



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Off-grid asumiskohteen energiatarkastelu

TEKIJÄ: Juha Airaksinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Juha Airaksinen			
Työn nimi Off-grid asumiskohteen energiatarkastelu			
Päiväys	30.08.2019	Sivumäärä/Liitteet	39/2
Ohjaaja(t) Lehtori Tanja Pentinsaari ja lehtori Ari Mikkonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on off-grid asumiskohteen energiatarkastelu, jossa perehdytään kohteen energiantarpeeseen ja -saantiin ja sen riittoisuuteen ympäri vuoden. Työn teoriaosassa perehdytään tuulivoimaan ja aurinkoenergiaan, sekä näiden hyödynnettävyyteen eri menetel- millä. Teoriaosa pohjautuu kirjallisuus- ja verkkolähteisiin. Työssä oli tarkoitus selvittää off-grid asumiskohteen nykyinen energiantarve ja lämmitysmuoto sekä niiden riittä- vyys. Kohteen energiansaanti tarkastellaan ensin teoreettisesti ympäri vuoden tuottona aurinkopaneelien ja pien- tuulivoimalan kapasiteetti huomioiden, käyttäen apuna vuosittaisia säteily- ja tuulitilastoja. Teoreettista tietoa verrataan kohteesta mitattuun tuotantoon. Työssä perehdytään lisäksi kohteen pientuulivoimalan ongelmiin, sillä on tiedossa, että sen lapojen pyörimisnopeudet ovat huonot ja energian tuotto pieni. Työni tuloksena voidaan todeta, että kohteen energiantuotto on tarpeellisella tasolla huhti-syyskuun välisenä ai- kana, kun käytetään aurinkovoimaa. Tuulivoima sen sijaan tuottaa heikosti energiaa. Syynä tähän ovat tuulivoi- malan sijainti ja ympärillä olevat tuuliesteet. Lisäksi voimalaan on tehty sellaisia muutoksia, jotka saattavat vai- kuttaa negatiivisesti sen energiantuottoon. Talvikautena kohteessa käytetään aggregaattia, jolla ladataan akkuv- a- rastoja. Kohteen lämmitykseen olisi suositeltavaa tehdä muutos ja vaihtaa varaavaan takkaan, joka tasoittaisi läm- mitystä ja vähentäisi puun käyttöä.			
Avainsanat Aurinkoenergia ja tuulienergia			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Juha Airaksinen			
Title of Thesis Energy Audit of an Off-Grid Detached House			
Date	30.08.2019	Pages/Appendices	39/2
Supervisor(s) Tanja Pentinsaari ja Ari Mikkonen			
Client Organisation /Partners			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to analyze the energy needs of an off-grid residence. The analysis covered the energy needed and received throughout the year and its sufficiency.</p> <p>The theory part of this thesis is focused on wind and solar energy and their utilization through various methods. The theory part is built on literary and web-based sources.</p> <p>In the main part of the thesis the purpose was to examine the current energy demand and heating system of the off-grid residence and their sufficiency. The energy intake of the subject was first examined theoretically as a year-round output using yearly radiation and wind statistics while taking into consideration the capacities of the solar panel and small wind turbine. The theoretical data was compared to the actual measured output. The thesis also explored the problems of the small wind turbine since it is known to have small rotating speeds and a small energy output.</p> <p>As a result of the thesis, it can be said that the subject's energy output meets the required levels during the months from April to September on solar energy, but the energy output of wind energy is not enough. This is due to the location of the wind turbine and its surroundings which block most of the wind. Furthermore, changes have been made to the turbine that may affect its energy output negatively. During winter season, an aggregate is used to charge the battery reserves.</p> <p>It would be recommendable to upgrade the fireplace of the residence to a heat retaining fireplace to even out the heating and lower wood consumption.</p>			
Keywords Solar energy and wind energy			

SISÄLTÖ

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 UUSIUTUVA ENERGIA.....	7
2.1 Tuulivoima	7
2.2 Aurinkoenergia	12
3 KOHTEEN KUVAUS	18
4 KOHTEEN ENERGIATARKASTELU JA MITOITUS.....	20
4.1 Aurinkoenergia	20
4.2 Tuulivoima	25
4.3 Tulisija	31
5 TULOKSET	33
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	37
LÄHTEET.....	38

LYHENTEET

P = teho

U = jännite

A = virta

E = energia

t = Aika

η = hyötysuhde

G_s = auringonsäteilyn voimakkuus

A = pinta-ala

1 JOHDANTO

Työni tarkoitus on tutustua tarkemmin off-grid asumiskohteeseen ja sen energialähteisiin, sekä suorittaa kohteeseen energiatarkastelu. Kohde on pienehkö loma-asunto, jossa asuu kaksihenkinen perhe nykyään ympäri vuoden. Kohteen sähköntarve tuotetaan aurinkovoimalla ja tuulivoimalla eikä kohteessa ole yleistä sähköverkkoa.

Työssä kartoitetaan kohteen energiantarve ja -saanti sekä tarkastellaan eri vuodenaikojen vaikutusta energiansaantiin ja -kulutukseen. Lisäksi selvitetään mahdollisia syitä tuulivoimalan vähäiseen energiantuottoon.

Lämmitysmuodon tarkastelussa kartoitetaan kohteen nykyinen lämmitysmuoto ja esitetään kohteen lämmön varausominaisuuksiltaan paremmin soveltuva vaihtoehto.

2 UUSIUTUVA ENERGIA

Tässä osuudessa esitellään uusiutuvan energian muodoista tuulivoima ja aurinkoenergia.

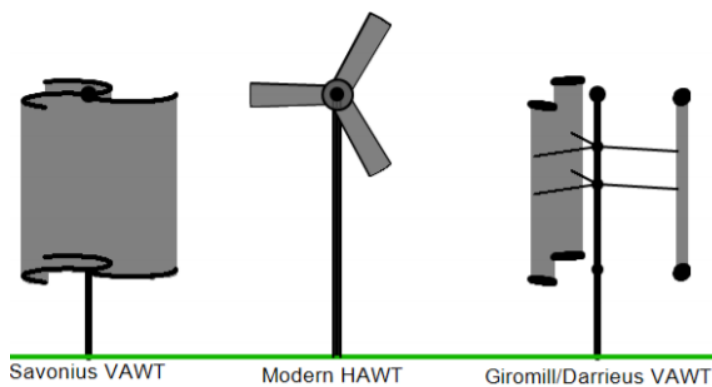
2.1 Tuulivoima

Tuuli on ilmavirtauksia maanpinnan suuntaisesti, ja se saa alkunsa auringon säteilystä. Kun maanpinta lämpenee auringonsäteilyn vaikutuksesta epätasaisesti, syntyy ilmanpaine-eroja, jonka vaikutuksesta ilma lähtee liikkumaan ja syntyy tuulia. Tuulivoima luo energiaa tuulen virtauksia apuna käyttäen muuttaen liike-energian tuuliturbiinilla sähköksi, joka on puhdasta energiaa, eikä siinä ei ole minkäänlaisia päästöjä. (Tuuliatlas, 2019-12-04.)

Yleisin tuulivoimalamalli on kuvassa 1 esitetty vaaka-akseli tuuliturbiini. Muita malleja ovat VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) Savonius, sekä Giromill/Darrieus pystyakseliset mallit (kuva 2).



KUVA 1. Tuulivoimala (TuuliWatti 2019-04-12.)



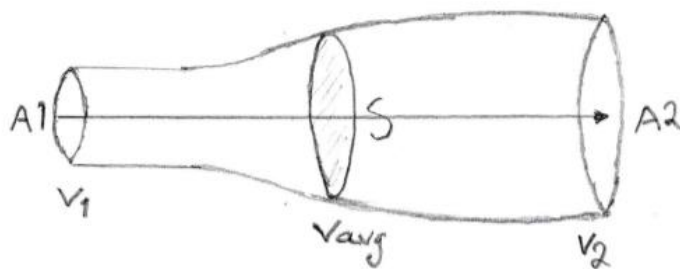
KUVA 2. Eri malleja tuulivoimaloista (Taloforum 2019-04-12.)

Tuulivoimassa käytetään Betzin lakia, jonka mukaan ideaalinen turbiini muuttaa maksimissaan 59,3 prosenttia tuulen energiasta akselin energiaksi. Betzin lain olettaimus perustuu siihen, että tuuliturbiinin läpi kulkeva ilma ei katoa minnekään yhtälön 1 mukaisesti:

$$qm = qA_1v_1 = qSv = qA_2v_2 \quad (1)$$

jossa

qm	massavirta, kg/s
q	ilman tiheys, kg/m ³
v_1	tuulen nopeus ennen tuuliturbiinia, m/s
v_2	tuulen nopeus tuuliturbiinin jälkeen, m/s
v	tuulen nopeus tuuliturbiinissa, m/s
A_1	tuulen vaatima pinta-ala ennen turbiinia, m ²
S	tuuliturbiinin pinta-ala, m ²
A_2	tuulen vaatima pinta-ala tuuliturbiinin jälkeen, m ² (Korpela, 37-39.)

