilan ylittäessä 20 °C, teho ei nouse huippulukuihin.

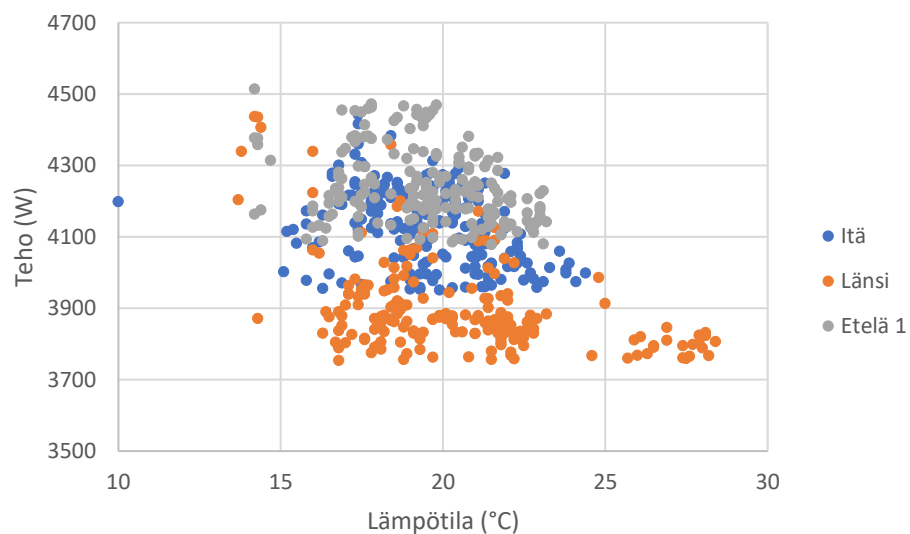
Kuvaan 5.15 on koottu itä- ja länsisuuntauksen tehokkaimmat 200 hetkeä ja lämpötila 1 tunnin datasta. Kuvasta nähdään, että idän ja lännen tuottoisimmat hetket kohdistuvat samalle lämpötila-alueelle 15–30 °C.



Kuva 5.15. Kesäkuu 2020 tuottoisimmat 200 hetkeä. 1 tunnin data

Suuntausten välillä huomataan, että idän suuntauksen parhaimmat huipputehot peittoavat lännen suuntauksen parhaimmat huipputehohetket. Syy idän parempiin tuottoihin kuumina päivinä on se, että lännen suuntauksen paneelit lämpenevät enemmän iltpäivällä, kuin idän suuntauksen paneelit aamupäivällä. Päivän mittaan auringon paistaessa ympäristön lämpötila nousee ja on iltpäivällä lämpimillään. Kyseinen ilmiö huomataan esimerkiksi talojen kattojen pinnoista, jotka ovat aurinkoisina päivinä aamupäivisin vielä viileitä, mutta iltpäivällä polttavan kuumia. Ympäristön lämpötila, kuten esimerkiksi talojen katoista heijastuva lämpötila, vaikuttaa paneelien hyötysuhteeseen laskien tehokkuutta.

Kuvaan 5.16 on koottu kesäkuun tehokkaimmat 200 hetkeä ja niiden lämpötila 10 minuutin datasta. Kuvasta nähdään selkeämmin, kuinka lämpötilan noustessa paneelien teho laskee jokaisessa suuntauksessa.

