

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Pekka Ihalainen

TYNILÄN TILAN ENERGIAN LEIKKAUSSUUNNITELMA JA
KUSTANNUSLASKELMA UUSIUTUVAN ENERGIAN
JÄRJESTELMILLÄ

Opinnäytetyö
Tammikuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2018
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
p. (013) 260600

Tekijä
Pekka Ihalainen

Nimike
Tynilän tilan energia leikkaussuunnitelma ja kustannuslaskelma uusituvan energian järjestelmillä

Toimeksiantaja
Jussi-Pekka Ihalainen

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä suunnitelma ja investointiarvio Tynilän tilalle uusituvan energian tuotantolaitteistojen käyttömahdollisuuksista ostoenergian tarpeen vähentämiseksi.

Työssä keskityttiin aurinko- ja tuulisähkövoimaloiden tuotantojen mitoittamiseen, suunnitteluun ja takaisinmaksuaikojen laskennallisiin arviointeihin.

Työn lopputuloksena saatiin mitoituspohja aurinko- ja tuulisähkölaitteistoille. Lopputulos on hyvä lähtökohta vertailupohjaksi mahdollisiin laitehankintoihin, kun pohditaan uusiutuviin energialähteisiin investoimisen kannattavuutta.

Kieli
suomi

Sivuja 28

Asiasanat

aurinkosähkö, tuulienergia, uusiutuvat energialähteet



THESIS
January 2018
Degree Programme in
Electrical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
013 260600

Author
Pekka Ihalainen

Title
The Plan to Reduce Energy Consumption and Cost Calculations for Renewing Energy Sources at Tynilä Farm.

Commissioned by
Jussi-Pekka Ihalainen

Abstract

The purpose of this thesis was to make a plan and an investment estimation to Tynilä farm about using renewable energy sources to reduce the need of bought electricity. This thesis concentrates on solar power and wind power plants produce scaling, planning and the calculated estimation of the payback periods of the investments.

This thesis provides the basic calculation for using the sun or wind based energy sources at Tynilä farm. The thesis gives a good base to compare the possible equipment purchases when considering the profitability of investing in renewable energy.

Language

Finnish

Pages 28

Keywords

solar power, wind power, renewable energy sources

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Kohteen sähkönkulutus	6
3	Aurinkoenergia suomessa	8
	3.1 SUOMEN AURINKOENERGIASTA YLEISESTI.....	8
	3.2 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN SÄHKÖENERGIANA	9
	3.3 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN LÄMPÖENERGIANA	9
4	Aurinkosähköjärjestelmän komponentit	10
	4.1 AURINKOPANEELI	10
	4.2 VERKKOINVERTTERI	11
	4.3 LATAUSSÄÄDIN.....	11
	4.4 ENERGIAMITTARI	12
	4.5 AKUSTO	12
5	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	13
6	Tuulienergia suomessa	18
7	Tuulisähköjärjestelmän komponentit	19
	7.1 TUULIVOIMALA	19
	7.2 VERKKOINVERTTERI, LATAUSSÄÄDIN JA AKUSTO.....	20
8	Tuulisähköjärjestelmän mitoitus	20
9	Pohdinta	27
	Lähteet	28

Käsitteet ja lyhenteet

Absorptio	Prosessi, jossa fotonin energia siirtyy atomille
kWh	Kilowattitunti
kWp	Huipputeho standardiolosuhteissa
MPPT	Maximum Power Point Tracker, suurimman tehopisteen seuranta
Off-grid	Itsenäinen sähköntuotantojärjestelmä
On-grid	Jakeluverkkoon liitetty sähköntuotantojärjestelmä
PWM	Pulse Width Modulation, pulssin leveyden modulaatio

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tehdä suunnitelma- ja investointiarvio Tynilän tilalle uusituvan energian tuotantolaitteistojen käyttömahdollisuuksista ostoenergian tarpeen vähentämiseksi.

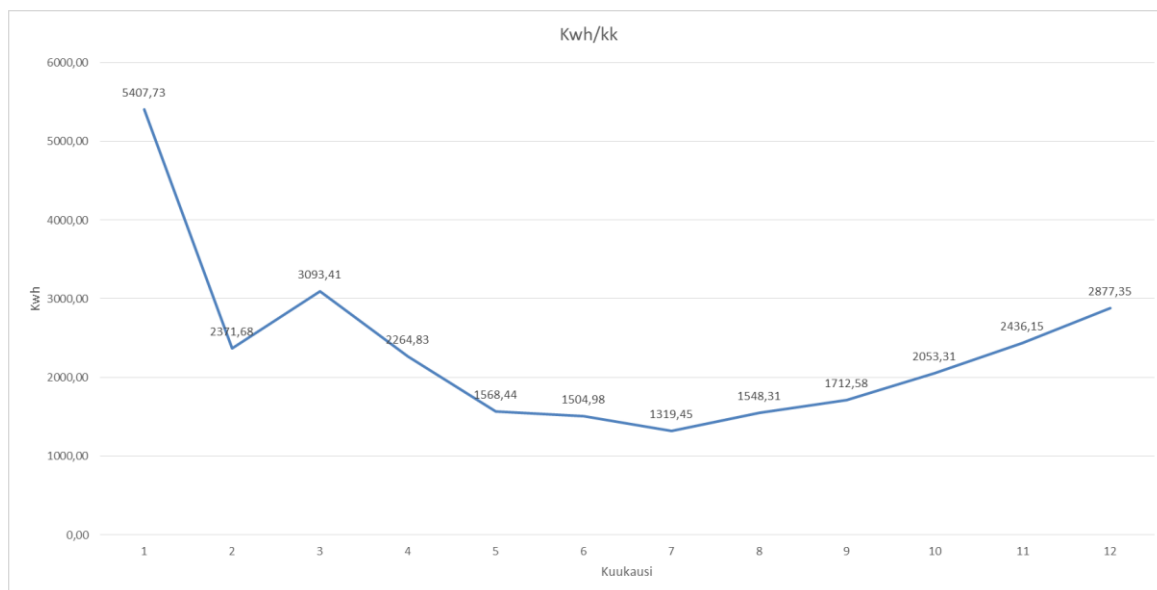
Työssä keskityttiin aurinko- ja tuulisähkövoimaloiden tuotantojen mitoittamiseen, suunnitteluun ja takaisinmaksuaikojen laskennallisiin arviointeihin.

Tilalla on kaksi kappaletta asuinrakennuksia ja näiden lisäksi kolme varastona toimivaa rakennusta sekä yksi konesuoja. Asuinrakennukset on rakennettu 1964 ja 1990. Suurimmat sähkönkulutukset koostuvat asuinrakennusten ylläpitolämmityksestä ja käyttöveden lämmityksestä. Lisäksi pihan ja varastojen sekä konekatoksen valaistus ja työkoneiden sekä ajoneuvojen lämmittäminen kylminä ajanjaksoina muodostavat merkittävän osan vuotuisesta kulutuksesta.

2 Kohteen sähkönkulutus

Sähkönjakeluverkkoyhtiön toimesta kyseisen tilan käyttöpaikalta oli saatavilla tuntikohtainen kulutustietohistoria. Tämän tiedon avulla oli mahdollista arvioida keskimääräistä kulutuksen jakautumista eri vuoden- ja vuorokaudenaikoihin.

