



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Topias Haapa-aho

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus omakotitaloon

Tekniikka
2024

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Topias Haapa-aho
Opinnäytetyön nimi	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus omakotitaloon
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	33
Ohjaaja	Jarkko Vuorinen

Aurinkoenergian hyödyntäminen tulee yleistymään paljon omakotitalokohteissa, minkä takia syntyi myös innostus tehdä opinnäytetyö tästä aiheesta. Työn tarkoituksena oli mitoittaa aurinkosähköjärjestelmä siten, että se vastaa omakotitalon energiantarvetta tehokkaasti ja taloudellisesti. Taustalla on kasvava kiinnostus uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämiseen asumisessa. Työssä tuotiin esille myös turvallisuuteen liittyviä asioita ja määräyksiä. Tämä on hyvä opas aurinkojärjestelmää omakotitaloon hankkivalle asiakkaalle ja myös järjestelmän suunnittelijalle.

Opinnäytetyössä käytiin läpi aurinkosähkön tuotantoa ja tuotantoon vaikuttavia tekijöitä sekä oleellimmat komponentit ja niiden toiminta. Optimaalisen järjestelmän koko valitaan vertailemalla kulutusprofiilia ja auringon arvioitua tuottoa. Optimaalinen aurinkopaneelien sijoituspaikka on etelään suuntaava katto, mutta tässä kohteessa lappeet ovat itä-länsisuunnassa.

Tulosten perusteella lämpötilalla on yllättävän suuri vaikutus paneelin tuottoon. Auringon säteilymäärän perusteella Suomessa on potentiaalia aurinkoenergian hyödyntämiseen etenkin omakotitaloissa. Vaikka tulevaisuuden sähkömarkkinoita on vaikea ennustaa, ja jakeluverkkoyhtiöiden siirtomaksut energian myynnistä puhuttavat jo tällä hetkellä, niin nykyhetkessä aurinkosähköjärjestelmä on kannattava. Paneelien hintojen laskettua on järjestelmän kokonaishinta laskenut.

Avainsanat aurinkosähköjärjestelmä, aurinkopaneeli, takaisinmaksuaika, omakotitalo,

ABSTRACT

Author	Topias Haapa-aho
Title	Dimensioning of a Solar Power System for a Detached House
Year	2024
Language	Finnish
Pages	33
Name of Supervisor	Jarkko Vuorinen

The purpose of the thesis was to dimension a photovoltaic system so that it meets the energy demand of a detached house efficiently and economically. The background is the growing interest in the use of renewable energy sources in housing. Safety issues and regulations are also presented in the thesis. This thesis can be used as a good guide for the customer buying a solar system for a detached house and for the designer of the system.

The thesis discusses the production of solar electricity and the factors influencing production, as well as the most essential components and their operation. The size of the system was selected by comparing the consumption profile and the estimated solar yield, based on which the most optimal system size is chosen. The optimal location for solar panels is on a south-facing roof, but in this case the tiles are facing east-west.

During the work, it was discovered that the temperature has, a surprisingly big effect on the panel yield. Concerning the amount of solar radiation, it was found out that there is a potential for solar energy in Finland, especially in detached houses. Although the future electricity market is difficult to predict and the distribution grid companies' transmission fees for selling energy are already a talking point, for the time being, photovoltaic systems are profitable. As panel prices have fallen, the overall price of the system has fallen.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	TYÖN TARKOITUS.....	7
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ	8
	3.1 Aurinkopaneeli.....	9
	3.2 Invertteri	12
	3.3 Aurinkoenergia.....	13
4	JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	17
	4.1 Mitoituksen perusteet	17
	4.2 Kohteen tiedot	19
	4.3 Asennus.....	24
5	TULOKSET	26
	5.1 Järjestelmä	26
	5.2 Takaisinmaksuaika	27
6	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	32

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva. [2.].....	8
Kuva 2. Yleisimmät kolme aurinkopaneelia [1].	10
Kuva 3. Invertteri (Fronius Symo).	13
Kuva 4. Auringon energian saapuminen maahan. [1.]	15
Kuva 5. Verkkoon liitetty aurinkosähkön pientuotantokapasiteetti.	16
Kuva 6. Ilmansuunnan vaikutus tuottoon.....	18
Kuva 7. Kohteen tuotannon potentiaali (PVGIS).	20
Kuva 8. Kohteen kulutustiedot kuukausitasolla.	21
Kuva 9. Kohteen kulutustiedot tuntitasolla.	22
Kuva 10. Kolmen erikokoisen järjestelmän tuotto.	23
Kuva 11. Sähköhinnan muodostuminen. [7.]	28
Taulukko 1. Eri paneelityyppien ominaisuudet	11

1 JOHDANTO

Työssä mitoitán ja suunnittelen on-grid aurinkosähköjärjestelmän omakotitaloon. Kohteessa on turvelämmitys ja pohdin myös sitä, kuinka tulevaisuudessa aurinkosähköjärjestelmä voisi olla apuna talon lämmöntuotannossa etenkin kesällä. Arvioin järjestelmän kokoa suhteessa energiantarpeeseen sekä takaisinmaksuaikaa.

Aurinkoenergian käyttö on noussut merkittävästi viime vuosikymmenien aikana, ja aurinkosähköjärjestelmät ovat yhä suosituimpia vaihtoehtoja energiantuotannossa. Työssä keskityn aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen perusteisiin ja siihen mitkä asiat vaikuttavat järjestelmän koon valintaan. Työssä selvitan myös mitoituksen ja suunnittelun kannalta tarpeelliset standardit ja säädökset.

Aluksi käyn läpi aurinkosähköjärjestelmän perusteet ja mm. miten sähköä tuotetaan aurinkopaneeleilla sekä mitkä vaikuttavat paneelien sähköntuottoon. Lisäksi tuon esille aurinkosähköjärjestelmän ominaisuuksia ja vaatimuksia liitettäessä se jakeluverkkoon.

Perehdyn mitoituksen perusteisiin ja asennuksen käytännön toteutukseen. Tarkastelen kohteen kulutusta kuukausi- ja tuntitasolla. Jotta voin arvioida aurinkosähköjärjestelmän tarpeen, hyödynnän työssä mm. PVGIS-ohjelmaa. Lisäksi pohdin aurinkosähkön tulevaisuuden näkymiä ja sen roolia energiantuotannossa. Tämä raportti tarjoaa katsauksen aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen omakotitalojen energiantarpeen täyttämässä.

2 TYÖN TARKOITUS

Työssä mitoitetaan aurinkosähköjärjestelmän omakotitaloon ja tuon esille mitoitukseen liittyviä asioita, joiden pohjalta saadaan optimoituja kannattavien järjestelmien koko. Pohdin myös millä muilla keinoin voidaan hyödyntää maksimaalinen aurinkoenergian hyöty. Tavoitteena on tuoda turvallisuuteen ja standardeihin liittyviä asioita esille. Työn tarkoituksena on antaa tietoa aurinkosähköjärjestelmästä omakotitaloon suunnittelevalle ja järjestelmien asennuksia tekeville yritykselle. Tuon esiin aurinkosähkön tuotantoon ja takaisinmaksuaikaan vaikuttavia tekijöitä.