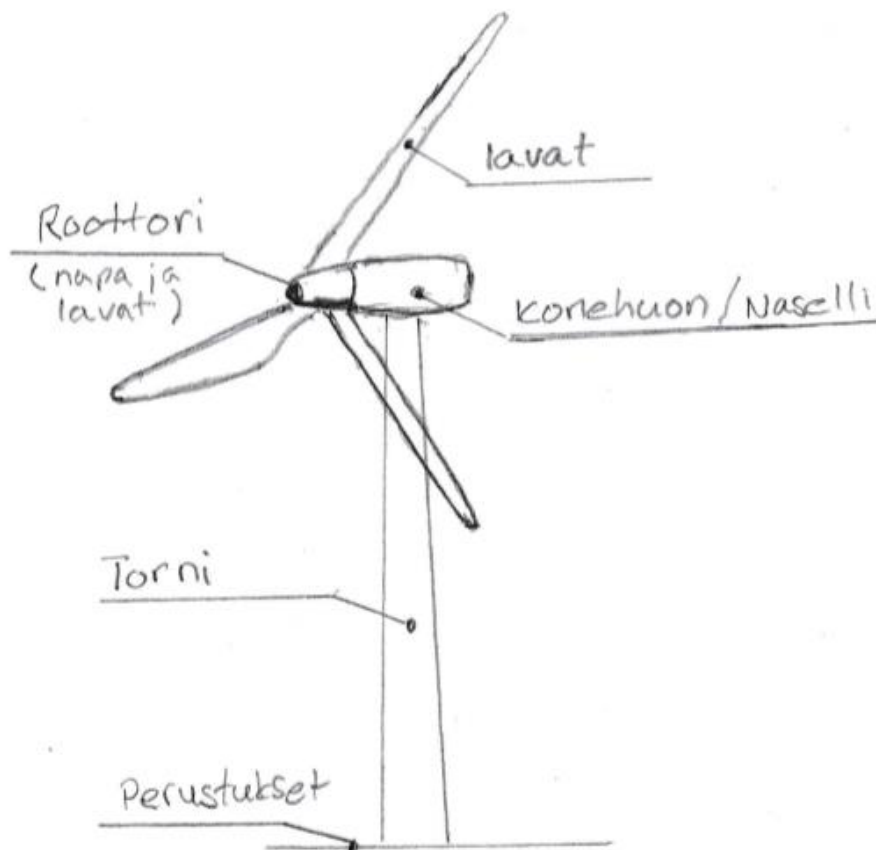


KUVA 3. Betzin lain havaintokuva (Airaksinen 2019-04-12.)

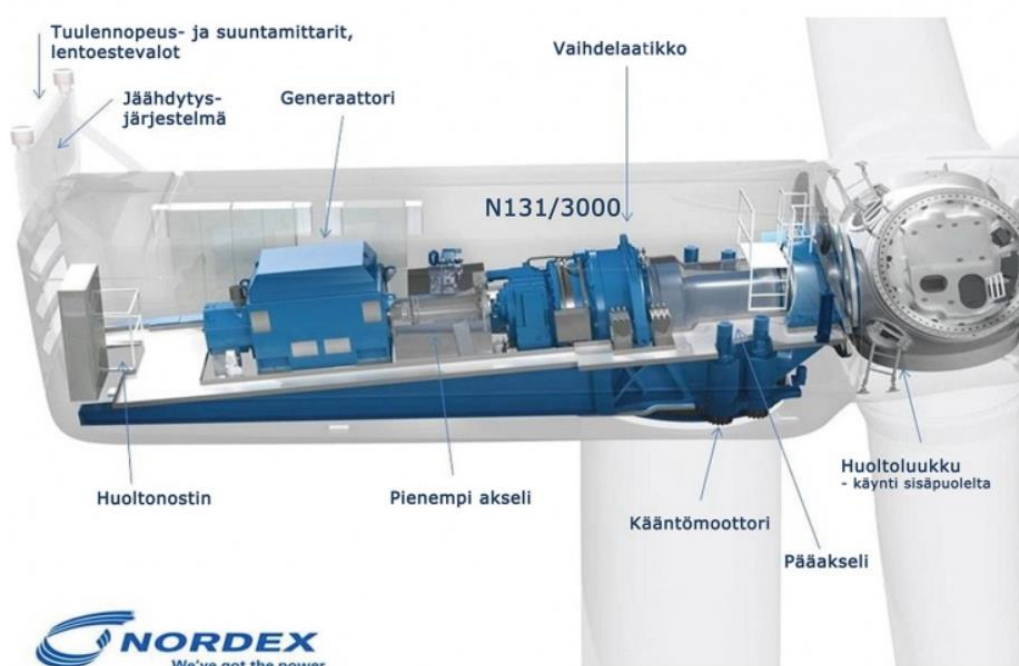
Jotta tuulivoimala tuottaisi energiaa, vaatii se vähintään 3,5 m/s tuulennopeuden ja enintään 25 m/s, jossa voimala pysäytetään, ettei tapahdu vaurioita rakenteissa. Tuulivoimala on riippuvainen tuuliolosuhteista. Suomessa talviaika on paras tuulivoimalle koska talvella tuulee eniten kaikista vuodenaajoista.

Tuulivoimala rakentuu seuraavista osista: lavat, napa, konehuone, joka sisältää generaattorin ja vaihteiston sekä torni (kuva 4). Riippuen voimalan koosta tornin korkeus on noin 50-140 metriä ja

roottorin halkaisia 40-140 metriä. Yhden lavan pituus voi olla jopa 70 metriä. Korkein valmistettu voimala on 178 metriä korkea ja sijaitsee Saksassa (2018). Suomessa yleisin korkeus on 120-150 metriä. Tuulivoimaloiden elinikä on noin 20-25 vuotta. Tuulivoimalan konehuoneen osat esitetään kuvassa 5. (Tuulivoimayhdistys, 2019-04-12.)



KUVA 4. Tuulivoimalan osat (Airaksinen 2019-04-12.)



KUVA 5. Läpileikkaus tuulivoimalan konehuoneesta (Tuulivoimayhdistys 2019-04-12.)

Tuulivoimalan energian tuotto riippuu roottorin pyyhkäisy-pinta-alan koosta; mitä isompi pyyhkäisy-pinta-ala sitä suurempi on voimalan tuotto. Myös tornin korkeus vaikuttaa energian tuottoon. Suomen energiantuotanto 5,8 TWh vuonna 2018. Tuulivoimalla tästä tuotettiin 6,7 prosenttia. Voimaloita oli vuonna 2018 Suomessa kaikkiaan 698 kpl. Keväällä 2019 on käynnissä kymmenen investointihanketta, jotka ovat jo rakenteilla. Yhteiskoko näissä hankkeissa on 444,4 MW ja ne rakennetaan ilman tukea. Kaikkiaan kevään 2019 tiedon mukaan hankkeita on yhteensä 16500 MW edestä, josta merellä olevien osuus on 3500 MW. (Tuulivoimayhdistys, 2019-04-12.)

Tässä työssä käsitellään pientuulivoimaloita, joiden toimintaperiaate on sama. Pientuulivoimaksi määritellään voimalat, joiden nimellisteho on alle 500 kW. Pientuulivoimaloissa ei ole yhtenäistä rakennuslupajärjestelmää vaan aina tulee tarkistaa paikkakuntakohtainen lupamenettely.

Alle 2000 W pientuulivoimalan tuotto riittää valaistukselle ja pienen elektroniikalle esimerkiksi kesämökillä. Omakotitalossa jopa puolet sähköntarpeesta ilman lämmitystä saadaan hyvä tuulisella paikalla jo 2000 W voimalalla. Pientuulivoiman energiatuottoon vaikuttaa paljon voimalan sijainti. Esimerkiksi rakennusten ja puiden läheisyydessä saattaa muodostua pyörteitä, jotka vaikuttavat pyörimisnopeuteen (kuva 6). Pientuulivoimalassa tuulen nopeudella on suuri merkitys; jos tuulen nopeus kaksinkertaistuu, niin energiantuotto kahdeksankertaistuu. Myös masto kannattaa olla vähintään viisi metriä korkea. Mitä korkeampi masto on, sitä voimakkaampi on voimalaan kohdistuva tuuli ja esteitä vähemmän. Paras etäisyys esteestä on 10 kertaa esteen korkeus. Metsän läheisyydessä maston korkeus tulisi olla 7-10 metriä korkeampi esteestä tai kaksi kertaa sen korkuinen. Silloin pyörteily vaimenee eikä heikennä energian saantia. Itse tuulivoimala kannattaa olla sellainen, että se voi pyöriä mastossa vapaasti tuulen mukaan. Tällöin se saavuttaa parhaan hyödyn. (Tuulivoimayhdistys, 2019-04-12.)

TURBULENSSIN VAIKUTUS

Turbulenssi eli tuulen pyörteisyys heikentää tuulen voimaa esteen edessä ja takana. H:n korkuinen este synnyttää taakseen $20 \times H$ pituisen alueen, jossa tuulivoimala toimii heikosti.



KUVA 6. Tuulen pyörteiden vaikutus (Tuulivoimayhdistys 2019-04-19.)

Voimala kannattaa suojata myrskyltä, ettei se vaurioidu liian kovalla tuulella. Yleisempiä myrskysuojia ovat keskipakovoimajarru ja tuulesta poiskääntö sekä lapakulmien säätö, joka hidastaa pyörimisnopeutta, jos lapoja pystytään säätämään. (Tuulivoimayhdistys 2019-04-19.)

TAULUKKO 1. Tuulipäivät, jolloin tuulen nopeus yli 10 m/s (Ilmatieteenlaitos 2019-04-12.)

