



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Mikael Gentz

# Kesämökin sähköistäminen aurinko- ja tuulienergialla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

05.05.2021

Tekijä Otsikko	Mikael Gentz Kesämökin sähköistäminen aurinko- ja tuulienergialla
Sivumäärä Aika	22 sivua 05.05.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja	lehtori Jarno Nurmio
<p>Inspiraatio tämän opinnäytetyön tekemiseen tuli tarpeesta saada oma vapaa-ajan asunto sähköistettyä uudelle, omavaraiselle tasolle. Työssä käydään läpi aurinko- ja tuulienergian perusteet ilmiöstä tuotantoon.</p> <p>Työssä keskitytään vain tämän tietyn kohteen tarpeiden kartoittamiseen, järjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen. Kustannuksiin tai takaisinmaksuaikaan ei oteta lainkaan kantaa, koska vaihtoehtoja ei oikeastaan ole. Sähköverkkoon liittyminen ei ole varteenotettava vaihtoehto.</p> <p>Työn lopputuloksena on asennettu, toimiva, ja tarpeen mukaan mitoitettu hybridijärjestelmä kaikkine tarvittavine komponentteineen. Vapaa-ajan asunto on nyt omavarainen juomaveden, sen tuottamiseen tarvittavan energian sekä muuhun käyttöön tarvittavan energian suhteen. Työn ohessa vapaa-ajanasuntoon liitettiin juomaveden tuotantoa varten käänteisosmoosilaitte.</p> <p>Järjestelmä koostuu 2 x 100 W:n aurinkopaneeleista, 1 x 300 W:n tuuligeneraattorista ja 5 x 200 Ah:n AGM-akustosta 12 voltin jännitteellä.</p>	
Avainsanat	aurinkoenergia, tuulienergia, kesämökki, sähköistys

Author Title	Mikael Gentz Electrification of a summer cottage using solar and wind energy
Number of Pages Date	22 pages 5 May 2021
Degree	Bachelor of Science
Degree Programme	Building technology
Specialisation option	HVAC planning
Instructor	Jarno Nurmio, Senior Lecturer
<p>The goal of this thesis was to fulfil the need of electricity at a summer cottage on a new, self-sufficient level. Therefore, the thesis discussed the basics of solar and wind energy, from the phenomenon to production.</p> <p>The thesis focused only on mapping, planning and implementing certain types of needs. In this thesis, the cost or payback periods are not discussed at all because it was not possible to connect the cottage to the grid. Therefore, the wind and solar power were the only viable alternative.</p> <p>The final year project resulted in an installed and functional hybrid system with all the necessary components that fulfils all requirements. The system consists of 2 x 100 W solar panels, a 300 W wind generator and 5 x 200 Ah AGM batteries at 12 volts. The summer cottage is now self-sufficient in terms of energy need. In addition to the thesis, a reverse osmosis (RO) device was connected to the summer cottage for the production of drinking water.</p>	
Keywords	solar energy, wind energy, summer cottage, electrification

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Energiantuotantomahdollisuudet	2
2.1	Aurinkoenergia	2
2.2	Tuulienergia	5
2.2.1	Tuulen suunta	6
2.2.2	Tuulen nopeus	6
2.2.3	Tuuliolot rannikolla	7
3	Kohteen tiedot	10
3.1	Lähtökohdat mökin tarpeisiin	10
3.2	Energiantarpeen määrittely	10
4	Aurinkovoimalan määrittely	11
4.1	Energian tuotannon arviointi	11
4.2	Aurinkovoimalan suunnittelu	13
4.2.1	Aurinkopaneelin toimintaperiaate	13
4.2.2	Aurinkovoimala	13
5	Tuulivoimalan määrittely	14
5.1	Energian tuotannon arviointi	14
5.2	Tuulivoimalan suunnittelu	15
6	Järjestelmän suunnittelu	16
6.1	Kulutuksen mukaan mitoitettu järjestelmä	16
6.2	Sähköä varastoiva järjestelmä	20
7	Yhteenveto	21
	Lähteet	22

## 1 Johdanto

Nykyään kesämökeillä vietetään yhä enemmän aikaa, ja se tuo vaatimuksia mökin varustelutasoon. Usein halutaan tehdä tai vähintään valvoa työasioita ja -sähköpostia. Tähän on nykyään saatavilla useita eri mahdollisuuksia kuten, aurinkoenergia-, tuulienergia-, aaltoenergiajärjestelmiä. Aina on myös mahdollista liittyä sähköverkkoon, mutta kaukaisilla saariston pikkusaarilla tämä vaihtoehto ei usein ole kovin kustannustehokas tapa. Tässä työssä ei kuitenkaan oteta kantaa järjestelmän kustannuksiin tai takaisinmaksuaikaan. Työ toimii puhtaasti ratkaisun suunnitelmajohdantana.

## 2 Energiantuotantomahdollisuudet

### 2.1 Aurinkoenergia

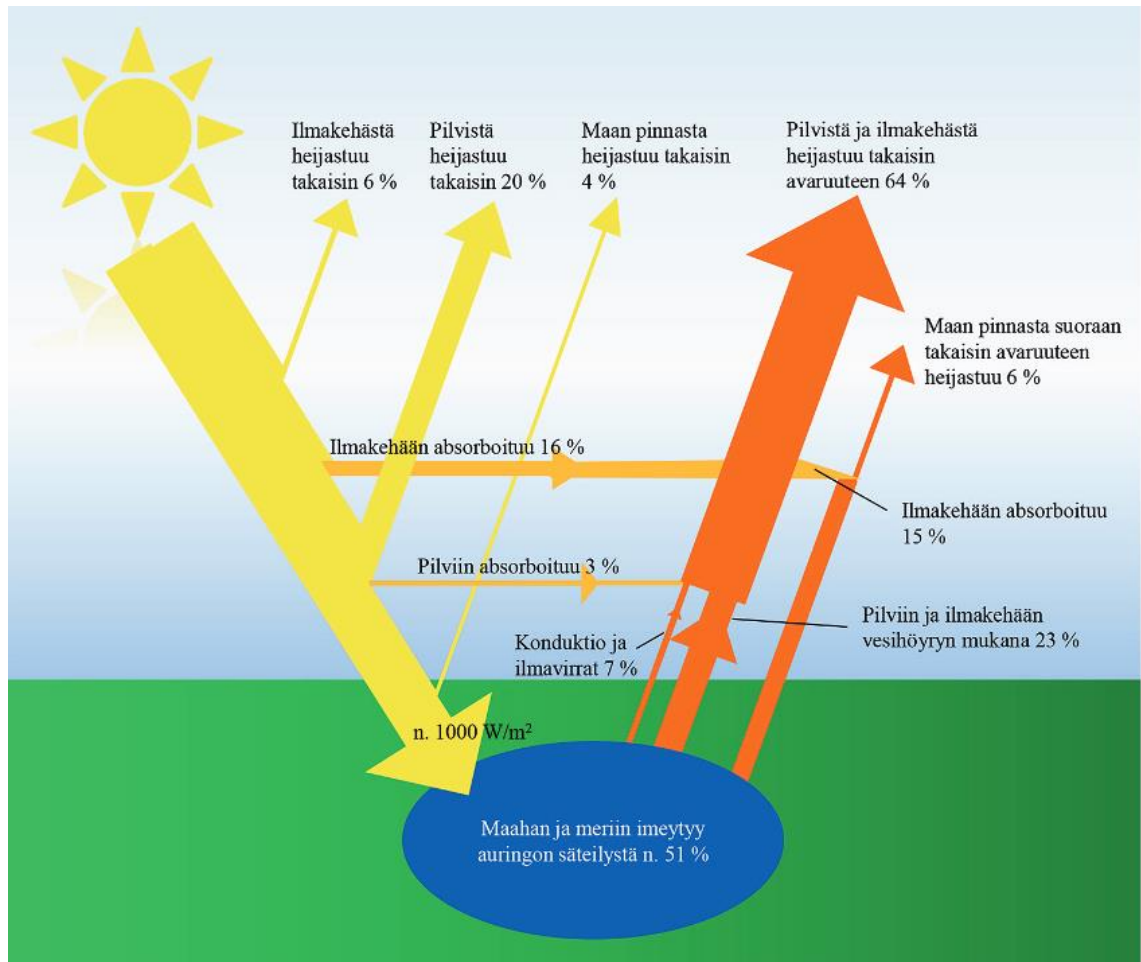
Auringon kokonaissäteily koostuu auringosta suoraan tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteily on ilmakehän ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastuvaa hajasäteilyä. (Kuvio 1.) (1, s. 20.)