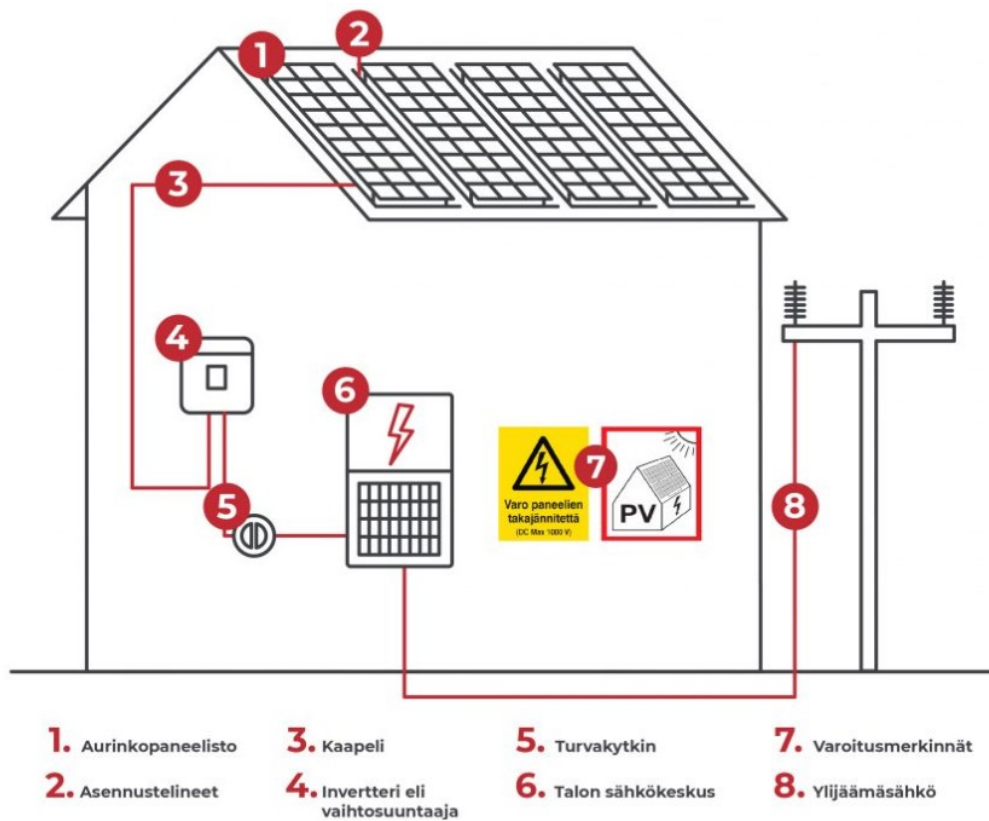
Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus omakotitaloon on keskeinen askel uusiutuvan energian hyödyntämisessä ja kestävän energiantuotannon edistämiseksi. Tässä työssä käsitellään aurinkoenergian potentiaalien arviointia, aurinkopaneelien määrän valintaa, invertterin mitoitusta sekä tarvittavien komponenttien suunnittelua. Tarkoituksena on mitoittaa aurinkosähköjärjestelmä siten, että se vastaa omakotitalon sähkönkulutusta mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti.

Taustalla on kasvava kiinnostus uusiutuvien energiamuotojen erityisesti aurinkoenergian, hyödyntämistä asumisessa. Aurinkosähköjärjestelmät tarjoavat taloudellisesti houkuttelevan vaihtoehdon perinteisille sähköntuotantomuodoille vähentäen samalla hiilidioksidipäästöjä ja riippuvuutta perinteisistä energialähteistä. Omakotitalon aurinkosähköjärjestelmä voi myös tarjota omistajalleen mahdollisuuden säästää merkittävästi sähkölaskuissa pitkällä aikavälillä ja lisätä kiinteistön arvoa lyhyellä aikavälillä.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen onnistuminen edellyttää kattavaa suunnittelua ja ymmärrystä aurinkoenergian toimintaperiaatteista sekä omakotitalon sähkönkulutuksesta. Tarkka mitoitus varmistaa järjestelmän optimaalisen suorituskyvyn ja maksimaalisen taloudellisuuden. Lisäksi se edistää uusiutuvan energian integrointia rakennetun ympäristön osaksi, mikä on tärkeä askel kestävämmän tulevaisuuden saavuttamiseksi.

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Kuvassa 1, on esitetty verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän komponentteja, joita ovat muun muassa aurinkopaneelit, kiinnitysjärjestelmä, kaapelointi, invertteri ja erotuskytkin. Aurinkopaneeleilla auringon säteilyenergia muutetaan tasasähköksi. Paneelien tuottama tasasähkö muutetaan invertterillä vaihtosähköksi, joka on sähköverkon kanssa samanlaista. Tuotettu sähkö voidaan hyödyntää kiinteistön sähkölaitteissa ja myydä yli jäävä osuus sähköverkon kautta valitulle sähkönostajalle. [1.]



Kuva 1. Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva. [2.]

Aurinkosähköjärjestelmät (aurinkovoimalat) voidaan jakaa kahteen ryhmään: vailla sähköliittymää olevissa kohteissa itsenäisesti saarekekäytössä toimivat (ns. Off-Grid -järjestelmä) ja sähkönjakeluverkkoon liitetyissä kohteissa verkon kanssa rinnan toimivat (ns. On-Grid-järjestelmä) [3]. Tässä työssä käsittelen sähköverkkoon liitettyä aurinkovoimalaa eli On-Grid-järjestelmää. Suurimmaksi osaksi verkossa kiinni olevat omakotitalot käyttävät On-Grid-järjestelmää.

3.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, jotka ovat keskeinen osa aurinkoenergian sähköntuotantoa. Niiden toiminta perustuu auringon säteilyn hyödyntämiseen valosähköisen ilmiön kautta sekä puolijohdemateriaalien erityisiin ominaisuuksiin. Yleisimpiä raaka-aineita aurinkokennoissa ovat kiteinen, monikiteinen tai amorfinen pii. [4.]

Aurinkokenno on elektroninen puolijohde, jonka ala- ja yläpinnan välille auringonvalo synnyttää jännitteen. Kennot kytketään yleensä sarjaan, jotta haluttu jännitteen taso saavutetaan. Aurinkopaneelin tuottaman virran määrä puolestaan riippuu auringon säteilyn voimakkuudesta. Aurinkopaneelit tuottavat sähköä sekä suorasta auringonvalosta että hajasäteilystä, mikä on merkittävää Suomessa, jossa huomattava osa auringonvalosta on hajasäteilyä. Lisäksi tuotantomäärään vaikuttavat paneelien asennuskulma ja pilvisuus. [4.] Kesäaikana pohjoisessa päivänvaloa saadaan ympäri vuorokauden; siten aurinkoenergian taloudellinen hyödyntäminen on mahdollista myös korkeilla leveysasteilla [5].



Kuva 2. Yleisimmät kolme aurinkopaneelia [1].

Kuvassa 2 on kolme yleisintä paneelityyppiä vasemmalta oikealle: yksikiteinen, monikiteinen ja ohutkalvopaneeli, jotka erottaa usein jo ulkonäönkin perusteella. Aurinkokennojen tehokkuus riippuu suuresti auringon säteilyenergian määrästä, joka puolestaan riippuu alueen leveysasteista, paikallisesta ilmastosta ja ilmansaasteiden määrästä. Useimpien aurinkokennojen teho laskee kun lämpötila nousee. [5.]

Aurinkosähkön tuottaminen perustuu auringon säteilyenergian hyödyntämiseen. Auringonsäteily koostuu fotonihiuksista, jotka kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Kun fotonit osuvat aurinkokennoihin, ne siirtävät energiansa kennojen materiaalin elektroneille. Tämä prosessi synnyttää sähkövirran aurinkokennojen virtapiireissä. [5.]

Aurinkokennojen erilaisilla kytkennöillä voidaan luoda haluttu jännite ja virta aurinkopaneelille. Sarjaankytkennässä aurinkokennojen jännitteet summataan, muodostaen siten aurinkopaneelin kokonaisjännitteen. Rinnankytkennässä kokonaisvirta muodostuu rinnan kytkettyjen kennojen yhteenlasketusta virrasta. Aurinkopaneelit koostuvat sarjaan ja rinnan kytketyistä aurinkokennoista, jotka asetetaan paneelikehyksen sisään siten, että niiden eteen sijoitetaan auringonsäteilyä läpäisevä suojalasi. Aurinkopaneeleita on saatavilla eri kokoisina ja erilaisiin käyttötarkoituksiin. Yleisimpien järjestelmien paneelien tehot ovat 400 Wp:n molemmin puolin. [5.]

Ominaisuudet	Kiteinen pii			Ohutkalvo		3. sukupolvi
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Kennon hyötysuhde, 2023 (%)	23,3 %	26,8 %	14 %	23,6 %	22,3 %	26 % (Perovskite)
Paneelin hyötysuhde, 2023 (%)	20,4 %	24,7 %	9,8 %	20,3 %	19,5 %	17,9 % (Perovskite)
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (% / +1 °C)	-0,4...-0,5	-0,3...-0,5	-0,1...-0,3	-0,25...-0,35	-0,25...-0,35	...
Mekaaninen rakenne	hauras	hauras	joustava	joustava	joustava	joustava
Varjostus	herkkä	herkkä	sietää	sietää	sietää	sietää
Käyttöikä (vuotta)	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	0,5-3
Hinta	€€	€€€-	€€€	€€€	€€€	€

Taulukko 1. Eri paneelityyppien ominaisuudet.