Tuulipäivät ≥ 10 m/s							
Keskiarvovuodet 1992-2018				Keskiarvovuodet 1994-2018			
Harmaja	≥ 10 m/s			Bredskäret	≥ 10 m/s		
	2019	Keskiarvo	2018		2019	Keskiarvo	2018
tammikuu	12	17	x	tammikuu	x	9	8
helmikuu	23	12	6	helmikuu	x	8	5
maaliskuu	18	12	10	maaliskuu	14	7	9
huhtikuu		9	9	huhtikuu		7	4
toukokuu		9	6	toukokuu		8	8
kesäkuu		9	14	kesäkuu		8	15
heinäkuu		7	7	heinäkuu		6	8
elokuu		9	7	elokuu		6	15
syyskuu		11	17	syyskuu		10	17
lokakuu		16	17	lokakuu		12	x
marraskuu		17	19	marraskuu		10	x
joulukuu		19	16	joulukuu		11	x
kpl/vuosi	53	147	x	kpl/vuosi	14	100	x
Kovan tuulen päivät							
Keskiarvovuodet 1993-2018				Keskiarvovuodet 1990-2018			
Utö	≥ 14 m/s			Kemi, Ajos	≥ 14 m/s		
	2019	Keskiarvo	2018		2019	Keskiarvo	2018
tammikuu	8	11	9	tammikuu	4	4	0
helmikuu	x	8	5	helmikuu	7	3	0
maaliskuu	1	5	3	maaliskuu	7	3	0
huhtikuu		3	0	huhtikuu		1	0
toukokuu		2	0	toukokuu		1	0
kesäkuu		1	4	kesäkuu		1	2
heinäkuu		1	1	heinäkuu		1	0
elokuu		2	4	elokuu		1	x
syyskuu		4	x	syyskuu		4	7
lokakuu		8	x	lokakuu		4	2
marraskuu		9	3	marraskuu		4	3
joulukuu		12	5	joulukuu		5	2
kpl/vuosi	9	65	x	kpl/vuosi	18	32	x

x = Havaintoja puuttuu

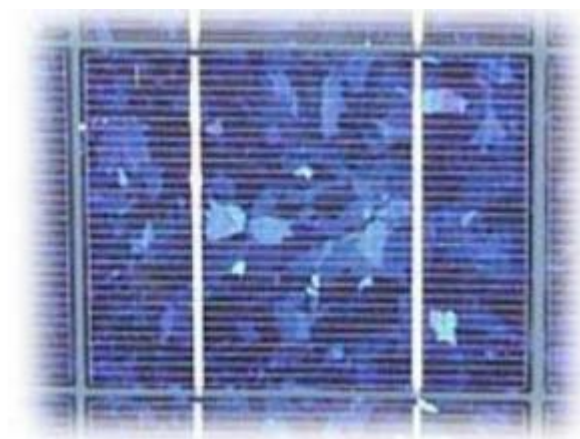
Päivitetty 1.4.2019

2.2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on puhdasta uusiutuvaa energiaa. Aurinkoenergia koostuu auringon suorasta säteilystä, sekä hajasäteilystä, jonka osuus on Suomessa merkittävä. Hajasäteily on maanpinnasta, pilvistä sekä ilmakehän vastasäteilystä (vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni) heijastamaa säteilyä. Hajasäteilyn määrä voi olla jopa 80 prosenttia pilvisenä päivänä ja 20 prosenttia kirkkaana kesäpäivänä. Sen merkitys on noin puolet Suomen kokonaissäteilystä Etelä-Suomessa. Tuotannon kannalta ei ole merkitystä onko aurinkopaneelille tuleva säteily suoraa vai hajasäteilyä. (Erat, Erkkilä 2008, 9-12)

Auringosta vapautuva, fuusion aiheuttamassa massamuutoksessa vapautuvan energian kokonaisteho on $3,8 \cdot 10^{23}$ kW, josta maanpinnalle saadaan $1,7 \cdot 10^{14}$ kW. Auringon teho on 20 000 kertainen koko maailman teollisuuden ja lämmityksen tehoon verrattuna. Auringosta tulevan säteilyntehon määrä on 1,35-1,39 kW, joka käsitteenä on aurinkovakio. Energiämäärältään ($1,35-1,39$ J), joka yhdessä sekunnissa kohdistuu 1 m^2 olevalle pinta-alalle ilmakehän rajalle. Vaihtelu on +/- 3,5 prosenttia maapallon ja auringon etäisyysvaihteluiden takia ja ilmakehä alentaa noin 40 prosenttia. Lopulliseksi tehoksi jää noin 60 prosenttia säteilytehoa. Vuositasolla auringonsäteily Etelä-Suomessa vaakatasolla on noin 1000 kWh/m^2 ja Keski-Suomessa n. 900 kWh/m^2 . Sijainnilla ja suuntauksella voidaan merkittävästi parantaa säteilyn saannin tehostamista. (Erat, Erkkilä 2008, 9-17.)

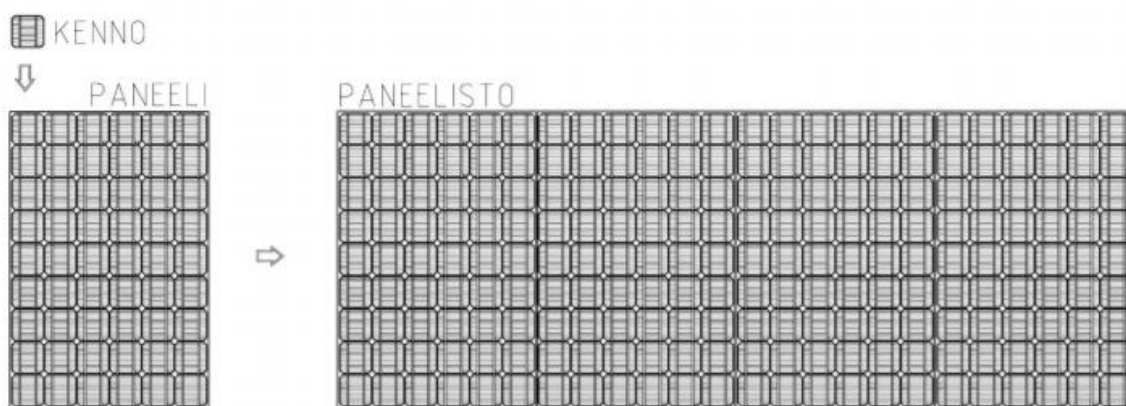
Aurinkoenergian hyödyntämisessä ja talteenotossa tarvitaan aurinkopaneeleja tai aurinkokeräimiä. Aurinkopaneelit muuttavat auringon säteilyn sähköenergiaksi. Aurinkopaneelit on valmistettu monikiteisistä tai yksikiteisistä piikenoista (kuvat 7-8), joiden teoreettinen hyötysuhde on 31 prosenttia. Hyötysuhdetta heikentää suojalasin heijastus sekä metallijohteiden liitokset paneelin pinnalla. Nykyisin paras hyötysuhde piikennolla on noin 18 prosenttia. Kennot voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan. Kun kennot kytketään rinnan, jännitetaso pysyy vakiona, mutta virta suurenee. Kun kytkentä tehdään sarjaan, jännitetaso nousee ja virta pysyy vakiona. Sarjaankytkennässä huonoin kenno määrittelee tuotannon. Kennot yhdistetään paneelikehyksellä yhdeksi kokonaisuudeksi (kuva 9), jonka pinta suojataan suojalasilla. Hyötysuhteeseen vaikuttaa myös kennojen muoto. Mitä pyöreämpi se on, sitä alhaisempi on hyötysuhde. (Suntekno 2019-04-19.)



KUVA 7. Monikiteinen piikeno (Suntekno 2019-04-19.)



KUVA 8. Yksikiteinen piikenno (Suntekno 2019-04-19.)



KUVA 9. Näin kootaan aurinkopaneeli (Erat, Erkkilä 2008, 127)

Aurinkopaneeleista tuleva virta on tasavirtaa, joka voidaan muuttaa vaihtovirraksi invertterin avulla ja hyödyntää laitteissa, jotka käyttävät vaihtovirtaa. Mikäli kaikkea tasasähköä ei käytetä, voidaan se varastoida akkuihin ja käyttää, kun aurinkopaneelit eivät tuota sähköä.

Paneelien asennuksessa on tärkeää huomioida suunta ja asennuskulma oikeaksi, joka on noin 45 astetta. Lisäksi tulee huomioida, ettei ole esteitä, esimerkiksi puustoa ja rakennuksia varjostamassa. (Motiva 2019-04-19.)

Aurinkopaneelin tuottama teho voidaan laskea kaavalla:

$$P=U*I \quad (2)$$

Jossa P on teho (W), U on jännite (V) ja I on virta (A).

Paneelien tuottama energia saadaan, kun teho kerrotaan ajalla:

$$E=P*t \quad (3)$$

Hyötysuhde η saadaan paneelin tehon ja tulevan säteilyn suhteena:

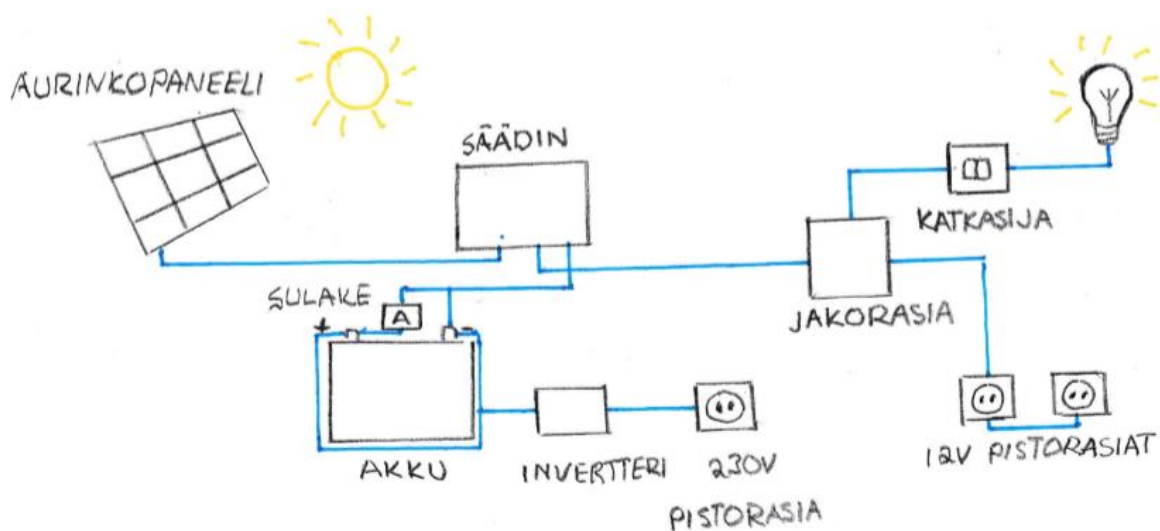
$$\eta = \frac{P}{G_s * A} \times 100\% \quad , \text{ jossa} \quad (4)$$

P paneelin teho
 G_s auringonsäteilyn voimakkuus
 A paneelin pinta-ala. (Motiva 2019-04-12.)



KUVA 10. Aurinkovoimala kohteessa (Airaksinen 2019-04-19.)