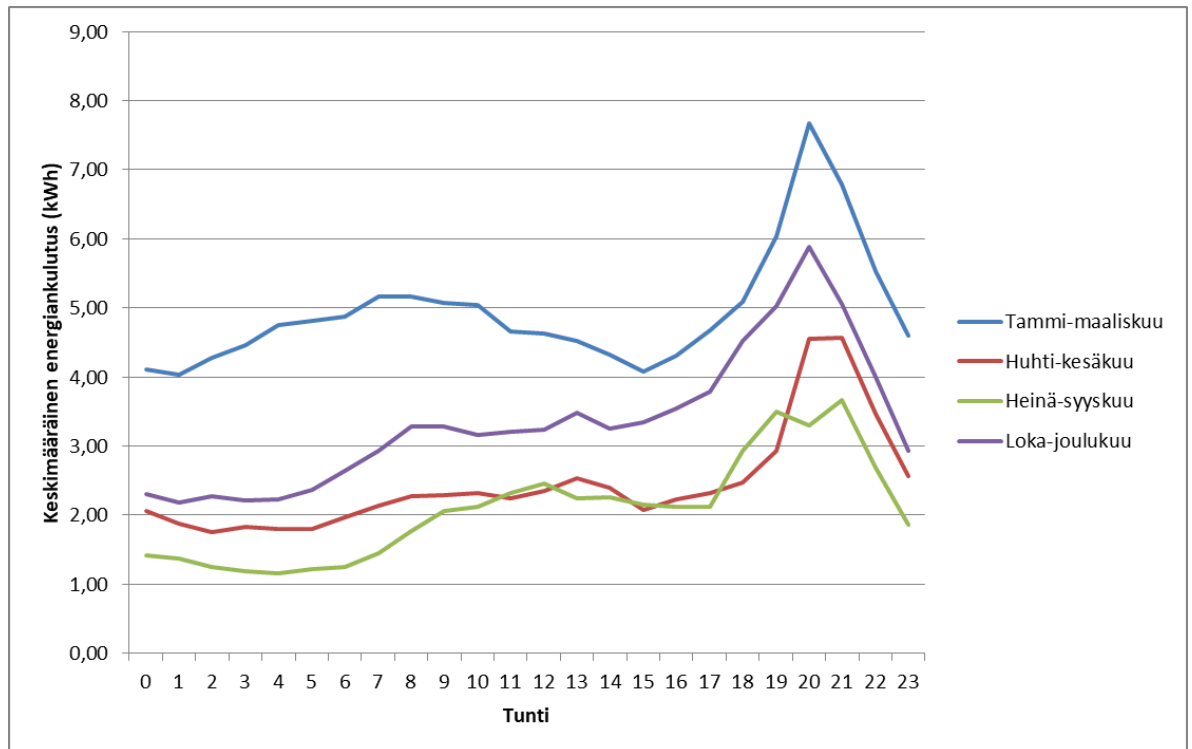
Lämmityksen muodostaessa suurimman osan tilan energiantarpeesta painottuu sähkönkulutus kylmille ajanjaksoille. Kuten kuvasta 1 nähdään, esimerkiksi vuonna 2016 heinäkuun kulutus oli noin puolet joulukuun kulutuksesta. Tammikuun huomattavan suuren sähkönkulutuksen selittivät normaalia kylmemmät kelit ja täten suurempi tarve pitää rakennusten lisäksi myös kuljetus- ja tienhoitokalusto lämpimänä.



Kuva 1. Kuukausittainen kokonaisenergian kulutus vuonna 2016. SSSOY energia mittausten perusteella.

Tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien suhteen oli vuosikohtaisen tarkastelun lisäksi huomioitava kulutuksen jakautuminen myös vuorokausitasolla. Parhaimman mitoituksen saavuttamiseksi etenkin aurinkosähköjärjestelmällä oli tuntikohtaisen kulutuksen tarkastelu tärkeää, kun taasen tuulisähkölaitteistolla energiantuotto jakautui tasaisemmin niin vuorokausi- kuin vuositasollakin.

Kuten kuvasta 2 nähdään, myös vuorokausitasolla kulutuksen jakautumisessa oli suuria eroja. Vuodenajasta riippumatta kulutus painottui päivä- ja ilta-aikaan. Ilta-aikaan suuren kulutuspiikin selittää sähkökäyttöisen saunan lämmittäminen ja käyttöveden lämmitys, sekä yösaikojen vuoksi pyykinpesukoneiden käyttö yötä vasten.



Kuva 2. Tuntikohtainen keskimääräinen energiankulutus vuosineljänneksissä.

3 Aurinkoenergia Suomessa

3.1 Suomen aurinkoenergiasta yleisesti

Suomessa auringosta saatava energia koostuu suoraan tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteily on ilmakehän ja pilvien heijastamaa säteilyä, sekä maasta heijastuvaa hajasäteilyä. Suomessa hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on merkittävä. Eteläisessä Suomessa noin puolet vuoden säteilystä on hajasäteilyä. [1].

Eteläisessä Suomessa aurinko säteilee vuotuisesti noin 3500 MJ/m^2 vaakasuoralle pinnalle, mikä vastaa noin 970 kWh/m^2 :n tehoa. Auringon tuottamaa säteilyenergiaa voidaan hyödyntää Suomessa lähes ympäri vuoden. Tosin joulukuusta tammikuulle auringon säteilyn määrä on Suomessa vähäinen, joten tänä aikana hyödynnettävää energiaa on niukasti tarjolla. [2]

3.2 Aurinkoenergian hyödyntäminen sähköenergiana

Auringon säteilemästä energiasta voidaan muodostaa sähköä, joka tuotetaan aurinkosähköpaneelilla. Aurinkosähköpaneelijärjestelmät jaotellaan kahteen pääryhmään; on-grid- ja off-grid-järjestelmiin. Off-grid-järjestelmä on valtakunnallisesta sähköverkosta irti oleva itsenäinen kokonaisuus. Tällaiset järjestelmäkokonaisuudet ovat hyvin usein käytössä vapaa-ajan asunnoissa ja muissa vastaavissa paikoissa, joissa sähkön käyttö ei ole ympärivuotista. Suurimpana erona on-grid-järjestelmään on että off-grid-järjestelmissä on energiavarasto eli akusto. On-grid-järjestelmä on valtakunnalliseen verkkoon kytketty tuotantolaitos, jolla pyritään omavaraisuuteen ja verkosta ostettavan energian määrän vähentämiseen. Tässä työssä tarkastelun kohteena oli on-grid-järjestelmä.

3.3 Aurinkoenergian hyödyntäminen lämpöenergiana

Auringon säteilystä voidaan muodostaa sähkön lisäksi myös lämpöenergiaa lämpöenergiakeräimillä, joissa auringosta saatava säteilyenergia muunnetaan lämpöenergiaksi. Lämpöenergia siirretään keräimestä vesi-glykoliseoksen välityksellä lämminvesivaraajaan. [3.] Lämpökeräinjärjestelmien hyötysuhteet ovat noin 25 - 35 %:n. [4.]