Motivan [4] mukaan: Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina (Wp). Paneelien nimellisteho on määritetty laboratoriossa standardiolosuhteissa, joissa auringon säteily määrä on 1 000 W/m² ja kennon lämpötila 25 °C. Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään jakamalla nimellisteho sen pinta-alalla ja standardiolosuhteiden säteily määrällä (1 000 W/m²). Esimerkiksi nimellisteholtaan 400 Wp:n ja pinta-alaltaan 1,9 m²:n aurinkopaneelin hyötysuhde voidaan laskea seuraavasti: 400 Wp / (1,9 m² x 1 000 W/m²) ≈ 21 %.

Aurinkopaneelien tekninen käyttöikä voi ylittää 30 vuotta, kuten taulukossa 1 luvataan eri paneeleille. Aurinkopaneelille luvataan jopa 25 vuoden tehontuottotakuu, mutta takuehdot valmistajien välillä ovat erilaisia. Tehontuottotakuun määrityksenä ensimmäisen 10 vuoden ajalle on vähintään 90 % nimellistehosta ja seuraavien 15 vuoden ajan vähintään 80 % nimellistehosta. Materiaali- ja valmistusvirhetakuun kesto on noin 12 vuotta. Tyypillisesti muiden komponenttien, kuten invertterin, käyttöikä on noin puolet paneelien elinkaaresta. [4.]

1 kWp:n paneelijärjestelmä vaatii keskimäärin pinta-alaa noin 5 neliometriä. Paneelin hyötysuhde saadaan laskettua pinta-alan ja piikkitehon välisellä suhteella. Yleisesti arvioidaan 1kWp:n järjestelmällä sähköntuoton olevan Suomessa 700–

1000 kWh välillä, Pohjois-Suomessa voi tuotto jäädä 700 kWh ja etelässä päästään jopa 1000 kWh. [4.]

Lämpötila vaikuttaa merkittävästi aurinkopaneelien tuottoon, paneelien tuotto on ilmoitettu 25 asteen lämpötilassa. Taulukosta 1 nähdään, että 1 asteen lämmön nousu vähentää tuottoa 0,25–0,5 % riippuen paneelin tyypistä. Esimerkiksi jos paneelin lämpötila nousee 50 asteeseen niin tuotto voi pudota jopa 12,5 %, mikä on varsinkin kesällä yleistä. Esimerkiksi kylmän kevättalven päivänä järjestelmä voi tuottaa jopa enemmän kuin ilmoitettu järjestelmän nimellisteho.

3.2 Invertteri

Invertterin toimintaperiaate on muuttaa tasasähkö vaihtosähköksi eli invertteri muokkaa ja ohjaa sähkötehoa. Suuntaajan tehtävänä on muuttaa jännitteen tai virran käyrämuotoa, jolloin saadaan haluttu virran tai jännitteen muoto. Suuntaajan kytkiminä käytetään puolijohdekomponentteja, joita sanotaan sähköventtiileiksi. Verkkoon kytketyissä aurinkovoimaloissa käytetään inverttereitä, joita kutsutaan verkkokommutoiviksi suuntaajiksi. Verkkokommutoitu suuntaaja vaatii sähköverkon toimiakseen. [6.]

Invertteri vaatii käynnistyäkseen tietyn auringon säteilymäärän ja päinvastoin menee lepotilaan säteilymäärän vähetessä, kun minimijännite alitetaan. Se käynnistyy, kun aurinkopaneelit tuottavat vaadittavan minimijännitteen. Minimijännitteen ollessa pieni, alkaa invertteri tuottamaan vaihtosähköä sitä nopeammin. Auringon laskiessa paneelien jännitteet putoavat ja invertteri menee lepotilaan. Lepotilan kulutus vaihtelee invertterien valmistaja- ja mallikohtaisesti; suuremmat invertterit kuluttavat enemmän lepotilassa. Esimerkiksi Froniuksien valmistamien inverttereiden lepotilan kulutus on alle 1 W. [7.]



Kuva 3. Invertteri (Fronius Symo).

Invertterin herääminen lepotilasta vaatii enemmän tasasähköä mitä lepotilan kulutus on. Esimerkiksi kuvassa 3 näkyvä 3.0 kW tehoinen Fronius Symo 3.0–3-M-invertteri vaatii starttijännitteeksi 200 volttia, mutta jatkaa sähkön tuottamista aina 150 volttiin saakka, vaikka jännite laskee alle starttijännitteen. [7.] Invertterin valinnassa kannattaa katsoa myös starttijännitteen suuruutta, sillä suuremmissa inverttereissä starttijännite on myös suurempi.

3.3 Aurinkoenergia

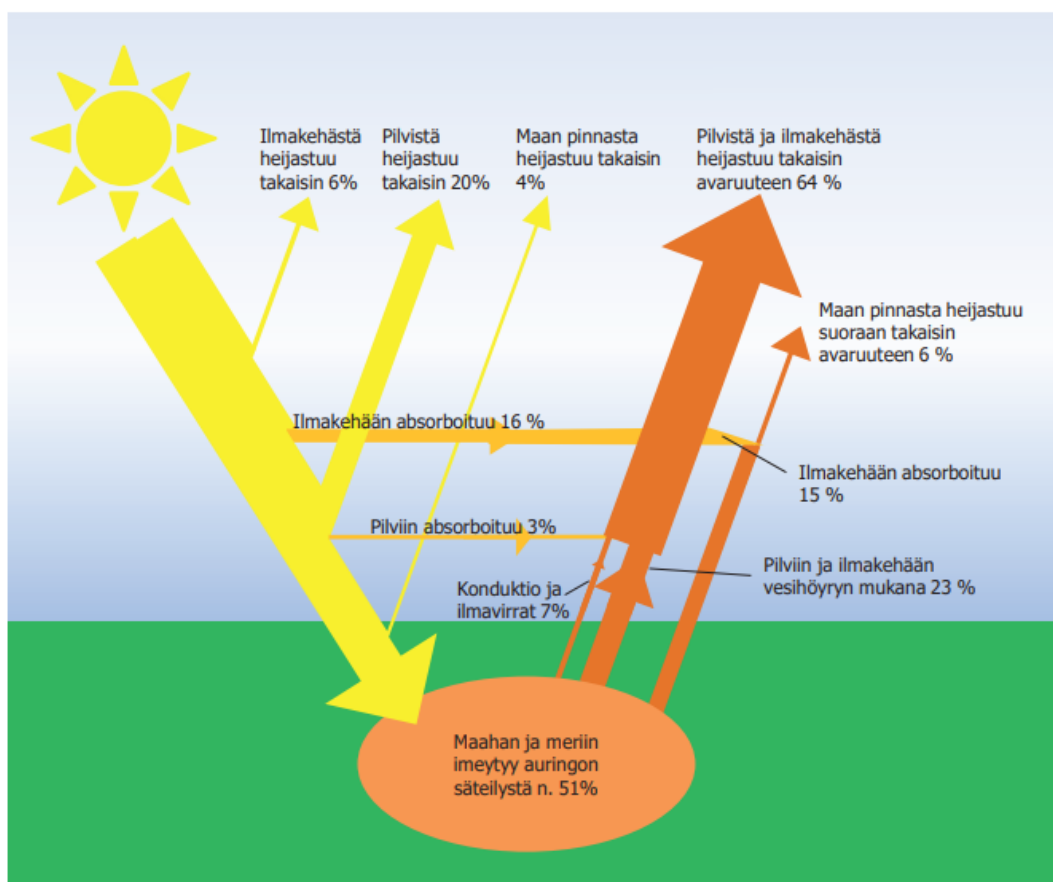
”Aurinkopaneelien toiminta ja sähkön tuotto perustuvat auringon säteilyyn, valosähköiseen ilmiöön ja muun muassa puolijohdemateriaalien ominaisuuksiin” [1]. Aurinkoenergiasovelluksissa hyödynnetään pääosin säteilyä, joka on pääosin ultraviolettin (UV) ja lähi-infrapunan (NIR) välisellä alueella. Aurinko säteilee tietyllä intensiteetillä (HA), joka on noin 73 MW/m^2 . Maan kaasukehän ulkorajalle tästä saapuu noin $1\,367\text{--}1\,370 \text{ W/m}^2$. Tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi (SC), joka määrittää säteilyn intensiteetin teoreettisen ylärajan maan pinnalla. [1.]

