



Jarno Vainio

Energiantuotannoltaan omavarainen vapaa-ajan asunto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

5.10.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Jarno Vainio
Otsikko: Energian tuotannoltaan omavarainen vapaa-ajan asunto
Sivumäärä: 30 sivua + 1 liite
Aika: 5.10.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja: Lehtori Jukka Karppinen

Tämän opinnäytetyön aiheena on energiaomavaraisuuden saavuttaminen vapaa-ajan asunnossa hyödyntämällä uusiutuvia energianlähteitä, kuten tuuli- ja aurinkovoimaa. Työn tavoitteena on arvioida, kuinka hyvin nämä energianlähteet voivat kattaa kohteen sähkötarpeen ja mitä muita menetelmiä tarvitaan omavaraisuuden varmistamiseksi eri vuodenaikoina.

Työn teoriaperusta käsittelee uusiutuvan energian teknologioita ja niiden soveltuvuutta pienkohteisiin, erityisesti tuuli- ja aurinkovoiman käytön näkökulmasta. Lisäksi tarkastellaan akuston merkitystä energiavarastona ja aggregaatin käyttöä varavoiman lähteenä, mikäli uusiutuva energia ei yksinään riitä.

Mittauksia suoritetaan tutkimuksessa kiinteistön alueella sääaseman avulla, ja dataa on täydennetty Ilmatieteen laitokselta saadulla tiedolla. Näiden mittausten perusteella arvioidaan erilaisia skenaarioita, joissa tarkastellaan eri voimalavaihtoehtojen soveltuvuutta ja kustannustehokkuutta. Tulosten pohjalta laaditaan suosituksia järjestelmän mitoitukselle.

Tulosten mukaan omavaraisuus on mahdollista saavuttaa valitsemalla oikea tuulivoimalatyyppi ja akusto sekä varmistamalla varavoiman saatavuus aggregaatin avulla. Tämän työn tuloksia voidaan hyödyntää suunniteltaessa omavaraisia energiaratkaisuja vapaa-ajan asuntoihin ja muihin pienkohteisiin, joissa riippuvuus ulkoisesta energiasta halutaan minimoida.

Avainsanat: tulivoima, omavaraisuus, sähköntuotanto, akusto, uusiutuva energia

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author(s): Jarno Vainio
Title: Energy Production self-sufficient Holiday Home
Number of Pages: 30 pages + 1 appendices
Date: 5 October 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Specialisation option: Electrical Power Engineering
Instructor: Jukka Karppinen, Senior Lecturer

The subject of this Bachelor of Engineering thesis is achieving energy self-sufficiency in a holiday home by utilizing renewable energy sources, such as wind and solar-power. The aim of this work is to assess how well these energy sources can meet the electricity needs of the property and identify additional methods required to ensure self-sufficiency across different seasons.

The theoretical foundation of the thesis explores renewable energy technologies and their suitability for small properties, with a focus on the use of wind and solar power. Additionally, the study examines the role of battery storage as an energy reserve and the use of a generator as a backup power source when renewable energy alone is insufficient.

Measurements were conducted on-site using a wind sensor and solar panel, with supplementary data sourced from the Finnish Meteorological Institute. Based on these measurements, various scenarios were evaluated to examine the suitability and cost-effectiveness of different power options. Recommendations for systems were then formulated based on the findings.

The results indicate that self-sufficiency can be achieved by selecting an appropriate wind turbine type and battery storage, as well as ensuring backup power availability through a generator. The findings of this thesis can be utilized in planning self-sufficient energy solutions for holiday homes and other small properties where dependency on external energy sources is to be minimized.

Keywords: wind power, self-sufficiency, electricity generation, battery storage, renewable energy

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kohde	2
3	Valmistelu	4
4	Tuulivoima	5
5	Aurinkovoima	7
6	Mittaukset ja analysointi	9
6.1	Mittauksilla kerätty data	9
6.2	Suhdeluku	9
6.3	Tuoton arviointi	12
6.4	Tuulivoimala	13
6.5	Tuulen nopeus	15
6.6	Laskenta	16
7	Tuulivoima vai sähköliittymä	19
7.1	SkyPower 5 kW	20
7.2	Skypower 10 kW	21
7.3	EOL/5000 5kW	22
7.4	Perustukset	23
7.5	Akusto ja aggregaatti	24
7.6	Sähköliittymä	25
8	Kannattavuus	26
9	Päätelmät	28
	Lähteet	30
	Liite 1: Kuvia Excel-laskennasta	

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on mitoittaa kiinteistölle sopiva uusiutuvaa energiaa hyödyntävä järjestelmä, joka mahdollistaa energiaomavaraisuuden vapaa-ajan asunnossa. Energiantuotantoon käytetään sekä tuuli- että aurinkovoimaa, ja järjestelmää täydennetään tarvittaessa akustolla ja aggregaatilla, mikä mahdollistaa energian saatavuuden vaihtelevissa sääolosuhteissa. Näin pyritään vastaamaan kiinteistön sähkönkulutukseen eri vuodenaikoina, erityisesti talvella, jolloin energiantarve on suurin ja luonnonolosuhteet haastavimmat.

Tuulivoima toimii kiinteistön energialähteenä etenkin talvikuukausina, jolloin tuulen voimakkuus on keskimäärin korkeampi kuin kesällä ja energiantarve on suuri. Pientuulivoimala hyödyntää tuulen liike-energiaa ja muuntaa sen sähköksi, jota voidaan käyttää kiinteistön lämmitykseen, valaistukseen ja muihin sähkölaitteisiin. Tuulivoiman etuna on sen kyky tuottaa sähköä myös pimeinä talvikuukausina, jolloin aurinkovoiman tuotanto on vähäistä.

Tuulivoimalan sijoittelulla ja mitoituksella on keskeinen merkitys sen tehokkuuden varmistamisessa. Tässä työssä on valittu kiinteistölle sopiva pientuulivoimala, joka on sijoitettu optimaaliselle paikalle mahdollisimman avaralle alueelle. Tavoitteena on, että voimala kattaa talvikauden energiantarpeen yhdessä akuston kanssa, mikä vähentää ulkoisen sähkön tarvetta. Tuulivoimalan tuottama ylimääräinen sähkö voidaan varastoida akkuihin ja käyttää silloin, kun energiantarve ylittää hetkellisen tuotannon, esimerkiksi tyynellä säällä tai äkillisen kulutushuipun aikana.

Aurinkopaneelit täydentävät tuulivoimalan energiantuotantoa erityisesti kesäkaudella, jolloin aurinko paistaa pitkään ja tehokkaasti. Kesällä, kun tuulivoimala on poissa käytöstä mahdollisten häiriöiden vähentämiseksi, aurinkopaneelit vastaavat suurimmasta osasta energian tarpeesta. Aurinkovoima tarjoaa tehokkaan ratkaisun hyödyntää kesäisin pitkät aurinkoiset päivät ja varmistaa sähköntuotannon jatkuvuuden.

Talvella aurinkopaneelien tuottama energia on vähäisempää auringon matalan sijainnin vuoksi, mutta sijoittamalla paneelit jyrkkään kulmaan ja huomioimalla heijastukset lumesta, voidaan saada lisähyötyä talvipäivien auringonvalosta. Paneelien tuotto on kuitenkin talvella rajallista, joten varsinainen energiantuotto nojaa silloin pääasiassa tuulivoimaan.

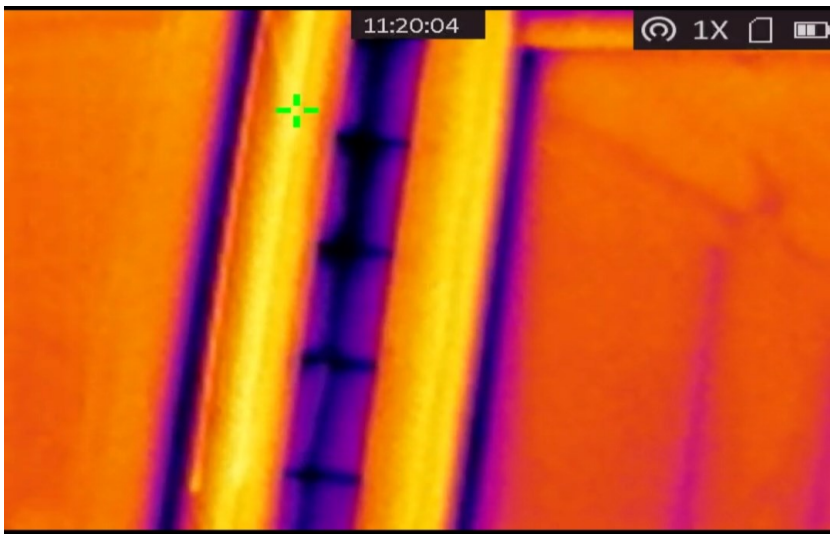
Tässä työssä keskitytään erityisesti talvikauden energiantarpeisiin ja tuulivoimalan tuoton arviointiin, koska talvella kiinteistön energiankulutus on suurimmillaan johtuen lämmitystarpeesta ja lyhyistä päivistä. Mittaustietojen ja tuuliolosuhteiden perusteella arvioidaan tuulivoimalan tuotantokapasiteettia ja sen riittävyyttä kattamaan talvikuukausien energiantarve. Tavoitteena on mitoittaa tuulivoimala ja siihen liittyvä akusto siten, että ne pystyvät tuottamaan ja varastoimaan riittävästi sähköä myös heikomman tuulen jaksoilla.

Tuulivoimalan tuotannon arviointiin käytetään mittauksia kiinteistön sijainnista, ja nämä tiedot yhdistetään Ilmatieteen laitoksen tilastoihin, jotta saadaan mahdollisimman tarkka kuva tuulivoimalan potentiaalista talvikaudella. Arvioinnin avulla pyritään löytämään optimaalinen tuulivoimalan koko, joka pystyy kattamaan talvella suurimman osan energiantarpeesta, ja varmistamaan kiinteistön energiaomavaraisuuden myös silloin, kun luonnolliset energianlähteet ovat vähäisiä. Näin järjestelmä voi vähentää ulkoisen sähkön tarvetta ja tarjota luotettavan energiantuotannon talven vaativissa olosuhteissa.

2 Kohde

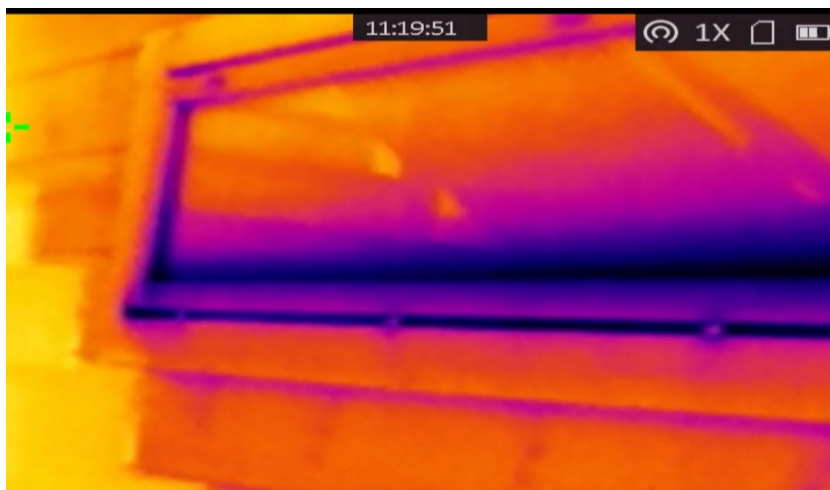
Kiinteistössä on käytössä vesikiertoinen lattialämmitys, joka toimii maalämpöpumpulla. Talon ulkoseinät ovat 202 mm paksua hirttä, ja ikkunoiden sekä ovien eristys on laadukasta. Lisäksi kiinteistössä on porakaivo, ja talossa on varaava takka, joka tarjoaa lisälämpöä erityisesti kylminä aikoina. Kiinteistöllä on myös puulämmitteinen sauna- ja vierasrakennus. Kiinteistön kokonaispinta-ala on noin 170+25 neliometriä, ja vuosittainen sähkönkulutus on noin 10 000 kWh, jota on tarkoitus pienentää tuulivoiman avulla.