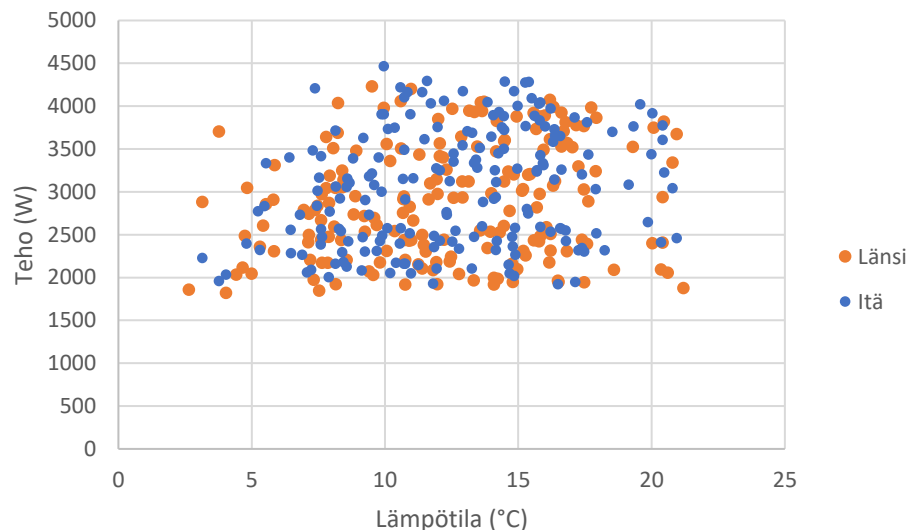


Kuva 5.16. Kesäkuu 2020 tuottoisimmat 200 hetkeä. 10 minuutin data

Kuvasta 5.16 nähdään, että etelä 1 ja itä suuntauksen tehokkaimmat hetket kohdistuvat samassa lämpötilassa, mutta etelä 1 on tehokkaampi. Etelä 1 on tehokkain, koska keskipäivällä säteilyä kohdistuu eniten aurinkovoimalalle päivän aikana ja ympäristön lämpötila ei ehdi lämmentä niin lämpimäksi kuin iltapäivällä.

Kuvasta 5.16 nähdään, kuinka ympäristön lämpötila vaikuttaa suuntauksista eniten länsisuuntaukseen. Länsisuuntauksen tehokkaimpia hetkiä tapahtuu samoissa lämpötiloissa kuin etelä ja itä, mutta suuntauksen tehot jäävät pienimmiksi. Voidaan siis olettaa, että länsisuuntauksen paneelien lämpötila nousee päivän mittaan kuumemmiksi, kuin itä- ja eteläsuuntauksen paneelit, jolloin länsisuuntauksen huipputehot jäävät pienemmiksi.

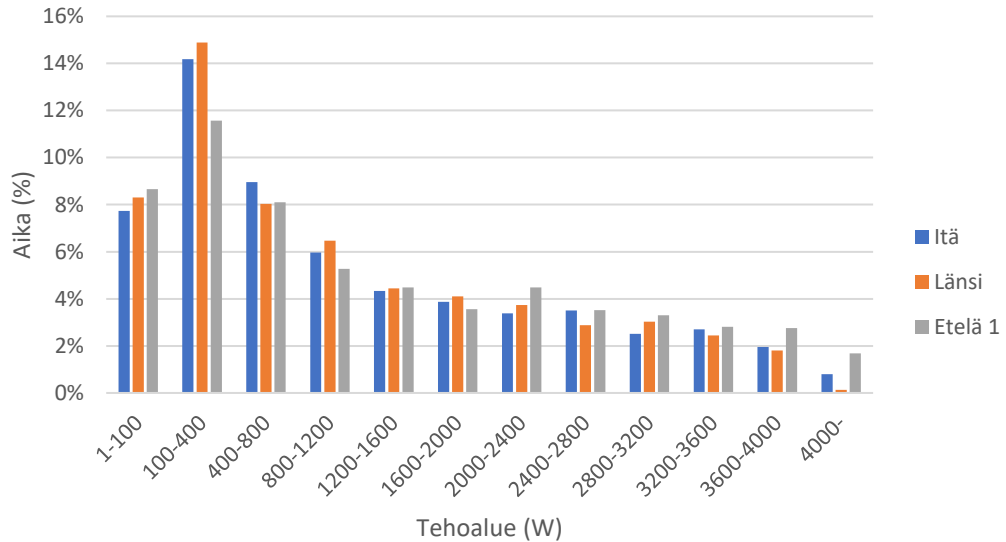
Kuvasta 5.17 nähdään kuinka itä- ja länsi suuntauksien tehokkaimmat hetket kasaantuvat alle 20 °C ja lämpötilan ollessa yli 20 °C tehokkaimpia hetkiä on vain vähän. Tämä johtuu siitä, että toukokuu on viileämpi kuukausi eikä yli 20 °C päiviä ole montaa. Kuvasta nähdään kuinka viileänä kuukautena itä- ja länsisuuntauksien tehokkaimmat hetket ovat yhdenvertaisia.



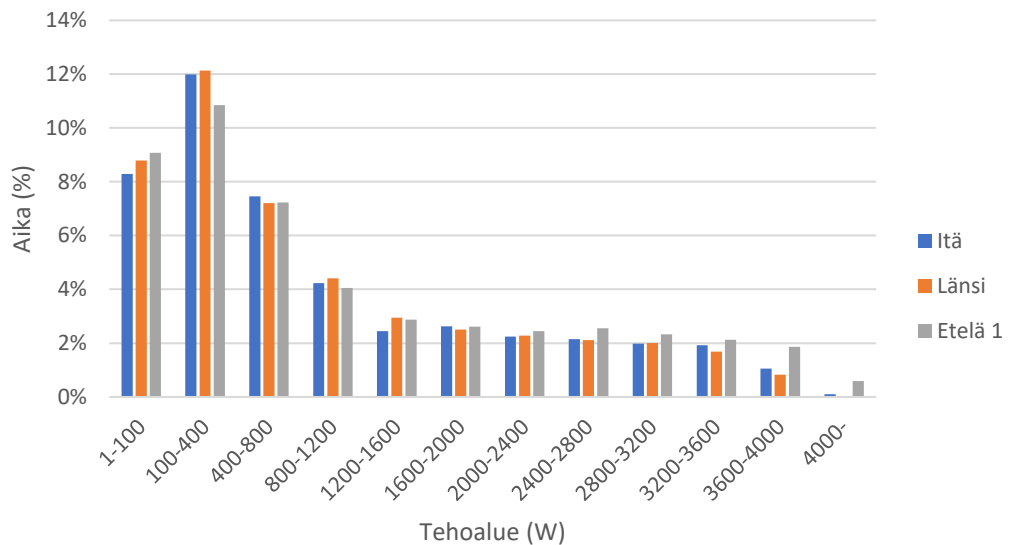
Kuva 5.17. Toukokuu 2020 tuottoisimmat 200 hetkeä. 1 tunnin data