Suomessa hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on merkittävä. Etelä-Suomessa noin puolet vuoden säteilystä on sitä. Aurinkopaneelien tuotannon kannalta ei ole merkittävää, onko paneelille tuleva säteily suoraa vai hajasäteilyä. Hajasäteilyn suuri osuus kokonaissäteilystä Suomessa aiheuttaa kuitenkin sen, että keskittävät aurinkosähköjärjestelmät sekä aurinkoa seuraavat järjestelmät eivät ole yleisen käsityksen mukaan taloudellisesti järkeviä, sillä ne perustuvat lähinnä suoran säteilyn tehokkaaseen hyödyntämiseen. (1, s. 20.)

Aurinkopaneelien sijoittelu ja kallistuskulma vaikuttavat niille tulevan kokonaissäteilyn määrään. Esimerkiksi lumesta, kiiltävistä kattopinnoista ja vedestä heijastuva säteily voi lisätä kallistetuille paneeleille tulevaa kokonaissäteilyä hetkellisesti jopa yli 20 prosenttia. Vuositasolla pinnoilta heijastuvan säteilyn osuus kokonaissäteilystä on kuitenkin tavallisesti muutaman prosentin luokkaa. (1, s. 22.)

Etelä-Suomen vuotuinen kokonaissäteilyn määrä on lähes samaa suuruusluokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Suomessa säteily keskittyy kuitenkin eteläisempää Eurooppaa vahvemmin kesäkuukausille, joten tuotanto vaihtelee meillä enemmän vuodenaikojen mukaan. (Taulukko 1.) (1, s. 23.)

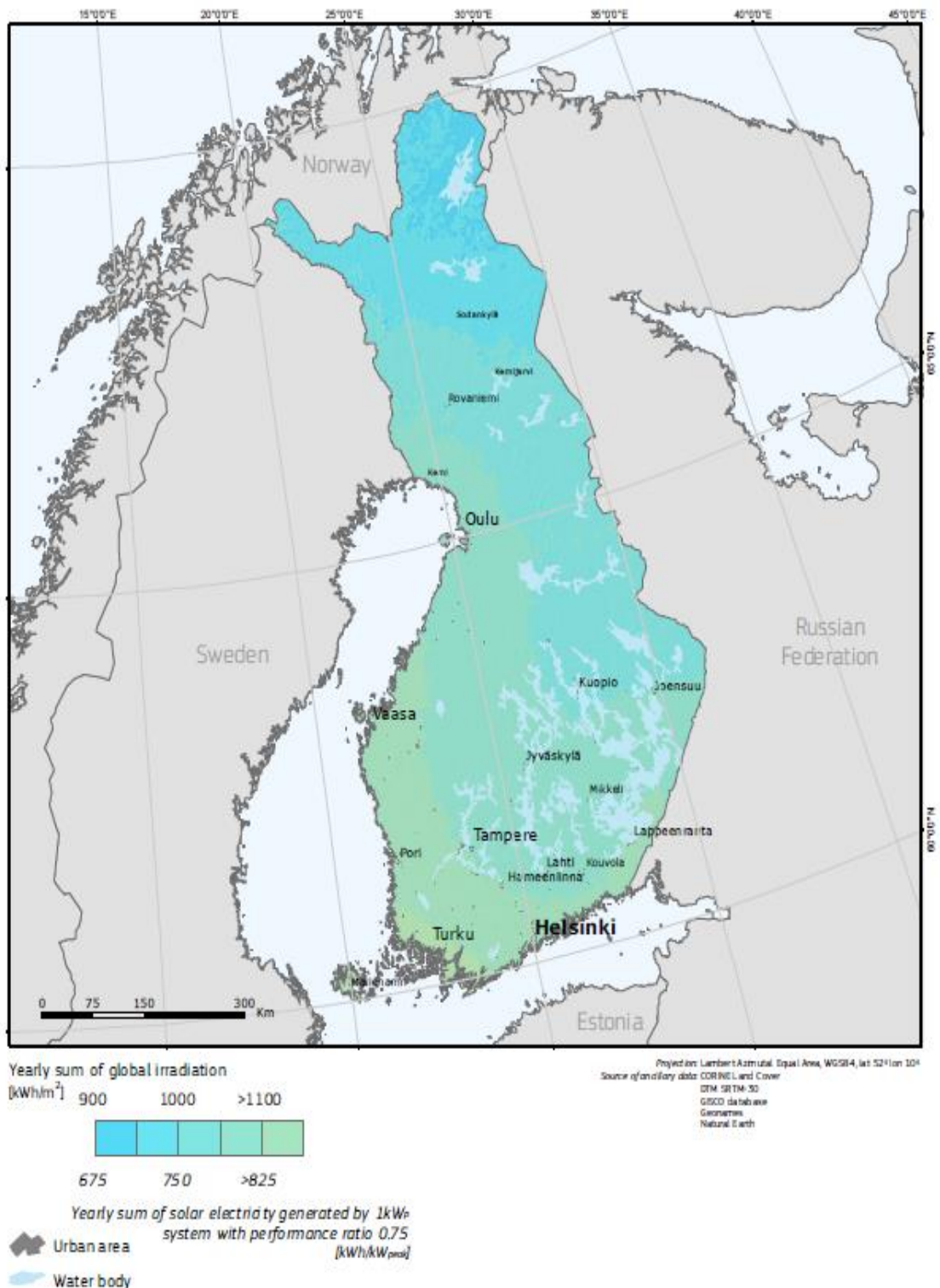
Helsingissä vuotuinen säteily määrä vaakasuuralle pinnalle on ilmatieteen laitoksen testivuoden mukaan noin 980 kWh/m<sup>2</sup> ja Sodankylässä noin 790 kWh/m<sup>2</sup>. Suuntaamalla paneelit 45 asteen kulmassa etelään päin voidaan hyödynnettävän säteilyn määrää lisätä vuositasolla 20 - 30 % verrattuna vaakasuooraan asennukseen. (1, s. 23.)



Kuvio 1. Auringon säteilyenergian kulku ilmakehässä. (2, s. 4.)

## Global irradiation and solar electricity potential Optimally-inclined photovoltaic modules

### FINLAND / SUOMI



Kuvio 2. Vuotuinen auringon säteily määrä optimaalisesti suunnatulle ja kallistetulle pinnalle Suomessa. (3.)

Taulukko 1. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta eri ilmansuuntiin kallistetuille pinnoille nykyilmastossa (TRY2012). (3.)