Tammikuussa 2024 on kiinteistölle suoritettu tarkempi tarkastus lämpökameralla mahdollisten lämpövuotojen havaitsemiseksi (kuvat 1 ja 2). Kiinteistö on melko uusi, eikä tarkastuksessa löytynyt korjausta vaativia vuotokohtia, joten mitään toimenpiteitä ei tarvittu. Kiinteistön hyvä kunto, energiatehokkuus ja tarkkaan valitut materiaalit varmistavat, että lämmitysjärjestelmä toimii optimaalisesti ilman turhia energiahäviöitä.



Kuva 1. Olohuoneen ulkonurkka sisältä kuvattuna.

Lämpökuvauksen perusteella havaitaan, että kiinteistön ulkoseinissä ja ikkunoissa ei esiinny merkittäviä lämpövuotoja. Kuvassa 1 näkyy olohuoneen ulkonurkan sisäpuolelta otettu lämpökuva, jossa eristys vaikuttaa olevan kunnossa. Kuvassa 2 puolestaan on eteisen avattava ikkuna, joka osoittaa, että tiivistys toimii asianmukaisesti myös liikuteltavissa osissa.



Kuva 2. Avattava ikkuna eteisessä.

3 Valmistelu

Sääasema asennetaan paikalleen syksyllä (kuva 3). Paikaksi on valittu lähitöllä oleva kumpareen huippu, josta kerrotaan lisää luvussa 2.3. Tuulimittarin signaalin kantama ei aivan riittänyt halutulle sijainnille, joten mittaustulokset eivät vastaa aivan tuulivoimalan sijainnin tasoa, joka on 20 m korkeammalla. Mittaus on suoritettu ajalla 9/2023–4/2024. Sääaseman keskusyksikkö lähetti kerätyt tuulitiedot suoraan sähköpostiin.



Kuva 3. Tuulianturi puun latvaan kiinnitettyä.

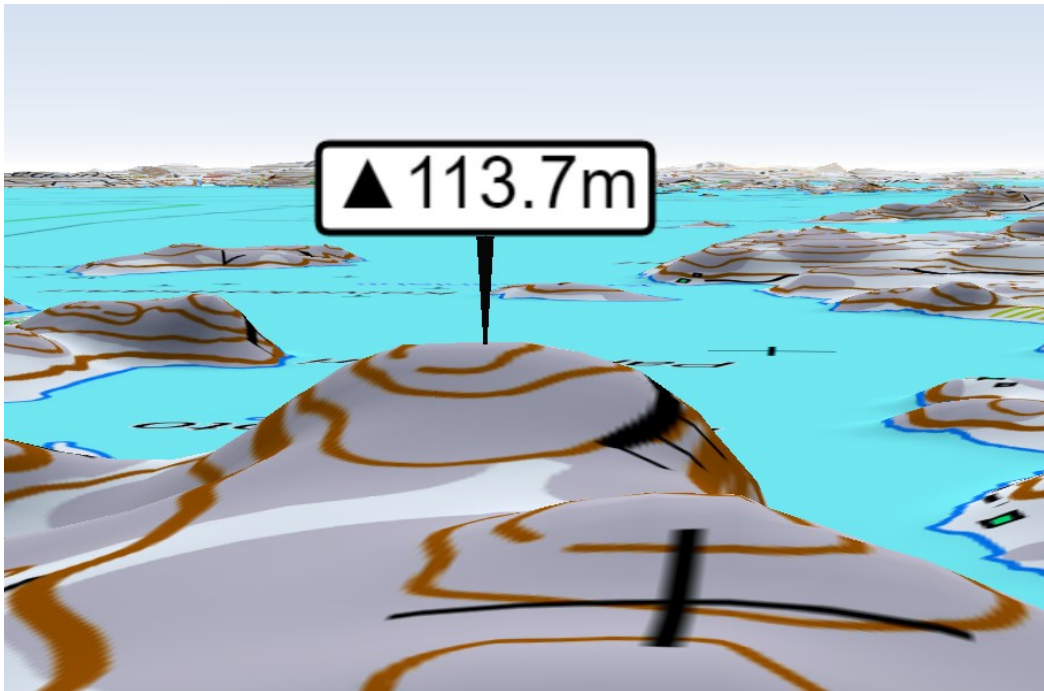
4 Tuulivoima

Tuulivoima on ympäristöystävällinen ja uusiutuva energiamuoto, joka ei tuota kasvihuonekaasupäästöjä energiantuotannon aikana. Tämä tekee siitä erityisen houkuttelevan vaihtoehdon fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, sillä tuulivoiman käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä ja pienentää merkittävästi kiinteistön hiilijalanjälkeä. Tuulivoiman avulla voidaan tuottaa sähköä kestävästi, ja sen avulla voidaan korvata perinteisiä energiantuotantomuotoja. [1].

Tuulivoimalan tehokkuus riippuu sen sijoittelusta ja mitoituksesta, sillä tuulivoimalan on oltava oikeassa paikassa tuulen saannin varmistamiseksi. Optimaalisesti sijoitettu pientuulivoimala voi tuottaa merkittävän osan kiinteistön energiantarpeesta, etenkin talvikuukausina, jolloin tuuliolosuhteet ovat yleensä paremmat kuin kesällä ja energiantarve on suurimmillaan. Energiatehokkuuden kannalta on tärkeää, että tuulivoimala suunnitellaan vastaamaan juuri kiinteistön kulutusta, jolloin tuotettu energia voidaan hyödyntää tehokkaasti ilman suuria häviöitä. [2].

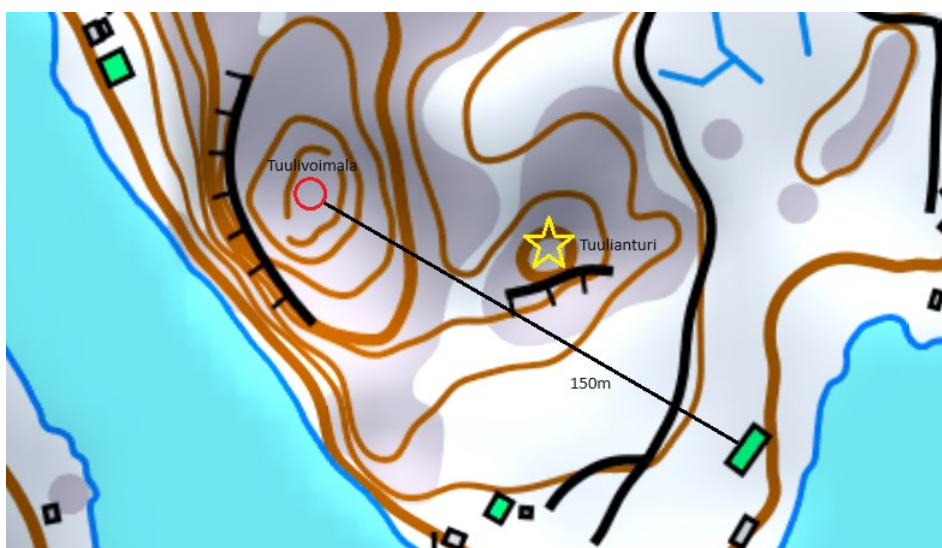
Talvikaudella tuulivoimalan rooli korostuu, koska aurinkovoiman tuotanto on vähäistä lyhyiden päivien ja auringon matalan sijainnin vuoksi. Tuulivoiman avulla voidaan kattaa suurin osa kiinteistön energiantarpeesta, ja sen tuottama sähkö voidaan varastoida akustoon käytettäväksi silloin, kun tuulen nopeus ei ole riittävä hetkelliseen energiantuotantoon. Tämä mahdollistaa kiinteistön energiansaannin tasaisen ylläpidon vaihtelevissa sääolosuhteissa.

Kuten luvussa 2.1 kerrotaan, tuulianturia ei saatu tulevan tuulivoimalan sijainnille sen lyhyen kantaman takia. Kiinteistön viereisen mäen päällä on niemen korkein kohta (kuva 4), joka on sopiva tuulivoimalan sijainnille. Matkaa tähän on noin 150 metriä kiinteistöstä.



Kuva 4. Hahmotuskuva kiinteistön ja tuulivoimalan sijainnista [3].

Kuvasta 5 näkee, miten avaralla paikalla mäen korkein kohta on. Veden äärellä tuuli pääsee hyvin liikkumaan ja tuulivoimala saa siitä parhaiten liike-energian talteen. Mäen sijainti on 113,7 metriä merenpinnan yläpuolella.



Kuva 5. Hahmotus tuulivoimalansijainnista [3].

Sijainnin suunnittelussa oli tärkeää ottaa huomioon myös virran siirto kiinteistölle, erityisesti invertterin siirtohäviöiden minimointi. Avidian laskurin (kuva 6) mukaan invertterin siirtohäviö saisi olla enintään 5 %, jotta energiankäyttö olisi tehokasta ja jännitehäviö mahdollisimman vähäistä. Tilannetta tarkastellaan käyttämällä 400 V:n jännitettä, joka mahdollistaa riittävän matalat siirtohäviöt. Tämän perusteella todetaan, että tuulivoimalan sijainti on riittävän lähellä kiinteistöä ja sähkö siirtyy tehokkaasti ilman merkittäviä siirtohäviöitä, mikä varmistaa järjestelmän toimivuuden ja luotettavuuden.