5.5 Tehoalueella vietetty aika

Kuvista 5.18 ja 5.19 nähdään suuntauksien vuotuinen aika prosentteina tehoalueella 400 W välein.



Kuva 5.18. suuntauksien prosentti osuus vuotuisesta ajasta tehoalueella vuonna 2020



Kuva 5.19. suuntauksien prosentti osuus vuotuisesta ajasta tehoalueella vuonna 2021

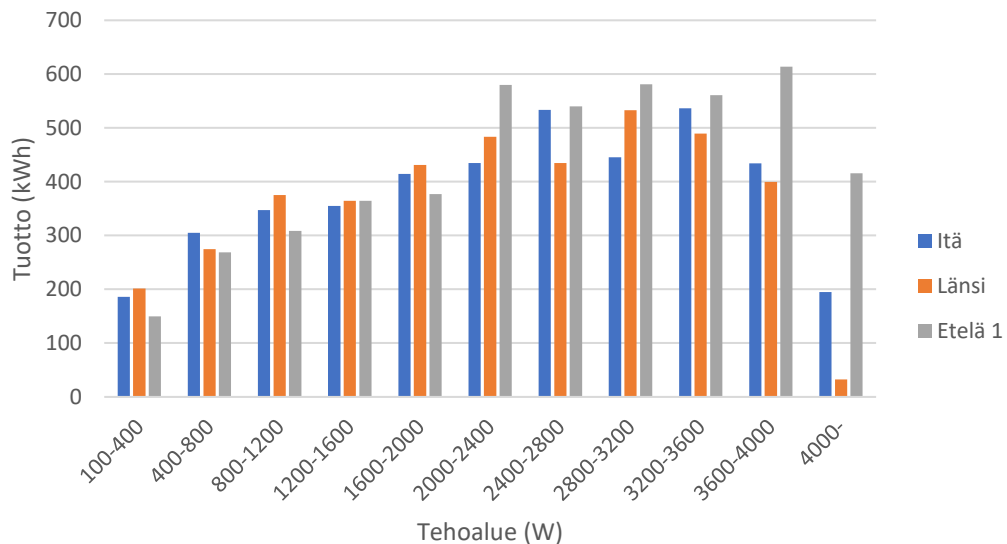
Jokaisessa suuntauksessa nähdään, että suurin aika vuodessa vietetään 100–400 W tehoalueella. Kyseinen tehoalue kohdistuu aamu- ja ilta-aikoihin, kuten nähdään kuvasta 5.3 Suuntauksia vertaamalla huomataan, että etelän suuntaus vietti vähiten aikaa 100–400 W tehoalueella, joka kohdistui aamuun ja iltaan. Kuten kuvasta 5.3 nähdään, etelän suuntauksen tuotto lähtee jyrkimpään nousuun aamulla ja jyrkimpään laskuun illalla, joten suuntaus viettää vähiten aikaa 100–400 W alueella. Kun taas idän suuntaus lähtee loivaan laskuun illalla ja lännen suuntaus lähtee loivaan nousuun aamulla, jolloin suuntauksien viettävät aikaa 100–400 W tehoalueella.

Vertailemalla idän ja lännen suuntauksia nähdään, että molemmat suuntaukset poikkeavat toisistaan vain vähän. Suurin eroavaisuus idän ja lännen välillä huomataan yli 4 kW tehoalueella. Idän suuntaus oli yli 4 kW teho alueella eli noin 75 % nimellistehosta, kahden vuoden aikana vain 79 tuntia. Länsisuuntauksessa yli 4 kW teho alueella vietettiin aikaa vielä vähemmän vain n. 13 tuntia kahden vuoden aikana. Etelän suuntaus vietti suuntauksista eniten aikaa yli 4 kW tehoalueella n. 200 tuntia. Tehoalue oli noin 77 % etelä 1 paneeliketjun nimellistehosta.