4 Aurinkosähköjärjestelmän komponentit

4.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli on laite, jolla auringon säteilystä tuotetaan sähköä. Auringon säteilyn fotonit absorboituvat puolijohdemateriaaliin osuessaan aurinkopaneelissa olevaan puolijohteeseen. Absorboituessaan säteily irroittaa puolijohteen pinnasta elektroneja, joissa on negatiivinen sähkövaraus. Irrotessaan elektronit pääsevät liikkeelle ja tämän liike tuottaa paneelissa sähköä. Aurinkopaneelin rakenteen ansiosta elektronit kulkeutuvat vain yhteen suuntaan ja näin ollen paneelissa syntyy tasasuuntaista sähköenergiaa. [5].

Aurinkopaneeleissa käytetyistä puolijohteista pii on yleisin tehonsa ja kustannustehokkuutensa vuoksi. Aurinkopaneeleissa on piin sijaan käytetty myös galliumarsenidia, kadiumtelluridia ja amorfista piitä. Edellä mainittujen puolijohteiden käyttö piin sijaan on kuitenkin vähäistä, sillä niistä tehtyjen paneelien valmistuskustannukset piihin verrattuna ovat huomattavan suuret. [6].

Aurinkopaneeleissa on olemassa monikiteisiä ja yksikiteisiä rakenteita. Näistä rakenteista monikiteinen rakenne on yleisempi, koska sen valmistus on yksinkertaisempaa ja näin ollen halvempaa. Yksikiteisen rakenteen ollessa kalliimpi ja monimutkaisempi rakentaa, on se monikiderakennetta harvinaisempi. Yksikiteisellä rakenteella saavutetaan kuitenkin monikiteistä rakennetta parempi hyötysuhde. [6].

4.2 Verkkoinvertteri

Verkkoinvertteri on laite jolla aurinkopaneelista saatava tasajännite muutetaan ja sovitetaan sähköverkostakin saatavaksi siniaaltoiseksi vaihtojännitteeksi. Verkkoinverttereitä on olemassa 1- ja 3-vaiheisina. 1-vaiheisia verkkoinverttereitä käytetään enemmän kohteissa, joissa ei ole sähköliittymää. Tällaisia kohteita ovat useimmat loma-ajan asunnot, joiden käyttöaste vuositasolla on pieni. 3-vaiheisia verkkoinverttereitä käytetään, kun halutaan suurempi teho ja parempi hyötysuhde. [7].

Verkkoinvertterit voidaan jaotella vielä keskitettyihin ja mikroinverttereihin. Keskitetty verkkoinvertteri on kokonaisuudessa yksi laite johon kytketään koko energiaa tuottava laitteisto. Mikroinvertterit ovat keskitettyjä inverttereitä pienempiä. Mikroinvertterin ja keskitetyn verkkoinvertterin suurin ero on, että mikroinverttereitä tarvitaan 3-vaiheisessa laitteistossa vähintään yksi kappale jokaista vaihetta kohti ja suurissa tuotantokokonaisuuksissa jopa useampia inverttereitä vaihetta kohden. Tämä tosin mahdollistaa sen, että yhden mikroinvertterin särkyessä tuotanto ei pysähdy kokonaan toisin kuin keskitetyssä invertterissä. [7].

Paneelistolta tuodaan tasavirtakaapelointi invertterille. Tasavirtakaapelointi matalalla tasajännitteellä rajaa pidemmät siirtomatkat pois johtimien poikkipinta-alan tuomien kustannuksien takia. Kustannuksien säästöä ajatellen invertteri tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle paneelistoa, sillä vaihtovirraksi muunnettu energian siirto vaatii poikkipinta-alaltaan pienemmän kaapeloinnin. Mikroinvertterien etuna voidaankin pitää niiden pientä kokoa, joka mahdollistaa useimmiten niiden sijoittamisen paneeliston välittömään läheisyyteen. [7].

4.3 Lataussäädin

Lataussäädintä käytetään akuston yhteydessä. Se estää yllilatauksen ja syväpurkautumisen. Lataussäädin sovittaa latausvirran ja jännitteen sopivan suuruiseksi akustoa varten. Lataussäätimiä on kahta tyyppiä, PWM ja MPPT. [8].

PWM-lataussäädin on yleisin käytetty säädin edullisen hankintahintansa takia. PWM-lataussäädin toimii katkomalla paneelistolta tulevaa virtaa sykleittäin, jonka takia kyseisen säätimen hyötysuhde on vain noin 50 - 60 %:n. MPPT-lataussäädin hakee korkeimman paneelijännitteen ja virran leikkauspisteen säädön katkokohdaksi ja muuntaa ylimääräisen jännitteen hakkurilla latausvirraksi. Tällaisella toiminnalla päästään noin 95 - 98 %:n hyötysuhteeseen. [8]

4.4 Energiamittari

Verkkoon liitettävät on-grid-järjestelmät vaativat kaksisuuntaisen energiamittauksen, jotta tuotannosta ylijäävä energia voidaan myydä valtakunnalliseen verkkoon. Tuotannosta on tehtävä myös verkonhaltijan kanssa sopimus, sekä varmistus siitä, että sähköverkko kestää tuotannosta saatavan energiamäärän. Tämän lisäksi on otettava huomioon tuotannon kokoluokka, koska yli 100 kVA:n järjestelmillä täytyy olla erillinen oman tuotannon kulutusmittaus. Tämä toteutetaan mittaamalla oma tuotanto ja vähentämällä siitä järjestelmän käyttämä energia ja verkkoon syötetty energia erillisillä mittareilla. [9].

4.5 Akusto

Akustoa käytetään pääsääntöisesti off-grid-järjestelmissä parantamaan aurikopaneelijärjestelmän tuottavuutta. Tämän lisäksi akustoja voidaan hyödyntää myös on-grid-järjestelmissä, jotta saadaan mahdollisimman suuri hyöty myös eituottavalle ajankohdalle. Järjestelmien käyttöajan pidentämisen lisäksi akustoilla voidaan leikata kulutushuippuja auringosta talteen otetun energian avulla. [7,10].

Aurinkosähköjärjestelmissä käytettävistä akuista yleisin akkutyyppe on lyijyakku, mutta nykyään suositaan kasvattaa markkinoilla myös litium-akku. Lyijyakun heikkoutena energiavarastona voidaan pitää sen pientä energiatiheyttä (<100

Wh/kg), jos akustolle ei ole käytettävissä ylimääräistä tilaa. Litium-akun parempi energiatiheys (<400 Wh/kg) mahdollistaa akuston sijoittamisen pienempään tilaan kapasiteetista tinkimättä. Litium-akun heikkoutena lyijyakkuun verrattuna voidaan pitää korkeaa hintaa, joka yleensä on yli 600 €/kWh, kun lyijyakulla se on normaalisti noin 100 €/kWh. [10,11].

5 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen kannattaa aloittaa nykyisen sähkönkulutuksen tarkastelulla. Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa siten että sen tuottama energia saadaan hyödynnettyä mahdollisimman suurilta osin omassa kulutuksessa. Tämä johtuu siitä että ostetun sähköenergian kokonaishinta on yleensä noin 10 snt/kWh kun taasen verkkoon myydystä sähköstä energiayhtiö maksaa pientuottajalle noin 3,5 snt/kWh.