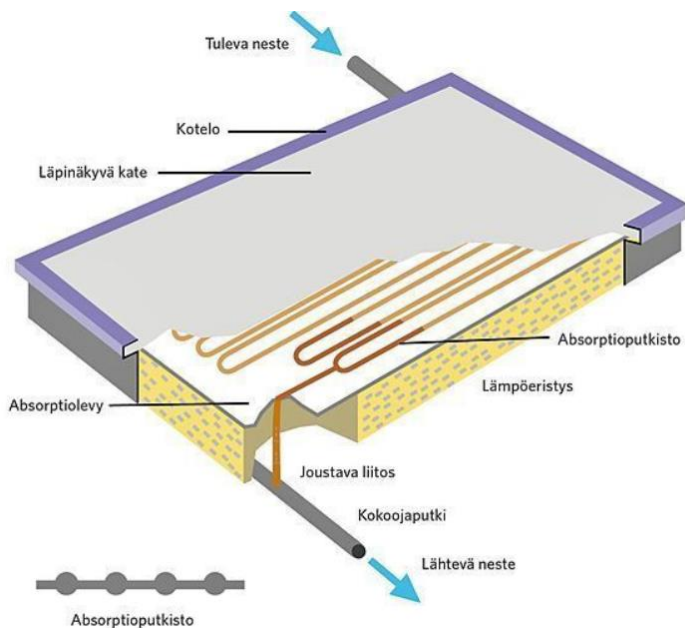
Aurinkopaneelijärjestelmiä on on-grid ja off-grid järjestelmiä. On-grid järjestelmä on käytössä silloin, kun kohde on liitetty sähköverkkoon ja aurinkopaneelien tuottoa käytetään hyväksi pienentämään sähkölaskua. Off-grid järjestelmä on käytössä silloin, kun yleistä sähköverkkoa ei ole, esimerkiksi kesämökeillä. Kuvassa 10 on off-grid järjestelmän aurinkopaneelit. Aurinkopaneelien energiantuotto on täysin riippuvainen auringonsäteilystä, joten se ei voi olla kohteen ainoa energiajärjestelmä Suomen olosuhteissa sen epätasaisuuden vuoksi.



KUVA 11. Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate (Airaksinen 2019-04-19).

Aurinkokeräimet ottavat auringonsäteilyä lämmön talteen nesteen avulla, joko suoraan käyttöön tai lämpövarastoon. Nestekiertoiset keräimet, jaetaan tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin.

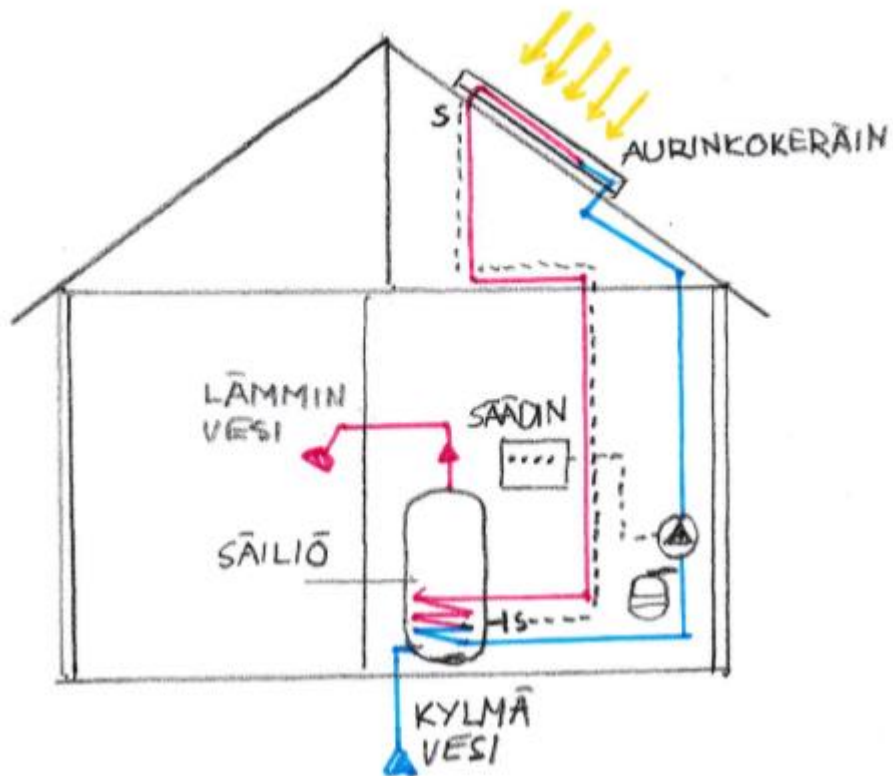
Nestekiertoisessa tasokeräimessä lämpö muodostuu absorboivaan pintaan, josta se siirtyy nesteeseen ja edelleen käyttökohteeseen tai lämpövaraajaan.



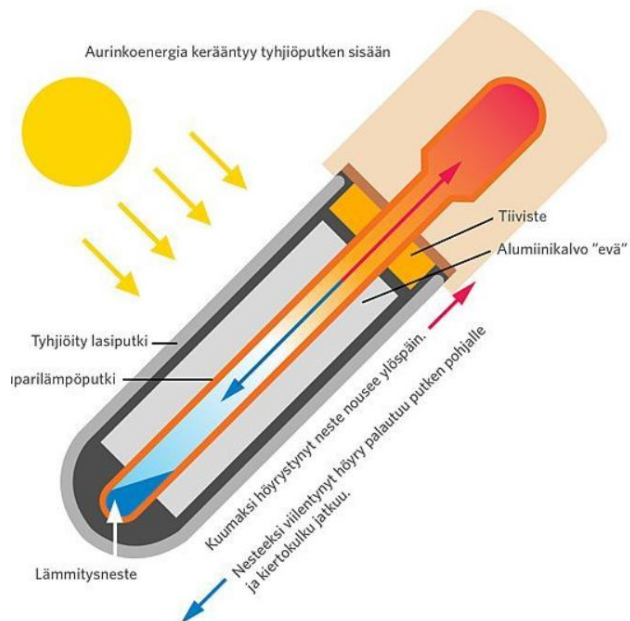
KUVA 12. Nestekiertoinen tasokeräin (Motiva 2019-04-19.)

Nestemäisessä keräimessä nesteen määrä on alle 1 l/m^2 ja virtausnopeus $30\text{-}60 \text{ l/m}^2/\text{h}$. Vedellä olisi paras lämpökerroin, mutta Suomen oloissa on käytettävä veden seassa propyleeniglykolipohjaista jäänestoa, jotta järjestelmä ei jäädy. Nestekiertoisen keräimen hyötyjä ovat hyvä säädettävyys ja lämmön helppo siirrettävyys kohteeseen. (Motiva 2019-04-19.)

Aurinkolämpökeräinjärjestelmään kuuluu lämpökeräin, putkisto, kiertopumppu, säätöjärjestelmä ja varaaja (kuva 13). Aurinkokeräin lämmittää nesteen, joka siirtää lämmön varaajaan ja sieltä neste pumpataan takaisin keräimeen.



KUVA 13. Aurinkokeräimen toimintaperiaate (Airaksinen 2019-04-19.)



KUVA 14. Tyhjiöputkikeräin (Motiva 2019-04-19.)

Tyhjiöputkikeräimiä on kahdentyyppisiä. Yleisemmässä tyhjiöputkikeräimessä lämmönsiirtoneste kulkee tyhjiöputkessa keräten lämpöä. Putki on u-muotoinen. Kupariputkessa kulkeva lämmönsiirtoneste kulkee tyhjiön ja absorbaattorilasipinnan sisällä. Keräimessä tapahtuva häviö saadaan pienemmäksi tyhjiön avulla. Tyhjiö johtaa lämpöä huonosti, joten kylmälläkin ilmalla auringosta saatava säteilyenergia saadaan kerättyä paremmin talteen. Toista keräintyyppiä kutsutaan heat-pipe-lämpöputkeksi. Tyhjiöstä muodostuu heat-pipe-lämpöputki, jossa lämmönsiirtoneste höyrystyy auringonlämmöstä tyhjiöputken sisällä. Neste höyrystyy lämmitessään lämpökeräimen sisällä, jonka johdosta se kulkeutuu putken yläpäähän, josta lämpö johdetaan kuparista lämmönsiirintä pitkin toiseen nesteeseen. Kun lämpö on siirtynyt toiseen siirtopiiriin, höyry lauhtuu ja palaa nesteenä putken pohjalle. Tyhjiöputken etuna ovat paneeleissa tapahtuvat pienet lämpöhäviöt, minkä johdosta käyttöalue on laaja. (Erat, Erkkilä 2008, 72-73.)

3 KOHTEEN KUVAUS

Kohde sijaitsee Pohjois-Savossa Tervon kunnassa. Kohteessa on 7 m*7 m pohjapinta-alaltaan oleva asuinrakennus, jossa on tupakeittiö ja makuuhuone sekä noin 3/5 pohjapinta-alasta oleva parvi. Tontilla on myös saunarakennus sekä varastotilaa. Kohde sijaitsee järven rannalla. Kohteessa asuu vakituisesti kaksi aikuista henkilöä.

Kohteessa on käytössä aurinkopaneeliin ja pientuulivoimaan perustuva hybridijärjestelmä. Aurinkovoimala on kooltaan 4*100 W. Paneelit on asennettu 45 asteen kulmaan rakennuksen katolle (kuva 15 ja 16) ja niiden kokonaispinta-ala on 2,592 m². Paneelit ovat merkiltään Hanover HS100M-180. Järjestelmä on 12 voltia. Järjestelmään kuuluu lisäksi lataussäädin Tabell 30A. Järjestelmä on hankittu vuonna 2015.

Kohteen pientuulivoimala on malliltaan iSTA Breeze 500 W, jonka yhteydessä on iSTA Breeze hybridi latausohjain 650 W. Järjestelmä on niin ikään hankittu vuonna 2015 ja se on 12 voltin järjestelmä. Hybridijärjestelmän yhteydessä on lisäksi invertteri kooltaan 1,5 kW. Kohteen energiavarastona toimii akustot, jotka ovat kooltaan 2*100 Ah ja 80 Ah akustot.