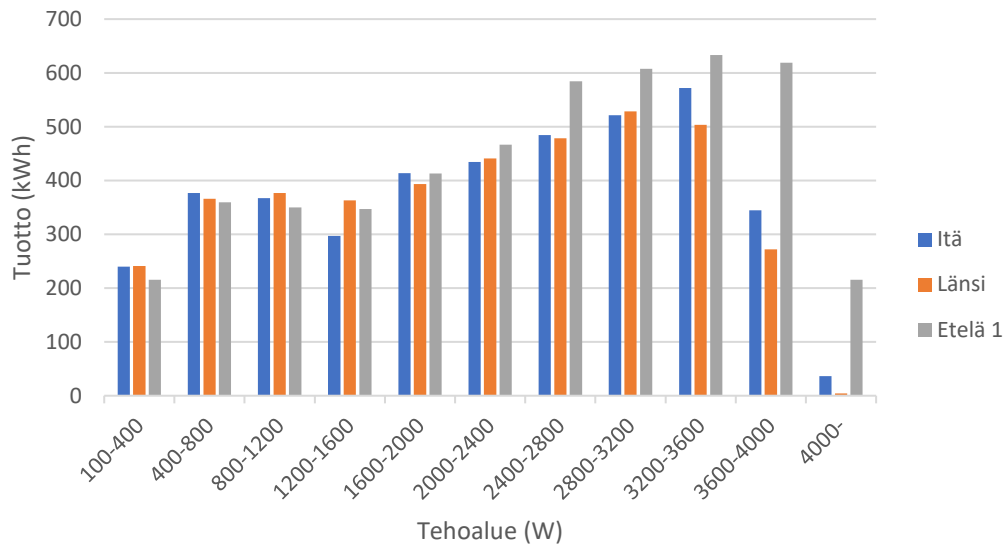
Eteläsuuntauksen paremmuus nähdään, kun päästään 2 kW tehoalueelle ja siitä ylöspäin. 2 kW tehoalueesta lähtien eteläsuuntaus viettää eniten aikaa suuremmilla tehoalueilla.

5.6 Tehoalueella tuotettu tuotto

Kuvista 5.20 ja 5.21 nähdään suuntauksien tietyllä tehoalueella tuotettu tuotto 400 W välein vuonna 2020 ja 2021.



Kuva 5.20. Tehoalueella tuotettu tuotto 2020



Kuva 5.21. Tehoalueella tuotettu tuotto 2021

Kuvista 5.20 ja 5.21 nähdään, että suuntauksien suurimmat tuotot tehdään 2–4 kW tehoalueilla.

Vuonna 2020 etelän suuntaus tuottaa 2–4 kW tehoalueella n. 60 % kokonaistuotosta. Vuonna 2020 etelän suuntaus tuotti yli 4 kW alueella n. 9 % kokonaistuotosta ja vuonna 2021 n. 4 % kokonaistuotannosta. Suuntauksen tuottoisin tehoalue vuonna 2020 oli 3,6–4 kW eli keskiarvoltaan 73 % suuntauksen nimellistehosta, jossa suuntaus tuotti 13 % kokonaistuotannosta. Vuonna 2021 tuottoisin tehoalue oli 3,2–3,6 kW, jossa suuntaus tuotti myös 13 % vuosituotannostaan.

Itäsuuntaus tuotti 2–4 kW tehoalueella, 57 % vuosituotannosta vuonna 2020. Suuntauksen tuottoisin tehoalue on 3,2–3,6 kW eli keskiarvoltaan 63 % nimellistehostaan, jossa suuntaus tuotti 13 % kokonaistuotannosta vuonna 2020 ja 14 % vuonna 2021. Yli 4 kW alueella itäsuuntaus tuotti 5 % kokonaistuotannosta vuonna 2020 ja 1 % vuonna 2021.