Käytännössä maan pinnalle saapuu vain osa säteilystä ja täten säteilyn intensiteetti on maan pinnalla noin 1000 W/m^2 . Säteilyintensiteettiin vaikuttaa ilmakehän olosuhteiden lisäksi maantieteellinen sijainti eli päiväntasaajalla auringon intensiteetti on voimakkaimmillaan. Auringon paistaessa kohtisuoraan maan pintaan nähden matka ilmakehän läpi on kaikkein lyhin ja säteilyintensiteetti on näin ollen suurimmillaan. [1.] Kuvassa 4 on havainnollistettu auringon energian saapuminen maahan.

Mitä voimakkaampi säteilyintensiteetti on, sitä enemmän aurinkokennoista irtoaa elektroneja ja siten muodostuu sähkövirtaa. Suomessa erityisesti talvella päivänvalo on kuitenkin vähäistä, aurinko on matalalla horisontissa ja aurinkopaneelit voivat olla lumen peitossa. Tästä syystä talvella aurinkoenergian tuotanto on yleensä vähäistä tai jopa olematonta. [8.]

Aurinkopaneelit tuottavat eniten maalisi- ja syyskuun välillä. Myös talvikuukausina voidaan saada hyödynnettyä auringon säteilyn tehokkaammin kuin kesäkuukausina, koska viileämpi ilma nostaa paneelien hyötysuhdetta. Hyötysuhteen kasvaminen viileämmässä johtuu puolijohteen ominaisuuksista. [8.]

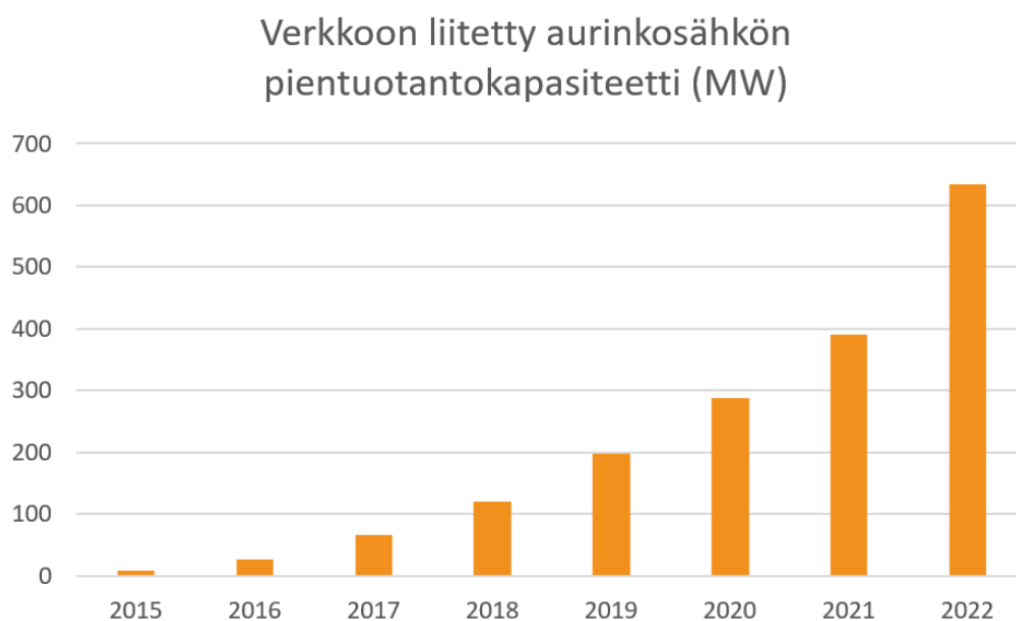
Talvella lumen aiheuttama heijastus tuo hajasäteilyä, joka lisää paneelien tuottavuutta. Erityisesti kevättalvella maan ollessa lumen peitossa ja paneelien puhtaana lumesta, voi aurinkosähköjärjestelmä tuottaa yllättävän paljon. Tämän voi hyödyntää kodin lämmitykseen kevään pakkaspäivinä. [8.]



Kuva 4. Auringon energian saapuminen maahan. [1.]

Suomessa aurinkosähkön pientuotannon kapasiteetti ylitti 600 megawattia vuonna 2022. Arvioiden mukaan vuoden 2022 lopussa sähköverkkoon oli liitetty aurinkosähkön pientuotantokapasiteettia yhteensä noin 635 megawattia. Kapasiteetti kasvoi yli 240 megawattia vuoteen 2021 verrattuna eli jopa yli 60 prosenttia. Aurinkosähkön osuus verkkoon asennetusta sähkön tuotantokapasiteetista on vielä melko pieni, se oli vuoden 2022 lopussa noin kolme prosenttia. Suomessa aurinkosähkön tuotanto vastasi sähkön kokonaistuotannosta noin 0,6 prosenttia vuonna 2022. [9.]

Valtaosa sähköverkkoon liitetystä aurinkosähkökapasiteetista on vielä pientuotantoa. Aurinkosähkön pientuotanto määritellään järjestelmän koon mukaan eli alle yhden megawatin (MW) tuotantolaitteistot ovat pientuotantoa. Kun puhutaan teollisen kokoluokan aurinkovoimalasta, siinä määritelmä on (yli 1 MW). [9.]



Kuva 5. Verkkoon liitetty aurinkosähkön pientuotantokapasiteetti.

Suomen pohjoisella sijainnalla oletetaan täällä olevan huono tuottaa aurinkoenergiaa, mutta vuosittainen säteilykertymä on hyvin lähellä esimerkiksi Pohjois-Saksan tasoa [11]. Tällä hetkellä (2023) Energiaviraston arvion mukaan sähköverkkoon kytkevätöntä aurinkosähkökapasiteettia on yhteensä 22 megawattia. Ne on asennettu suurimmaksi osaksi vapaa-ajan asuntoihin ja ne ovat sähköverkon ulkopuolella [9]. Vuoden 2023 lopussa pientaloihin asennettujen aurinkosähköjärjestelmien määrä oli Suomessa noin 90 000 [10].

4 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Aurinkopaneelien tuottamasta ylijäämäsähköstä maksetaan yleensä pörssisähkön sidottu korvaus. Yleisesti kun aurinkosähkössä on tuotantokuippu, voi korvaus olla alle puolet ostosähkön kokonaishinnasta. Pienemmässä aurinkosähköjärjestelmässä yksikköhinta €/kWp on yleisesti suurempi kuin isommissa järjestelmissä ja näin ollen kannattavinta on etsiä optimipiste yksikkökustannuksen ja omakäytön suhteen. [12.]

Energiamaailman [12] mukaan: Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen vaikuttavat seuraavat tekijät: kiinteistön sähkönkulutusprofiili, myös viikonloppuisin ja erityisesti kesällä, kiinteistön päiväkäytön aikainen pohjakuorma, jota mitoituksen tulisi vastata, jos ei haluta tuottaa sähköä yli käyttötarpeen, käytettävissä oleva pinta-ala ja varjostusolosuhteet, ostosähkön hinta, myytävästä sähköstä saatava hinta, järjestelmän yksikköhinta, tavoiteltu energiaomavaraisuusaste, kiinteistön maantieteellinen sijainti.