Tässä työssä on käytetään laskennallista arvoa verkosta ostetun energian hinnalle joka on saatu kohteena olevan sähkökäyttöpaikan sähköenergia- ja energiasiirtolaskuista. Verkkoon myydystä sähköstä saatavan korvauksen suuruus määräytyy nykyään useimmiten SPOT-hintojen mukaan. SPOT-hintojen ja marginaalin summa on tässä työssä arvioitu vuosien 2016-2017 keskihintojen mukaan, ollen 3,5 snt/kWh. [12].

Aurinkosähköjärjestelmän tuottavuuden laskennassa on käytetty apuvälineenä Institute for Energy and Transport:n (IET) tarjoamaa auringon säteilyn teholaskuria. Syöttämällä teholaskuriin kohteen koordinaatit sekä paneelien asennuskulma ja suuntakulma saadaan teholaskurista kohteeseen kohdistuvan auringon säteilyn määrä vuosi-, kuukausi- ja tuntitasolla. Koska laitteiston mitoitus on syytä määrittää tarkoin kohteen kulutuksen mukaan, on tuntikohtainen tarkastelu niin kulutuksen kuin tuotannonkin kannalta perusteltua. [13]

Sopivan laitteiston määrittämiseksi tarkasteltavaksi valittiin 5 kWp:n, 10 kWp:n ja 15 kWp:n kokoluokan laitteistokokonaisuudet. Kaikille näille laitteistoille laskettiin tuotantoennusteet käyttäen tehokaskurista saatuja auringon säteilyarvoja. Laskelmissa on käytetty paneeleina Tamesol 250 W – monikidepaneeleita, joiden hyötysuhde on 15%:n. [14].

Paneeliston hyötysuhteen lisäksi laitteistosta tulee huomioida inverttereiden hyötysuhde. Laskelmissa on käytetty inverttereinä teholtaan 5000 W Victron Energy MultiPlus -inverttereitä, joiden hyötysuhde on 94%:n. Tänä päivänä erityisesti energiantuotantolaitteistoihin suunnitelluissa inverttereissä tehohäviö on erittäin matala, jopa olematon. Suurimmissa laitteistokokonaisuuksissa pienikin tehohäviö tulee kuitenkin ottaa huomioon. [15].

Aurinkosähköjärjestelmän paneeliston suunnitelluksi sijoituspaikaksi valittiin tilan pihapiirissä olevan varastorakennuksen eteläpuoleinen lape, joka näkyy kuvassa 3. Rakennuksen kattokulma on noin 1:2 eli noin 30°. IET:n ohjelmalla voitiin määrittää paneeleille optimaalisin asennuskulma joka on etelän suuntaan 42°. Asennustelineiden säätömahdollisuuksien avulla voidaan paneelisto asentaa tähän optimaaliseen kulmaan.



Kuva 3. Ilmakuva Tyniläntilan pihasta. Kuva: Henri Heikkinen

Taulukossa 1 on laskettu eritehoisten aurinkotuotantolaitosten (5, 10, 15 kWp) tuottavuudet suunnitellulla sijoituspaikalla käyttäen apuna auringon säteilyn tehokasurista saatuja arvoja. Laskurista saatiin erikseen arvot erilaisiin säteilytilanteisiin. Sillä saadaan erilliset arvot suoralle sekä hajasäteilylle kirkkaalla ja pilvisellä säällä. Vastaavat arvot saatiin myös auringon suuntaa seuraaville järjestelmille, mutta niitä ei käytetty laskennoissa. Sen sijaan käytettiin kiinteän järjestelmän suoran säteilyn ja hajasäteilyn arvojen

muodostamaa keskiarvoa kun paneelit ovat suunnattuna suoraan etelään ja niiden kallistuskulma on 42°.

Taulukko 1. Eritehoisten laitteistojen laskennalliset tuotot kuukausittain suunnitellulla sijoituspaikalla.

Kuukausi	Tuotto (kW)		
	5 kWp	10 kWp	15 kWp
tammikuu	64,6	129,2	193,9
helmikuu	173,5	347,0	520,5
maaliskuu	274,6	549,2	823,9
huhtikuu	449,8	899,5	1349,3
toukokuu	539,9	1079,9	1619,8
kesäkuu	512,7	1025,4	1538,1
heinäkuu	536,3	1072,6	1608,8
elokuu	379,4	758,8	1138,2
syyskuu	231,4	462,8	694,1
lokakuu	126,7	253,4	380,0
marraskuu	47,8	95,5	143,3
joulukuu	37,0	74,1	111,1
Yhteensä	3373,61	6747,23	10120,84

Kun laitteistojen tuottoarviot saatiin laskettua, alettiin niitä vertaamaan tilan sähkönkulutukseen. Kun kulutusta ja tuottoa vertailtiin tuntitasolla kuukautta kohden, saatiin muodostettua kuva siitä minkä kokoinen järjestelmä olisi kohteeseen sopiva. Taulukossa 2 on kuukausittainen keskiarvokoonti tuntikohtaisten kulutusten ja tuotantojen erotuksista. Niiltä osin kun tuntikohtaiset tuotot ylittivät kulutuksen, on ylimääräinen energia summattu myynti-sarakkeisiin.

Taulukossa 3 on vastaavat arvot euroiksi muutettuina. Kilowattitunnin hinta on määritetty tilan sähkölaskuista saatujen arvojen mukaan ja siinä on huomioitu sähköenergian ja siirron hinta sekä sähkövero. Näiden summa on 10,48 snt/kWh.

Taulukko 2. Kuukausittainen erottelu eritehoisten laitteistojen tuotannon suhteesta kulutukseen kilowattitunteina.

Kuukausi	Kulutus (kWh)	Tuotto (kWh)			Myynti (kWh)			Ostoenergian säästö (kWh)		
		5 kW	10 kW	15 kW	5 kW	10 kW	15 kW	5 kW	10 kW	15 kW
tammikuu	5407,73	64,6	129,2	193,9				64,62	129,25	193,87
helmikuu	2371,68	173,5	347,0	520,5				173,49	346,98	520,47
maaliskuu	3093,41	274,6	549,2	823,9				274,62	549,24	822,08
huhtikuu	2264,83	449,8	899,5	1349,3				449,76	899,53	1169,71
toukokuu	1568,44	539,9	1079,9	1619,8				539,93	838,72	921,08
kesäkuu	1504,98	512,7	1025,4	1538,1				512,69	831,07	927,13
heinäkuu	1319,45	536,3	1072,6	1608,8				536,28	836,68	918,21
elokuu	1548,31	379,4	758,8	1138,2				379,38	732,84	845,35
syyskuu	1712,58	231,4	462,8	694,1				231,38	462,76	691,24
lokakuu	2053,31	126,7	253,4	380,0				126,68	253,35	380,03
marraskuu	2436,15	47,8	95,5	143,3				47,75	95,50	143,25
joulukuu	2877,35	37,0	74,1	111,1				37,03	74,06	111,09
Yhteensä (kWh)	28158,22	3373,61	6747,23	10120,84				3373,61	6049,97	7643,51

Taulukko 3. Kuukausittainen erottelu eritehoisten laitteistojen tuotannon suhteesta kulutukseen euroina.