Lisävirtaa antaa aggregaatti tyyppimerkinnältään 5GF-ME3, joka on kooltaan 5,5 kW. Agregaatista on viety yhteys asuntoon, jossa on neljäpaikkainen pistorasia. Lisävirtaa käytetään myös sähkötyökoineissa. Kulutus täydellä teholla n. 2,3 l/h eli noin 3 euroa/h (2019-04-25) maximi jatkuvateholla 5 kW. Talven kulutus on noin 50 litraa dieseliä.

Lämmön lähteenä kohteessa toimii tupatakka, joka on teholtaan 9 kW. Siinä on uuni ja keittomahdollisuus, mutta se ei ole varaava. Lisänä on kaasulämmitin kooltaan 4,3kW.

Asunnossa ei ole juoksevaa vettä. Käyttövesi tuodaan kaivosta ja peseytymisvesi järvestä saunaan. Vesi lämmitetään puulla tai asuinrakennuksessa myös kaasulla.

Asuintiloissa on 1,5 kW invertteri. 230 V käytetään kaikessa muussa paitsi valaistuksessa, joka toimii 12 V jännitteellä ja otetaan akuista. Taulukossa 2 on arvioitu kohteen sähkönkulutuskohteita.

TAULUKKO 2. Sähkönkulutuskohteet (Airaksinen 2019-04-25.)

Sähkönkulutus kohteet	
Laite	Teho W
Jääkaappi 230V	13,17
Kannettava tietokone	45
Matkapuhelin	5,3
12 V ledivalo 6W 3kpl	6
Pölynimuri	650

Tällä hetkellä omistajat ovat suhteellisen tyytyväisiä energian riittävyyteen. Talviaikaan jääkaappi ei ole aina päällä, koska ruokatavarat säilyvät kylmälaukussa kuistilla. Silloin ei tarvitse käyttää aggregaattia kuin akkujen lataukseen. Akut riittävät valaistukseen noin 3-4 viikkoa. Lataus tapahtuu kahdella 12 A ja 8 A latureilla. Jos akut ovat tyhjät niiden lataus vie noin 16 tuntia.

Kohteen haasteet ovat lämmitys ja sähkön saanti talviaikaan, koska takka ei ole varaava ja tuulienergian saanti on vähäistä joko sijainnin tai teknisen vian takia. Talviaikaan myös aurinkoenergian tuotto on vähäistä.

Jotta energian saantia voidaan lisätä, on mahdollista asentaa lisää aurinkopaneeleja katolle. Omistajan mielestä kesäaikaan virran saanti on kuitenkin hyvä ja lisävirta aiheuttaisi ylituotantoa, jolloin tarvittaisiin suurempi akkukapasiteetti virran varastointiin.

4 KOHTEEN ENERGIATARKASTELU JA MITOITUS

4.1 Aurinkoenergia

Kohteen aurinkopaneelit ovat suunattu kaakon ja etelän väliin ja niiden kulma on noin 45 astetta. Varjostusta tulee muun muassa tuulivoimasta. Kuva 15 on otettu 13.5.2019 klo 14.15. Tähän aikaan vuodesta ei ole muuta varjostusta mutta aikaisemmin keväällä ja myös syksyllä etelän ja lounaanpuoleinen puusto saattaa varjostaa. Myös savupiipusta tuleva noki voi haitata paneelien tuottoa.



KUVA 15. Aurinkopaneeli Hanover HS100M-18D 100W (Airaksinen 2019-04-25.)

Kuvasta 15 näkyy, kuinka paneeli on kääntynyt ilmeisesti lumen aiheuttamana. Kulman pitäisi olla sama kaikissa paneelissa. Kohteen aurinkopaneelin tekniset tiedot ovat (Hanover HS100M):

- Käyttöjännite 12 V
- Teho 100 W
- Maksimivirta 5,355 A
- Maksimijännite 18,69 V
- Avoimen piirin jännite 22,572 V
- Oikosulkuvirta 5,715 A
- Koko 1200 mm* 540 mm* 40 mm
- Paino 8,1 kg

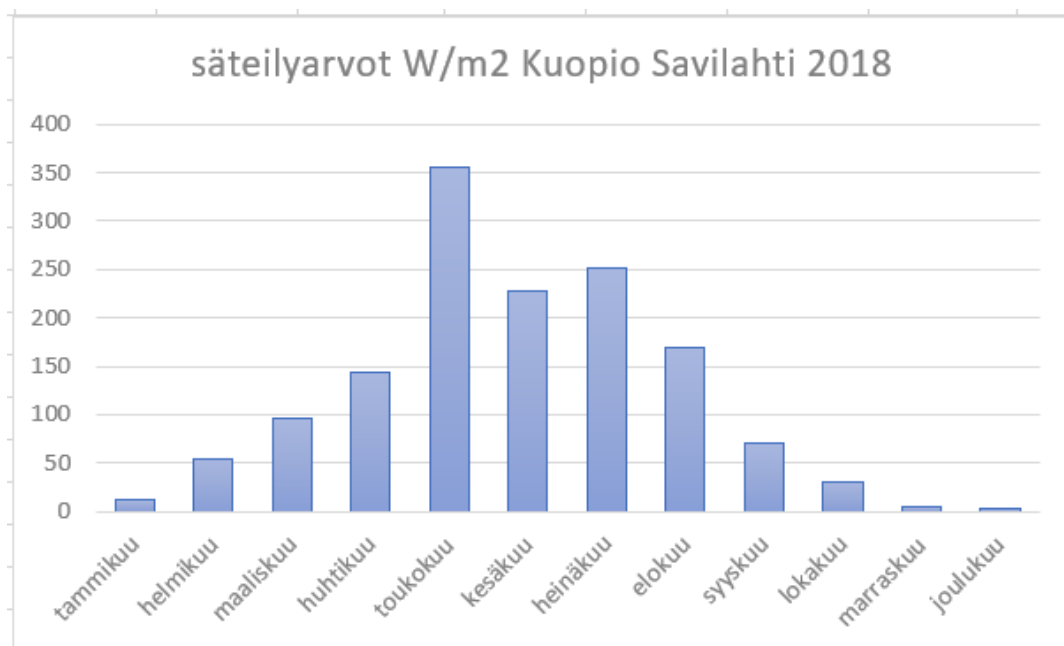
Tiedot ovat valmistajan nettisivuilta.



KUVA 16. Aurinkopaneelin kulma muuttunut lumen painosta (Airaksinen 2019-04-25.)

Aurinkoenergian saanti (kuva 17) on alueella riittävää jo maaliskuussa ja jopa helmikuun lopussa. Auringon säteilyä riittää syys-lokakuulle. Marraskuussa säteily määrä on erittäin vähäinen. Pimeimpänä aikana akkujen latauksessa joudutaan käyttämään agregaattia. Lisäämällä pari paneelia voisi tehostaa aurinkoenergian saantia vähemmälläkin auringonvalolla, etenkin keväällä, mutta kesäaikaan olisi ylituotantoa eikä akkukapasiteetti riittäisi, joten se ei ole kannattavaa.

Taulukkoon 2 on koottu arvio kohteen energiankulutuksesta. Kuvassa 18 on ilmakuva kohteesta.



KUVA 17. Vuoden säteilyarvot eri kuukausina (Ilmatieteenlaitos 2019-05-14.)

TAULUKKO 3. Kohteen energiakulutuksen arvio (Airaksinen 2019-05-14.)

230V kulutuskohteet		kulutus/kV h/vrk		kulutus päivässä kW	
jääkaappi		0,013	24		0,312
puhelin		0,0053	2		0,0106
tietokone		0,045	1		0,045
pölynimuri		0,65	0,15		0,0975
12 V kulutuskohteet					
valaistus	3*6W ledi	0,018	3		0,054
				yhteensä	0,52
				0,11 kWh	



KUVA 18. Ilmakuva kohteesta (Google maps 2019-05-14.)

TAULUKKO 4. Auringon säteilyarvoja Kuopion alueella vuonna 2018 laskettuna päiväkohtaisena keskiarvona (Ilmatieteenlaitos 2019-06-03)

Maaliskuu 1-10.2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.maalis	2.maalis	3.maalis	4.maalis	5.maalis	6.maalis	7.maalis	8.maalis	9.maalis	10.maalis
224,52	148,11	170,28	163,7	205,06	237,06	270,97	106,97	125,54	103,9

Huhtikuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.huhti	2.huhti	3.huhti	4.huhti	5.huhti	6.huhti	7.huhti	8.huhti	9.huhti	10.huhti
454,27	113,6	170,85	454,32	124,6	174,96	384,85	259,62	111,49	504,98

Toukokuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.touko	2.touko	3.touko	4.touko	5.touko	6.touko	7.touko	8.touko	9.touko	10.touko
62,76	234,35	142,05	125,51	235,22	520,39	508,71	597,39	629,33	629,56

Kesäkuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.kesä	2.kesä	3.kesä	4.kesä	5.kesä	6.kesä	7.kesä	8.kesä	9.kesä	10.kesä
505,86	483,48	626,12	520,27	344,82	323,32	141,63	489,39	430,2	515,68

Heinäkuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/ m2

1.heinä	2.heinä	3.heinä	4.heinä	5.heinä	6.heinä	7.heinä	8.heinä	9.heinä	10.heinä
698,96	303,23	91,53	674,48	106,83	478,12	202,63	326,09	665,36	670,43

Elokuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.elo	2.elo	3.elo	4.elo	5.elo	6.elo	7.elo	8.elo	9.elo	10.elo
580,1	542,72	303,99	438,1	499,11	359,92	539,92	552,45	397,63	514,52

Syyskuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.syys	2.syys	3.syys	4.syys	5.syys	6.syys	7.syys	8.syys	9.syys	10.syys
324,24	375,55	425,89	62,28	129,68	180,41	330,81	213,19	366,3	257,71

Lokakuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.loka	2.loka	3.loka	4.loka	5.loka	6.loka	7.loka	8.loka	9.loka	10.loka
153,9	182,19	65,31	243,81	45,86	200,35	172,09	151,93	39,85	213,31

Marraskuu 1-10. 2018 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2

1.marras	2.marras	3.marras	4.marras	5.marras	6.marras	7.marras	8.marras	9.marras	10.marras
26,94	24,25	15,35	37,29	70,48	18,56	8,08	9,81	20,09	8,66

TAULUKKO 5. Auringon säteilyarvoja Kuopion alueella vuonna 2019 laskettuna päiväkohtaisena keskiarvona (Ilmatieteenlaitos 2019-06-03.)