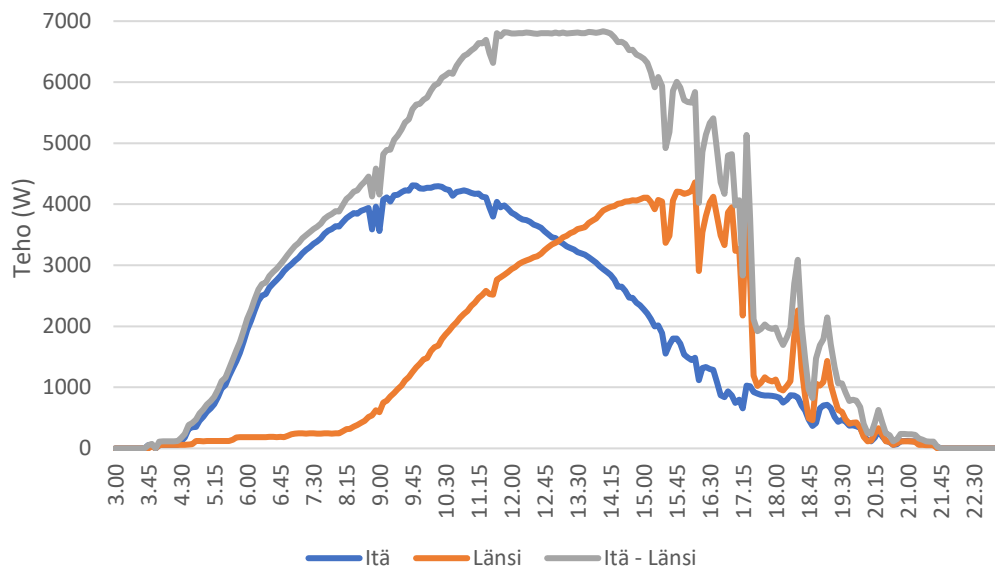
Länsisuuntaus tuotti 2–4 kW tehoalueella 58 % vuosituotannosta vuonna 2020. Länsisuuntauksessa tuottoisin tehoalue on 2,8–3,2 kW tehoalue eli keskiarvoltaan 56 % nimellistehostaan, jossa suuntaus tuotti 13 % molempina vuosina. Länsisuuntauksessa yli 4 kW tehoalueella tuotetaan vähiten muihin suuntauksiin verrattuna. Yli 4 kW tehoalueella tuotetaan vain n. 1 % kokonaistuotosta vuonna 2020 ja alle 1 % kokonaistuotosta vuonna 2021 kokonaistuotosta eli mitätön määrä.

Kuvista 5.20 ja 5.21 huomataan itä- ja länsisuuntauksien tuottojen olevan samaa luokkaa 3,2 kW tehoalueelle saakka. Tehoalueesta 3,2 kW eteenpäin huomataan, että länsi suuntauksen tuotto lähtee jyrkempään laskuun kuin itäsuuntauksen tuotto. Suurimmilla tehoalueilla itäsuuntaus tuottaa siis enemmän kuin länsisuuntaus.

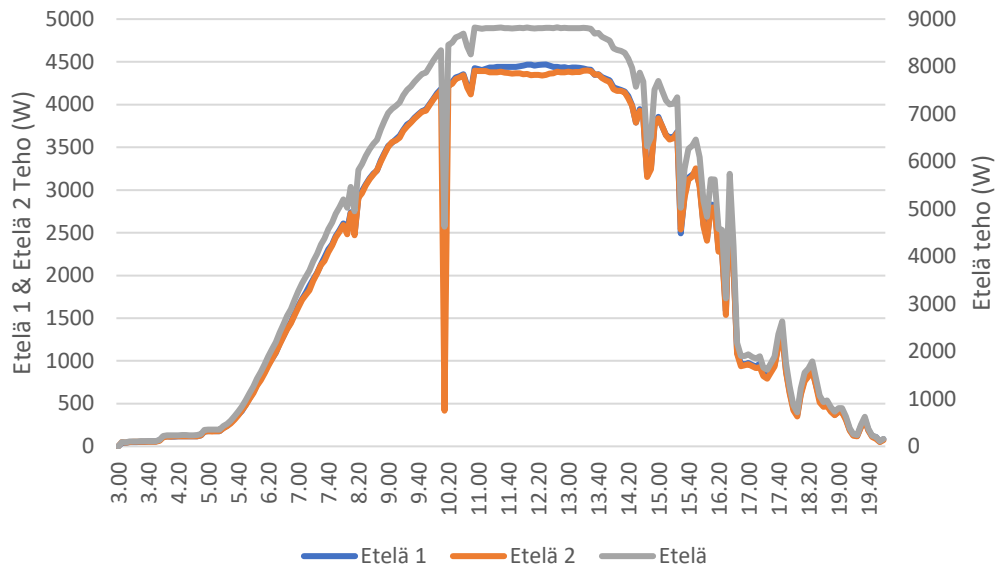
5.7 Tuotannon leikkaantuminen

Aurinkovoimalan paneelitehojen ylityöittämisestä aiheutuu tuoton leikkauksia, kun paneelitetjen teho nousee lähelle invertterin nimellistehoä. Aurinkovoimalan itä- ja länsisuuntauksien kokonaiskapasiteetti on 10,7 kWp ja invertterin nimellisteho 7 kW. Idän ja lännen paneeliteho on siis ylityöitetty 1,5 kertaiseksi. Etelä suuntauksen kokonaiskapasiteetti on 10,4 kWp ja invertterin nimellisteho 9 kW. Etelä suuntauksen paneeliteho on ylityöitetty 1,2 kertaiseksi.