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeillä I ja II (Vantaa), kWh/m <sup>2</sup>								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	5,2	5,2	6,2	10,7	13,1	10,7	6,3	5,2
Helmikuu	15,4	15,8	23,5	37,3	44,3	36,8	22,6	15,6
Maaliskuu	38,1	44,4	66,3	94,9	106,7	90,3	63,1	42,5
Huhtikuu	51,5	73,7	108,8	143,4	154,9	142,7	114,3	72,8
Toukokuu	71,8	106,9	148,9	178,3	183,0	171,8	147,3	100,3
Kesäkuu	91,9	115,2	148,0	163,6	167,6	168,4	156,1	120,2
Heinäkuu	83,0	117,4	156,1	183,6	189,8	187,5	169,1	117,6
Elokuu	60,0	87,2	123,5	150,5	152,1	136,9	113,7	78,7
Syyskuu	34,8	47,1	76,2	110,8	126,9	112,3	81,3	46,9
Lokakuu	17,1	18,1	25,6	37,2	44,3	38,7	26,9	18,5
Marraskuu	6,2	6,2	8,0	14,0	17,0	13,9	8,1	6,2
Joulukuu	3,6	3,6	4,2	8,8	11,2	9,1	4,6	3,6
Koko vuosi	478,5	640,8	895,4	1133,2	1210,9	1119,1	913,3	628,1

## 2.2 Tuulienergia

Tuuli on ilmakehässä liikkuva maanpinnan suuntainen ilmavirtaus. Tuuli on pohjimmiltaan aurinkoenergiaa. Auringon säteilyn teho ilmakehän ulkorajalla on suuruusluokkaa 1 370 W/m<sup>2</sup>. Maapallolle tulevasta auringon energiasta arviolta 1–3 % muuttuu tuulienergiaksi eli tuuleksi. (4, s. 2.)

Maapallon ilmakehä pyrkii säilyttämään lämpötasapainon, minkä vuoksi lämpöä siirtyy matalilta korkeammille leveysasteille. Tämä lämmönkuljetus tapahtuu ilmakehän tuulien ja valtamerten virtausten muodossa. Tuulet siirtävät lämmöstä noin 70 %. (4, s. 2.)

Maapallon navalta päiväntasaajalle voidaan erottaa kolme tuulivyöhykettä: lähinnä napaa itätuulet, keskileveysasteilla länsituulet ja tropiikissa pasaatituulet. Vyöhykkeiden rajat vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. (4, s. 2.)

Paikalliseen tuulisuuteen vaikuttavat suuren mittakaavan lämpötilaerojen lisäksi pienemässä mittakaavassa maan ja meren jakauma ja lämpötilaerot, vuoristot sekä pinnan laatu ja muodot. Tietyllä hetkellä vallitsevaan tuuleen vaikuttaa tuulivyöhykkeen ja paikallisen maaston lisäksi erityisesti matalapainetoiminta, ja matalapaineen keskuksen liikerata. (4, s. 2.)

Tuulivoimalan kannalta voidaan todeta, että Suomessa tuulee eniten talvikuukausina ja selvästi vähemmän kesäkuukausina. Suomen tuulioloihin vaikuttaa merkittävästi maantieteellinen sijaintimme ja pääasiassa Atlantilta maahamme suuntautuvat matalapaineet ja niiden kulkemat reitit. (4, s. 3.)

Näistä johtuen suuren mittakaavan keskimääräinen tuulen nopeus noin kilometrin korkeudessa (geostrofinen tuuli) on verraten suuri 9-9,5 m/s, eli huomattavasti suurempi kuin eteläisemmässä Euroopassa 7-8,5 m/s, mutta toisaalta pienempi kuin lähempänä pohjoista Atlanttia sijaitsevilla Brittein saarilla 10-12 m/s, Norjan rannikolla 10-11 m/s tai Tanskassa 10-10,5 m/s ja Pohjanmeren rannikolla 10-10,5 m/s. (4, s. 3.)

### 2.2.1 Tuulen suunta

Tuulen suunta ilmoittaa ilmansuunnan, josta tuuli tulee. Suomessa lounaistuulet (tuulensuuntasektori etelä-länsi) on vallitseva, toisin sanoen enemmistö tuulista tulee näiltä ilmansuunnilta. (4, s. 3.)

### 2.2.2 Tuulen nopeus

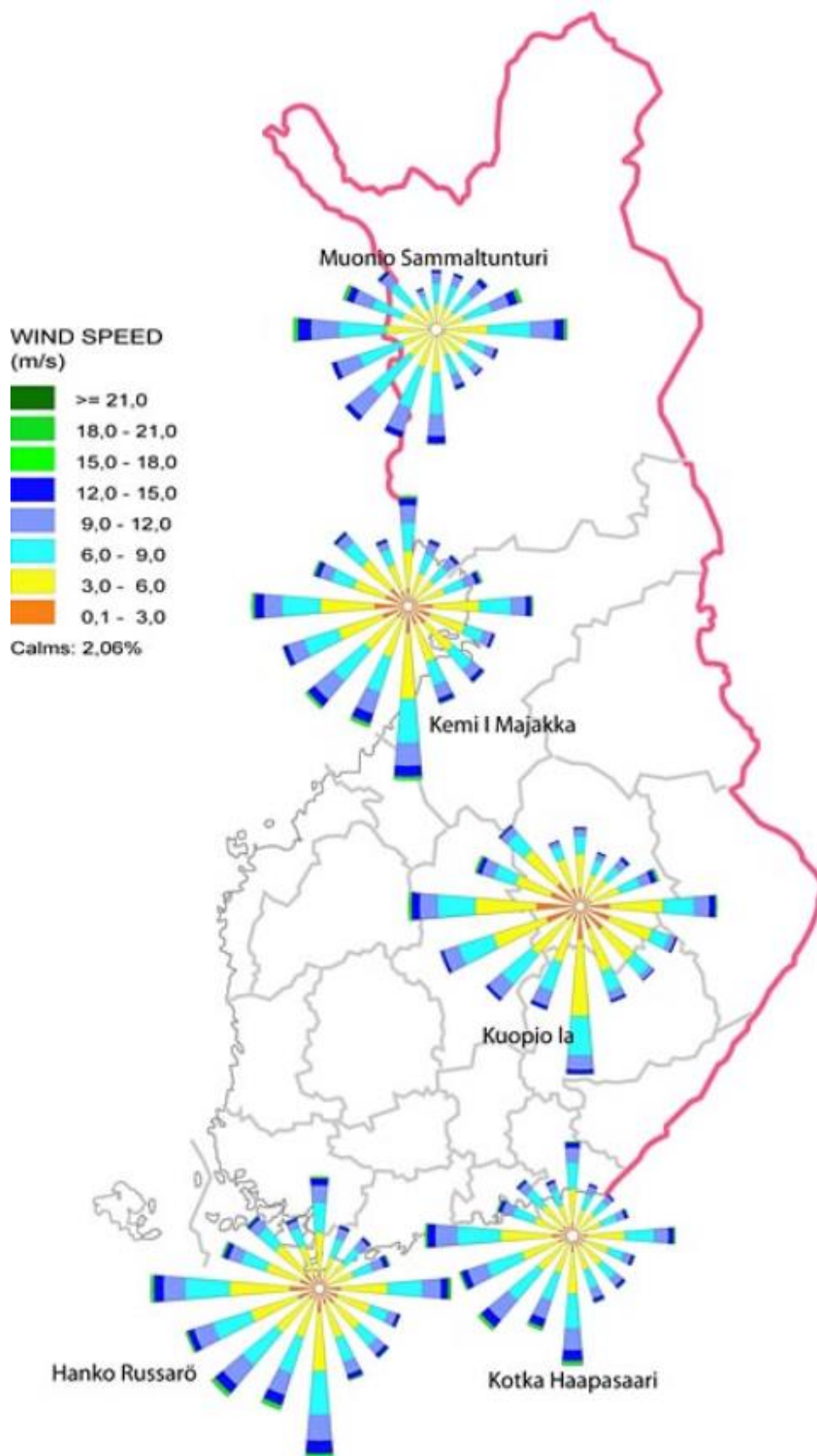
Suomen ilmastolle on tyypillistä ihmisen havaintokorkeudella, ja tavallisten sääasemien tuulimittarin sijoituskorkeudella, olevan tuulen nopeuden selvät vaihtelut vuodenajoittain merialueilla, rannikolla ja tuntureilla, kun taas sisämaassa tuulen kuukausittainen keskinopeus vaihtelee varsin vähän. Sisämaan sääasemilla mitattu tuulen vuotuinen keskinopeus on huomattavasti pienempi kuin merisääasemilla mitattu. (4, s. 3.)