Kuukausi	Kulutus (€)	Tuotto (€)			Myynti (€)			Ostoenergian säästö (€)		
		5 kW	10 kW	15 kW	5 kW	10 kW	15 kW	5 kW	10 kW	15 kW
tammikuu	566,93	6,77	13,55	20,32				6,77	13,55	20,32
helmikuu	248,64	18,19	36,38	54,56				18,19	36,38	54,56
maaliskuu	324,30	28,79	57,58	86,18				28,79	57,58	86,12
huhtikuu	237,44	47,15	94,30	122,63				47,15	94,30	116,34
toukokuu	164,43	56,60	87,93	96,56				56,60	79,49	72,11
kesäkuu	157,78	53,75	87,13	97,20				53,75	80,33	75,81
heinäkuu	138,33	56,22	87,71	96,26				56,22	79,46	72,09
elokuu	162,32	39,77	76,83	88,62				39,77	75,92	78,38
syyskuu	179,54	24,26	48,51	72,47				24,26	48,51	72,37
lokakuu	215,26	13,28	26,56	39,84				13,28	26,56	39,84
marraskuu	255,40	5,01	10,01	15,02				5,01	10,01	15,02
joulukuu	301,65	3,88	7,76	11,65				3,88	7,76	11,65
Yhteensä (€)	2952,0	353,7	634,3	801,3				353,7	609,9	714,6

Järjestelmän mitoituksen kannalta olisi parasta se että järjestelmä tuottaisi mahdollisimman suurilta osin kohteessa käytettävän sähkön mutta ylimääräistä, verkkoon myytävää sähköä ei muodostuisi. Tämän tuloksen saavuttaminen on aina jossain määrin kompromissi sillä tuotannon ja kulutuksen huippuarvot eivät yleensä satu samaan ajankohtaan ja näin ollen järjestelmä kannattaa mitoittaa tuotannon huippuarvon ajankohdan kulutuksen mukaisesti.

Taulukoista 2 ja 3 nähdään että 5 kWp:n järjestelmän tuotto ei missään vaiheessa ylitä kohteen kulutusta eli verkkoon myytävää sähköä ei muodostu. 10 kWp:n järjestelmä tuottaisi laskelmien perusteella kesäaikaan pienissä määrin verkkoon myytävää sähköä. 15 kWp:n järjestelmän kesäaikainen tuotto kulutukseen verrattuna on kannattavuuden kannalta liian suurta.

Tämän jälkeen oli mahdollista laskea jokaiselle laitteistolle takaisinmaksuaika jolla voidaan arvioida laitteiston sijoituksen kannattavuutta. Laitteistoille oli

määritetty hankintakustannukset vuoden 2016 keskimääräistä hintatasoa käyttäen. Järjestelmän kustannusten suuruus riippui tehosta ja tehon yksikköhinta pienenee järjestelmän tehoa kasvattaessa. Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun ylläpitämän Finsolar sivuston perusteella on laskelmiin määritetty 5 kWp:n järjestelmälle hankintahinnaksi 8250 euroa, 10 kWp:n järjestelmälle 13500 euroa ja 15 kWp:n järjestelmälle 19500 euroa. [16]. Takaisinmaksuajat on laskettu Excel-taulukkolaskentaohjelmiston avulla.

Taulukko 4. Takaisinmaksuajat laitteistoille

	Takaisinmaksuaika		
	Nykyhinnalla	5% nousulla	5% laskulla
5 kW	24	17	40
10 kW	22	16	35
15 kW	25	18	44

Taulukossa 4 on esitetty laskennalliset takaisinmaksuajat jokaiselle laitteistokokonaisuudelle, siten että kyseisen laitteiston hankintahintaa on jaettu laitteiston vuosikohtaisella tuotolla. Takaisinmaksuajat on laskettu myös kahteen eri tulevaisuuden näkymään, joista ensimmäisessä sähköenergian ja siirtomaksun kWh:n hinnat nousevat joka vuosi tämän päivän tilanteesta tasaisesti yhteensä 5%:n ja toisessa hinnat laskevat vuosittain 5%.

6 Tuulienergia Suomessa

Tuulienergia muodostuu auringon säteilyn lämmittävästä vaikutuksesta. Auringon säteily lämmittää ilmakehässä olevaa ilmassaa joka lämmitessään eri lämpöiseksi kuin maanpinta aiheuttaa liikereaktion ilmassalle. Tätä reaktiota kutsutaan tuuleksi. Maapallolle tulevasta auringon säteilyenergiasta arviolta 1 - 3 % muuttuu ilmassan liike-energiaksi. [17].

Tuulen voimakkuus riippuu suuresti auringon säteilyvoimakkuudesta ja maaston rosoisuudesta. Päiväntasaajalla auringon säteilyenergiaa kertyy maahan ja ilmassaan suuremmissa määrin kuin alueilla jotka sijaitsevat lähempänä maapallon napoja. Maapallon ilmakehä pyrkii säilyttämään lämpötasapainon, jonka vuoksi lämpö siirtyy päiväntasaajan alueilta tuulina ja valtameren virtausten muodossa lähemmäksi napa-alueita. Tuulet kuljettavat lämpöenergiasta noin 70 %. [17].

Tuulienergia voidaan muuntaa sähköenergiaksi tuuliturbiinien avulla. Tuuliturbiinit jaotellaan kahteen eri pääryhmään, pystyakseloidut ja vaakakseloidut. Näistä enemmän käytetty rakennemalli on vaakakseloitu 3- tai useampilapainen tuuliturbiini. Pienemmissä kohteissa kuten mökit ja pientalot on käytetty jo joissain määrin yleistyviä pystyakseloituja tuuliturbiineja eli ns. Savonius-tyyppisiä voimalaratkaisuja. [18].

7 Tuulisähköjärjestelmän komponentit

7.1 Tuulivoimala

Tuulivoimala on laitteistokokonaisuus, joka koostuu seuraavista komponenteista: konehuone, lavat ja torni.

Konehuone sisältää sähköntuotannon kannalta tuulivoimalan tärkeimmät laitteet, eli generaattorin ja mahdollisen vaihteiston. Vaihteiston tehtävänä tuulivoimalassa on sovittaa lapojen tuottama pyörintänopeus generaattorille sopivaksi. Generaattori tuottaa sähköä saamastaan pyörintäenergiasta. Tämän lisäksi konehuoneessa on tornin ja konehuoneen väliin sijoitettu kääntöakselisto, jonka avulla lavat voidaan suunata tuulen suunnan mukaan. [19].

Lavat ovat tuulivoimalan tuotannon kannalta oleellisin osa kokonaisuutta, sillä niillä tuotetaan tuulen avulla pyörintäenergiaa. Lapojen muotoilulla ja

suuntauksella voidaan vaikuttaa lapoihin kohdistuvaan paineeseen, jonka ansiosta lavoille syntyy yhdensuuntainen työntövoima, joka muuntuu lapojen kiinnityspisteessä olevan akselin välityksellä pyörintäenergiaksi. [20].

Torni ja sen perustukset ovat tuulivoimalan jalka jonka varassa voimala nostetaan sille sopivaan korkeuteen, jotta se saavuttaisi optimaaliset tuotantolosuhteet. Perustukset on usein toteutettu valamalla ne betonista mikäli ei ole ollut mahdollisuutta kiinnittää tornia kiinteään kallioon. Tornit on useimmiten pienissä alle 100 kW:n laitoksissa valmistettu metallista kustannustehokkuuden ja kestävyuden vuoksi. Isommissa yli 1 MW tuulivoimaloissa torneissa käytetään pääosin betonivaluratkaisuja teräsvahvikkeilla.