4.1 Mitoituksen perusteet

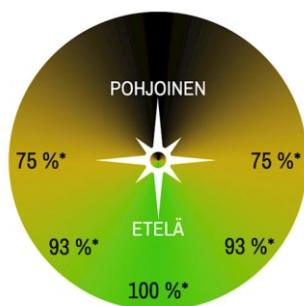
Mitoituksessa kannattavinta on aurinkosähkön tuottaminen ensisijaisesti omaan käyttöön eli suurimpien sähkökulutuskohteiden, kuten käyttöveden ja tilojen lämmitykseen sekä sähkölaitteiden kulutukseen. Järjestelmän kannattavuudessa olennaisinta on tuotannon ja kulutuksen mahdollisimman samanlainen profiili. Päivän pohjakulutus määrittää paljolti järjestelmän koon. [13.]

Aluksi on selvitettävä kohteen sähkönkulutus päivä-, viikko- ja kuukausitasolla. Tarkimman mitoituksen saa, kun selvittää tuntikohtaisen kulutuksen. Aurinkosähköjärjestelmän rinnalle on tehokkuuden parantamiseksi hyvä laittaa automatiikkaa, joka ohjaa isot kulutuksen päälle silloin, kun paneelit tuottavat runsaasti sähköä. Isoa kulutusta ovat lämminvesivaraaja ja sähköauton lataus, sekä jossain määrin jäähdytyksen ohjaus. Pyrkimyksenä on myydä vähän ja ostaa vähän sähköä. [13.]

Aurinkopaneelien suotuisin sijoituspaikka on etelään suuntaan oleva katto. Tasaisemman tuoton saa, kun sijoittaa paneelit molemmille puolin itä-länsi suuntaisille katoille, mutta tällä variaatiolla auringon tuottamasta energiasta ei saada maksimaalista tuottoa. Jos kodin kulutus painottuu iltapäivästä eteenpäin, on länsisuunta paras. Aurinkopaneelien sijoituspaikkaa mietittäessä tulee ottaa huomioon, että paikan on oltava varjoton eli puustoa tai muita esteitä ei kannata olla edessä. [13.]

Aurinkopaneelien optimaalinen kulma 40–45 astetta, mutta valtaosa katoista on loivempia. Ne saattavat olla silti tuottavia. Ilmansuunnan vaikutuksella on suurin vaikutus tuottoon. Parhaimman tuoton saa, kun suuntaa paneelit etelää, itä- tai länsisuuntaan asennettaessa tuotto on noin 25 prosenttia pienempi ja lounaaseen tai kaakkoon suunnattaessa 7 prosenttia. Pohjoinen, koillinen ja luode eivät ole järkeviä suuntia huonon tuoton takia. [13.]

Kuvassa 6 on havainnollistettu, kuinka paneelien suuntaus vaikuttaa tuottoon eli etelään suuntaamalla saadaan parhain tuotto. Mitoitetussa kohteessa katon lappeet ovat länsi-itä suunnassa, mutta kulutuksen painottuessa iltaan tästä ei ole haittaa. Paneelien suunnalla on myös suora yhteys takaisinmaksuun eli etelään suuntaamalla saadaan takaisinmaksuaika lyhyimmäksi, tuoton ollessa maksimaalinen.



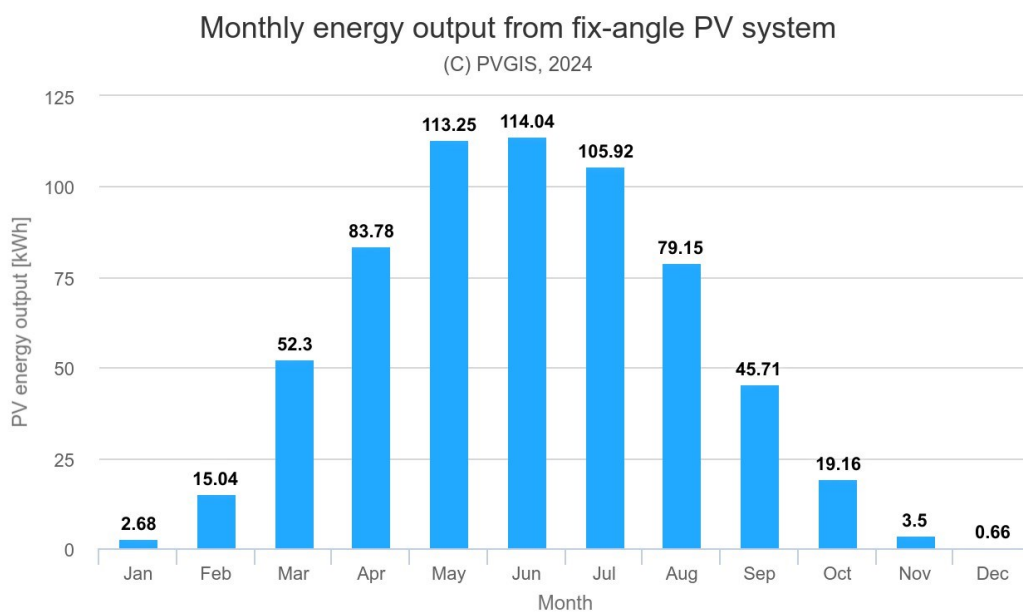
Kuva 6. Ilmansuunnan vaikutus tuottoon.

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun lähtökohtana on selvittää kohteen aurinkoenergiapotentialiaali. Aurinkoenergian enimmäismäärän selvittämiseksi käytetään aurinkosäteilyatlaksia. Samalla arvioidaan paikalliset varjostukset, kuten muiden rakennusten, kattorakenteiden ja talotekniikan laitteiden aiheuttamat varjot. Erityisesti puusto voi aiheuttaa merkittävää varjostusta ja vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän tehokkuuteen. [12.]

Aurinkosähköjärjestelmän kokonaishyötysuhde ei riipu ainoastaan aurinkokennojen tehokkuudesta, vaan myös kaapeleiden ja invertterien energiahäviöistä. Näiden aiheuttamat häviöt ovat 2–3 prosenttia toimitetusta aurinkoenergiasta. [14.] Paneelien likaisuus vaikuttaa myös jonkin verran hyötysuhteeseen, joten on hyvä pitää paneelit puhtaina. Niiden puhdistamisessa on hyvä huolehtia siitä, että ei vahingoita paneelin pintaa.

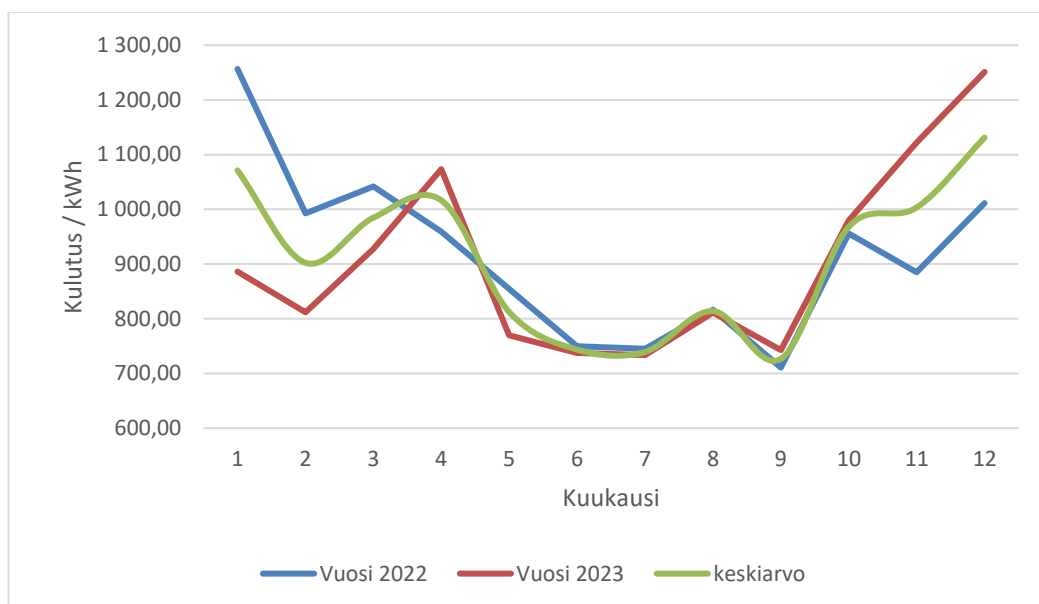
4.2 Kohteen tiedot

Mitoituksen kohteena on omakotitalo, jonka vuotuinen sähkönkulutus on noin 11 000 kWh ja pienin kulutus kuukaudessa on noin 750 kWh. Talon lapheet ovat melkein länsi-itä-suunnassa, ja paneelien asennuspaikan lappeen atsimuutti on etelästä päin katsottuna 95 astetta. Katon kaltevuus on 33.7 astetta eikä varjostuksia ole. Kulutus kohteessa on melko maltillista lämmitysmuodon ollessa turpeella toimiva keskuslämmitys, mutta tulevaisuudessa eteen tulee lämmitysmuodon vaihto. Kohteessa olisi myös mahdollista pitää kesän sähkölämmityksellä, koska talon lämmitykseen ei juurikaan mene energiaa, ainoastaan käyttöveden lämmittämiseen.