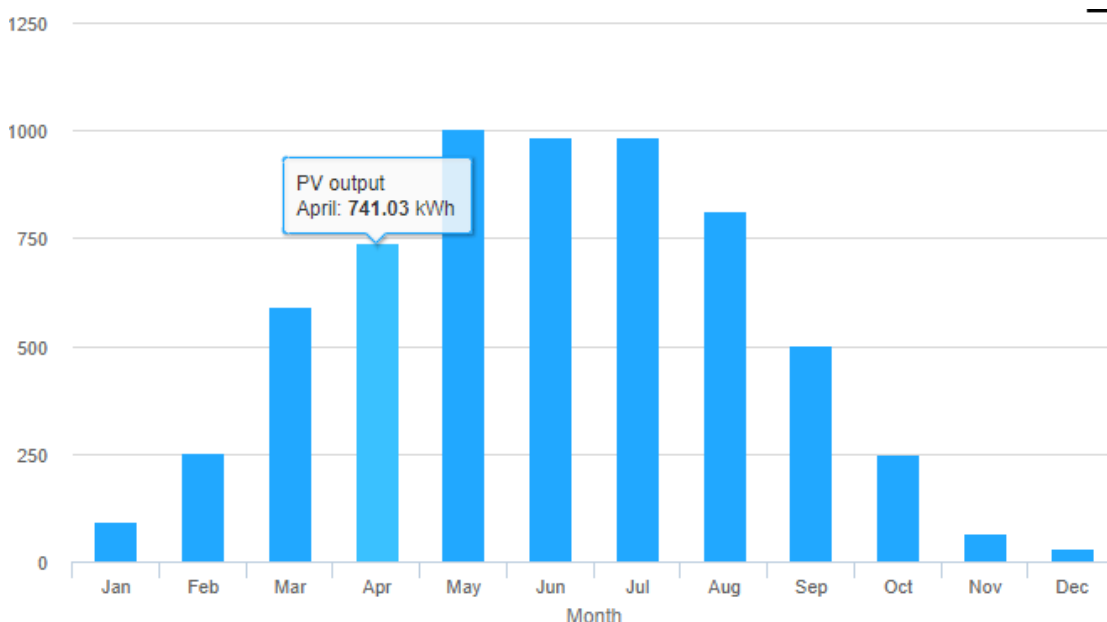
Syötä arvot	Tulokset
Laitteen jännite (V)	Jännitehäviö johtimissa
<input type="text" value="400"/>	13.94V
Laitteen nimellisteho (W)	Tehohäviö johtimissa
<input type="text" value="4998"/>	168.12W
Johtimen paksuus (mm ²)	Laitteen todellinen teho
<input type="text" value="2,5"/>	4655.69W
Johtimen pituus (m)	Laitteen todellinen jännite
<input type="text" value="170"/>	386.06V
<input type="button" value="Laske"/>	Jännitehäviö
	3.49%

Kuva 6. Kuvakaappaus laskentaohjelmasta [4].

5 Aurinkovoima

Kesäisin tuulivoimala runko kaadetaan tilapäisesti alas, jotta vältetään mahdolliset häiriöt naapureille. Tuulessa tuulivoimalan lapa voi pyöriä auringon edessä, mikä aiheuttaa välkkymistä. Kesän aikana aurinkovoimala ottaa tuotantovastuun ja varmistaa, että saadaan uusiutuvaa energiaa kesän aikana. Aurinkovoima hyödyntää tehokkaasti pitkät ja aurinkoiset päivät tuottaen riittävästi sähköä silloin, kun tuulivoimala on poissa käytöstä. Aurinko paistaa talvella matalalla mutta siitä huolimatta voidaan myös saada tuotantolukemia aurinkopaneeleista, joten ne on hyvä huomioida myös talven ajan energian tuotannossa. Kuvassa 7

on laskettu noin 7,28 kW/h kokoisella aurinkovoimalalla pohjoinen sijainti huomioiden.



Kuva 7. Aurinkopaneelien tuottoarvio kuukausittain [5].

Aurinkopaneeleista 4 kappaletta (455 W/kpl) asennetaan rantaan pystyyn, jotta talven matalalla olevaa auringonvaloa saataisiin hyödynnettyä. Tähän liittyen tutkitaan, miten kallistuskulma vaikuttaa aurinkoenergian tuottamiseen. Vertailulaskelmien mukaan [5], jos kaikki paneelit olisivat asennettuna pystysuoraan, niiden laskennallinen tuotto olisi noin 112 kWh tammikuussa. Paneelien ollessa 35 asteen kulmassa tuotto olisi vastaavasti 80 kWh. Tämä osoittaa, että kallistuskulmalla ei ole merkittävää vaikutusta talvikuukausina tuotettuun energiamäärään.

On kuitenkin huomioitava, että hanki ja vesipinta voivat heijastaa valoa paneelisiin, erityisesti aurinkoisina päivinä, mikä saattaa parantaa paneelien tuottoa. Sivustolla, josta tuottolaskelmat on saatu [5], ei ole erikseen mainittu, onko tämä heijastava vaikutus huomioitu laskelmissa. Talvella valon määrää voi lisätä lumen ja veden heijastus, jonka paneelit pystyvät hyödyntämään, mikä voi osaltaan kompensoida auringonvalon vähyyttä vuoden pimeimpinä kuukausina.

6 Mittaukset ja analysointi

6.1 Mittauksilla kerätty data

Talven yli tehtyjen tuulimittauksien päätyttyä havaittiin, että lumi oli peittänyt tuulianturia lataavan aurinkopaneelin useaan otteeseen mittausjakson aikana.

Tämä aiheutti sen, että paneeli ei pystynyt tuottamaan tarpeeksi energiaa tuulianturin toimintaan, minkä seurauksena merkittävä osa mittausdatan keräämisestä jäi toteutumatta.

Tämän puutteen vuoksi keksitään ratkaisu täydentää puuttuvia tuulitietoja Ilmantieteen laitoksen läheisen sääaseman mittauksilla, mikä sijaitsee noin 13 kilometrin päässä etelään mittauskohteesta. Sääasemalla käytetyt anturit sijaitsevat samankaltaisessa maastossa ja samalla korkeudella merenpinnasta kuin opinnäytetyön anturit, mikä mahdollistaa olosuhteiden vertailun ja tiedon korvaamisen riittävän tarkasti. [3]. Näin alkuperäistä mittausdataa saadaan täydennettyä, jotta tutkimuksen tulokset olisivat mahdollisimman luotettavat.

6.2 Suhdeluku

Ilmantieteen laitoksen tuulenopeusmittausarvot olivat suhteessa paljon suuremmat kuin tämän opinnäytetyön mittaukset. Ilmantieteen laitoksen arvoja ei voitu käyttää sellaisinaan, koska sijainnin perusteella arvot pitäisivät olla suunnilleen samat. Tämä ero voi johtua mittaustavasta ja laitetarkkuudesta.

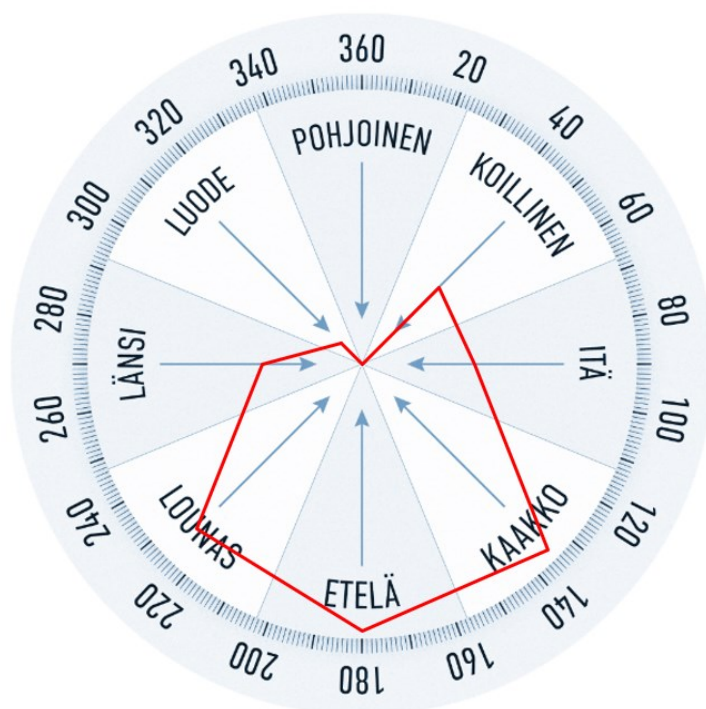
Tässä tutkimuksessa asennetussa anturissa kaikki itä- ja länsituulen nopeudet näyttivät nolaa. Syynä tähän on korkea puusto itäpuolella ja mittaustaikaa korkeampi mäki länsipuolella. Tuulivoimalan sijainti on näiden yläpuolella, joten ne eivät ole ongelma. Energiantuotannossa saadaan kaikki tuulen suunnat hyödynnettyä. Tutkimuksen dataa täydennetään Ilmantieteen laitoksen tiedoilla ja sopivaa suhdelukua haetaan pohjois- ja eteläsuunnassa. Kun antureiden välinen etäisyys on 13 km, tuulenpuuskalla menee noin tunti saavuttaa tutkimuksen

anturi, mikä huomioidaan vertailussa. Suhdeluvun vertailussa käytetään kolmelta päivältä kolmen eri ajankohdan tietoja ja luvuksi saadaan 0,53 %. Tätä arvoa käytetään Ilmantieteen laitoksen dataan.

Mittausten aikana kerätyn datan perusteella analysoitiin tuulen suuntien jakautumista kohdealueella. Tuulensuunnilla on merkittävä vaikutus tuulivoimalan tuotantoon, sillä eri suunnista tulevat tuulet kohtaavat maastoesteitä eri tavoin. Mittausjakson aikana suurin osa tuulista saapui alueelle länsi- ja eteläsuunnasta, jotka ovat tälle sijainnille tyypillisiä pääilmansuuntia. Näistä suunnista tuleva tuuli on yleensä esteetöntä, minkä ansiosta tuulennopeudet ovat keskimääräistä korkeampia ja energiantuotanto tehokkaampaa.

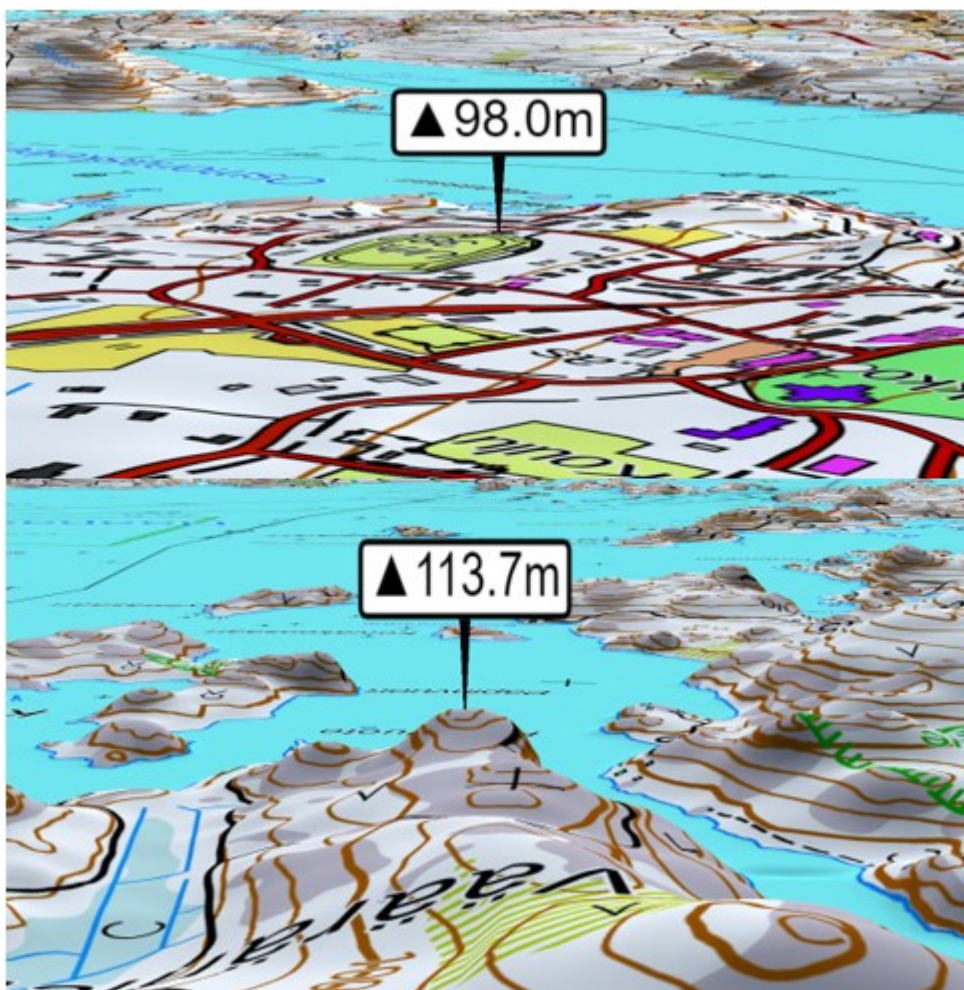
Idän ja pohjoisen suunnista tuulet ovat harvinaisempia, mutta näilläkin suunnilla tuulennopeudet olivat mittausten mukaan riittäviä tuulivoimalan tuotantoon. Pohjoisen suunnasta tulevat tuulet kohtaavat kuitenkin jonkin verran korkeuseroja ja puustoa, mikä voi aiheuttaa paikallisia tuulen nopeuden heikkenemisiä. Itäpuolen tuuli sen sijaan jää usein alhaiseksi, mahdollisesti alueen maaston ja kasvillisuuden aiheuttamien esteiden vuoksi.