7.2 Verkkoinvertteri, lataussäädin ja akusto

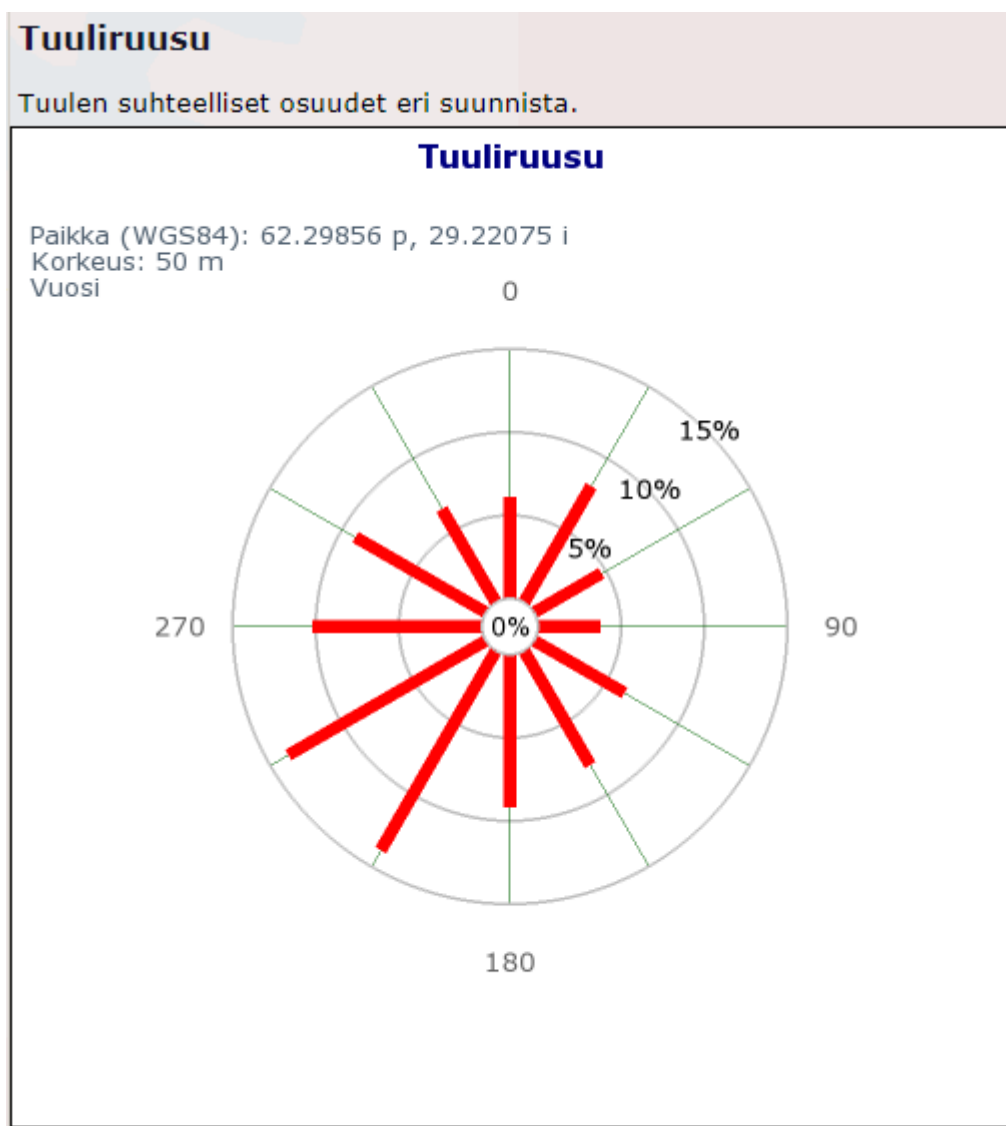
Verkkoinvertteri, lataussäädin ja akusto toimivat käytännössä samaan tapaan tuulivoimalan kuin aurinkosähkövoimalankin yhteydessä. Invertterin ja lataussäätimen valinta ja mitoitus tehdään kohteen mukaan ja akustoja käytetään yleensä vain off-grid-järjestelmissä.

8 Tuulisähkijärjestelmän mitoitus

Tuulivoimalan mitoittaminen kannattaa aloittaa samalla tavalla kuin aurinkosähkö järjestelmänkin mitoittaminen, tarkastelemalla kohteen kulutusta ja tuotannon sijoittumista kulutukseen nähden. Tuulisähkijärjestelmän tuottaman sähkönenergian hintoina on käytetty samoja omaan käyttöön jäävän sähkön ja myyntiin päätyvän sähkön hintoja kuin aurinkosähkijärjestelmässäkin.

Tuulisähkölaitteiston tuottavuuden laskennassa on käytetty apuvälineenä Tuuliatlas-karttaliittymää sekä sieltä saatavia tuulen nopeuden keskiarvoja ja

tuulen suunnan jakaumaa vuositasolla. Tuulen suunnan jakautumisella voitiin määrittää laitteistolle parhain mahdollinen sijainti kohteessa, jolloin sille tuleva ilmavirta olisi ollut mahdollisimman tasaista ja pyörteetöntä. Tällä keinoin laitteistosta saatiin laskennallisesti paras mahdollinen hyöty. [21].



Kuva 4. Tuuliruusu Tynilän koordinaateista 2500m hilamitalla 50m korkeudesta.

Kuvasta 4 voitiin tulkita vuositasolla tuulevan eniten lounaasta. Valtaosa tuulesta suuntautui luoteen ja kaakon välille, joten siihenkin nähden lounas oli sopivasti näiden suuntien välissä. Laitteisto kannatti siis sijoittaa sellaiselle paikalle, että lounaan suunasta tuulen kulku olisi mahdollisimman esteetöntä.



Kuva 5. Googlen satelliittikuva tyniläntilasta.

Kuvassa 5 on punaisella ympyrällä merkattu mahdollinen tuulivoimalan sijoituspaikka. Tämä paikka ei ole tuulen esteettömyyden kannalta optimaalisin mutta tuolta sijainnilta sähkökaapelointi on järkevin toteuttaa tilan sähköverkon kannalta, sillä tuulivoimalan suunnitellun paikan eteläpuolelle jäävään rakennukseen tulee lähin sähköverkon liittymispiste.

Kun tuulivoimalalle oli sijoituspaikka tiedossa, voitiin Tuuliatlas-karttaliittymän avulla laskea tuulivoimalan tuottavuus. Tuuliatlas-karttaliittymästä saatiin kohteen koordinaateilla tuulen keskinopeus, Weibull A-arvot ja Weibull k-arvot 50 m korkeuteen mitattuina. Kohteeseen suunnitellut tuulivoimalat suositeltiin asentamaan vähintään 18 m korkeuteen joten suoraan Tuuliatlaksesta saatuja keskituulennopeus ja Weibull A-arvoja ei voitu käyttää vaan ne tuli muuttaa sopiviksi haluttuun korkeuteen kaavan 1 avulla. [22].

$$V(z) = V_{ref} * \left(\frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \right) \quad (1)$$

jossa

V_{ref} on alkuperäinen tuulennopeus

z_{ref} on alkuperäinen napakorkeus

z on tarkasteltava napakorkeus

z_0 on tarkasteltavan pinnan rosoisuusparametri

Taulukko 5. Tuuliatlaksesta saadut arvot 18 metriin korkeuteen muunnettuina.