Kuva 7. Kohteen tuotannon potentiaali (PVGIS).

Kuvassa 7 on hyödynnetty PVGIS-laskuria, joka näyttää kohteen sijainnin tiedoilla saatavan tuoton 1 kWp kokoisella järjestelmällä. Kohteeseen sopisi 6 kWp järjestelmä, esimerkiksi heinäkuun tuotoksi saisi $105,92 \text{ kWh} \times 6 = 635,52 \text{ kWh}$, joka täsmäisi melkein kohteen kulutukseen. Tämäkin on vain arvio ja auringon säteily-määrä voi vaihdella paljonkin eri kuukausina vuositasona.



Kuva 8. Kohteen kulutustiedot kuukausitasolla.

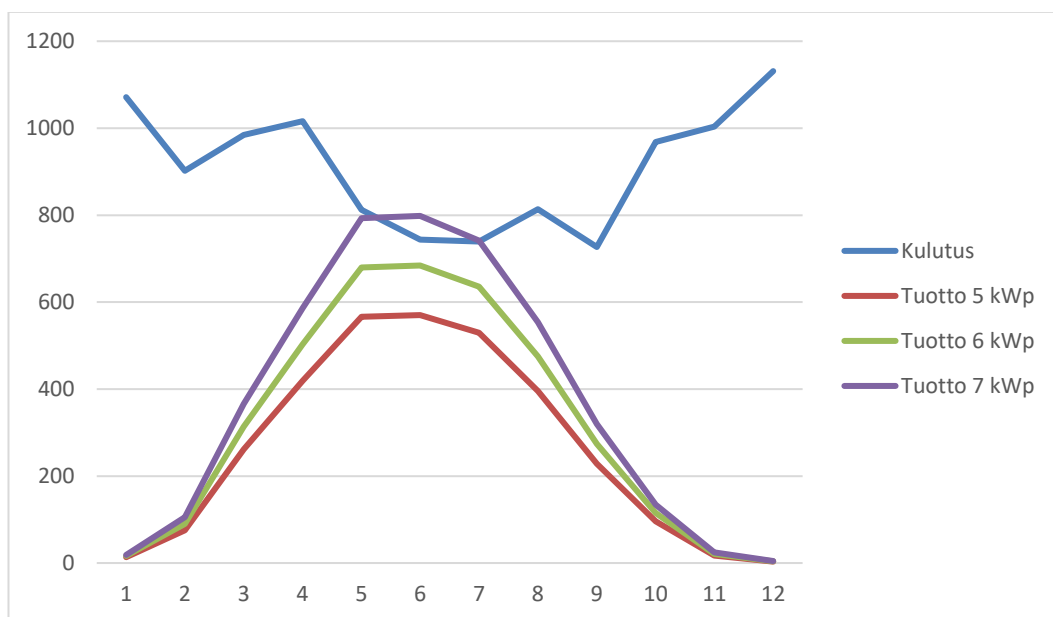
Mitoituksen kohteena olevan omakotitalon sähkönkulutus näkyy kuvassa 8 kuukausitasolla. Lasken kahden vuoden kulutuksen keskiarvon, joka on esitetty vihreällä ja lähdän näiden tietojen pohjalta mitoittamaan järjestelmää. Valitsin kulutukset vuosilta 2022 ja 2023 ja otan huomioon ajanjakson maalissyyskuu. Kuvasta 8 nähdään hyvin, kuinka kesäkuukausien kulutus on noin 750 kWh.



Kuva 9. Kohteen kulutustiedot tuntitasolla.

Mitoitettaessa järjestelmää otin vuosien 2022 ja 2023 viikkojen 20, 28 ja 37 kulutustiedoista keskiarvon, jonka pohjalta katson tuntikohtaiset kulutukset. Kohteen kulutustietoja tarkasteltaessa kuvasta 9 nähdään, kuinka kulutus painottuu iltaan. Kohteen pohjakulutus on yöaikaan noin 0,6 kWh ja päivällä kulutus pysyy yli 1–1,5 kWh välissä. Kohteen kulutustietoja katsellessa huomataan kulutuksen painottuvan iltapäivää/iltaan ja näin ollen talon lappeen länsisuuntana olevan sopiva. Edellisvuosien kesäkuukausien keskimääräinen kulutus on noin 750 kWh, mikä on hyvä mitoituksen pohja. Kohteen sähkönkulutus on tasaista vuoden ympäri.

Kohde kuluttaa jokaisena tuntina tietyn määrän energiaa silloin kun aurinkosähköä on mahdollista tuottaa, mitä kutsutaan pohjakulutukseksi. Vaikka pohjakulutus olisi yöaikaan lähes nolla, sitä ei tarvitse ottaa mitoituksessa huomioon, sillä silloin ei ole tuotantoakaan. [5.]. Kuvasta 9 nähdään kohteen pohjakulutus, joka on noin keskimäärin 1,2 kWh.



Kuva 10. Kolmen erikokoisen järjestelmän tuotto.

Kuvassa 10 on vuosien 2022 ja 2023 kulutustietojen keskiarvo ja 5,6 ja 7 kWp kokoisten järjestelmien arvioidut tuotot. Kuvasta huomataan aurinkoenergian ja kulutuksen ongelma eli silloin kun on kulutusta, ei ole tuottoa. Järjestelmän mitoituksessa on huomioitava vain kesän kuukausien kulutustiedot, koska ylimitoittaminen ei ole kannattavaa.

4.3 Asennus

Aurinkopaneelien asennuksista yleisin on suoraan katolle asennus, jossa valitaan vain kattotyypille sopiva kiinnitysjärjestelmä. Paneelien kiinnitysjärjestelmässä on huomioita sopivuus Suomen olosuhteisiin, sillä yleisesti paneelin takuu ei kata katon irronneiden paneelien rikkoutumisia. Alan tunnetuimmat valmistajat myöntävät kiinnikkeille 30 vuoden takuun. Asennuksessa on muistettava varmistaa, että katon kunto ja vedeneristys säilyvät ennallaan. [15.]

SFS6000 standardin [16] mukaan: Vaihtosuuntaajien ja tasasähköerotuskytkimien taustalla ja alla on oltava palamatonta materiaalia esim. sementtikuitulevyä, ellei asennusalusta itsessään ole palamatonta. Mikäli palamatonta materiaalia on hyvin lämpöä johtavaa, tulee materiaalin ja puurakenteisen asennusalustan väliin jättää vapaa tuulettuva ilmatila, jonka avulla estetään lämpöjohtumisesta johtuvasta pyrolyysistä aiheutuva asennusalustan suurempi syttymisherkkyys.

SFS6000 standardin [16] mukaan: Tasasähköosan kaapelit on valittava ja asennettava siten, että maasulkujen ja oikosulkujen riskit ovat mahdollisimman pieniä. Tämä toteutetaan käyttämällä: metallivaipattomia yksijohtimisia kaapeleita, tai eristettyjä johtimia asennettuna erikseen eristeaineisiin asennusputkiin tai johtokanaviin. Kaapeleita ei saa asentaa suoraan katon pintaan.

Tasasähkökaapelit ja potentiaalintasausjohtimet olisi asennettava rinnakkain. Jos aurinkosähköpaneelien alapuolelle asennetut kaapelit altistuvat paneelien aiheuttamalle lämmölle, kaapelien mitoituksessa on otettava huomioon vähintään 70 °C ympäristön lämpötila. Jos potentiaalintasaus on tarpeellinen, aurinkosähköpaneelien metalliset tukirakenteet ja metalliset kaapelihyllyt on liitettävä potentiaalintasaukseen. Potentiaalintasaukseen liitetään aurinkosähköjärjestelmien metalliset asennustelineet ja kaapelihyllyt. [16.]