Kuvista 5.22 ja 5.23 nähdään tuotannon leikkaantumista, kun paneelien tuottama teho arvo lähestyy invertterin nimellistehoä. Kuvassa 5.22 on kuvattu kuinka tuottoisan päivän aikana itä- ja länsisuuntausten tuotantoa leikataan ja kuvasta 5.23 nähdään, kuinka tuotanto leikkaantuu eteläsuuntauksessa.



Kuva 5.22. Itä ja länsi suuntauksien päivätuotanto ja yhteenlaskettu tuotanto 6.7.2020. 5 minuutin data.



Kuva 5.23. Etelä suuntauksen molempien paneeliketjujen päivätuotanto ja yhteenlaskettu tuotanto. 7.6.2020 5 min data

Kuvassa 5.22 on kuvattu kuinka tuottoisan päivän aikana itä- ja länsisuuntausten yhteen laskettu teho lähestyy 7 kW arvoa. Kun itä- ja länsisuuntausten yhteen laskettu teho saavuttaa 6,8 kW arvon, itä- ja länsisuuntauksen invertteri aloittaa tuotannon leikkaamisen ja kuvasta 5.22 nähdään, kuinka itä ja länsi suuntausten yhteenlasketun tuotannon käyrä tasoittuu huippuarvossaan. Koska idän suuntauksen tuotot ovat laskussa ja länsi suuntauksen tuotot nousussa, leikkauksen tapahtuessa on vaikea nähdä kumpaa idän vai lännen paneeliketjua leikataan. Kuvasta voidaan nähdä, että leikkauksen tapahtuessa idän tuotantokäyrä ei muutu, mutta länsisuuntauksen tuotantokäyrä loivenee. Joten tuotannon leikkaantumisen itä- ja länsiketjun välillä tapahtuu länsisuuntauksen tuottojen leikkaantumisella.

Kuvasta 5.23 nähdään, kuinka tuotanto leikkaantuu eteläsuuntauksessa. Kuvasta nähdään selkeämmin kumman paneeliketjun etelä 1 vai etelä 2 tuotantoa leikataan. Eteläsuuntauksen kokonaistehon noustessa 8,8 kW invertteri leikkaa etelä 2 tuotantoa.

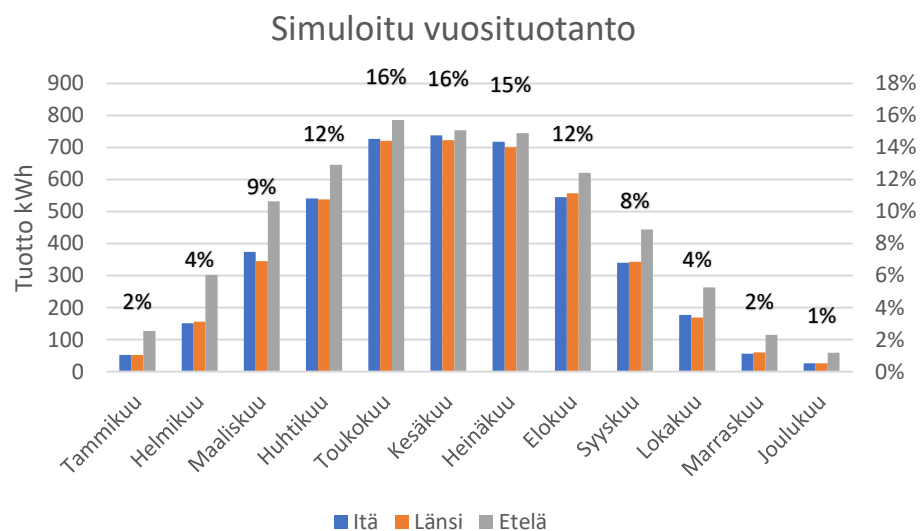
Aurinkovoimalan molemmat invertterit toimivat siis samalla tavalla ja leikkaavat tarvittaessa vain 2. paneeliketjua. Kuvasta 5.22 nähdään, kuinka länsisuuntauksen paneeliketjua leikataan ja kuvasta 5.23 kuinka etelä 2 paneeliketjua leikataan.

Yhden tunnin ja 5 minuutin resoluutiolla ei nähdä tarkasti, kuinka tuotanto leikkaantuu päivän aikana. Päivän aikana tuotanto voi vaihdella paljon, mutta sitä ei nähdä isolla resoluutiolla. Tuntitasolla tuotanto pysyy suhteellisen vakiona, mutta sekuntitasolla tuotanto vaihtelee nopeasti. Sekunti tasolla teho voi tuplaantua sekunneissa ja käydä tehorajalla monta kertaa päivässä. Invertterin mitoittaminen tuntitason tuotannon mukaan voikin lisätä leikkaantumisesta johtuvaa energiaa menetystä jopa 2 % vuositason. (Sallinen, 2017).