Tuulensuuntien analyysi antaa arvokasta tietoa tuulivoimalan optimaalisen sijoituspaikan määrittämiseksi. Valitsemalla voimala paikkaan, jossa vallitsevat länsi- ja etelätuulet pääsevät parhaiten hyödyntämään avoimen tilan ilman esteitä, voidaan varmistaa järjestelmän tehokkuus ja maksimoida tuotanto mittausjakson perusteella odotettavien tuulensuuntien pohjalta. Kuva 8 havainnollistaa tuulen suuntia Ilmatieteen laitoksen mittausten perusteella.



Kuva 8. Tuulensuunnat mittauksien ajalta [6].

Kuvasta 9 näkee, että tuulivoimalan sijainti on jopa korkeammalla kuin Ilmantieteen laitoksen tuulianturin sijainti. Tämä voi tarkoittaa myös sitä, että tuulivoimala saa parempia tuulen nopeuksia kuin Ilmantieteen laitoksen tuulianturi. Sekä tuulianturilla että tuulivoimalalla on avara sijainti veden äärellä.



Kuva 9. Ilmantieteen laitoksen anturin sijainti ja tulevan tuulivoimalan sijainti [3].

6.3 Tuoton arviointi

Ilmantieteen laitoksen tiedot [6] tulevat tunnin välein, ja näin keskiarvillisilla mitauksilla laskettu tuotto voi erota suuresti. Esimerkkinä jos kuukauden kaksi ensimmäistä viikkoa ei tuule ollenkaan ja kaksi viimeistä viikkoa tuulee 6 m/s, saadaan kuukauden keskiarvoksi 3 m/s. Suurin osa tuulivoimaloista käynnistyy vasta tässä nopeudessa, joten tietokoneella kuukauden tuotto näyttää nolaa. Todellisuudessa kaksi viimeistä viikkoa on tuottanut varsin hyvin kuukauden aikana, mikä vastaisi esimerkiksi 5 kW-tuulivoimalalla 336 kW:n tuottoa.

Sama huomio saadaan, kun lasketaan helmikuun arvot jokaiselta tunnilta saaden tuotoksi 1 100 kWh. Toisella kierroksella lasketaan koko kuukauden keskiarvo ja tällä tuloksella lasketaan tuulivoimalan tuotto, joka oli 1 800 kWh. Ero

perustuu siihen, kummalle puolelle eksponentiaaliseen nousun tekevää tuotto-käyrää keskiarvo sattuu jäämään (kuva 10 luvussa 6.4). Isoilla tuulivoimaloilla tuulen nopeus voi kasvattaa tuottoa reilusti. Tämän kertaantuessa koko kuukaudelle lopputulos voi erota todellisuudesta suuresti.

6.4 Tuulivoimala

Tuulivoimalan valinta kiinteistön energiantarpeen täyttämiseksi vaatii huolellista arviointia, sillä tuuliolosuhteet vaihtelevat huomattavasti paikallisesti ja vuoden-aikojen mukaan. Oikein mitoitettu tuulivoimala voi tarjota merkittävän osan energiantarpeesta, mutta sen täysi hyödyntäminen vaatii sopivan sijainnin, mastokorkeuden ja voimalan koon määrittämistä tarkasti. Tässä vertailussa on arvioitu eri teholuokkien, erityisesti 5 kW- ja 10 kW -tuulivoimaloiden, soveltuvuutta kohteeseen, jotta energiantuotanto olisi mahdollisimman kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä.

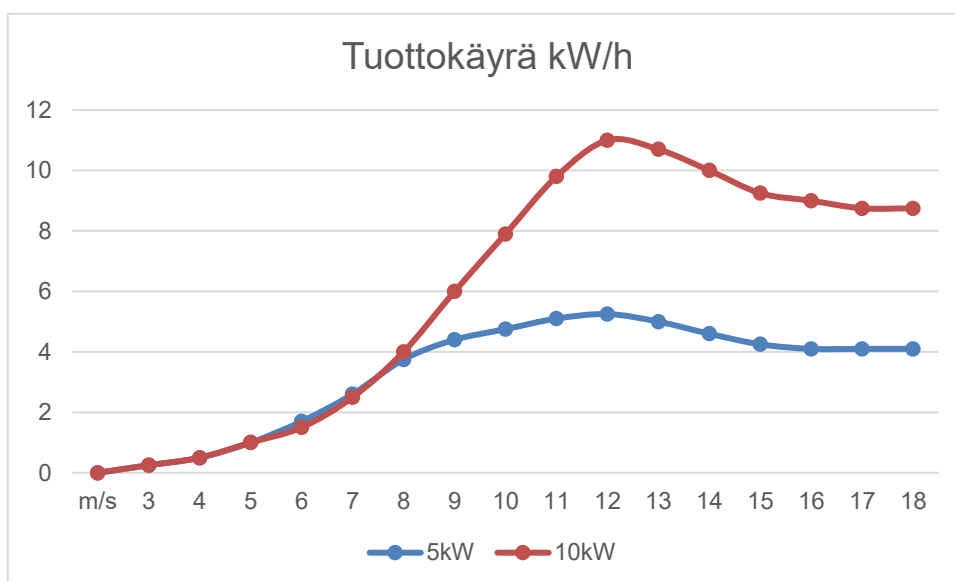
Tarkastelussa otetaan huomioon erityisesti tuulen keskinopeus, tuulen puuskat ja paikalliset maasto-olosuhteet, jotka vaikuttavat merkittävästi tuulivoimalan tuottoon. Valittu 5 kW:n tuulivoimala, jonka pyyhkäisyypinta-ala on optimoitu kiinteistön tuulusuolosuhteisiin, osoittautui tässä kohteessa järkeväksi valinnaksi verrattuna suurempaan 10 kW:n malliin. Suuremman voimalan tuotantohyöty ei ole yhtä merkittävä tuulen keskinopeuksien jäädessä alle 8 m:iin/s, jolloin lisäkustannukset eivät tuo vastaavaa lisähyötyä. Näiden arvioiden avulla pyritään löytämään tasapainoinen ratkaisu, joka yhdistää taloudelliset ja tekniset näkökohdat optimaalisella tavalla.

Alla olevat tulokset (taulukko 1) osoittavat tuulivoimalan tuoton eri tuulennopeuksilla sekä 5 kW:n että 10 kW:n teholuokissa. Tästä taulukosta käy ilmi, että tuulivoimalan tuotto kasvaa eksponentiaalisesti tuulen nopeuden myötä, mutta tuulennopeuksilla, jotka ovat alle 5 m/s, tuotto on melko vähäistä molemmille voimalatyypeille. Tämä tieto on olennaista arvioitaessa, missä olosuhteissa kumpikin voimala voi tarjota riittävän energiatehon kiinteistön tarpeisiin.

Taulukko 1. 10 kW:n ja 5 kW:n tuulivoimalan tuotto.

Tuulen- nopeus	5 kW	10 kW
m/s	kW/h	kW/h
3	0,25	0,25
4	0,5	0,5
5	1	1
6	1,7	1,5
7	2,6	2,5
8	3,75	4
9	4,4	6
10	4,75	7,9
11	5,1	9,8
12	5,25	11
13	5	10,7
14	4,6	10
15	4,25	9,25
16	4,1	9
17	4,1	8,75
18	4,1	8,75

Seuraavassa kuvassa 10 keskitytään tarkemmin eri tuulennopeuksien tuottoarvoihin tuulivoimalan sijoituspaikan erityisolosuhteissa. Tässä on huomioitu mittauksista saadut keskiarvot eri tuulennopeuksista sekä kovat puuskat, jotka voivat nostaa tuottoa merkittävästi. Näiden arvojen perusteella voidaan arvioida voimalan kokonaistuotantoa ja tarvittavaa tehokkuutta optimoidun tuoton saavuttamiseksi.



Kuva 10. 10 kW:n ja 5 kW:n tuulivoimalan tuottokäyrä.

Koska tuulen nopeus ei mittauksien perusteella noussut juuri koskaan yli 8 m:iin/s, ei 10 kW:n tuulivoimalasta saa juuri lisähyötyä. Koko puolen vuoden mittauksen vertailussa 5 kW:n tuulivoimala tuotto oli laskennallisesti 7 187 kW/h ja 10 kW:n tuulivoimalalla 9 255 kW/h.

6.5 Tuulen nopeus

Tuulen nopeus on Ilmantieteen laitokselta saatuna aina kyseisen tunnin keskiarvo. Kovat puuskat nostavat tuottoa selkeästi, kuten kappaleen 5.3 esimerkissä kerrotaan. Tällä perusteella laskennassa käytetään arvoja keskituulen nopeus, kovin keskituulen nopeus ja kovin tuulenpuuska. Näille jokaiselle laskeaan kW/h-arvo, joista otetaan keskiarvo lopuksi (taulukko 2). Näin kaikkia tuulen nopeuksia on huomioitu laskennassa. Näiden eri tuulennopeuksien suhdetta on tietenkin vaikea arvioida. Tarkemman tuloksen saisi, jos tuulianturi antaisi dataa sekunnin tarkkuudella.

Taulukko 2. Tuulivoimalan tuotto kilowatteina [6].