Tuulen nopeus kasvaa korkeuden kasvaessa. Nopeuden kasvu riippuu muun muassa maaston korkeuseroista, maaston rosoisuudesta  $z_0$ , ja ilman termisestä tasapainotilasta. Tuulen nopeuden muutos korkeussuunnassa on rajakerroksessa huomattavasti pienempi avoimella merialueella kuin metsämaastossa. Toisaalta nopeuden muutos on Lapissa talvikuukausina huomattavasti suurempi kuin etelärannikolla, johtuen suuremmasta pintainversioiden, eli termisesti stabiilien tilanteiden määrästä. Rajakerroksen yläosissa nopeuden muutokseen voi vaikuttaa myös alemman ilmakehän suihkuvirtaus. (4, s. 4.)

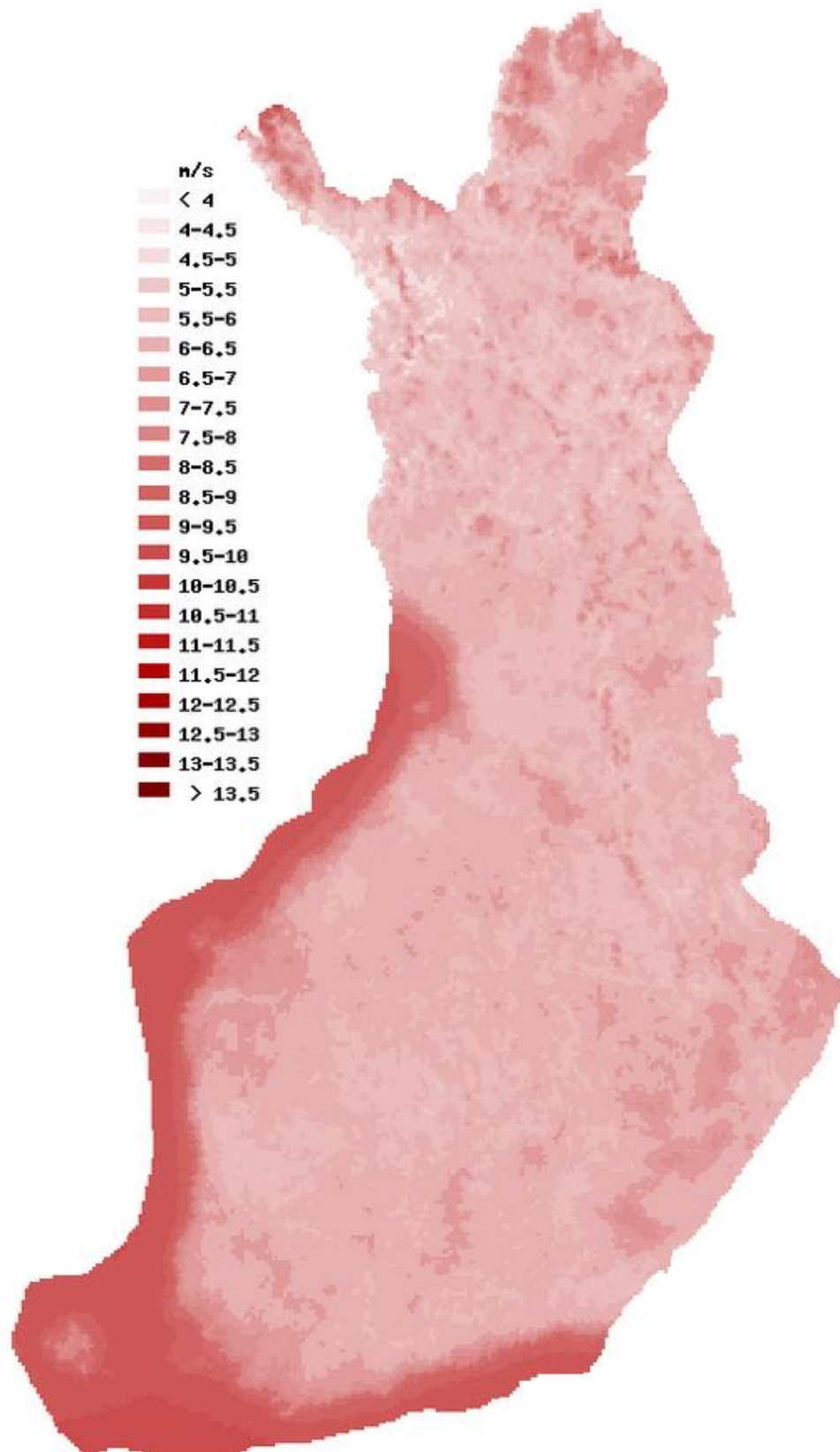
### 2.2.3 Tuuliolot rannikolla

Rannikolla tuulen nopeuden suureen vaihteluun rajakerroksessa vaikuttaa maaston rosoisuuden  $z_0$  muuttuminen (merellä pieni  $z_0$ , sisämaassa metsällä suuri  $z_0$ ). Saaristo, yksittäiset saaret ja niemet ja niiden vaihtelut lisäävät maaston epähomogeenisuutta ja lisäävät rosoisuutta. Metsäiset saaret muodostavat tuulivirtaukselle myös selviä esteitä, joiden vaikutus tulee voida ottaa huomioon mallinnuksessa. Yleensä myös alemmassa ilmakehässä ilman stabiilius muuttuu siirryttäessä mereltä maalle tai maalta merelle. Tuuliolot ja ilmavirtaukset suomen saaristossa ja rannikkoalueilla ovatkin erittäin haasteellisia ja vaikeasti malleilla kuvattavia. Esimerkiksi Suomenlahden etelärannikko sekä Saksan ja Alankomaiden rannikkoalueiden tuuliolojen kuvaaminen malleilla on huomattavasti helpompaa. (5, s. 5.)

Yleisesti ottaen tuuliolot tuulienergian kannalta ovat huomattavasti paremmat avomerellä kuin lähellä rantaa olevalla sisämaan alueella, etenkin kun tarkastellaan tuulioloja lähellä meren- tai maanpintaa; tuulen keskinopeus on suurempi ja turbulenttisuus pienempää. (Kuvio 3.) Toisaalta sisämaassa topografian tuoma korkeuden kasvu parantaa tuulioloja. Esimerkiksi 40 km:n etäisyydellä rantaviivasta voi nykyisellä tuulivoimalan korkeudella (konehuoneen korkeus 100 m) päästä yhtä hyviin tuulioloihin kuin mihin nykyisin toiminnassa olevat pienemmät ja matalammat tuulivoimalat on sijoitettu. (Kuvio 4.) (5, s. 5.)



Kuvio 3. Tuulen suunnan ja nopeuden jakauma eräillä sääasemilla tuuliruusulla kuvattuna. Tarkastelujakso 1999 - 2008. (5, s. 8.)



Kuvio 4. Tuulen keskinopeuden (m/s) jakauma 100 metrin korkeudella 2,5 x 2,5 neliökilometrin tarkkuudella. (5, s. 8.)