Korkeus (m)	Tuulenkeskinopeus V (m/s)	Weibull A	Weibull k
18	5,13	4,87	2,23

Laskennoissa Weibull k-arvona oli käytetty Tuuliatlaksesta saatujen arvojen laskennallista keskiarvoa. Näiden arvojen avulla (taulukko 5) on voitu määrittää tuulen nopeuden jakauma vuositasolla. Tämän tarkempaa tarkastelua ei ole mahdollista toteuttaa ilman kohteessa suoritettavaa vähintään vuoden mittaista tuulen nopeuden mittausta.

Vuosittaisen tuulijakauman laskemiseksi oli arvioitava myös maaston rosoisuus. Työssä oli maaston rosoisuuskertoimeksi arvioitu 0,1, koska vallitseva ympäristö oli peltoa jota reunustaa havumetsä. Tämän jälkeen voitiin laskea jokaiselle tuulen nopeudelle prosentuaalinen osuus koko vuoden tuulisuudesta kaavalla 2. [23].

$$F(u; A, k) = \frac{k}{A} * \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{u}{A}\right)^k} \quad (2)$$

jossa

k on niin sanottu muotoparametri

A on skaalausparametri

u on tuulen nopeus

Saadun vuosittaisen tuulen nopeuden jakauman avulla voitiin määrittää jokaiselle tuulen nopeudelle aikamääre jonka verran kyseisellä tuulennopeudella vuodessa tuulee. Tämän avulla voitiin määrittää jokaiselle tuulivoimalalle tuotto vuositasolla kertomalla jokaisen tuulennopeuden aikamääre laitteistovalmistajan ilmoittamalla teholla, jonka laitteisto kyseisessä tuulen nopeudessa tuotti. Tämän jälkeen laskettiin jokaisen tuulen nopeuden

tuotto yhteen ja saatiin vuotuinen tuotto laitteistolle kuten taulukoissa 6 - 8 on kuvattu.

Taulukko 6. 7.5 kWp:n tuulivoimalan vuotuinen tuotto.

Windspot 7.5 kW				
18 m				
v (m/s)	F	t (h)	P (kW)	E (kWh)
0	0	0	0	
1	6,34442 %	555,7715	0	0
2	13,35653 %	1170,032	0	0
3	17,97000 %	1574,172	0,3	472,2516
4	18,86381 %	1652,47	0,5	826,2349
5	16,37857 %	1434,763	1	1434,763
6	12,03966 %	1054,674	1,7	1792,946
7	7,57233 %	663,3359	2,5	1658,34
8	4,09495 %	358,7176	3,5	1255,512
9	1,90795 %	167,1366	4	668,5464
10	0,76633 %	67,13023	5,2	349,0772
11	0,26524 %	23,23479	6,8	157,9966
12	0,07904 %	6,923959	7,5	51,92969
13	0,02026 %	1,774394	7,5	13,30795
14	0,00446 %	0,390507	7,5	2,928799
15	0,00084 %	0,073696	7,5	0,552721
16	0,00014 %	0,011908	7,5	0,089308
17	0,00002 %	0,001645	7,5	0,012335
18	0,00000 %	0,000194	7,5	0,001454
19	0,00000 %	1,95E-05	7,5	0,000146
20	0,00000 %	1,66E-06	7,5	1,25E-05
energian tuotto vuodessa				8684,49

Taulukko 7. 10 kWp:n tuulivoimalan vuotuinen tuotto.

Tuge 10 kW				
18 m				
v (m/s)	F	t (h)	P (kW)	E (kWh)
0	0	0	0	
1	6,34442 %	555,7715	0	0
2	13,35653 %	1170,032	0	0
3	17,97000 %	1574,172	0,5	787,086
4	18,86381 %	1652,47	1,2	1982,964
5	16,37857 %	1434,763	2,43	3486,474
6	12,03966 %	1054,674	4,203	4432,795
7	7,57233 %	663,3359	6,372	4226,777
8	4,09495 %	358,7176	7,848	2815,216
9	1,90795 %	167,1366	8,775	1466,624
10	0,76633 %	67,13023	9,36	628,3389
11	0,26524 %	23,23479	9,82	228,1657
12	0,07904 %	6,923959	10	69,23959
13	0,02026 %	1,774394	10	17,74394
14	0,00446 %	0,390507	10	3,905066
15	0,00084 %	0,073696	10	0,736961
16	0,00014 %	0,011908	10	0,119077
17	0,00002 %	0,001645	10	0,016447
18	0,00000 %	0,000194	10	0,001939
19	0,00000 %	1,95E-05	10	0,000195
20	0,00000 %	1,66E-06	10	1,66E-05
energian tuotto vuodessa				20146,2

Taulukko 8. 20 kWp:n tuulivoimalan vuotuinen tuotto.

Tuge 20 kW				
18 m				
v (m/s)	F	t (h)	P (kW)	E (kWh)
0	0	0	0	
1	6,34442 %	555,7715	0	0
2	13,35653 %	1170,032	0	0
3	17,97000 %	1574,172	0,8	1259,338
4	18,86381 %	1652,47	1	1652,47
5	16,37857 %	1434,763	2	2869,526
6	12,03966 %	1054,674	3,6	3796,827
7	7,57233 %	663,3359	4,3	2852,345
8	4,09495 %	358,7176	5	1793,588
9	1,90795 %	167,1366	7,5	1253,525
10	0,76633 %	67,13023	10	671,3023
11	0,26524 %	23,23479	13,5	313,6697
12	0,07904 %	6,923959	17,3	119,7845
13	0,02026 %	1,774394	20	35,48787
14	0,00446 %	0,390507	20	7,810132
15	0,00084 %	0,073696	20	1,473923
16	0,00014 %	0,011908	20	0,238154
17	0,00002 %	0,001645	20	0,032894
18	0,00000 %	0,000194	20	0,003878
19	0,00000 %	1,95E-05	20	0,00039
20	0,00000 %	1,66E-06	20	3,33E-05
energian tuotto vuodessa				16627,42

Takaisinmaksuajat on laskettu taulukoiden 6 - 8 tuottojen perusteella ja laitteistoille on määritetty investointihinnat Jakokoskella sijaitsevaan 23.9.2016 tuotantoon kytkettyyn, kokoltaan 20 kWp:n tuulivoimalan perusteella. Jakokosken 20 kWp:n voimalan investointiarvoksi oli arvioitu 74000 €. Tätä arvoa oli käytetty laskentojen perusteena. Näin ollen saatiin 3700 €/kW:n hinta joka vaikuttaa realistisemmalla kuin Tietoatuulivoimasta-sivustolla arvio 1300-1400 €/kW. Tällä tavoin laitteistoille saatiin seuraavat investointihinnat: 7.5 kWp:n 27750 €, 10 kWp:n 37000 € ja 20 kWp:n 74000 €. Taulukossa 9 on esitetty jokaiselle laitteistolle takaisinmaksuajat nykyisen ostosähkön hinnalla sekä tulevaisuuteen 5 %:n nousevalla ja 5 %:n laskevalla sähkön ostohinnalla. [24,25].