Tuulennopeus	kW/h x m/s
Keskituulen nopeus [m/s]	1,2
Kovin keskituulen nopeus [m/s]	1,7
Kovin puuska [m/s]	2,3
keskiarvo	1,73

6.6 Laskenta

Excel-taulukkoa käytetään laskemaan kiinteistön energiantarpeen ja tuulivoimalan sekä akuston tuotannon suhde eri olosuhteissa (liite1, kuva 1). Akusto on olennainen osa järjestelmää ja antaa virtaa kiinteistölle silloin kuin muita virranlähteitä ei ole sää olosuhteiden takia käytössä. Akustoa käsitellään luvussa 7.5 tarkemmin. Laskelmien avulla pyritään löytämään kokoonpano, jossa tuulivoimala ja akusto riittäisivät täyttämään energiantarpeen mahdollisimman tehokkaasti ilman ulkoisia energiankulutuslähteitä. Talvikauden energiantarpeen vuoksi akuston kapasiteetti mitoitetaan erityisesti kylmimpien kuukausien kulutuksen perusteella.

Laskentataulukon laatimisessa hyödynnetään kiinteistön sähkönkulutuksesta kerättyä dataa (liite 1, kuva 2) sekä Ilmatieteen laitoksen tuulen suuntia ja -nopeuksia koskevia mittaustietoja. Näiden tietojen perusteella luodaan erilaisia skenaarioita, joissa tarkastellaan tuulivoimalan ja akuston yhteensopivuutta kohteen energiantarpeisiin. Laskennan tavoitteena on määrittää optimaalinen kokoonpano, jossa sekä tuulivoimalan teho että akuston kapasiteetti riittäisivät kattamaan energiatarpeen vuoden ympäri.

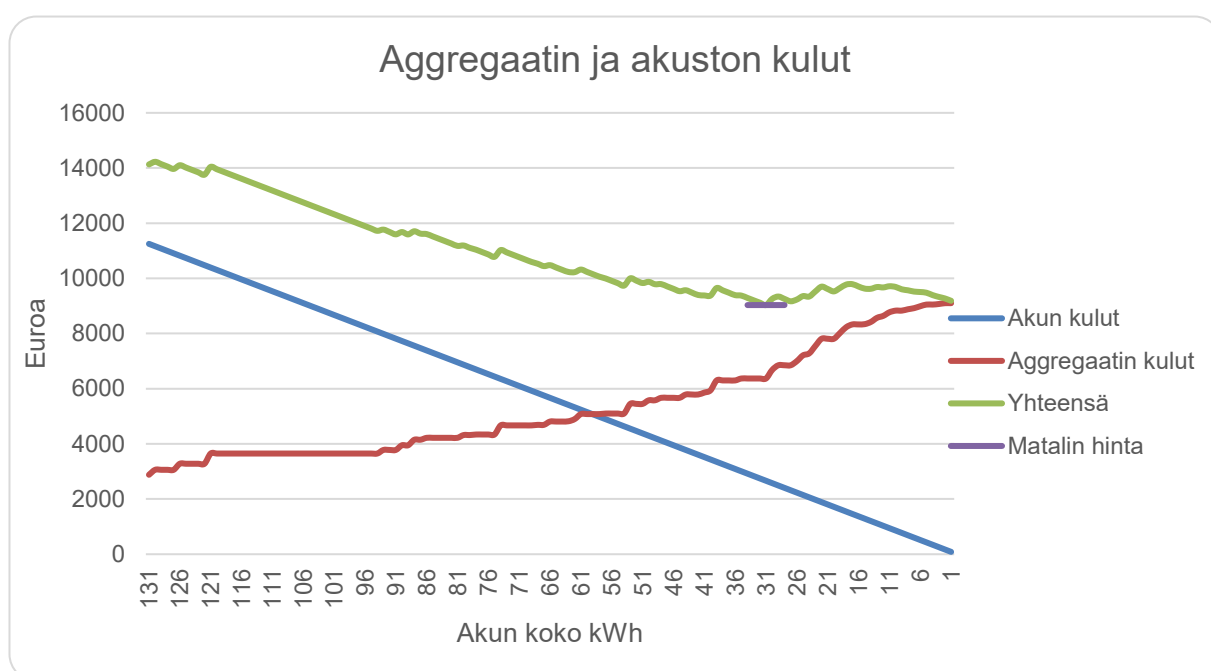
Laskennassa käytetään lähtöarvoina myös eri vuodenaikoihin perustuvia sähkönkulutuksen vaihteluita, sillä kiinteistön energiantarve on huomattavasti suurempi talvikuukausina. Kylmempinä kuukausina energiankulutus nousee erityisesti lämmityksen vuoksi, mikä on otettava huomioon akuston mitoittamisessa. Excel-taulukon laskentakaavasta joulukuun kohdalta (taulukko 3) esittää tarkempia laskennallisia tuloksia eri kuukausille, jolloin voitiin arvioida järjestelmän toimintakykyä koko vuoden ajan.

Tämän kiinteistön tuoton ja kulutuksen nollakohta löytyi 242 kWh:n akustolla ja kahdella 5 kW:n tuulivoimalalla (liite 1, kuva 3). Tällä kokoonpanolla olisi koko 2023 talvi pystytty tuottamaan tarvittava energia pelkällä tuulivoimalla ja akustolla ilman ulkopuolista sähkönhankintaa.

Taulukko 3. Ote joulukuun laskennasta.

Pvm	Tuotto	Kulu- tus	Päivän varaus	Akku- varaus	Ylimääräi- nen tuotto	KWh
1.12.	91,67	38,90	87,76	35,00	52,76	0
2.12.	19,00	38,90	15,10	15,10	-19,90	0
3.12.	4,67	38,90	-19,14	0,00	-34,24	34
4.12.	3,00	38,90	-35,90	0,00	-35,90	36
5.12.	0,83	38,90	-38,07	0,00	-38,07	38
6.12.	2,50	38,90	-36,40	0,00	-36,40	36
7.12.	11,67	38,90	-27,24	0,00	-27,24	27
8.12.	35,00	38,90	-3,90	0,00	-3,90	4
9.12.	35,67	38,90	-3,24	0,00	-3,24	3
10.12.	21,00	38,90	-17,90	0,00	-17,90	18
11.12.	33,17	38,90	-5,74	0,00	-5,74	6
12.12.	67,33	38,90	28,43	28,43	28,43	0
13.12.	35,67	38,90	25,19	25,19	-3,24	0
14.12.	20,83	38,90	7,12	7,12	-18,07	0
15.12.	7,67	38,90	-24,11	0,00	-31,24	31
16.12.	88,20	38,90	49,30	35,00	49,30	0
17.12.	214,33	38,90	210,43	35,00	175,43	0
18.12.	67,33	38,90	63,43	35,00	28,43	0
19.12.	185,53	38,90	181,63	35,00	146,63	0
20.12.	229,43	38,90	225,53	35,00	190,53	0
21.12.	12,17	38,90	8,26	8,26	-26,74	0
22.12.	116,07	38,90	85,43	35,00	77,16	0
23.12.	30,50	38,90	26,60	26,60	-8,40	0
24.12.	49,33	38,90	37,03	35,00	10,43	0
25.12.	13,33	38,90	9,43	9,43	-25,57	0
26.12.	14,33	38,90	-15,14	0,00	-24,57	25
27.12.	15,00	38,90	-23,90	0,00	-23,90	24
28.12.	8,33	38,90	-30,57	0,00	-30,57	31
29.12.	48,33	38,90	9,43	9,43	9,43	0
30.12.	103,03	38,90	73,56	35,00	64,13	0
31.12.	44,00	38,90	40,10	35,00	5,10	0
	1628,93	1206,00			yhteensä	313

Kun akun hintaa verrataan aggregaatin kuluihin, kaaviosta pienin akun hankintahinta ja aggregaatin kulut löytyivät 35 kWh akuston kohdalla (kuva 11). Näiden yhteishinnaksi tuli 9 032 euroa kymmenessä vuodessa. Akusto on hinnoiteltu 85,82 €/kWh. Aggregaatin kulutus on 1,9 l/h x 1,5 euroa/l ja hankintahinta 1 500 euroa.



Kuva 11. Kannattavuuden arviointi.

7 Tuulivoima vai sähköliittymä

Energiaomavaraisuus on merkittävä tekijä vapaa-ajan asunnon käytössä erityisesti alueilla, joilla sähköliittymän kustannukset voivat olla korkeita ja energiantarve suuri etenkin talviaikaan. Omavarainen energiantuotanto, esimerkiksi tuulivoimalla, voi tarjota kustannussäästöjä pitkällä aikavälillä ja vähentää riippuvuutta sähköverkosta. Tuulivoima on uusiutuva energianlähde, ja sen hyödyntäminen vapaa-ajan asunnon energianlähteenä vähentää samalla fossiilisten polttoaineiden tarvetta ja pienentää hiilijalanjälkeä. Lisäksi omavarainen energiantuotanto voi tarjota lisäturvaa ja joustavuutta mahdollisten sähkökatkosten aikana.

Tässä luvussa käsitellään mahdollisuuksia täyttää rakennuksen energiantarve joko tuulivoimalalla tai sähköliittymällä. Tarkoituksena on vertailla näiden vaihtoehtojen kustannuksia, ympäristövaikutuksia ja käytännön toteutettavuutta. Arvioinnissa keskitytään erityisesti siihen, missä tilanteissa tuulivoimala voi olla taloudellisesti järkevä ratkaisu perinteisen sähköliittymän sijasta ja mitä investointeja ja huoltokustannuksia kumpikin ratkaisu vaatii. Kustannusten lisäksi myös energiantuotannon luotettavuus ja tehokkuus ovat ratkaisevia tekijöitä valintaa tehtäessä, sillä sähköntarve voi vaihdella merkittävästi vuodenaikojen ja käyttöasteen mukaan.

7.1 SkyPower 5 kW

5 kW Skypower -tuulivoimala (kuva 12) on keskisuuri vaihtoehto, joka tarjoaa tasapainoisen ratkaisun tuotantokapasiteetin ja investointikustannusten välillä. Skypower-mallissa yhdistyvät tehokas tuuliturbiini, hybridi-invertteri sekä akusto, jotka yhdessä takaavat energian saatavuuden vaihtelevissa tuuliolosuhteissa. Tämä voimalatyyppe on suunniteltu kattamaan kohteen keskimääräinen sähkönkulutus, ja se sisältää myös integrointimahdollisuuden aurinkopaneelien kanssa, mikä lisää järjestelmän joustavuutta eri vuodenaajoissa. Järjestelmän kokonaishinta asennettuna on noin 18 575 euroa. [7].

Investoinnin laskennallinen takaisinmaksuaika riippuu erityisesti talvikauden energiantuotannosta ja lämmitystarpeista. Skypowerin tarjoama akusto ja invertterijärjestelmä mahdollistavat energian varastoinnin tehokkaasti, mikä parantaa sen soveltuvuutta vapaa-ajan asunnon omavaraiseksi energiaratkaisuksi.



Kuva 12. SkyPower 5 kW horisontaali [7].

7.2 Skypower 10 kW

10 kW:n järjestelmä rajattiin jo pois paikallisten tuuliolosuhteiden takia, mutta vertailun vuoksi se on silti hyvä tarkastella läpi. Isoilla tuulen puuskillla sen etu on huomattava pienempiin voimaloihin nähden.