### 3 Kohteen tiedot

Kohteena on vuonna 1961 Tammisaaren saaristoon hirrestä rakennettu kesämökki. Mökki on sisältä vuorattu 50 mm:n vuorivillalla, joka edesauttaa mökin kevät- ja syyskäyttöä. Mökin pinta-ala on noin 65 m<sup>2</sup>. Tarkoitus on sähköistää mökki mahdollisimman omavaraiseksi valaistuksen, jääkaapin, puhelinlatureiden, television, käänteisosmoosi vedentuottolaitteiston ja sen tarvitsemien pumppujen energiatarpeisiin. Kaikki nämä laitteet ovat käytössä aikaisin keväästä myöhäiseen syksyyn. Hybridijärjestelmä on valittu siksi, että yleensä kun on kovin tuulista, aurinko ei paista ja päinvastoin. Kohteen koordinaatit ovat 59,9° N pohjoista leveyttä ja 23,5° E itäistä pituutta. Mökissä on harjakatto ja toinen lape osoittaa suoraan etelään, joten aurinkopaneelit asennetaan tälle lapelle. Asennuksessa tullaan käyttämään säädettäviä asennustelineitä, jotta optimaalinen 30° - 50°:n asennuskulma aikaansaadaan.

#### 3.1 Lähtökohdat mökin tarpeisiin

Mökissä tarvitaan valaistusta sekä sisällä että ulkona. Käytettäväksi tekniikaksi on valittu LED (Light Emitting Diode) -tekniikka. Sisälle on suunniteltu käytettäväksi led-nauhaa yleisvalaistukseen ja keittiötasojen valaistukseen. Kohdevalaisu hoidetaan led-spotteilla. Ulkotilat, kuten terassit valaistetaan led-floodlight tyyppisillä valaisimilla. Floodlight-termi tarkoittaa kirkasta ja laajakulmaista valokeilaa tuottavaa valaisinta.

#### 3.2 Energiantarpeen määrittely

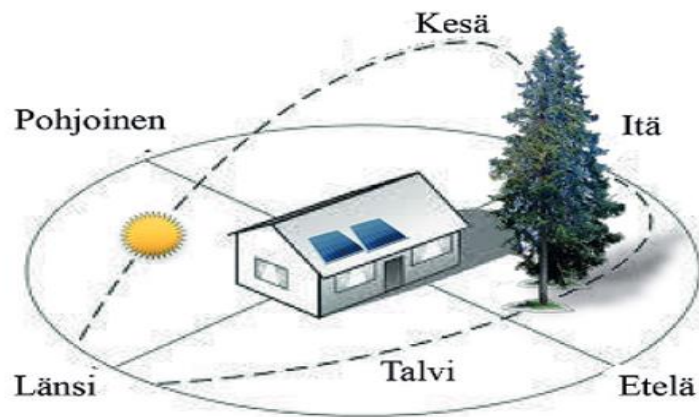
Taulukko 2. Sähköntarpeen arviointi

Sähköntarve					
Laite	Teho(W)	Käyttötunnit (h/vrk)	Virta (A)	Kapasiteetti (Ah)	Wh/vrk
Käänteisosmoosilaitte	180	2	15,0	30,0	360
Vedenteko pumput	60	2	5,0	10,0	120
Akkulaturi, porakone	75	1	6,3	6,3	75
Akkulaturi, PC	90	2	7,5	15,0	180
Akkulaturi, puhelin/tabletti	15	5	1,3	6,3	75
Jääkaappi	50	5	4,2	20,8	250
Valaistus, sisä	20	4	1,7	6,7	80
Valaistus, ulko	40	2	3,3	6,7	80
Televisio	50	5	4,2	20,8	250
Kahvinkeitin	200	0,33	16,7	5,6	67
Vedenkeitin	200	0,33	16,7	5,6	67
Muut sähkölaitteet	200	1	16,7	16,7	200
	1180		98,3	150,3	1803

## 4 Aurinkovoimalan määrittäminen

### 4.1 Energian tuotannon arviointi

Kuten aikaisemmin mainittiin, mökin toinen kattolape osoittaa suoraan etelään ja aurinkopaneelit tullaan asentamaan tälle lapelle. Kattokulma on noin 25 astetta. Säädettävillä asennustelineillä saadaan optimaalinen kulma paneeleille. Kuvioista 5 ja 6 käy ilmi, kuinka ilmansuunnat ja vuodenaika vaikuttavat aurinkoenergian tuottoon.



Kuvio 5. Asennuspaikkaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon otollisimmat ilmansuunnat. (2, s. 19.)



Kuvio 6. Auringon tulokulma kohteessa vuoden aikana.

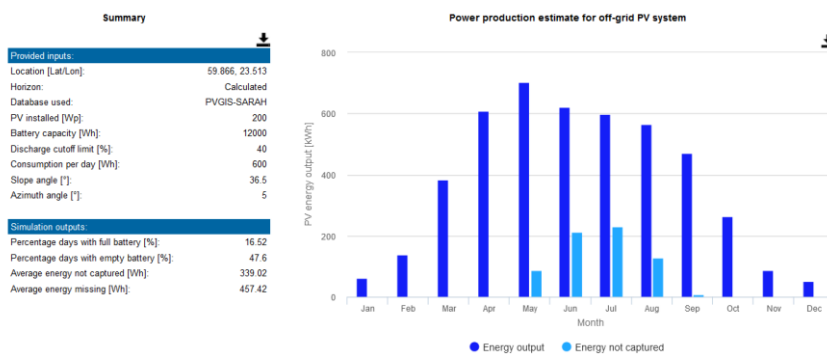
PVGIS ohjelmistoa hyväksikäyttäen sain määritettyä optimaalisen kaltevuuskulman auringopaneeleille. Optimaalisen kaltevuuskulman määrittäessä täytyy päättää, halutaanko maksimaalinen tuotto koko vuodelle vai maksimaalinen tuotto tietyille kuukausille. Kuviosta 6 voidaan todeta, että auringon maksimitulokulma on 53,5 astetta keskikesällä. Tästä voimme laskea, että  $90^{\circ} - 53,5^{\circ} = 36,5^{\circ}$  olisi kenties maksimi paneelikulma vaakatasosta. Tämän tulen vielä varmistamaan PVGIS-ohjelmalla jäljempänä.

Koska mökkiä käytetään pääsääntöisesti huhtikuusta syyskuuhun, keskitytään näiden kuukausien tuottoon. Taulukosta 3 voidaan todeta, että kokonaistuotto ei juurikaan muutu, vaikka paneelikulma on 30 ja 50 asteen välillä. Näiden maksimi- ja minimituoton välinen ero on vain 2 %, joten kulmalla ei juurikaan ole väliä energian tuotantoa ajatellen.

Paneelin asennuskulmalla on kuitenkin erittäin suuri merkitys lian ja lumen kerääntymiselle paneelin pintaan. Talviaikaan paneelien on myös ylläpidettävä akkujen varausta, ja ne eivät saisi olla lumen peittäminä. Mitä suurempi asennuskulma on, sitä helpommin lumi ja muu mahdollinen este valuu pois paneelilta. Täten olen päättänyt, että asennan paneelit 50 asteen kulmaan vaakatasosta.

Taulukko 3. PVGIS-ohjelmiston optimaalinen kulma, kun halutaan maksimaalinen tuotto tarkasteluvälillä.