Maaliskuun 1-10 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2										
1.maalis	2.maalis	3.maalis	4.maalis	5.maalis	6.maalis	7.maalis	8.maalis	9.maalis	10.maalis	
222,65	69,75	223,35	86,74	150,62	258,25	87,22	72,57	118,21	128,97	
Huhtikuun 1-10 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2										
1.huhti	2.huhti	3.huhti	4.huhti	5.huhti	6.huhti	7.huhti	8.touko	9.huhti	10.huhti	
364,34	415,28	448,28	374,46	319,08	459,09	430,65	168,78	123,09	250,63	
Toukokuun 1-10 päivän säteilymäärän keskiarvo ajalla klo 6.00-15.00 (valosan aika) Kuopion mittausasemalta W/m2										
1.touko	2.touko	3.touko	4.touko	5.touko	6.touko	7.touko	8.touko	9.touko	10.touko	
290,71	122,12	151,48	349,4	435,52	506,64	166,11	440,15	629,31	84,71	

Taulukossa 4 on Ilmatieteenlaitoksen säteilyarvoja Kuopion mittausasemalta vuonna 2018 mitattuna kymmenen päivän ajalta ja laskettuna päiväkohtaisena keskiarvona ajalta maaliskuu-marraskuu. Taulukossa 5 näkyy vuoden 2019 vastaavalta ajankohdalta päiväkohtaisena keskiarvona ajalta maaliskuu-toukokuu. Arvot on otettu ajalta, jolloin on mahdollista saada riittävästi auringonsäteilyä. Tästä voidaan todeta, että maaliskuun alussa jo saadaan aurinkoenergiaa kohtalaisesti, vaikka eri päivinä on isojakin eroja. Silti koko vuorokauden säteily jää positiiviseksi. Kun paneelien yhteispinta-ala on 2,59 m² ja mittauksessa pienimmän arvon antaa 2. maaliskuuta, lasketun ajan keskiarvo on 69,75 W/h ja tuottoisan ajan keskiarvo on 180,65 W teoreettisesti laskettuna.

Lokakuussa 1.10.2018 mitatuista tuloksista Ilmatieteenlaitoksen Kuopion mittausaseman tietojen pohjalta voidaan todeta, että mittausvälillä otettujen arvojen mukaan auringon säteilyä on hyvin, vaikka eri päivinä onkin suuria eroja. Marraskuussa 1.-10.2018 ajalla säteily on todella pientä, vaikka hetkellisesti 5. marraskuuta mittausarvot nousivat yli 100-200 W/m² jopa 2,5 tunnin ajan, joka nosti keskiarvoa kyseiselle ajalle 70,48 W/m².

Taulukossa 6 on esitetty aurinkopaneelien lataussäätimeltä 13.5.2019 mitattuja arvoja.

TAULUKKO 6. Aurinkopaneelin latausarvot säätimeltä (Airaksinen 2019-05-14.) Kommentti: arvot näyttävät hyvin vastaavan paneelien teknisiä tietoja.

Aurinkopaneelien arvot lataussäätimestä
13.5-19 klo 14.00-15.50, 10 min välein

	V	kWh	A
	13	25	5,4
	13,6	25	6,7
	14	25	6,8
	14	25	7,2
	14,1	25	6,7
	13,8	25	6,6
	13,9	25	6,7
	14,1	25	7,1
	13,4	25	6,5
	13,1	25	6,1
	12,9	25	5,1
	12,7	25	5
	12,8	25	4,8
	12,2	25	4,5
	13,1	25	5,4
	13,3	25	6,2
	13,3	25	6,1
	14,2	25	7,1

4.2 Tuulivoima

Tuulivoimala kohteessa on kooltaan 500 W, mutta tällä hetkellä energian saanti on minimaalista omistajalta saatujen tietojen mukaan. Opinäytetyössä perehdytään tarkemmin tuulivoiman ongelmiin, miksi tuotto on vähäinen eikä lavat pyöri kunnolla kovemmallaakaan tuulella.

Omistaja on vaihtanut voimalan lavat. Alkuperäiset eivät ole enää tallessa, joten tuulivoimalan tuoton vertailu vanhoilla ja uusilla lavoilla ei ole mahdollista. Omistajan mukaan lavat pyörivät kuitenkin paremmin tehdyn muutoksen jälkeen. On kuitenkin mahdollista, että muutos vaikuttaa negatiivisesti voimalan tuottoon. Myös voimalan sijainti ei ole paras mahdollinen ympäristöön nähden. Tämän hetkinen sijainti on noin seitsemän metriä talosta ja maston korkeus noin kymmenen metriä.



KUVA 19. Tuulivoimalan sijainti kohteessa (Airaksinen 2019-04-25.)

Omistajan näkemyksen mukaan tuulivoimala pyörii omatekoisilla vaneerilavoilla paljon paremmin kuin alkuperäisillä pienemmillä lavoilla. Tällä hetkellä tuulivoimala on tontin korkeimmalla paikalla kohteeseen nähden, jotta kaapelointi ei tulisi liian pitkäksi. Puusto saattaa vaikuttaa virtauksiin, jotka puolestaan vaikuttavat lapojen pyörimiseen. Seuraavista kuvista (kuvat 21-24) voi nähdä, että puustoa on pohjoisen ja etelän suunnassa paljon. Kuvat on otettu tuulivoimalan kohdalta. Itä- ja länsisuunnassa on avarampaa mutta esimerkiksi luoteeseen maasto nousee noin kymmenen metriä 150 m matkalla tuulivoimasta. Tuulen nopeudet ovat olleet muutenkin alkuvuoden 2019 aikana tällä seudulla heikkoja.



KUVA 20. Tuulivoimalasta pohjoiseen (Airaksinen 2019-05-14.)



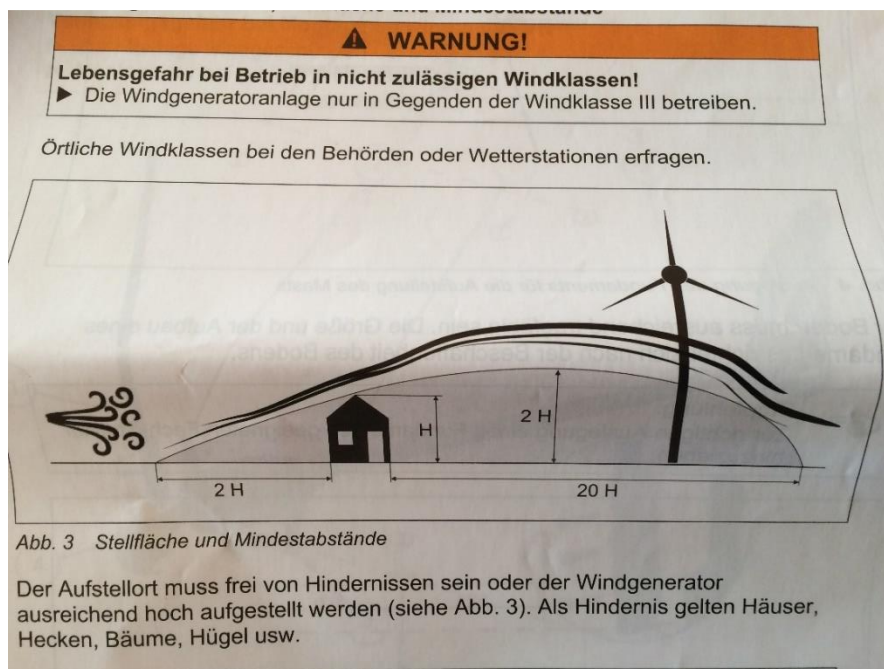
KUVA 21. Tuulivoimalasta länteen (Airaksinen 2019-05-14.)



KUVA 22. Tuulivoimalasta etelään (Airaksinen 2019-05-14.)



KUVA 23. Tuulivoimalasta länteen (Airaksinen 2019-05-14.)



KUVA 24. Ohje tuulivoimalan sijoittamisesta, joka tuli tuulivoimapakkauksen mukana (Airaksinen 2019-04-25.)

TAULUKKO 7. Tuulivoimalan lataustehosta eri tuulen nopeuksilla (Istabreeze 2019-05-06.)

500W		TUULIVOIMALA	
m/s	tuuli		latausteho
alle 1	Tyyäni		0
1-1,5	Erittäin heikko tuuli		0
1,6-3,3	Heikko tuuli		3W
3,4-5,4	Kohtalainen tuuli		25W
5,5-7,9	Kohtalainen tuuli		50W
8-10,7	Navakka tuuli		100W
10,8-13,8	Navakka tuuli		300W
13,9-17,1	Voimakas tuuli		400W
17,2-20,7	Hyvin voimakas tuuli		450W
yli 21	Myrsky Teoreettinen maksimi		500W

Taulukosta 7 nähdään eri tuulivoimakkuuksilla saatava latausteho. Kuopion korkeudella keskituulenopeus on noin viisi metriä, jonka mukaan tuulivoimalan keskituotto olisi noin 25 W. Laskettu tammikuun 2019 keskiarvo oli 2,035 m/s (taulukko 7). Tällä voimakkuudella latausteho olisi vain 3 W. Tuulen nopeudella on suuri vaikutus. Jos tuuli voimistuu kaksinkertaiseksi, teho kasvaa kahdeksankertaiseksi.