SFS6000 standardin [16] mukaan: Tasasähköosan kaikissa luokse päästävissä jännitteisiä osia sisältävissä laitteissa kuten sähkökeskuksissa ja liitäntäkeskuksissa on oltava pysyvä merkintä, joka ilmoittaa, että erottamisen jälkeen osissa voi olla edelleen jännite esim. tekstillä "Aurinkosähkö DC – jännitteisissä osissa voi olla jännite erottamisen jälkeen". Aurinkosähkövaihtosuuntaajan tasasähköpuolella on oltava sopiva erotuskytkin tai erottamiseen soveltuva katkaisija.

Verkonhaltija voi tarvittaessa pyytää muun muassa seuraavia tietoja: Tuotantolaitteiden, verkon liityntälaitteiden (invertterin) ja mahdollisten lisälaitteiden tyyppikilpiin kirjatut tiedot sekä laitteiston syöttämän suurimman vikavirran sekä testauspöytäkirjan, josta selviää, että tuotantolaitteisto täyttää suojausvaatimukset, mukaan lukien keskitetyn suojauksen toiminta. [17.]

Järjestelmän voi ottaa käyttöön vasta, kun jakeluverkkoyhtiö on antanut siihen luvan. Pientuottajan on toimitettava verkkonhaltijalle tiedot tuotantolaitteiston teknisistä ominaisuuksista. Lisäksi on ilmoitettava verkkonhaltijalle kaikista tuotantolaitteistoon tehtävistä muutoksista. Ennen liittämistä verkkoon tuottajan on annettava verkkonhaltijalle tarvittavat tiedot, joiden perusteella verkkonhaltija myöntää liittämisluvan. [17.]

5 TULOKSET

Tässä luvussa käsittelen järjestelmän koon valintaa sekä takaisinmaksuaikaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Järjestelmän kooksi valitsin 6 kWp voimalan. Paneelit olisi hyvä asentaa katolle kahteen riviin (14 kpl) tai kolmeen riviin (15 kpl). Järjestelmä teho riippuu paneelin tehosta. Paneelien tehot ovat 380–420 Wp välillä ja näin pystytään valitsemaan 2- tai 3-rivinen riippuen paneelien tehosta.

5.1 Järjestelmä

Järjestelmän koon valinnassa käytin PVGIS laskuria hyödyksi ja tulin siihen tulokseen, että 6 kWp voimala on kannattavin sekä optimaalisin talon kulutustietoihin perustuen. Voimalan koon valinnassa painottui myös jakeluverkkojen pohtimat aurinkoenergian myynnin mahdolliset siirtomaksut, joita on jo joillakin jakeluverkkoyhtiöillä, sekä kesällä oleva halpa pörssisähkön hinta eli ylimitoittaminen ei ole tässä kohtaa vaihtoehto. Länsisuunta pienentää tuottoa 25 % suhteessa etelän suuntaan, minkä takia voimalan koko on myös suurempi.

Järjestelmän koon valinnassa käytin 30 % sääntöä, eli järjestelmän arvioitu tuotto olisi hyvä olla minimissään 30 % vuoden kulutuksesta. Kohteessa kulutus on 11 000 kWh vuodessa ja siitä laskemalla saadaan noin 3300 kWh vaadittava arvioitu tuotto järjestelmältä. Käytin kohteen aurinkosähkön tuottomahdollisuuksien laskuun PVGIS-laskuria, joka antoi kohteen arvioidun vuosituoton määräksi 1 kWp järjestelmällä 635 kWh. Järjestelmän minimikooksi saadaan siis vaadittava minimituotto jakamalla 1 kWp arvioidulla tuotolla, eli $3,3 \text{ kWh} / 0,635 \text{ kWh} = 5,19 \text{ kWp}$.

Invertterin koon valinta on järjestelmän kanssa lähes sama tai hieman isompi, mikäli tulevaisuudessa on tarkoitus laajentaa. Invertteriä ei ole kannattavaa ylimitoitaa, sillä useat invertterit voivat kuormittaa jopa 1,5 kertaa ilmoitetun nimellistehon verran. Tämän vuoksi järjestelmään valitaan 6 kW tehoinen invertteri. Paneelien määräksi saadaan järjestelmän koko jaettuna paneelin teholla eli 6

$\text{kWp}/0,4 = 15$, näin voidaan valita järjestelmään 15 kpl 400 Wp tai 14 kpl 420 Wp paneelia, jälkimmäisessä teho on hieman alle valitun järjestelmän koon.

Paneelit vaativat tilaa katolta ja suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon katolla olevat läpiviennit, etteivät ne haittaa asennusta. Oletetaan, että paneelien teho on 400 Wp, jonka koko on $1,754 * 1,069$, josta saadaan paneelin pinta-alaksi 1,86 neliötä. Näin saadaan paneelien vaatima pinta-ala 6 kWp järjestelmälle, $6/0,4) * 1,86 = 28,13$ neliötä. Karkeasti järjestelmä vaatii 5 neliötä kilowattia kohti.

Kohteessa on lämmitysmuotona turvelämmitys ja jossain vaiheessa on tarkoitus vaihtaa lämmitysjärjestelmää. Aurinkopaneelijärjestelmä olisi kesällä hyvä lämmityksen korvaaja, koska asunnon lämmittämiseen ei juurikaan mene energiaa vaan pääasiassa energiaa menee käyttöveden lämmitykseen. Esimerkiksi varaajan lämmittämiseen voisi käyttää apuna automaatiota, joka lämmittäisi varaajaa silloin kun sähköä tulee yli oman tarpeen. Edellisessä kappaleessa mainittujen syiden takia valitsin järjestelmän kooksi 6 kWp voimalan.

5.2 Takaisinmaksuaika

Aurinkopaneelit ovat hyvä investointi vihreään siirtymään ja tehokas tapa vähentämään sähkölaskujen suuruutta [15]. Takaisinmaksuaika voi vaihdella paljon ja se riippuu paljolti kohteen kulutusprofiilista. Jos kulutus on samanlaista, kun tuotanto niin aurinkosähköllä saadaan hyvin katettua päivän kulutus. Käyttämällä kulutuksenseurantaa ja laittamalla esim. lämminvesivaraaja päälle silloin kun on enemmän kulutusta kuin tuotantoa, voidaan säästää huomattavia summia.

Aurinkojärjestelmän takaisinmaksussa käytän sähkön energiahintoina viimeisen 12kk SPOT keskihintaa, joka on 6,86 Snt/kWh. Siirtohintoina käytän Alajärven Sähkö Oy:n [18] vuoden 2023 hintoja. Kohteessa on 25A liittymä, jonka siirtomaksu on 4,67 snt/kWh ja vero 2,79 snt/kWh, joista saadaan hinnaksi 7,46 snt/kWh. Käyttämällä viimeisen 12 kuukauden (03/23-03/24) SPOT-keskihintaa saadaan sähkönkulutuksen ostohinnaksi $6,68+4,67+2,79=14,32$ Snt/kWh.

Keskimäärin järjestelmien hinnat asennettuna ovat eri aurinkosähköjärjestelmien toimittajien sivuilta katsottaessa seuraavat 3,5 kWp = 5000 €, 5 kWp = 6500 € 6kWp=7200 €. Järjestelmän hinta riippuu asennuskohteen katon materiaalista, kaltevuudesta ja räystäään korkeudesta sekä keskuksen sijainnista suhteessa paneeleihin ja invertteriin. Myös invertterin ja paneelien laadulla on suuri merkitys järjestelmän hintaan; invertteri on yksi kalleimmista komponenteista suhteessa järjestelmän kokonaishintaan. Invertterin käyttöiäksi arvioitu 15 vuotta, näin ollen invertteri tulee uusia kerran järjestelmän käyttöiän aikana.



Kuva 11. Sähköhinnan muodostuminen. [7.]