Kulma	Paneelien tuotto PVGIS-ohjelmistolla (Wh)						
	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Yht.
30	600	791	843	836	687	466	4223
33	605	792	839	835	690	472	4233
34	606	792	838	833	691	474	4234
35	608	791	837	831	691	476	4234
36,5	609	791	833	830	692	479	4234
38	611	789	830	827	692	481	4230
40	612	787	825	824	692	484	4224
45	613	779	810	812	689	489	4192
50	609	767	792	795	682	491	4136

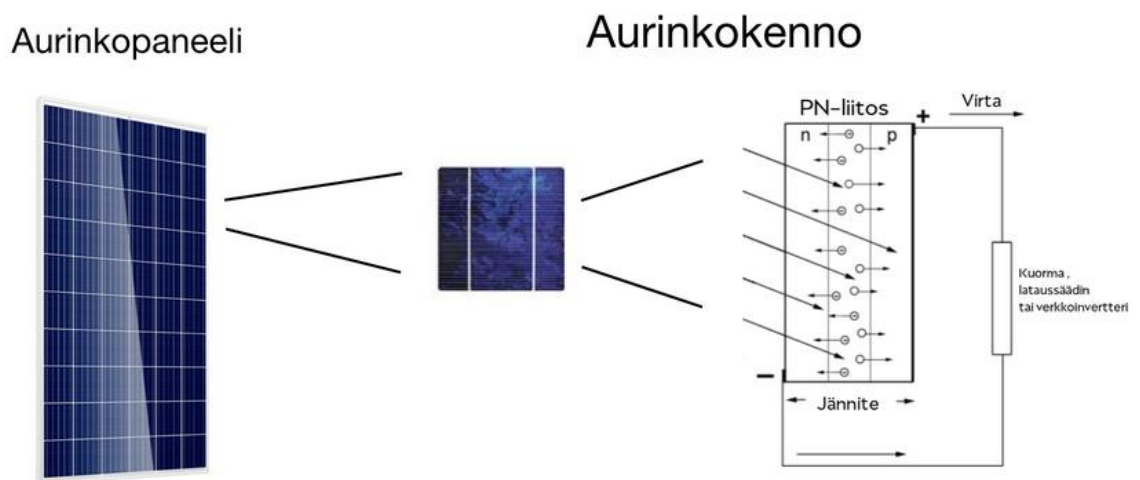


Kuvio 7. PVGIS-ohjelmiston optimaalinen kulma, kun halutaan maksimaalinen tuotto kesäkuukausille. (6.)

## 4.2 Aurinkovoimalan suunnittelu

### 4.2.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

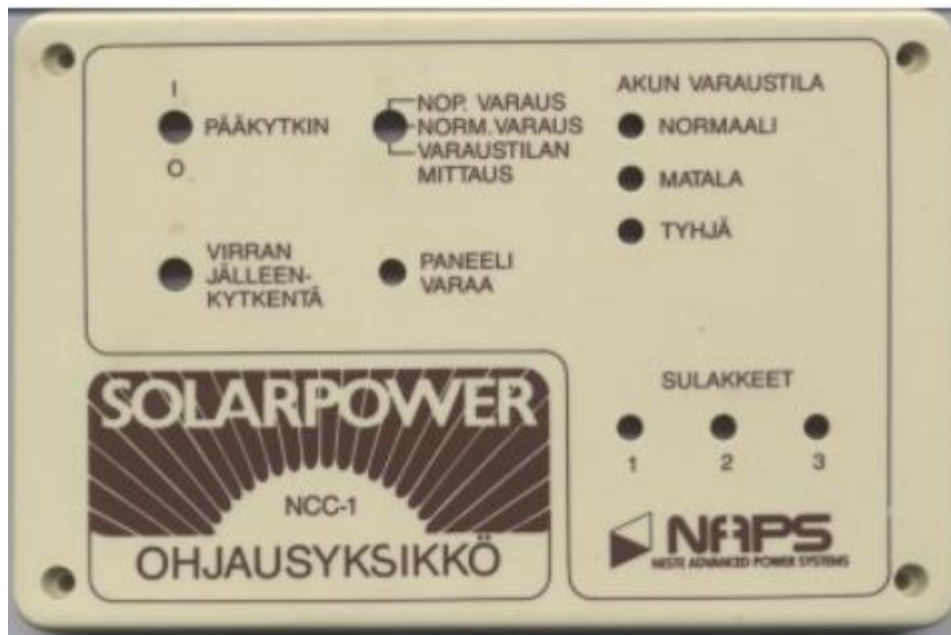
Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, jotka tehdään pääsääntöisesti piistä (Si). Kennoja on yksi- ja monikiteisiä sekä amorfisia. Erityyppisten kiderakenteiden ero on sekä hinnassa että hyötökertoimessa. Yksikiteisen kennon hyötysuhde on 15–20 %, kun monikiteisen ja amorfisen hyötysuhde jää 10–15 %. Amorfinen kenno on taipuvaa ja soveltuu siten esimerkiksi kaareviin pintoihin hyvin. Kuviossa 8 näkyy havainnollisesti aurinkokennon toimintaperiaate ja kuinka aurinkopaneeli rakentuu aurinkokennoista.



Kuvio 8. Aurinkopaneelin ja aurinkokennon rakenne. (7.)

### 4.2.2 Aurinkovoimala

Aurinkovoimalaan valitsin 2 kappaletta 100 W:n yksikiteistä aurinkopaneelia. Järjestelmä on 12 voltin ja sitä ohjaa vanha NAPS NCC-1 (Neste Advanced Power System) PWM-lataussäädin. Uudemalla MPPT (Maximum Power Point Tracking) -lataussäätimellä paneelit olisi voinut liittää sarjaan ja täten saada hieman parempi optimointi lataustehoa silmällä pitäen. Paneelit asennettiin mökin etelän puoleiselle lapelle säädettävillä asennustelineillä ja asennuskulmaksi valitsin 50°. Lataussäätimen asetukseksi valitsin nopean latauksen, koska tällöin säädin ei rajoita latausjännitettä alle 15,2 volttiin ja antaa Xantrexin säätimen hoitaa akuston varaustilan säädön. Kuviossa 9 on esitetty NAPSin NCC-1 -lataussäädin. Tähän säätimeen voi liittää 2 paneelia omiin tuloihinsa.



Kuvio 9. Aurinkopaneelien lataussäädin NAPS NCC-1

## 5 Tuulivoimalan määrittäminen

### 5.1 Energian tuotannon arviointi

Tuulivoimalaksi valitsin Elektrotorin toimittaman S-300 W 12V/24 V -voimalan. Se on 5-lapainen, kevyt voimala, jossa on sisäänrakennettu peräsiin. Kuviossa 10 näkyvät voimalan tekniset tiedot.

- Nimellisteho: 300W
- Suurin teho: 310W
- Nimellisjännite: 12V
- Aloitusnopeus: 2 m/s
- Nimellinen tuulen nopeus: 13 m/s
- Tuulen nopeusraja: 50 m/s
- Generaattorin paino: 8,5 kg
- Potkurin lavan pituus: 60cm
- Potkurin halkaisija 1,35 m
- Lapojen lukumäärä: 5
- Lapojen materiaali: nailonkuitu
- Käyttölämpötila-alue: -40 °C ~ + 80 °C

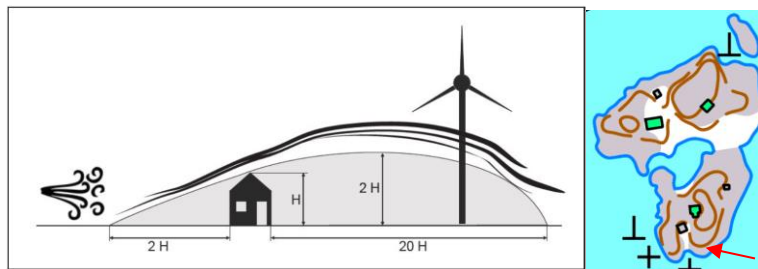


Kuvio 10. Tuulivoimalan tekniset tiedot. (8.)

Suomen tuuliolot on kuvattu kuvioissa 3 ja 4. Kuvioista käyvät ilmi tuulen yleisimmät suunnat ja tuulen keskimääräinen nopeus. Tämän kohteen sijainti on kuviossa 3 lähellä Hangon Russarötä, joten Hangon tuuliolosuhteet voidaan olettaa myös kohteen tuuliolosuhteiksi. Kuvion 3 mukaan suurin osa tuulesta on etelän ja lännen väliseltä suunnalta ja keskituulen nopeus on 10–10,5 m/s.