Taulukossa 8 on esitetty tammikuun 2019 tuulennopeuksien keskiarvot viikonpäivittäin mitattuna Kuopion Maaningan mittausasella.

TAULUKKO 8. Tuulen nopeudet tammikuussa 2019 (Ilmatieteenlaitos 2019-05-14.)

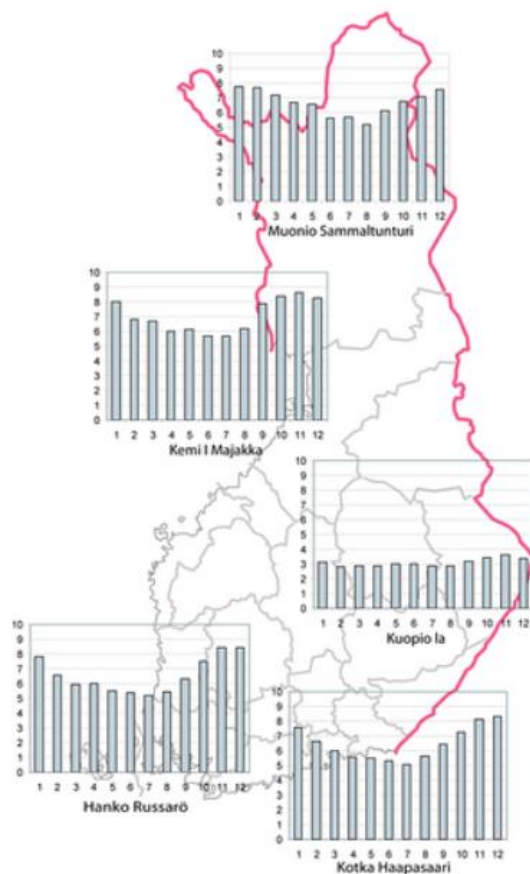
Tammikuun keskiarvot viikoittain m/s ja koko kuukauden keskiarvo 2,035m/s							
	ma	ti	ke	to	pe	la	su
1-7.01.-19		3,57	6,79	2,3	2,7	2,32	1,94
8-14.01.-19	4,36	1,7	2,59	3,87	7,2	6,53	2,22
15-21.01.-19	3,09	3,03	3,1	2,45	2,4	1,21	2,46
22-28.01.-19	1,5	2,88	2,13	1,42	2,03	2,45	1,9
29-31.01.-19	1,92	3,18	1,96	0,86			

Ilmatieteenlaitoksen tuuliennusteissa helmikuun 2019 tuulen keskinopeus oli 4,29 m/s ja maaliskuussa 4,16 m/s. Mittaukset on tehty Kuopio Maaningan mittausasemalla ja seuranta on tehty tunnin välein. Näiden lukemien mukaan 500 W tuulivoimala olisi pitänyt tuottaa lataustehoa 25 W. Jos lasketaan teoreettinen latausvirta kaavalla $P=U \cdot I$ eli $I=P/U= 25 \text{ W}/14,2 \text{ V}=1,76 \text{ A}$, vuorokaudessa pitäisi ladata akkuja 42,25 Ah. Tässä laskennassa ei ole huomioitu häviöitä.

Tuulivoiman lataussäätimestä 13.5.2019 mitattiin akulle menevä virta ja tuulennopeus lähimmältä mittausasemalta Maaningalta. Tuulen suunta vaihteli länsi-luode välillä mittausajankohtana mittaus-tietojen mukaan. Taulukosta 9 nähdään miten pientä virtaa tuulivoimala tuottaa.

TAULUKKO 9. Tuulivoimalan latausvirta (Airaksinen 2019-05-14.)

Tuulen suunta	klo	m/s	teho V
278	14:00	5,2	1,02
269	14:10	5,9	1,37
269	14:20	5,5	1,07
267	14:30	4,5	0,96
276	14:40	4,7	0,94
288	14:50	4,6	0,94
284	15:00	4,3	0,82
275	15:10	4,7	1,76
287	15:20	4,2	0,82
283	15:30	4	0,91
272	15:40	4,8	0,89
292	15:50	3,8	0,76
295	16:00	3,7	0,88
292	16:10	3,2	0,89
297	16:20	4,2	1,23
297	16:30	3,9	0,95
299	16:40	4,8	0,99
303	16:50	4,2	0,86
306	17:00	3,8	0,87
304	17:10	3,7	0,88
299	17:20	3,8	0,67
294	17:30	3	0,69
290	17:40	2,7	0,37
291	17:50	2,9	0,43



Tuulen nopeuden kuukausikeskiarvon vaihtelu eräillä Ilmatieteen laitoksen sääasemilla.

KUVA 25. Tuulivoimakkuudet vuosijakaumalla eri osissa Suomea (Tuuliatlas 2019-04-26.)

Kuvasta 25 nähdään, että Kuopion mittausasemalla tuulen vuotuinen vaihtelu on pientä ja tuulen voimakkuus on alhaisempi muihin mittausasemiin verrattuna. Tuulienergiaa saadaan tasaisesti, mutta muihin mittausasemiin verrattuna tuulen voimakkuus talvikuukausina on heikompi.

4.3 Tulisija

Kohteessa on 9kW tehoinen tupataikka ja se sijaitsee keskellä asuntoa. Takan koko on korkeus 970 mm*leveys 585 mm*syvyys 545 mm ja paino 146 kg. Lämmitykseen menee noin 18-20 heittomottia puuta vuodessa. Takassa on uunitoiminta ja keittolevy, mutta se ei ole varaava. Tällä hetkellä omistaja on tyytyväinen takkaan, koska siinä on keittolevy ja sitä voidaan hyödyntää, jolloin ei tarvitse käyttää kaasua ruuan laittoon ja vedenlämmittämiseen. Omistajalle ehdotettiin varaavaa takkaa, koska se luovuttaisi lämpöä hitaammin ja pidempään. Tämä vähentäisi myös puun kulutusta sekä kaasulämmittimen käytön tarvetta.



KUVA 26. Tupatakka teho 9kW (Airaksinen 2019-04-25.)

Lisälämmittimenä kohteessa käytetään 4,2kW kaasulämmitintä, jossa on kolme 1,4 kW lämmitysvas-
tusta. Vastuksia voi käyttää yhtä, kahta tai kolmea kerrallaan. Kaasun kulutus on noin neljä 11 kg
pulloa vuodessa.

5 TULOKSET

Aurinkoenergia tuottaa hyvin jo maaliskuun alusta ja syksyllä lokakuun loppupuolelle asti. Lyhentyneen valoisan ajan ja sääolojen vaikutus on suuri aurinkopaneelien tuottoon. Taulukoissa 10-12 on esitetty kohteen aurinkopaneelien teoreettinen, kokonaissäteilymäärään suhteutettu latausvirran laskenta maaliskuussa, toukokuussa ja lokakuussa vuonna 2018. Vertailuotantona on laskenta tehty myös vuoden 2019 tiedoilla maaliskuussa ja toukokuussa.

TAULUKKO 10. Säteily määrä ja latausvirta aikavälillä 1.-10.03.2018 (Airaksinen 2019-05-06.)

Säteily määrä maaliskuu 1-10.2018 klo 6.00-15.00 W/m ² ja säteily määrä neljän paneelin koko alalta ja latausvirta			
	säteily määrä W/m ²	kokonais säteily määrä (W)	latausvirta (A)
1.maalis	224,52	581,96	48,50
2.maalis	148,11	383,90	31,99
3.maalis	170,28	441,37	36,78
4.maalis	163,7	424,31	35,36
5.maalis	205,06	531,52	44,29
6.maalis	237,06	614,46	51,20
7.maalis	270,06	700,00	58,33
8.maalis	106,97	277,27	23,11
9.maalis	125,54	325,40	27,12
10.maalis	103,9	269,31	22,44
paneelin koko 1,2*0,54=0,648*4 kpl = 2,592 m ²			
pinta-ala		2,592 m ²	
jännite		12 V	

TAULUKKO 11. Säteily määrä ja latausvirta aikavälillä 1.-10.05.2018 (Airaksinen 2019-05-06.)

Säteily määrä toukokuu 1-10.2018 klo 6.00-15.00 W/m ² ja säteily määrä neljän paneelin koko alalta ja latausvirta			
	säteily määrä W/m ²	kokonais säteily määrä (W)	latausvirta (A)
1.touko	62,79	162,75	13,563
2.touko	234,35	607,44	50,62
3.touko	142,05	368,19	30,68
4.touko	125,51	325,32	27,11
5.touko	235,22	609,69	50,81
6.touko	520,39	1348,85	112,40
7.touko	508,71	1318,58	109,88
8.touko	579,39	1501,78	125,15
9.touko	629,33	1631,22	135,94
10.touko	629,56	1631,81952	135,98

TAULUKKO 12. Säteilymäärä ja latausvirta aikavälillä 1.-10.10.2018 (Airaksinen 2019-05-06.)

säteilymäärä lokakuu 1.-10.-2018 klo 6.00-14.59 W/m ² ja säteilyvirta neljän paneelin koko alalta ja latausvirta			
	säteilymäärä W/m ²	kokonais säteilymäärä(W)	latausvirta(A)
1.loka	154,16	399,58272	33,29856
2.loka	182,5	473,04	39,42
3.loka	65,39	169,49088	14,12424
4.loka	244,25	633,096	52,758
5.loka	42,92	111,24864	12
6.loka	172,39	446,83488	37,23624
7.loka	200,72	520,26624	43,35552
8.loka	167,32	433,69344	36,14112
9.loka	62,34	161,58528	13,46544
10.loka	213,71	553,93632	46,16136

TAULUKKO 13. Säteilymäärät ja latausvirta ajalla 1.-10.03.2019 (Airaksinen 2019-05-06.)

säteilymäärä maaliskuu 1.-10.2019 klo 6.00-14.59 W/m ² ja latausvirta neljän paneelin koko alalta ja latausvirta			
	säteilymääräW/m ²	kokonais säteilymäärä(W)	latausvirta(A)
1.maalis	222,65	577,11	48,09
2.maalis	69,75	180,79	48,24
3.maalis	223,35	578,92	48,24
4.maalis	86,74	224,83	18,74
5.maalis	150,62	390,41	32,53
6.maalis	258,25	669,38	55,78
7.maalis	87,22	226,07	18,84
8.maalis	72,57	188,10	15,68
9.maalis	118,21	306,40	25,53
10.maalis	128,97	334,29	27,86
Paneelinkoko 1,2*0,54=0,648*4kpl=2,592m ²			
pinta-ala		2,592 m ²	
jännite		12 V	
virta		?	