Kuvassa 11 nähdään, kuinka aurinkosähköjärjestelmä tuo säästöä sähköntuotannon aikana. Kun sähköä ostetaan verkosta, maksetaan kulutuksen mukaan energia, siirto ja vero, eli näistä kaikista tulee säästöä silloin kun tulee tuottoa. Esimerkiksi Alajärven Sähkön siirtohinnoilla ja SPOT-keskihinnalla säästöä tulee 14,32 Snt/kWh eli arvioidun tuoton 6 kWh järjestelmällä saadaan säästettyä esimerkiksi kesäkuussa noin $661 \text{ kWh} \times 0,1432 \text{ €} = 94,66 \text{ €}$, jos koko tuotto saataisiin hyödynnettyä. Koko tuottoa ei saada hyödynnettyä vaihtelevan kulutuksen/tuotannon mukaan vaan ylijäämä myydään verkkoon, josta ei tule niin paljon tuottoa. Tähän olisi ratkaisuna vesivaraajan lämmitys silloin kun tuotantoa on enemmän kuin kulutusta.

Alla on esimerkkilasku takaisinmaksuajasta 6 kWp kokoisella aurinkojärjestelmällä, joka antaa suuntaviivoja takaisinmaksuaikaan. Tässä ei ole otettu paneelien tehon laskua eikä rahan arvon muutosta huomioon. En myöskään ottanut huomioon invertterin vaihtoa, invertterin käyttöikä on noin 15 vuotta.

Hankintahinta: 7200 €

Arvioitu tuotanto vuodessa: 3810 kWh (saatu PVGIS-laskurilla)

Omaan käyttöön arvio 85 % = 3238,5 kWh

Myyntiin arvio 15 % = 571,5 kWh

Sähkön ostohinta = 14,32 Snt/ kWh (energia (SPOT-keskihinta), Siirto (Alajärven Sähkö Oy) ja vero

Sähkön myyntihinta 6,5 Snt/ kWh (SPOT keskihinta huhti-elokuu, vuosi 2023)

Säästö vuodessa = 3238 kWh * 0,1432 € = 463,75 €

Myyntituotto vuodessa = 571,5 kWh * 0,065 = 37,15 €

Tuotto vuodessa = 463,75 + 37,15 = 500,9 €

Oman pääoman tuotto (ROI) = $(500,9/7200) * 100 = 7 \%$

Takaisinmaksuaika = $7200/500 = 14,37$ vuotta, eli noin 15 vuotta

Takaisinmaksuaika on se aika, jossa järjestelmä on tuottanut sijoitetun pääoman takaisin.

6 YHTEENVETO

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen ei ole yhtä oikeaa tapaa vaan se riippuu paljon kohteesta. Esimerkiksi kohteen käytettävissä oleva katon pinta-ala saattaa olla jo rajoittava tekijä. Mitoittamassani kohteessa tilan puute katolla ei ollut ongelma ja paneelien sijoittaminen kolmeen riviin on järkevin. Ilmansuunnalla on merkitystä; esimerkiksi länsisuuntaan olevien paneelien tuotto vastaa 75 % vastaavan etelän suunnassa olevan paneelien tuotosta.

Järjestelmä on kannattavaa hankkia kohteen hyvän pohjakulutuksen vuoksi. Ilta-painotteisen kulutuksen takia länsisuuntaan oleva lape ei ole haitaksi. Nykyisillä hinnoilla takaisinmaksuaika on vielä houkutteleva, jos järjestelmän hankkii ilman rahoitusta. Jakeluverkkoyhtiöiden suunnittelema aurinkosähkön myynnistä veloittama siirtomaksu saattaa pidentää takaisinmaksua, jos myy paljon verkkoon sähköä.

Suurin takaisinmaksuun vaikuttava tekijä on sähköjärjestelmän hankintahinnan ohella sähkönhinta, joka lyhentää takaisinmaksua hinnan noustessa ja hinnan lasiessa pidentää takaisinmaksua. Kohteen sähkösopimus vaikuttaa paljon ostosähkön hintaan, etenkin kesällä ja siten myös aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksu-aikaan ja kannattavuuteen. Länsisuuntaan olevat paneelit pidentävät myös takaisinmaksua.

Kohteessa on vielä turvelämmitys, mutta sen vaihto toiseen lämmitysmuotoon tulee jossain vaiheessa ajankohtaista. Jos kohteeseen asennettaisiin aurinkosähköjärjestelmä niin kesän ajalle olisi lämmityksen hyvä siirtää sähkölle käyttäen kuorman ohjausta. Järjestelmän hankintaa miettivän kannattaa myös ottaa koon valinnassa huomioon lämmitysmuodon vaihto polttokäyttöisestä sähköä käyttäväksi, esimerkiksi turvelämmityksen muuttaminen maalämmöksi, joka tulee lisäämään sähkönkulutusta.

Tällä hetkellä aurinkosähköjärjestelmien investointeja hidastaa inflaation tuoma korkojen nousu, joka on taas aiheuttanut paneelivarastojen täyttymiseen. Toisaalta paneelien hinnat ovat laskeneet investointien vähetessä. Aurinkopaneelia kehitetään jatkuvasti, ja nyt kaupallisten aurinkopaneelien hyötysuhteet ovat 21 % tasolla. Useimmat aurinkosähköjärjestelmiä tarjoavat tahot lupaavat lyhyitä takaisinmaksuaikoja, mutta niihin on suhtauduttava varauksellisesti.

Vaikka aurinkopaneelit tuottavat sähköä päästöttömästi, on hyvä muistaa, että paneelien tuotannossa on syntynyt päästöjä. Aurinkoenergia on uusiutuvaa päästötöntä energiaa ja sitä riittää rajattomasti, siten sen hyödyntäminen on kannattavaa. Myös nousseet sähkön hinnat houkuttelevat investoimaan aurinkosähköjärjestelmään ja nopeuttavat takaisinmaksua.

LÄHTEET

1. ST-Käsikirja 40. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2023.
2. Tukes, Sähkötyöt ja urakointi. [viitattu 7.2.2024]. Saatavilla <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat#d5998b1e>
3. Aurinkosähköä kotiin, laitteet. [viitattu 15.2.2024]. <https://aurinkosahkoa-kotiin.fi/laitteet/>
4. Motiva, Uusiutuva energia. [viitattu 20.2.2024]. Saatavilla https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho
5. Motiva, Uusiutuva energia. [viitattu 20.2.2024]. Saatavilla https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa
6. Tehoelektroniikkakurssi, VAMK. [intranet]. [viitattu 6.2.2024]
7. Lumme-energia, Ajankohtaista. [viitattu 5.2.2024]. Saatavilla <https://www.lumme-energia.fi/blogi/mita-invertteri-tekee>
8. Pokas, Miten aurinkopaneelit toimivat. [viitattu 21.2.2024] Saatavilla <https://pokas.fi/ajankohtaista/miten-aurinkopaneelit-toimivat/>
9. Energiavirasto. [viitattu 5.2.2024]. Saatavilla <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-pientuotanto-kasvoi-voimakkaasti-vuonna-2022>
10. Sary. [viitattu 13.2.2024]. Saatavilla <https://sary.fi/ajankohtaista/uutiset/tarkeimmat-asiat-mitae-aurinkosaehkoestae-pitaeae-tietaeae>
11. Energiamaailma. [viitattu 20.2.2024]. Saatavilla <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/aurinkovoima/>
12. ST 55.32/ RT 103076. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät.
13. Motiva, Näin hankit aurinkosähköä kotiin. [viitattu 8.2.2024]. Saatavilla <https://www.motiva.fi/>
14. Vattenfall, Aurinkosähkö. [viitattu 3.4.2024]. Saatavilla <https://www.vattenfall.fi/fokuksessa/aurinkosahko/aurinkopaneelien-energia-teho-ja-tuotto/>

15. Aurinkomaailma. [viitattu 18.2.2024]. Saatavilla <https://aurinkomaailma.fi/aurinkosahkojarjestelmat/>
16. SFS 6000. Suomen standardisoimisliitto. 2023. Saatavilla: <https://online.sfs.fi>
17. YA 9:23. 2023. Energiateollisuus, verkostosuositus.
18. Alajärven Sähkö. [viitattu 9.3.2024]. <https://www.alajarvensahko.fi/hinnasto/>