10 kW Skypower -tuulivoimala (kuva 13) edustaa kapasiteetiltaan suurinta tarkasteltavaa vaihtoehtoa ja tarjoaa merkittävän tuotantokyvyn korkeissa tuulennopeuksissa. Tämä järjestelmä on suunniteltu kohteisiin, joissa energiantarve on suurempi tai tuuliolosuhteet mahdollistavat korkean tuotantotason ympäri vuoden. 10 kW Skypower sisältää vahvistetun turbiinin ja suurikapasiteettisen akuston, mikä tekee siitä erityisen kestävän ratkaisun, joka voi vähentää riippuvuutta ulkoisesta energiasta lähes kokonaan. 10 kW-järjestelmän kokonaishinta on noin 29 070 euroa asennettuna. [8].



Kuva 13. SkyPower 10 kW horisontaali [8].

Järjestelmän kustannustehokkuutta arvioidaan vertailemalla sitä pienempiin tuulivoimaloihin sekä kohteen energiatarpeisiin. Tämä järjestelmä sopii erityisesti tilanteisiin, joissa tuotantokapasiteetti halutaan maksimoida niin, että se pystyy kattamaan energiantarpeen myös tuulettomampina jaksoina suuremman akustonsa ansiosta.

7.3 EOL/5000 5kW

EOL/5000 5 kW -tuulivoimala (kuva 14) on valittu vertailuun edustamaan edullisempaa pientuulivoimavaihtoehtoa, joka soveltuu hyvin pienkohteisiin, kuten vapaa-ajan asuntoihin. Tämä tuulivoimala on suunniteltu hyödyntämään keskimääräisiä tuuliolosuhteita ja tarjoamaan kohtuullisen tuotantotehon maltillisella alkuinvestoinnilla. Järjestelmä sisältää keskeiset komponentit, kuten 5 kW:n

tuuliturbiinin, hybridiohjaimen, liitännät akustolle ja invertterille.[9]. Tämän voimalan avulla on tarkoitus arvioida, kuinka hyvin edullisempi järjestelmä pystyy vastaamaan kohteen energiatarpeisiin verrattuna korkeampihintaisiin vaihtoehtoihin.

Kustannustehokkuutensa ansiosta EOL/5000 tarjoaa potentiaalisen ratkaisun energiaomavaraisuuden saavuttamiseksi pienellä budjetilla. Järjestelmän hankintahinta noin 8 350 euroa [9], mikä tekee siitä kilpailukykyisen vaihtoehdon ilman merkittäviä lisäinvestointeja. Luvussa 8 arvioidaan, kuinka tämä tuulivoimala pärjää tuotantokapasiteetissa verrattuna suurempiin Skypowerin järjestelmiin.

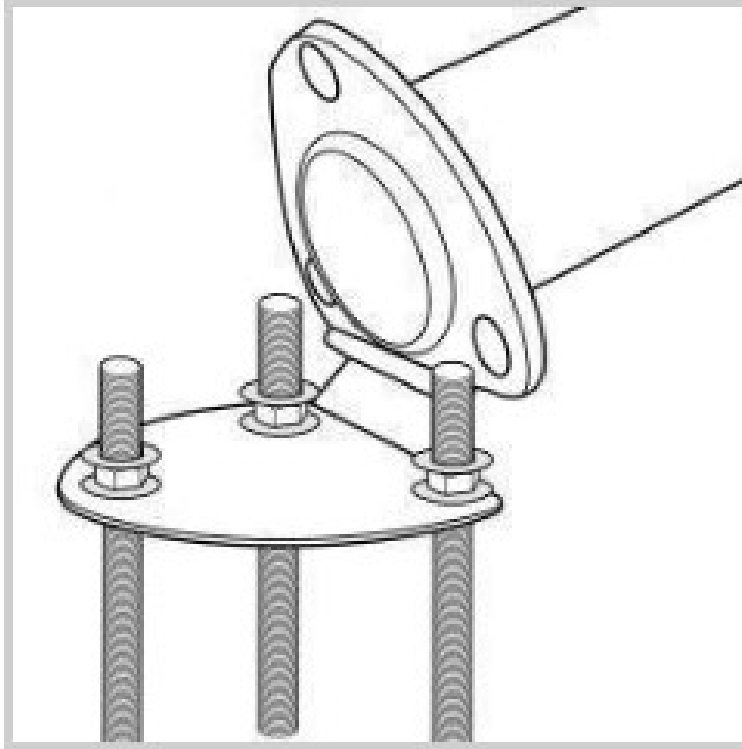


Kuva 14. EOL500-tuuliturbiini 5 kW [9].

7.4 Perustukset

Tuulivoimala asennetaan kallion päälle, mikä on huomattavasti edullisempi toteuttaa, sillä betonista perustusta ei tarvitse tehdä. Tuulivoimala ankkuroidaan

haruksilla kallioon ja maston tuki rakennetaan kuvan 15 mukaisesti. Tornia pystytessä pitävät harukset kiinnitetään kalliolle ankkurilenkeillä.



Kuva 15. Tuulivoimalan perustuksen havainnekuva [10].

7.5 Akusto ja aggregaatti

Järjestelmässä käytetään dieselkäyttöistä aggregaattia (kuva 16) täydentämään tuulivoimalan ja aurinkopaneelien sähköntuotantoa silloin, kun niiden tuottama energia ei riitä kattamaan kiinteistön kulutusta. Aggregaatti havaitsee akuston alhaisen jännitteen ja käynnistyy sen pohjalta automaattisesti tukemaan järjestelmää. Se tuottaa tarvittavan sähkön polttoaineella ja syöttää sen suoraan kiinteistöön. Kun tuulivoimalan ja aurinkopaneelien tuotanto palautuu riittävälle tasolle, aggregaatti sammuu itsenäisesti ja uusiutuvat energialähteet jatkavat yksinään sähkön tuottamista. Tämä varmistaa, että sähköntuotanto pysyy vakaana, vaikka uusiutuvan energian tuotannossa esiintyisi vaihtelua.



Kuva 16. Timco SE5000SDG diesel aggregaatti [11].

Akusto varastoi sekä tuulivoimalan että aurinkopaneelien tuottamaa sähköä, jota käytetään silloin, kun tuotanto ei riitä kattamaan kiinteistön kulutusta. Akuston koko mitoitetaan kiinteistön energiantarpeen mukaan, mutta tarjotuissa paketeissa akuston kapasiteetti ei ollut riittävä, minkä vuoksi vertaillaan myös itse kasattavien akustojen vaihtoehtoja. Halvimmillaan akuston kennojen hinnaksi saadaan 72,5 €/kWh tarvikkeet mukaan lukien. Laskelmissa käytetään kahden 5 kW:n tuulivoimalan ja aurinkopaneelien tuotantoarvoja, ja kustannustehokkain vaihtoehto löytyi 35 kWh:n akustolle, jonka hinnaksi tulisi noin 2 800 euroa. Kun tähän lisätään aggregaatin ja 10 vuoden polttoainekustannukset, kokonaiskustannus olisi noin 9 200 euroa 10 vuoden ajalta.

7.6 Sähköliittymä

Kiinteistön omistajalta saatujen tietojen mukaan sähkön käyttö 10 vuoden ajan liittymän kautta kustantaisi noin 29 534 euroa (kuva 17). Laskennassa on huomioitu liittymän avaus ja sähkön käytöstä tulevat kustannukset.

Vuosiarviokulutus	10000 kWh	(Tässä mukana sähköauton lataus, muuten olisi n. 8500 kWh)
Sähkön hinta	817 Eur	(perustuen edellisen 12kk toteutuneeseen)
Siirron hinta	1239 Eur	(perustuen kk-hintaan sekä siirto+verot)
Yht	2056 Eur	
Sähkölaskut summa		
Liittymä	6500	
5v sähköt	10807	
5v tot	17307	(5 vuoden sähkölasku ottaen huomioon vuosittaisen hinnannousun)
10v sähköt	23034	
10v tot	29534	
vuosittainen hinnannousu		(todellisuudessa esim. sähkön siirron kk-maksujen vuosittainen nousu on ollut 7,6% keskimäärin viimeiset 6 vuotta)
2,50 %	1,025	

Kuva 17. Kuvakaappaus sähköliittymän laskennasta.

8 Kannattavuus

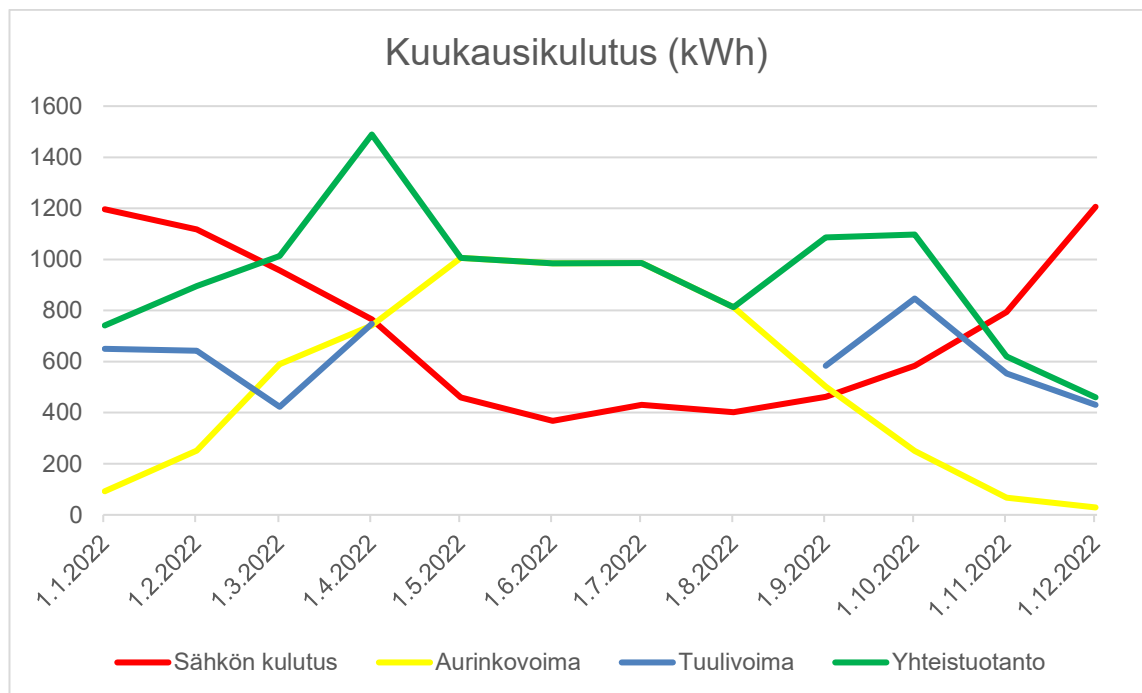
Kannattavuutta arvioidaan 10 vuoden aikaperspektiivillä ottaen huomioon tuulivoimalan, akuston, aurinkopaneelien ja aggregaatin kustannukset sekä kiinteistön energiatarpeet eri vuodenaikoina. Talvikaudella (joulukuu, tammikuu ja helmikuu) energian tarve on suurimmillaan, ja silloin joudutaan käyttämään aggregaattia tuottamaan lisäenergiaa. Näiden kuukausien aikana tuulivoimalan ja aurinkovoiman tuotanto voi olla rajallista, mikä lisää käyttökustannuksia.