6. Simulointi

Aurinkovoimaloiden tuotantojen simulointia varten internetistä löytyy paljon erillaisia ohjelmistoja, joista voi valita itselleen mieluisimman. Aurinkovoiman simuloimisella voidaan tarkastella optimaalista tuotantoa mieleisillä parametreilla. Aurinkovoiman simuloimisessa on huomioitava, että eri ohjelmistot voivat antaa erillaisia tuloksia. Simuloidut tuotot antavat vain osviittaa oikean kohteen tuotoista ja simulointiohjelmien tuotot vaihtelevat valittujen parametrien ja käytettävän simulaatio-ohjelman mukaan.

Tässä työssä aurinkovoimalan simulaatiossa käytetään HOMER Pro -ohjelmistoa (Homerenergy, 2022). HOMER PRO -ohjelmisto käyttää hyväkseen kohteen paikallisia olosuhteita. Ohjelmisto ottaa huomioon muun muassa paikallisen säteilyn määrän, paikallisen lämpötilan, halutun asennus kulman ja atsimuuttikulman. Simuloidusta vuosituotannosta on koottu kuva 5.24 ja taulukko 5.2.



Kuva 5.24. Vuosituotanto ja kuukauden prosenttiosuus vuoden kokonaistuotannosta

Kuukausi	Itä	Länsi	Etelä
1	52 (1%)	52 (1%)	128 (2%)
2	151 (3%)	156 (4%)	302 (6%)
3	374 (8%)	345 (8%)	532 (10%)
4	541 (12%)	538 (12%)	646 (12%)
5	727 (16%)	721 (16%)	786 (15%)
6	738 (17%)	723 (16%)	754 (14%)
7	718 (16%)	701 (16%)	745 (14%)
8	545 (12%)	557 (13%)	621 (12%)
9	340 (8%)	343 (8%)	444 (8%)
10	177 (4%)	170 (4%)	263 (5%)
11	56 (1%)	60 (1%)	115 (2%)
12	26 (1%)	26 (1%)	59 (1%)
Yht (kWh)	4445	4392	5395
kWh/kWp	830	820	1038

Taulukko 5.2. Simuloitu kuukausituotanto (kWh/kk(%/vuosi))

Kun tarkastellaan vuoden 2021 itä, länsi ja etelä 1 vuosituotantoja ja simuloitua vuosituotantoa nähdään, että simuloitu aurinkovoimalan tuotanto oli joka suuntauksessa enemmän kuin oikean kohteen tuotanto. Simuloitu aurinkovoimala tuotti 1212,4 kWh enemmän kuin oikea aurinkovoimala vuonna 2021. Näin suuri ero tuotantojen välillä suurimmaksi osaksi johtuu simulaatio-ohjelman ylioptimisista arvioista tammi- helmikuu väliltä ja marras- joulukuu väliltä.

Vertailemalla oikean kohteen itä, länsi ja etelä 1 tuotantoja vuonna 2021 ja simuloitun aurinkovoimalan tuotantoja maaliskuu-syyskuun väliltä nähdään, että tuotto ero pienenee ja simuloitu vuosituotanto on vain 197,4 kWh suurempi kuin oikean aurinkovoimalan tuotto.

Suurin eroavaisuus todellisen vuosituotannon ja simuloitun vuosituotannon välillä on etelän suuntauksen suhteen. Simuloitu eteläsuuntauksen vuosituotanto oli 1037,5 kWh/kWp. Simuloitu vuosituotanto oli 102,9 kWh/kWp suurempi kuin oikean kohteen etelä 1 vuosituotanto vuonna 2021. Simuloitun aurinkovoimalan etelä suuntaus tuotti 535 kWh enemmän kuin oikean aurinkovoimalan etelä 1 suuntaus vuonna 2021.

Itä- ja länsisuuntauksen simuloituja tuotantoja vertaamalla nähdään, että myös simulaatio ohjelmassa itäsuuntaus on tuottoisampi kuin länsisuuntaus. Itä- ja länsisuuntauksen väliltä simulaattori osoittaa idän tuottavan enemmän, mutta vain noin 1 % erotuksella.

7 Johtopäätökset

Tässä työssä on lähdetty selvittämään, kuinka aurinkovoimalan suuntaus, lämpötila ja pilvinen ilmasto vaikuttavat voimalan vuosituotantoon Suomen ilmastossa. Tutkittava aurinkovoimala oli kapasiteetiltaan 21,1 kWp suunnattuna etelään, itään ja länteen.