Taulukko 9. Tuulivoimaloiden takaisinmaksuajat

	Ostosähkönhinta		
	Nykyhinnalla	5% nousulla	5% laskulla
20 kW	45	25	Ei koskaan
10 kW	18	14	49
7.5 kW	32	20	Ei koskaan

Takaisinmaksuajoissa ostohinnan 5 %:n vuosittaisella laskulla laitteistot eivät saavuta omaa hankintahintaansa oletetun laitteiston käyttöiän aikana, kun laitteiston valmistajat lupaavat laitteistoille 25 vuoden toiminta-ajan. [26].

9 Pohdinta

Taloudellisesta näkökulmasta aurinkosähköjärjestelmän kannalta järkevimmäksi vaihtoehdoksi osoittautui järjestelmä 5 kWp:n ja 10 kWp:n tehojen väliltä, jossa paneeliston teho olisi alle 10 kWp:n mutta invertterin tehonkesto antaisi tulevaisuudessa mahdollisuuden laajentaa paneelitehon 10 kWp:hen asti. Taloudellisesta näkökulmasta tuulisähköjärjestelmä olisi kannattavinta toteuttaa 10 kWp:n kokoluokassa. Tässä tosin suurimpana huomiona kannattaa kiinnittää huomiota laitteiston tulevaan todelliseen investointikustannukseen.

Molempien tuotantolaitosten osalta akuston käyttö kulutushuippujen leikkurina oli saavutettuun hyötyyn nähden kannattamatonta. Tätäkään asiaa ei kannata kuitenkaan kokonaan poissulkea tulevaisuuden kannalta, sillä akustojen hinnan ja kapasiteetin kehitys edistyy koko ajan kuluttajaystävälliseen suuntaan.

Koska työssä ei ole käytetty yhtään tarjoukseen perustuvaa hintatietoa, on sen takia työssä saadut laskelmat ja arvot hintojen ja takaisinmaksuaikojen suhteen vain suuntaa antavia. Kannattavuutta voi todella peilata hintoihin todellisen tarjouksen saatuaan. Suuruusluokat kuitenkin ovat tämän päivän hintatason mukaisia ja takaisinmaksuajoissa sekä investointikustannuksissa ei suuria heittoja tule olemaan.

Lähteet

1. Motiva Oy. Auringonsäteilyn määrä Suomessa.2016.[Viitattu 2.9.2017].Saatavissa:https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maar_a_suomessa
2. Ilmatieteen laitos. energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. 2012. [Viitattu 2.9.2017]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/energielaskennan-testivuodet-nyky>
3. Motiva. Auringosta lämpöä ja sähköä.2016. [Viitattu 6.10.2017].Saatavissa:https://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf
4. Solarblue. Aurinkoenergia. 2017.[Viitattu 6.10.2017]. Saatavissa: <http://www.solarblue.fi/aurinkoenergia/>
5. Solar-energeeasy. Miten aurinkopaneelit tuottavat sähköä. 2017.[viitattu 25.10.2017]. Saatavissa: <http://www.solar-energeeasy.com/fi/fi/92/miten-aurinkopaneelit-tuottavat-sahkoa>
6. Kompo2010. Aurinkokenno. 2010.[Viitattu 1.11.2017].Saatavissa: <https://kompo2010.wikispaces.com/Aurinkokenno>
7. Ilmastoinfo. Aurinkosähkökotiin. 2017.[Viitattu: 1.11.2017], Saatavissa: <http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/laitteet/>
8. Aurinkosähkö. Latasusäätimet. 2017.[Viitattu:1.11.2017]. Saatavissa: <http://www.aurinkosahko.net/category/11/lataussaatimet>
9. Energia.Ohje tuotannon liittämistä jakeluverkkoon. 2016.[Viitattu:2.11.2017] Saatavissa: https://energia.fi/files/1248/Ohje_tuotannon_liittamisesta_jakeluverkkoon_PAIVITETTY_20160427.pdf
10. Alanen, Kioljonen, Huikari & Saari. Energian varastoinnin nykytila. VTT. 2003. [Viitattu 3.11.2017]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>
11. Niemi,Miro. Sähköajoneuvojen akusto ja kestoikä.Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Auto- ja kuljetustekniikka. 2016.[Viitattu 3.11.2017] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110056/Niemi_Miro.pdf?sequence=1
12. Nordicgreen. Suomen alueen hinta. 2017.[Viitattu 15.11.2017]. Saatavissa: <https://www.nordicgreen.fi/asiakaspalvelu/energiatietoa/spot-hinta/>
13. Photovoltaic Geographical Information System. Performance of Grid-connected PV. 2017. [Viitattu:21.11.2017]. Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
14. Tuontitukku.Tamesol.2017.[Viitattu 15.11.2017].Saatavissa: https://www.tuontitukku.fi/file_view.php?name=1/TM-P660240-260-FO.P02.1.V7.pdf
15. Erikoistekniikka. Ajoneuvojen lisävarusteet. 2017.[Viitattu 17.11.2017]. Saatavissa: <https://www.erikoistekniikka.fi/ajoneuvojen->

- lisavarusteet/tuote/invertteri-laturi-5000w-victron-energy-multiplus/5006010250/
16. Finsolar. aurinkosähkön hinta ja kannattavuus. 2017.[Viitattu 30.11.2017]. Saatavissa: <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>
 17. Suomen tuuliatlas. Mitä tuuli on?. 2017.[Viitattu:4.12.2017]. Saatavissa: http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_2.html
 18. Suomen tuuliatlas. Mitä on tuulivoima?. 2017.[Viitattu:4.12.2017]. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/tuulivoima/index.html>
 19. Tuulivoimayhdistys. tietoa tuulivoimasta. 2017.[Viitattu:30.12.2017]. Saatavissa: [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimateknikka/tuulivoimaloiden-rakenne](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimateknikka/tuulivoimaloiden-rakenne)
 20. Stenvall, Juha. Tuulivoimalan laipojen huollot ja tarkastukset. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tuotantotalous. Diplomityö .2013.[Viitattu:30.12.2017]. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/93811/nbnfi-fe201311217386.pdf?sequence=3>
 21. Suomen tuuliatlas. Tuuliatlas-karttaliittymä.2011.[Viitattu:30.12.2017]. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>
 22. Suoniemi, Kalle. Pientuulivoiman suunnittelu ja tuotannon ennustus kuluttajan näkökulmasta. Tampereen teknillinen yliopisto. Tieto- ja sähkötekniikka. Diplomityö.2011.[Viitattu:1.1.2018]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22242/Suoniemi.pdf?sequence=3>
 23. Suomentuuliatlas.mallinnus.2018[Viitattu:1.1.2018]. Saatavissa: http://www.tuuliatlas.fi/mallinnus/mallinnus_2_1.html
 24. Karelia. Jakokosken tuulivoimala.2017[Viitattu:1.1.2018]. Saatavissa: <http://www.karelia.fi/vasu/2017/02/09/jakokosken-tuulivoimala/>
 25. tuulivaomayhdistys. Tietoa tuulivoimasta.2009.[Viitattu:1.1.2018]. Saatavissa: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/taloudellisuus/investoinnit>
 26. Windspot. Tutustu tuotteisiin.2018[Viitattu:1.1.2018]. Saatavissa: <http://finland.windspot.es/home-wind-turbines/products/87/-tutustu-windspotiin/>