## 5.2 Tuulivoimalan suunnittelu

Kuviosta 11 käy ilmi, kuinka erilaiset esteet tulisi huomioida tuulivoimalaa asentaessa. Asennuspaikka on kallioinen saari, joka asettaa hieman rajoituksia asennuspaikan valintaan. Vallitsevien tuuliolosuhteisiin nähden saaren eteläkärjestä löytyy kuitenkin otollinen paikka tuulivoimalalle. Paikka on myös sopivan lähellä käyttöpaikkaa, joten kaapelivedot eivät tule liian pitkiksi. Kaapelivedot kannattaa pitää aina mahdollisimman lyhyinä, sillä alhaisilla jännitteillä jännitehäviöt kasvavat prosentuaalisesti todella nopeasti. Pitempi kaapeliveto tarkoittaa alhaisilla jännitteillä suurempaa jodin poikkipinta-alaa, mikä taas nostaa asennuskustannuksia erittäin nopeasti. Seuraavista yhtälöistä voimme laskea johtimien poikkipinta-alan.



Kuvio 11. Esteiden vaikutus tuulivoimalan läheisyydessä ja asennuspaikka saarella.

$$U = I * R \quad (i)$$

jossa

U on jännite (V)

I on virta (I)

R on vastus ( $\Omega$ )

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (\text{ii})$$

jossa

$\rho$  on resistiivisyys (Cu 0,01768  $\mu\Omega\text{m}$ )

$l$  on johtimen pituus (m)

$A$  on johtimen poikkipinta-ala ( $\text{m}^2$ )

Kaavoista (i) ja (ii) johtamalla saadaan

$$A = \rho \frac{I * l}{U} = 0,01768 (\mu\Omega\text{m}) * \frac{8,33 (A) * 15 (m)}{15 (V)} = 14,7 \text{ mm}^2$$

Tämän perusteella tuulivoimalan 15 metriä pitkät syöttöjohtimet ovat 16  $\text{mm}^2$  poikkipinta-alaltaan ja kuparia (Cu).

## 6 Järjestelmän suunnittelu

### 6.1 Kulutuksen mukaan mitoitettu järjestelmä

Kuviossa 18 on esitelty toteutettu järjestelmä. Aurinkopaneelit on ensin kytketty NAPS NCC1 -säätimeen, jossa on tuloliitäntä kahdelle paneelille. Näin on oikeastaan vain sen takia, että kaapeloinnit olivat jo valmiina vanhan järjestelmän ajalta ja näin säästin paljon aikaa ja vaivaa, kun ei tarvinnut purkaa ja vetää uusia kaapelointeja katolle. NCC-1-säätimessä on ”Nopea lataus” -toiminto, jolloin säädin nostaa latausjännitteen aina 15,2 volttiin asti. Eli, kaiken säätämisen latauksen ja purun osalta hoitaa Xantrexin C40 -säädin. Ylimääräinen energia puretaan Xantrexin säätimen toimesta lämpövastuksessa lämpöenergiaksi.

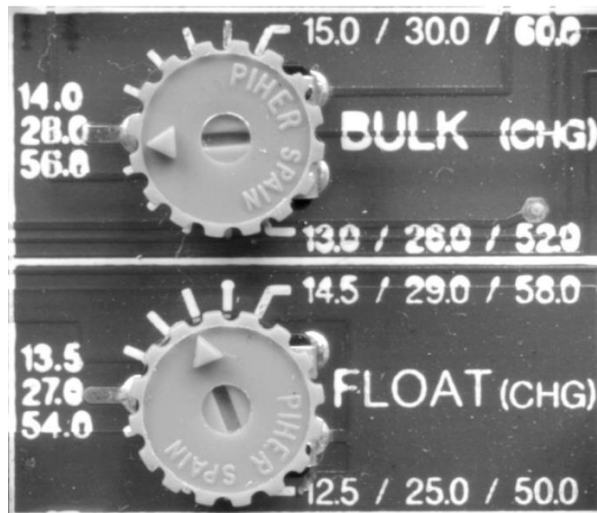
Tuulivoimala kytketään järjestelmään teollisuuskäyttöön suunnitellulla tasasuuntaussilillä MDS60A1200V, joka on esitelty kuviossa 12. Kokemuksesta tiedän, että Kiinassa valmistetut tuulivoimalasäätimet eivät ole kestäviä pitkällä aikavälillä. Tuulivoimalan omassa säätimessä olisi ollut lisänä jarrustustoiminto tuulennopeuden ylittäessä 50 m/s. Suomessa mitattu suurin tuulen keskinopeus on 32,5 m/s merialueilla, joten maksimi

tuulenopeus ei tule ylittymään. Tasasuuntaussilta on varustettu erillisellä tuuletusriimillä, jotta tasasuuntauksesta aiheutuva lämpö saadaan mahdollisimman nopeasti pois komponentista.

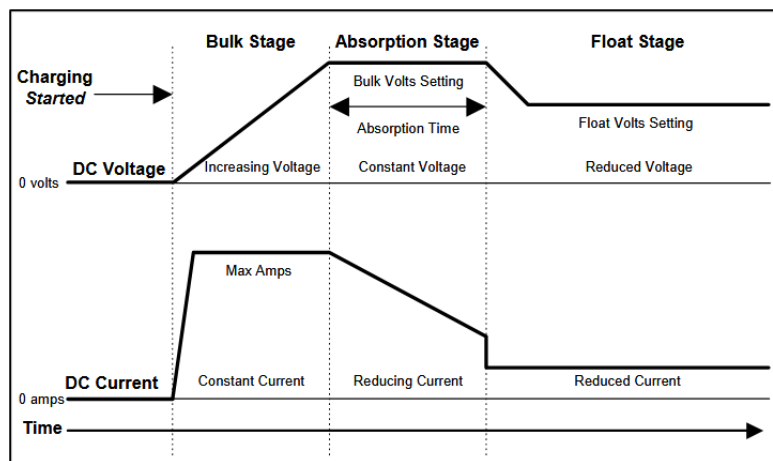
Lataussäädin Xantrex C40 kykenee hallitsemaan 40 ampeerin lataus- ja purkuvirran. Ylimääräisen energian säädin ohjaa lämpövastuksiin lämmöksi. Tämän ylimääräisen energian voisi mahdollisesti hyödyntää myös esimerkiksi veden lämmittämiseen mieluummin kuin suoraan lämmöksi ilmaan. Toisaalta mökki ei ole talvikäytössä, ja vesiputkia ei ole lainkaan, joten mikä tahansa järjestelmä pitäisi tässä tapauksessa purkaa aina syksyisin ja koota taas keväisin. Asiaa kannattaa kuitenkin harkita omien tarpeiden mukaan tulevaisuudessa. Kyseinen säädin on valittu siksi, että tässä säätimessä on mahdollista säätää yksilöllisesti lataus- ja ylläpitolatausjännitteitä. Jokaisella akulla ja akkutyypillä on yksilölliset jännitteet lataukselle ja ylläpitolataukselle. Normaaleissa säätimissä kyseiset jännitteet on tehdasasetettu mihin sattuu, ja se taas johtaa akkujen enenaikaiseen vanhentumiseen. Kuviossa 13 voidaan nähdä nämä lataus- (BULK) ja ylläpitolataus -säätöpotentiometrit (FLOAT). Kuviossa 14 nähdään säätimen latausparametrit.



Kuvio 12. Tasasuuntaussilta (MDS60A1200V) ja lataussäädin (Xantrex C40, PWM)



Kuvio 13. Lataus- ja ylläpitolataus säätöpotentiometrit



Kuvio 14. Latausparametrit

Akuiksi valitsin Ritar DC12-200D AGM (kuvio 15), jonka latausjännitteen (BULK) tulee olla datalehden mukaan 14,6–14,8 V ja ylläpitojännite (FLOAT) 13,6–13,8 V. Näihin arvoihin jännitteet myös säädettiin akkujen eliniän maksimoimiseksi. Akkuja on 5 kappaletta, eli akuston kapasiteetti on 1 000 Ah. Akustot on liitetty potentiaaliskoihin täysin samanpituisilla ja -kokoisilla kaapeleilla, jotta akut latautuvat ja purkautuvat täysin samanaikaisesti. Akusto on tarkoituksella ylimitoitettu, koska vapaa-ajanasuntoa käytetään noin 9 kuukautta vuodesta ja aikaisen kevään ja myöhäisen syksyn varalle tarvitaan energiavarastoja paljon.