Selvästi edullisin vaihtoehto oli EOL/5000-tuulivoimala, jonka kustannuksiksi saadaan noin 8 350 euroa.[9] SkyPowerin 5 kW:n tuulivoimalan hinnaksi arvioidaan 40 485 euroa [7] ja SkyPower 10 kW:n tuulivoimalan hinnaksi 51 621 euroa [8].

EOL/5000-tuulivoimalan käyttöikä on noin 25 vuotta, mistä saadaan 10 vuoden hinnaksi noin 3 340 euroa. Akuston ja aggregaatin yhteenlasketut kustannukset ovat 9 163 euroa 10 vuoden ajalle. Aurinkopaneeli-järjestelmä kestää myös noin 25 vuotta, joten sen 10 vuoden kustannukseksi arvioidaan 2 000 euroa. 10 vuoden ajanjaksolle sähköliittymän kustannukset sekä sähkömaksut ovat yh-

teensä 29 534 euroa. Järjestelmään tarvitaan yhteensä neljä tuulivoimalaa, jolloin energiantuotannon kokonaiskustannus 10 vuodelle olisi noin 24 523 euroa (liite1, kuva 4). Sähköliittymään verrattuna järjestelmä olisi noin 5 000 euroa edullisempi.

Alla oleva kaavio (kuva 18) havainnollistaa kiinteistön sähkönkulutuksen ja energiantuotannon suhdetta eri kuukausina. Tuulivoimalan käyrä ei kata koko vuotta, sillä voimalat kaadetaan maahan kesäksi, jotta vältetään mahdolliset häiriöt naapureille.



Kuva 18. Aurinkovoima, tuulivoima ja energian kulutus.

9 Päätelmät

Tämän opinnäytetyön ensisijainen tarkoitus ei ole selvittää tuulivoimalan taloudellista kannattavuutta, vaan selvittää, mitä vaaditaan omavaraisuuden saavuttamiseksi sähkön tuotannossa. Laskelmien mukaan omavaraisuuteen tähtäävän tuulivoimalan taloudellinen tulos voi jäädä positiiviseksi, mutta on tärkeää huomioida, että 10 vuoden aikana voi ilmaantua yllättäviä kuluja, kuten tuuli- ja aurinkovoimalan huolto- ja korjauskustannuksia. Sama pätee myös aggregaatiin, joka on varavoiman lähteenä. Nämä tekijät on syytä ottaa huomioon, kun arvioidaan tuulivoimalan kokonaiskustannuksia ja kannattavuutta pitkällä aikavälillä.

Huomattava ero Ilmatieteen laitoksen ja oman anturin keräämien tuulitietojen välillä viittaa mahdolliseen mittausvirheeseen tai ongelmaan mittaustavassa. Koska sijainnit ja maasto-olosuhteet ovat hyvin samankaltaiset, on epätodennäköistä, että tuulen nopeus voisi vaihdella merkittävästi kahden mittauspaikan välillä, jotka sijaitsevat näin lähellä toisiaan. Ilmatieteen laitoksen käyttämät mittausvälineet ovat todennäköisesti laadukkaita ja tarkasti kalibroituja, joten näistä saatuja tietoja voidaan pitää luotettavampina ja lähempänä todellisuutta kuin tarvikeanturilla saatuja tietoja.

Jos Ilmatieteen laitoksen mittaustiedot otetaan lähtökohdaksi, tämä tarkoittaisi, että arvioitu energiantuotanto on suurempi kuin mitä tutkimuksessa tehtyjen mittausten perusteella on laskettu. Tämän myötä tarvittavien tuulivoimaloiden määrä voisi olla huomattavasti pienempi, esimerkiksi kaksi 5 kW:n tuulivoimalaa riittäisi kattamaan kiinteistön energiatarpeen (liite 1, kuva 5). Kun tuulivoimalahanke toteutetaan, saadaan vertailukelpoista tietoa siitä, millä Excel-taulukon laskentatapa voidaan varmistaa.

Akuston osalta voidaan harkita kustannustehokkaampaa ratkaisua, kuten käytetyn sähköauton akun hyödyntämistä. Tämä voisi olla merkittävästi halvempi vaihtoehto kuin täysin uuden akuston rakentaminen ja samalla mahdollistaa riit-

tävän varastointikapasiteetin kiinteistön tarpeisiin. Näin opinnäytetyön kokonaiskustannukset pysyisivät hallinnassa ja omavaraisuus olisi mahdollista saavuttaa taloudellisesti järkevällä tavalla.

Tulevien vuosien tuulen määrää on mahdotonta ennustaa, ja siksi on haastavaa arvioida, kuinka kannattavaksi tuulivoimalan investointi tulee pitkällä aikavälillä. Samaan aikaan sähkön hinta on nykyisellään huomattavan vaihtelevaa, mikä johtuu esimerkiksi suurista investoinneista uusiutuvaan energiaan, kuten tuulivoimaan. Uusiutuvan energian tuotannossa on haasteita, erityisesti ennustamattomien tuotantotasojen vuoksi, mikä tekee myös kannattavuuden arvioinnista epävarmaa.

Sijoittajan näkökulmasta tuulivoimaan investointi voi olla riskialtis, sillä tuulisilla säillä sähkön hinta voi laskea lähes nolnaan, kun taas tuulettomilla säillä hinta voi nousta huomattavasti. Tämä hintojen heilahtelu tuo epävarmuutta myös talvikauden sähkön hinnoitteluun, ja sen vaikutukset tulevat selviämään tarkemmin vasta tulevina vuosina.

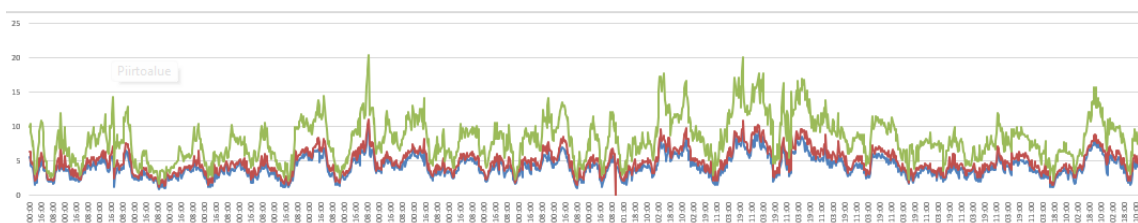
Lähteet

- 1 Renewable Energy. Verkkoaineisto. European Commission. <https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy_en>. Luettu 20.8.2024.
- 2 Energy Efficiency. Verkkoaineisto. European Commission. <https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency_en>. Luettu 20.8.2024.
- 3 3D Kartta. Verkkoaineisto. 3D Kartta. <<https://3dkartta.fi/#61.52055,28.18684,6664m/topo-fi>>. Luettu 20.6.2024.
- 4 Kaapelilaskuri. Verkkoaineisto. Adita. <<https://www.adita.fi/i/kaapelilaskuri/33/>>. Luettu 10.7.2024.
- 5 Photovoltaic geographical information system. Verkkoaineisto. Europa. <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/>. Päivitetty 1.3.2022. Luettu 20.8.2024.
- 6 Havaintojen lataus. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>>. Luettu 01.5.2024.
- 7 Tuulivoimala 5 kW järjestelmä, horisontaali. Verkkoaineisto. Vihreä Watti. <<https://www.vihreawatti.fi/fi/palvelut/tuulivoima/tuulivoimala-5kw-jarjestelma-horisontaali>>. Luettu 14.5.2024.
- 8 Tuulivoimala 10 kW järjestelmä, horisontaali. Verkkoaineisto. Vihreä Watti. <<https://www.vihreawatti.fi/fi/palvelut/tuulivoima/tuulivoimala-10kw-jarjestelma-horisontaali>>. Luettu 14.5.2024.
- 9 Puoliperävaunu ammatillinen tuulivoimala. Verkkoaineisto. Flexpro Industry. <<https://www.flexpro-industry.com/e-commerce/fi/puoliperavaunu-ammattillinen-tuulivoimala/36-tuuliturbiini-5kw-5000w.html>>. Luettu 20.6.2024.
- 10 Kiinnitykset kiveen ja kallioon mökille. Verkkoaineisto. Sormat. <<https://fi.sormat.com/article/kiinnitykset-kiveen-ja-kallioon-mokilla/>>. Luettu 20.6.2024.
- 11 Diesel-generaattori Timco TSE5000SDG, 1x12V, 1x230V, 1x400V. Verkkoaineisto. Netrauta. <https://www.netrauta.fi/diesel-generaattori-timco-tse5000sdg-400v-ilmajaahdytteiden?utm_source=google&utm_term=&utm_campaign=&utm_medium=cpc&utm_content=s|pclid|683445342447|pkw||pmt||pdv|c|&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw3tCyBhDBARIsAEY0XNmNTQX7Nzse9csVLz8WSywDt8G9O0thwci3BzuVZaj7qJwgDRdEYMYaAm9gEALw_wcB>. Luettu 20.8.2024.

Kuvia Excel taulukosta

Vuosi	Kuukausi	Päivä	Aika (Päivä)	Keskiv. tuuletus	Korkein tuuletus	Korkein tuuletus	Korkein tuuletus	m/s	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16.00	17.00	18
2023	9	10000		5,5	6,4	3,9			0,25	0,5	1	1,7	2,6	3,75	4,4	4,75	5,1	5,25		4,6	4,25	4,10	4,10	4,1
2023	9	10100		5,1	6,4	10,4			0,25	0,5	1	1,5	2,5	4	6	7,9	9,8	11	10,7	10	9,25	9,00	8,75	
2023	9	10200		4,4	5,1	9,2																		
2023	9	10300		4,2	4,7	9,6																		
2023	9	10400		4	4,5	7,2																		
2023	9	10500		4,1	4,8	8																		
2023	9	10600		3,1	4,3	6,1																		
2023	9	10700		1,6	2,3	3,1																		
2023	9	10800		1,7	2,2	3,2																		
2023	9	10900		1,8	2,4	3,6																		
2023	9	11000		1,8	2,6	3,9																		
2023	9	11100		2,6	3,3	4,9																		
2023	9	11200		3,3	4,2	6,9																		
2023	9	11300		3,7	4,3	7,8																		
2023	9	11400		4,1	5,5	9,3																		
2023	9	11500		4,2	5	9,9																		
2023	9	11600		5,5	6,2	10,9																		
2023	9	11700		4,9	6,2	10,8																		
2023	9	11800		4,4	5,6	10,6																		
2023	9	11900		4,5	5	9,1																		
2023	9	12000		3,7	4,3	7,3																		
2023	9	12100		3,6	4	5,6																		
2023	9	12200		3,7	4	5																		
2023	9	12300		3,4	3,7	4,9																		
2023	9	20000		2,6	3,4	3,8																		
2023	9	20100		2,1	2,3	3,3																		
2023	9	20200		2,1	2,3	3,2																		
2023	9	20300		2	2,3	3,6																		
2023	9	20400		2,1	2,4	2,9																		
2023	9	20500		2	2,3	2,7																		
2023	9	20600		2,3	2,6	3,3																		
2023	9	20700		2,1	2,4	3,1																		
2023	9	20800		1,9	2,1	2,9																		
2023	9	20900		1,7	2,1	2,8																		
2023	9	21000		1,9	2,3	3,8																		
2023	9	21100		3,4	4,4	7,2																		
2023	9	21200		3,2	3,9	6																		
2023	9	21300		3,5	3,8	6,7																		
2023	9	21400		4,1	5	8,2																		
2023	9	21500		4	5	8,4																		
2023	9	21600		4,4	5,5	9,5																		
2023	9	21700		4,1	4,8	8,3																		
2023	9	21800		3,5	3,9	6,8																		
2023	9	21900		4,2	7	12																		
2023	9	22000		4,2	5,7	9,5																		
2023	9	22100		3,9	4,2	9,8																		
2023	9	22200		3,9	4,5	8,1																		
2023	9	22300		3,5	3,8	6,1																		
2023	9	30000		4,9	5,8	10																		
2023	9	30100		4,8	5,7	9,2																		
2023	9	30200		3,5	4,2	6,6																		