TAULUKKO 14. Säteilymäärä ja latausvirta ajalla 1.-10.05.2019. (Airaksinen 2019-06-05.)

Säteilymäärä toukokuu 1-10.2019 klo 6.00-15.00 W/m2 ja latausvirta neljän paneelin koko alalta ja latausvirta			
	säteilymäärä W/m2	kokonais säteilymäärä (W)	latausvirta (A)
1.touko	290,71	753,52	62,79336
2.touko	122,12	316,54	26,37792
3.touko	151,48	392,64	75,4704
4.touko	349,4	905,64	75,4704
5.touko	435,52	1128,87	94,07232
6.touko	506,64	1313,21	109,4342
7.touko	166,11	430,56	35,87976
8.touko	440,15	1140,87	95,0724
9.touko	629,31	1631,17	135,931
10.touko	84,71	219,57	18,29736

Taulukossa 15 on esitetty aurinkopaneelien arvot lataussäätimestä mitattuna 13.5.2019. Virran ja jännitteen arvoja seurattaessa säätimeltä ja arvoja verrattaessa teoreettisen laskennan arvoihin toukokuulta 2019 havaitaan, että arvot vastaavat hyvin paneeleille esitettyihin toimintapistearvoihin.

TAULUKKO 15. Aurinkopaneelin arvot lataussäätimeltä. (Airaksinen 2019-05-14.)

Aurinkopaneelien arvot lataussäätimestä 13.5-19 klo 14.00-15.50, 10 min välein			
	V	kWh	A
	13	25	5,4
	13,6	25	6,7
	14	25	6,8
	14	25	7,2
	14,1	25	6,7
	13,8	25	6,6
	13,9	25	6,7
	14,1	25	7,1
	13,4	25	6,5
	13,1	25	6,1
	12,9	25	5,1
	12,7	25	5
	12,8	25	4,8
	12,2	25	4,5
	13,1	25	5,4
	13,3	25	6,2
	13,3	25	6,1
	14,2	25	7,1

Taulukoiden sekä asukkaiden kokemuksen perusteella aurinkoenergiaa saadaan tällä ajanjaksolla riittävästi.

Ongelma on talviaika, jolloin aurinkoenergiaa ei saada ja myös tuulivoimakkuudet alueella ovat heikot. Kuopion Maaningan mittausaseman tuulitilastojen perusteella etenkin tammikuun huono tuulivoimalan tuotto selittyy tuulen vähäisyydellä. Kohteen tuulivoimala tarvitsee yli 2 m/s tuulivoimakkuutta, jotta lavat lähtevät pyörimään ja pienin teho, joka tulee tällä mallilla tuulennopeudella 1,6-3,3 m/s on vain 3 W. Se tuottaisi latausvirtaa karkeasti laskettuna 3 W/14,2 on 0,21 A, joka ei tuota edes 6 W ledivaloon virtaa. Helmi-maaliskuun keskiarvo oli jo sen verran, että voimalan pitäisi teknisten tietojen perusteella tuottaa 25 W. Näin ei kuitenkaan käytännössä ole.

Taulukossa 16 on esitetty mittaustuloksia tuulivoimalan lataussäätimeltä akulle menevistä johdoista. Mittausten perusteella tuulivoimalan tuotto on pieni.

TAULUKKO 16. Tuloksia tuulivoimalan lataussäätimestä (Airaksinen 2019-05-14.)

Tuulen suunta	klo	m/s	teho V
278	14:00	5,2	1,02
269	14:10	5,9	1,37
269	14:20	5,5	1,07
267	14:30	4,5	0,96
276	14:40	4,7	0,94
288	14:50	4,6	0,94
284	15:00	4,3	0,82
275	15:10	4,7	1,76
287	15:20	4,2	0,82
283	15:30	4	0,91
272	15:40	4,8	0,89
292	15:50	3,8	0,76
295	16:00	3,7	0,88
292	16:10	3,2	0,89
297	16:20	4,2	1,23
297	16:30	3,9	0,95
299	16:40	4,8	0,99
303	16:50	4,2	0,86
306	17:00	3,8	0,87
304	17:10	3,7	0,88
299	17:20	3,8	0,67
294	17:30	3	0,69
290	17:40	2,7	0,37
291	17:50	2,9	0,43

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aurinkoenergiaa saadaan kohteessa nykyratkaisulla riittävästi valoisaan aikaan. Paneeleja lisäämällä tulisi lisätä myös akkukapasiteettiä, koska kesäaikaan tämä johtaisi ylituotantoon. Paneelien sijoituspaikka katolla olisi parempi piipun toisella puolella oikeassa reunassa, jolloin tuulivoimala ei tekisi varjostuksia sekä piipusta tuleva noki ei tulisi niin helposti paneelien pintaan.

Tuulivoimaa ei saada kohteessa riittävästi. Etenkin vuoden 2019 alkuvuosi oli tuulen kannalta heikko. Paikka sijaitsee järven rannalla. Itätuulen pitäisi olla hyvä tuulivoimalalle, joka on järvenpinnasta noin kymmenen metriä korkeammalla. Edessä on kuitenkin puustoa sekä asunto osittain linjalla ja lähellä voimalaa. Länsituuli tulee pellon puolelta, jonka takana noin 30 metrin päässä on sekametsää ja korkeusero on pari metriä tontin rajalta missä tuulivoimala sijaitsee. Tuulivoimala on alempana, jolloin ilmanvirtaukset saattavat mennä tuulivoimalan yli eikä paras ilmavirtaus osu tuulivoimalaan. Pohjoispuolella korkeusero on noin kymmenen metriä arviolta 150 metrin matkalla ja puustoa on esteenä. Ainoa esteetön ilmansuunta on luode, jossa on isompi peltoala eikä korkeusero ole suuri. Myös etelän suunnassa on puustoa esteenä. Kohde sijaitsee lisäksi notkossa, joka on tuulen kannalta huono sijainti. Tämä voi olla syy voimalan huonoon pyörimisnopeuteen etenkin, kun tuulenopeudet olivat alkuvuonna heikkoja. Järven puolelta on karsittu osittain puustoa mutta itse asunto on osittain tuulen edessä. Tontilla ei kuitenkaan ole muuta sopivampaa paikkaa voimalalle, koska kaapelointimatkat kasvaisivat liian pitkiksi.

Tuulivoimalan lavat ja peräsin on vaihdettu omatekoisiin, koska omistaja ei ollut tyytyväinen alkuperäisiin. Tämän muutoksen voisi olettaa heikentävän tuulivoimalan pyörimisnopeutta ja pyörimisen lähtönopeutta painavampien lapojen vuoksi, mutta omistaja oli sitä mieltä, että pyöriminen on paljon parempi nykyisillä lavoilla. Asiaa ei voitu testata, koska vanhoja lapoja ei enää ole.

Sähkön kulutuksen kannalta pölynimuri kannattaisi vaihtaa ladattavaan imuriin. Tällöin hetkellinen sähköntarve ei olisi niin suuri eikä talviaikaan tarvitsisi käyttää aggregaattia imuria varten. Lämmityksen suhteen varaava takka olisi paras vaihtoehto, koska silloin lämpöä saataisiin pitempään yhdellä lämmityksellä eikä puuta kuluisi niin paljon.

Nykyinen energian saanti ei ole riittävää nykyisellä tuulivoimalalla talviaikaiseen asumiseen. Sijainti huomioonottaen mahdollisesti tehokkaampikaan tuulivoimala ei tuottaisi talviasumiseen tarvittavaa energiamäärää, joten aggregaatti on välttämätön. Lisälämmönlähteenä olisi suositeltavaa olla varaava takka antamaan asumismukavuutta kylmänä vuodenaikana.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ERAT, Bruno, ERKKILÄ, Vesa, NYMAN, Christer, PEIPPO, Kimmo, PELTOLA, Seppo ja, SUOKIVI, Hannu 2008. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

ILMATIETEENLAITOS taulukko 1.[viitattu 2019-04-12.]

<https://ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot>

KORPELA, Aki 2016. Tuulivoimalan perusteet. Tampere: Amk-Kustannus Oy, Tammertekniikka.

ILMATIETEENLAITOS kuva 17. [viitattu 2019-05-14.]

ILMATIETEENLAITOS taulukko 4-5. [viitattu 2019-06-03.]

MOTIVA [viitattu 2019-04-12.]

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto

MOTIVA [viitattu 2019-04-12.]

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahko-jarjestelman_teho

MOTIVA [viitattu 2019-04-19.]

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/neste-kiertoiset_keraime

MOTIVA kuva 14. [viitattu 2019-04-19.]

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/neste-kiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet

SUNTEKNO Aurinkoenergia ABC-opas. [viitattu 2019-04-19.]

<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

TAULUKKO 7. [viitattu 2019-05-06.]

<http://istabreeze.fi/faq/>

TUULIATLAS [viitattu 2019-04-19.]

http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_2.htm

TUULIVOIMAYHDISTYS [viitattu 2019-04-12.]

[https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta_\(2019-12-04\)](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta_(2019-12-04))

TUULIVOIMAYHDISTYS [viitattu 2019-04-12.]

<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/hankelista>

TUULIVOIMAYHDISTYS [viitattu 2019-04-13.]

https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka_miehen_opas_motiva.pdf

TUULIVOIMAYHDISTYS [viitattu 2019-04-19.]

<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima/pientuulivoimalan-tekniikka>

VATTENFALL [viitattu 2019-04-26]

<https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/arvioi-energiankulutuksesi/laske-kulutuksesi/>