Työssä tutkitusta aurinkovoimalan tuotantodatasta saatiin muodostettua tuloksia tutkimuskysymyksille. Työtä aloittaessa osattiin jo päätellä, että eteläsuuntaus on tuottoisin suuntaus aurinkopaneelille Suomessa. Kahden vuoden tuotantodatasta saatiin selville, että eteläsuuntaus tuotti molempina vuosina paremmin kuin itä- ja länsisuuntaus. Vuonna 2020 eteläsuuntauksen ominaistuotanto oli 19 % enemmän kuin itä ja 24 % enemmän kuin länsi. Vuonna 2021 eteläsuuntauksen ominaistuotanto oli 21 % enemmän kuin itä ja 23 % enemmän kuin länsi. Työssä pyrittiin selvittämään itä- ja länsisuuntauksen eroja ja paremmuutta. Tuloksista selvisi, että itäsuuntaus tuotti molempina vuosina 2020 ja 2021, 3–4 % enemmän kuin länsisuuntaus.

Tutkimalla lämpötilan vaikutusta paneelien tehokkuuteen tuloksista huomattiin, että suuntauksien huipputehohetket laskivat lämpötilan noustessa ja tuottoisimmat hetket kohdistuivat ilman lämpötilan ollessa alle 20°C. Tuloksista selvisi, että tuottoisimpina ja kuumina kuukausina länsisuuntauksen hetkelliset huipputehon hetket olivat suuntauksista huonoimmat. Tuloksista selvisi, että länsisuuntaus tuotti vähiten kuumina päivinä johtuen siitä, että lämpötila vaikutti eniten länsisuuntauksen tuotantoon.

Työssä tutkittiin pilvisyyden vaikutusta aurinkovoimalan tuotantoon. Tuloksista selvisi kuinka pilvisenä päivänä vuodenajasta riippumatta aurinkovoimalan suuntauksella ei ole väliä tuotantoon ja pilvisenä päivänä aurinkovoimalan suuntausten tuotannot olivat yhdenvertaisia. Pilvisenä päivänä tuotanto tippui aurinkoiseen päivään verrattuna jopa yli 60 %.

Tuloksista selvisi, että itä- ja länsisuuntauksen teho ylitti 75 % paneelien nimellistehorajan vain muutamia kymmeniä tunteja vuodessa. Suuntaukset tuottivat suurimman osan vuosituotannosta tehoalueella 45–75 % paneelien nimellistehosta. Itäsuuntaus tuotti parhaimmillaan 4 % vuosituotannostaan yli 4 kW tehoalueella ja länsisuuntaus 1 % vuosituotannostaan yli 4 kW alueella. Etelä suuntaus vietti eniten aikaa yli 4 kW tehoalueella, noin 200 tuntia yhteensä molempina vuosina ja tuotti tehoalueella parhaimmillaan 9 % vuosituotannostaan.

Lähteet

Energiavirasto. 2022. Saatavissa: <<https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-kapasiteetti-kasvoi-suomessa-yli-100-megawattia-vuonna-2021>>. Viitattu 6.6.2022.

Homer energy. 2022. Saatavissa: <https://www.homerenergy.com/>

Ilmatieteenlaitos. 2010. Saatavissa: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/nykyinen-il-masto-30-vuoden-keskiarvot>. Viitattu 1.7.2022.

Kitunen, J. 2007. *Aurinkosähkön soveltuvuus hajautettuun energiantuotantoon Suomessa*, diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkömagnetiikan laitos. [pdf]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/16438138-Jukka-kitunen-aurinkosahkon-soveltuvuus-hajautettuun-energiantuotantoon-suomessa-diplomityo.html>

Kosonen, A., Keskisaari, A. 2020. *Zero-energy log house – Future concept for an energy efficient building in the Nordic conditions*. [pdf]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.en-build.2020.110449>.

KPMG Oy Ab. 2022. Saatavissa: <https://home.kpmg/fi/fi/home/Pinnalla/2021/10/the-new-reality-for-the-finnish-energy-sector.html>. Viitattu 7.6.2022.

Meriläinen, A., Puranen, P., Kosonen, A., Ahola, J. 2022. *Optimization of rooftop photovoltaic installations to maximize revenue in Finland based on customer class load profiles and simulated generation*. [pdf]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.05.057>.

Motiva. 2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen. Viitattu 8.7.2022.

Motiva. 2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinko-lampo/aurinkolamposanasto. Viitattu 8.7.2022.

Silomaa, T. 2010. *Aurinkolämpö ja korjausrakentaminen*, diplomityö Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laitos. [pdf]. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-2011090914791>

Solar.com. 2022. Saatavissa: <https://www.solar.com/learn/does-solar-panel-temperature-coefficient-matter/>. Viitattu 10.8.2022.

Statista. 2022. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/497448/connected-and-cumulated-photovoltaic-capacity-in-germany/>. Viitattu 10.8.2022.