Kuva 1. Tuulen nopeus tietoja mittaus ajalta



Kuva 2. tuulivoiman tuotto (5kW:n ja 10 kW:n) ja kesäasunnon kulutus käyrä

BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	
	tammi	1196 kWh		598		598 kWh						helmi		1117 kWh		372,3333		744,6667 kWh			
		38,58065		42,71429		42,71429 kWh/päivä						38,51724		26,59524		53,19048 kWh/päivä					
		tuotto	kulutus	päivän varakkuvarauksen ylittämisen tuotto								tuotto		kulutus	päivän varakkuvarauksen ylittämisen tuotto						
1	1.1.	36,83	38,58	214,30	214,30	-1,75	0	0	0	0	0	0	1	1.2.	300,97	38,52	504,45	242,00	262,45	0	
2	2.1.	0,00	38,58	175,72	175,72	-38,58	0	0	0	0	0	0	2	2.2.	200,10	38,52	403,58	242,00	161,58	0	
3	3.1.	7,00	38,58	144,14	144,14	-31,58	0	0	0	0	0	0	3	3.2.	83,60	38,52	287,08	242,00	45,08	0	
4	4.1.	27,50	38,58	133,05	133,05	-11,08	0	0	0	0	0	0	4	4.2.	81,60	38,52	285,08	242,00	43,08	0	
5	5.1.	31,83	38,58	126,31	126,31	-6,75	0	0	0	0	0	0	5	5.2.	28,43	38,52	231,92	231,92	-10,08	0	
6	6.1.	20,00	38,58	107,73	107,73	-18,58	0	0	0	0	0	0	6	6.2.	26,33	38,52	219,73	219,73	-12,18	0	
7	7.1.	6,67	38,58	75,81	75,81	-31,91	0	0	0	0	0	0	7	7.2.	22,33	38,52	203,55	203,55	-16,18	0	
8	8.1.	83,47	38,58	120,70	120,70	44,89	0	0	0	0	0	0	8	8.2.	4,50	38,52	169,53	169,53	-34,02	0	
9	9.1.	105,00	38,58	187,12	187,12	66,42	0	0	0	0	0	0	9	9.2.	25,33	38,52	156,35	156,35	-13,18	0	
10	10.1.	91,13	38,58	239,67	239,67	52,55	0	0	0	0	0	0	10	10.2.	4,00	38,52	121,83	121,83	-34,52	0	
11	11.1.	188,37	38,58	389,46	389,46	149,79	0	0	0	0	0	0	11	11.2.	0,67	38,52	83,98	83,98	-37,85	0	
12	12.1.	16,00	38,58	219,42	219,42	-22,58	0	0	0	0	0	0	12	12.2.	18,67	38,52	64,13	64,13	-19,85	0	
13	13.1.	108,77	38,58	289,61	289,61	70,19	0	0	0	0	0	0	13	13.2.	97,57	38,52	123,18	123,18	59,05	0	
14	14.1.	48,43	38,58	251,85	251,85	9,85	0	0	0	0	0	0	14	14.2.	115,27	38,52	199,93	199,93	76,75	0	
15	15.1.	18,33	38,58	221,75	221,75	-20,25	0	0	0	0	0	0	15	15.2.	19,33	38,52	180,74	180,74	-19,18	0	
16	16.1.	44,00	38,58	227,17	227,17	5,42	0	0	0	0	0	0	16	16.2.	146,37	38,52	288,59	242,00	107,85	0	
17	17.1.	13,83	38,58	202,42	202,42	-24,75	0	0	0	0	0	0	17	17.2.	238,63	38,52	442,12	242,00	200,12	0	
18	18.1.	98,40	38,58	262,24	262,24	59,82	0	0	0	0	0	0	18	18.2.	141,00	38,52	344,48	242,00	102,48	0	
19	19.1.	128,30	38,58	331,72	331,72	89,72	0	0	0	0	0	0	19	19.2.	37,83	38,52	241,32	241,32	-0,68	0	
20	20.1.	Sarjat "Kovin puuska [m/s]" pisteen "2359" Arvo: 7,1		1,92		-30,08		0	0	0	0	0	20	20.2.	30,83	38,52	233,63	233,63	-7,68	0	
21	21.1.			2,00		65,82		0	0	0	0	0	21	21.2.	90,90	38,52	286,01	242,00	52,38	0	
22	22.1.	283,37	38,58	486,79	486,79	244,79	0	0	0	0	0	0	22	22.2.	119,57	38,52	323,05	242,00	81,05	0	
23	23.1.	301,13	38,58	504,55	504,55	262,55	0	0	0	0	0	0	23	23.2.	209,13	38,52	412,62	242,00	170,62	0	
24	24.1.	29,93	38,58	233,35	233,35	-8,65	0	0	0	0	0	0	24	24.2.	88,87	38,52	292,35	242,00	50,35	0	
25	25.1.	81,47	38,58	276,24	276,24	42,89	0	0	0	0	0	0	25	25.2.	194,53	38,52	398,02	242,00	156,02	0	
26	26.1.	18,00	38,58	221,42	221,42	-20,58	0	0	0	0	0	0	26	26.2.	12,50	38,52	215,98	215,98	-26,02	0	
27	27.1.	72,67	38,58	255,51	255,51	34,09	0	0	0	0	0	0	27	27.2.	10,17	38,52	187,63	187,63	-28,35	0	
28	28.1.	132,93	38,58	336,35	336,35	94,35	0	0	0	0	0	0	28	28.2.	34,33	38,52	183,45	183,45	-4,18	0	
29	29.1.	238,63	38,58	442,05	442,05	200,05	0	0	0	0	0	0	29	29.2.	46,17	38,52	191,10	191,10	7,65	0	
30	30.1.	23,17	38,58	226,59	226,59	-15,41	0	0	0	0	0	0			2429,53	1117,00			0 kWh		
31	31.1.	88,23	38,58	276,24	276,24	49,65	0	0	0	0	0	0								0 kWh	
		2456,30		1196,00		yht		0 kWh										yht		0 kWh	
								generaattorin tarve												generaattorin tarve	

Kuva 13. Kaksi tuulivoimalaa ja 242 kwh:n akusto.

tuotanto		kulutus		päävoiman alijäämä		päävoiman ylijäämä		akustojen alijäämä		akustojen ylijäämä		päävoiman alijäämä		päävoiman ylijäämä		akustojen alijäämä		akustojen ylijäämä					
tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus	tuotto	kulutus				
1	13	70,40	54,00	59,00	39,00	39,00	59,00	1	11	172,20	18,84	188,36	35,00	153,36	1	11	193,97	26,47	202,50	35,00	167,50		
2	2,9	39,53	54,00	58,10	35,00	24,10	0	2	2,10	21,33	18,84	37,49	35,00	2,49	0	2	2,11	100,57	26,47	103,10	35,00	74,10	
3	3,3	25,17	54,00	44,71	35,00	9,71	0	3	3,10	66,40	18,84	81,56	35,00	46,56	0	3	3,11	82,03	26,47	30,57	35,00	55,57	
4	4,3	82,33	54,00	119,15	35,00	49,33	0	4	4,40	30,37	18,84	105,51	35,00	71,51	0	4	4,11	146,83	26,47	151,37	35,00	110,37	
5	5,8	109,37	54,00	139,37	35,00	39,37	0	5	5,10	29,00	18,84	45,16	35,00	10,16	0	5	5,11	37,37	26,47	45,30	35,00	10,30	
6	6,3	106,47	54,00	128,07	35,00	31,07	0	6	6,10	56,33	18,84	72,49	35,00	37,49	0	6	6,11	238,67	26,47	38,20	35,00	3,20	
7	7,3	14,67	54,00	34,27	34,27	-4,73	0	7	7,10	205,87	18,84	222,03	35,00	187,03	0	7	7,11	3,00	26,47	11,53	11,53	-23,47	
8	8,3	3,83	54,00	22,70	22,70	-19,57	0	8	8,10	212,30	18,84	233,46	35,00	198,46	0	8	8,11	5,00	26,47	-9,93	0,00	-21,47	21,47
9	9,3	17,33	54,00	24,83	24,83	-19,89	0	9	9,10	71,27	18,84	87,43	35,00	52,43	0	9	9,11	5,00	26,47	-21,47	0,00	-21,47	
10	10,3	59,77	54,00	89,90	35,00	44,97	0	10	10,10	36,33	18,84	52,49	35,00	17,49	0	10	10,11	28,33	26,47	1,87	1,87	1,87	
11	11,3	13,83	54,00	33,43	33,43	-15,57	0	11	11,10	222,30	18,84	239,06	35,00	204,06	0	11	11,11	21,83	26,47	-2,77	0,00	-4,83	
12	12,3	53,10	54,00	71,10	35,00	37,10	0	12	12,10	276,40	18,84	295,56	35,00	251,56	0	12	12,11	126,47	26,47	100,00	35,00	100,00	
13	13,3	39,83	54,00	33,43	35,00	24,43	0	13	13,10	85,07	18,84	103,21	35,00	103,21	0	13	13,11	140,47	26,47	149,00	35,00	149,00	
14	14,3	62,20	54,00	61,93	35,00	48,90	0	14	14,10	151,67	18,84	167,83	35,00	132,83	0	14	14,11	73,43	26,47	81,97	35,00	46,97	
15	15,3	7,67	54,00	27,27	27,27	-17,73	0	15	15,10	254,17	18,84	270,33	35,00	235,33	0	15	15,11	52,27	26,47	60,80	35,00	25,80	
16	16,3	131,83	54,00	143,70	35,00	108,43	0	16	16,10	169,00	18,84	185,16	35,00	150,16	0	16	16,11	45,67	26,47	54,20	35,00	19,20	
17	17,3	182,13	54,00	218,73	35,00	178,73	0	17	17,10	110,53	18,84	127,09	35,00	82,09	0	17	17,11	85,67	26,47	24,20	24,20	-16,80	
18	18,3	29,10	54,00	46,70	35,00	13,70	0	18	18,10	64,33	18,84	80,49	35,00	45,49	0	18	18,11	64,00	26,47	81,33	35,00	37,33	
19	19,3	73,33	54,00	88,33	35,00	63,33	0	19	19,10	125,33	18,84	141,49	35,00	106,49	0	19	19,11	42,50	26,47	51,03	35,00	16,03	
20	20,3	203,03	54,00	222,63	35,00	177,63	0	20	20,10	120,50													