Kuvio 15. Ritar DC12-200D AGM-akku

Vedentuotanto- eli käänteisosmoosilaitteeksi valikoitui kotimainen Solar Water Solution-sin SolarRO Mini 75 Combi (kuvio 16). Se on erittäin pienikokoinen ja kompakti käänteisosmoosilaite, joka kykenee tekemään juomakelpoista vettä merivedestä 40 litraa tunnissa. 40 litraa vettä on suunnilleen päivittäinen tarve myös.



Kuvio 16. Käänteisosmoosilaite SolarRO Mini 75 Combi

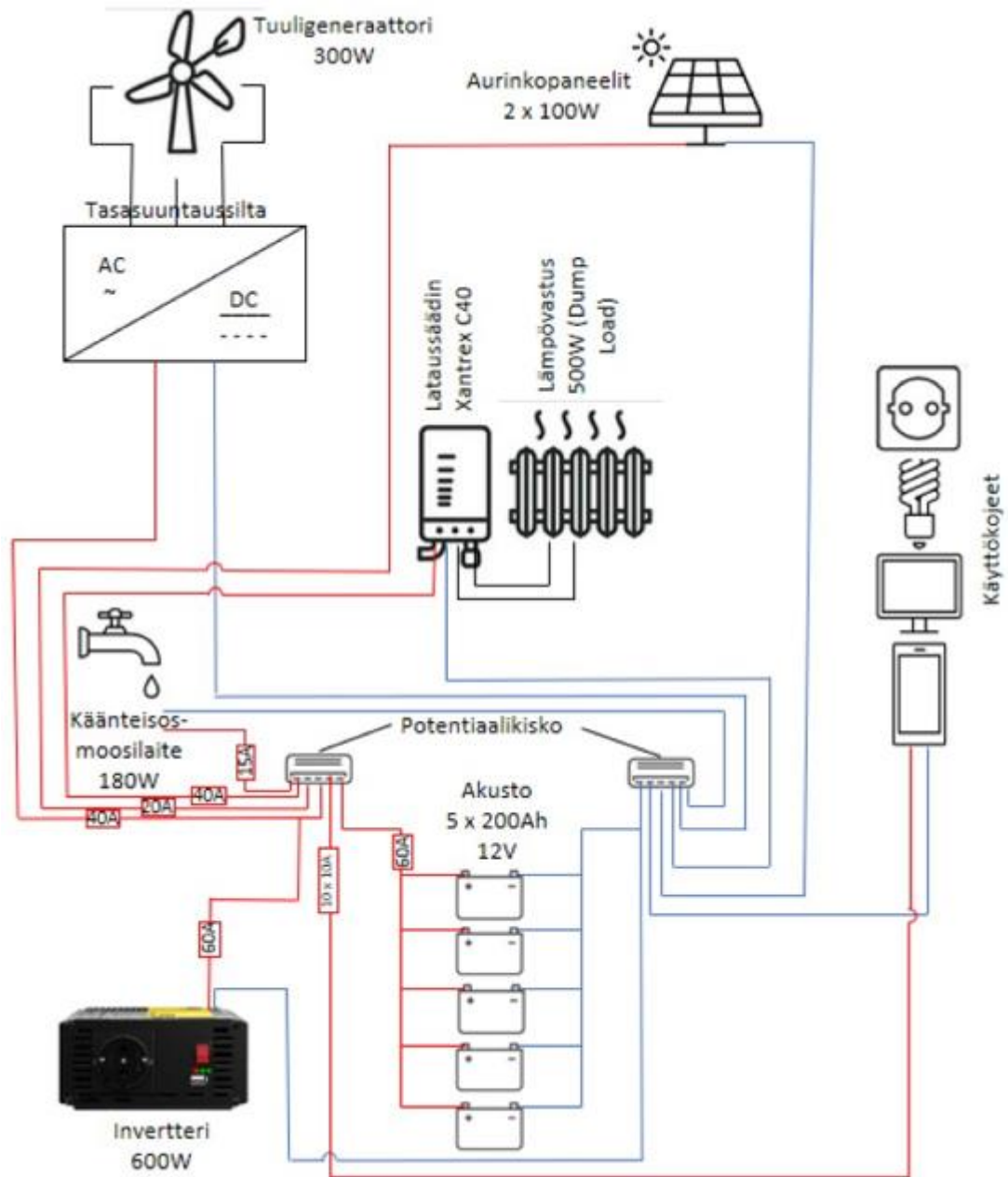
Invertteriksi valikoitui puhdas siniaaltoinvertteri MSW-CPI-600PS (kuvio 17). Invertteriä käytetään lähinnä sähkötyökalujen akkujen lataukseen ja PC:n akun lataukseen, joihin ei suoraan 12 voltia sovi. Invertteri muuntaa tasavirran (12 V) vaihtovirraksi (230 V).



Kuvio 17. Puhdas siniaaltoinvertteri MSW-CPI-600PS

## 6.2 Sähköä varastoiva järjestelmä

Kuviossa 18 on havainnekuva toteutetusta järjestelmästä.



Kuvio 18. Havainnekuva toteutetusta järjestelmästä

## 7 Yhteenveto

Työn tekeminen ja sen pohjalta saatu suunnitelma ovat toimineet aivan kuin oli odotetukin. Järjestelmä toimii todella hyvin, ja energiaa on riittänyt kaikkiin tarpeisiin loistavasti. Suunnitteluun käytetty aika maksoi itsensä takaisin toimivana järjestelmänä, ja taas tuli osoitettua, että hyvä suunnitelma on kaiken tekemisen perusta.

Yksi tärkeä järjestelmän osa, eli juomaveden tuotantoon tarkoitettu käänteisosmoosilaitte on toiminut erinomaisesti ja puhdasta vettä on saatu omiin tarpeisiin riittävästi. On hienoa, että kotimainen yritys on alkanut valmistaa laitteita myös pienemmällä kapasiteetilla, jolloin myös laitteistojen hankintaan vaikuttava saatavuus on parantunut.

Tämän projektin aikana päädyin myös siihen, että täytyy hankkia uudempi MPPT-aurinkopaneelisäädin, jotta paneeleista saadaan maksimaalinen teho ulos. Samalla järjestelmää on helpompi laajentaa tarpeen mukaan uudella säädinteknologialla.

## Lähteet

- 1 Erat, Bruno. 2008. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- 2 Aurinkojärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2017. ST-käsikirja 40. Espoo: Sähkötieto ry.
- 3 Aurinkosähkön suunnittelutyökalu. Verkkosovellus. EU Science Hub <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.
- 4 Ilmasto, tuulet. 2020. RT-kortisto, RT 05-10390. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 5 Tammelin, Bengt. 2010. Suomen tuuliatlas 2010 – Tuulitiedot suomen kartalla. Helsinki: Ilmatieteen laitos.
- 6 Aurinkosähkön suunnittelutyökalu. Verkkosovellus. Joint Research Centre [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html).
- 7 Solarvoiman yritys verkkosivusto. Miten aurinkopaneeli toimii? Verkkoaineisto. Solarvoima. <https://solarvoima.fi/miten-aurinkopaneeli-toimii/>.
- 8 Electrotori yrityksen verkkokauppa. Tuulivoimala s-300w 12v24v. Verkkosivusto. Verkkoaineisto. Electrotori. <https://www.electrotori.net/product/192/tuulivoimala-s-300w-12v24v>.