



Tomi Heiskanen

Pientuulivoiman lisääminen mökille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

12.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Tomi Heiskanen
Otsikko:	Pientuulivoiman lisääminen mökille
Sivumäärä:	34 sivua + 5 liitettä
Aika:	12.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Jukka Karppinen

Työssä tutkittiin pientuulivoiman lisäämistä kiinteistön verkkoon. Tavoitteena oli selvittää tuulivoimaan ja sen hyödyntämiseen liittyviä seikkoja sekä tarvittavia komponentteja ja niiden mitoitusta. Lisäksi tavoitteena oli tutustua aurinkovoimaan ja sen lisäämiseen myöhemmin tuulivoiman kanssa kiinteistön verkkoon julkisen jakeluverkon rinnalle. Työssä selvitettiin myös mikrotuotantolaitteiston käyttöä varavoimana ja siinä huomioon otettavia asioita. Lopuksi tavoite oli tutustua taloudellisen kannattavuuden arviointiin.

Tuuli- ja aurinkovoiman lisäämisessä sijoituspaikalla on suuri merkitys tuulisuuden ja auringon säteilytehon kannalta. Tuuliolosuhteita voi selvittää esimerkiksi Tuuliatlakselta, josta saa keskimääräiset tuulennopeudet 50 ja 100 metrin korkeudella. Nämä tuulennopeudet on vielä redusoitava generaattorin sijoituskorkeuteen. Aurinkovoimaa voidaan hyödyntää aurinkokennojen avulla. Yksittäisen kennon jännite on pieni, noin 0,5 V, ja kytkemällä niitä sarjaan saadaan jännitettä kasvatettua. Aurinkopaneeli koostuukin kehikkoon asetetuista sarjaan- ja rinnankytketyistä kennoista.

Työssä tutustuttiin erilaisiin tuulivoimaloihin ja niiden etuihin ja haittapuoliin ja vielä erikseen vaaka-akseliseen pientuulivoimalaan. Lisäksi tutustuttiin erilaisiin aurinkokennoihin ja paneeleihin ja niiden ominaisuuksiin. Seuraavaksi selvitettiin erilaisia tapoja lisätä sähköenergian tuotantolaitteisto kiinteistön verkkoon julkisen jakeluverkon rinnalle ja näiden etuja ja haittapuolia. Lisäksi tutkittiin, mitä tulee ottaa huomioon julkisen jakeluverkon rinnalla toimivan laitteiston kanssa ja miten laitteiston tulee toimia julkisen jakeluverkon vikatilanteessa. Lopuksi tutustuttiin tuulivoimalan mitoitukseen ja taloudelliseen kannattavuuteen.

Pientuulivoima ei ole taloudellisesti kannattava tämän tutkimuksen mukaan. Kannattavuudessa ei aina ole kyse vain taloudellisesta kannattavuudesta. Pientuulivoimaan liittyy myös ympäristönäkökulma ja uusiutuvan energian tuotanto. Tällöin voi olla osana tuottamassa energiaa ympäristöystävällisesti. Lisäksi sähköalan ammattilaiselle se voi olla myös harrastusprojekti ja kasvattaa omia tietoja ja taitoja.

Avainsanat: tuulivoima, pientuulivoimala, aurinkopaneeli

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Tomi Heiskanen
Title: Adding Small Wind Turbine to Summer Cottage
Number of Pages: 34 pages + 5 appendices
Date: 12 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Jukka Karppinen, Senior Lecturer

The purpose of this Bachelor's thesis work was to find out how to add a small wind turbine to residential network and examine the needed components and measuring as well as financial viability. At first, solar and wind power and how to get electrical energy from those were studied. Different wind turbines and their pros and cons were clarified and in addition to horizontal axis small wind turbine. Also, different types of solar cells and panels and their properties were studied.

After this, different ways to add a wind turbine or solar panels to residential network connected to a public grid and their cons and pros were examined. SFS-standard and ST cards were used as sources of information on what protective equipment are needed for on-grid solution and how the system should work on a grid failure. It was also studied how the system could be utilized during a grid failure.

At the end of the thesis work, measuring of wind turbine to residential network and estimated amount of produced electrical energy were considered, and calculations concerning financial viability were made. The most profitable is a system in which almost all produced electricity can be used by owner of the system. Even then, wind turbine is not profitable. However, adding a wind turbine include also an environmental aspect. Having one's own wind turbine can guarantee getting part of the used energy from a renewable source, and this can help in reducing CO2 emissions.

Keywords: Wind power, small wind turbine, solar panel

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kohde	3
3	Tuuli- ja aurinkovoima	5
3.1	Tuulivoima	5
3.1.1	Tuulienergia	5
3.1.2	Pysty akseliset tuulivoimalat	7
3.1.3	Vaaka-akseliset tuulivoimalat	9
3.1.4	Pientuulivoimala	10
3.2	Aurinkovoima	12
3.2.1	Yleistä	12
3.2.2	Aurinkopaneelit	14
4	Liittäminen sähköverkkoon	16
4.1	DC-kytkentä	16
4.2	AC-kytkentä	18
4.3	Varavirta ja suojalaitteet	19
4.4	Toteutustapa kohteessa	20
5	Mitoitus ja komponenttien valinta	21
5.1	Tuulivoimala	21
5.2	Kontrolleri, lataussäädin ja invertterit	22
5.3	Akusto	23
5.4	Kaapelit, muut komponentit ja asennustarvikkeet	24
6	Kustannus- ja kannattavuuslaskennat	25
6.1	Kustannukset ja tuotettava energia	25
6.2	Kannattavuus	26
7	Johtopäätökset ja yhteenveto	29
	Lähteet	31

Liitteet

Liite 1: Tuuliolosuhteet

Liite 2: Kulutustiedot

Liite 3: Datasheet BYD Battery-Box Premium LVS

Liite 4: Senwei SWT5-5.6

Liite 5: Kontrolleri/dumbload/invertteri, tekniset tiedot

Lyhenteet

C_p : Tehokerroin.

ESTI *European Solar Test Installation*. Euroopan komission tutkimuslaboratorio.

eV: Elektronivoltti. Energian yksikkö, jota käytetään atomi- ja ydinfysiikassa, $1\text{eV} = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

HAWT: *Horizontal-axis wind turbine*. Vaaka-akselinen tuulivoimala.

Kaust: *King Abdullah University of Science and Technology*. Saudiarabialainen yliopisto.

VAWT: *Vertical-axis wind turbine*. Pystyakselinen tuulivoimala.

W_p : Piikkiwatti. Nimellisteho.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoitus on selvittää pientuulivoimalan lisääminen mökin sähköverkkoon ja laskea, onko se kannattavaa. Mökillä talviaikaan sähköenergiaa kuluu lähes ainoastaan lämmitykseen, koska vesijohtojen vuoksi siellä on oltava peruslämpö. Talvella kovempina pakkaspäivinä energiaa kuluu noin 80–100 kWh vuorokaudessa. Talvikuukausina, marraskuun alusta helmikuun loppuun, lämmitykseen menee energiaa noin 1200–2200 kWh kuukaudessa. Tämä on 56 % koko vuoden energiankulutuksesta. Tästä kulutuksesta johtuvaa kustannusta on tarkoitus saada alennettua. Koska talviaikaan ei aurinko juurikaan paista, päivä on lyhyt, aurinko on matalalla keskipäivälläkin sekä jouluihelmikuun on yleisesti melko pilvistä aikaa ja talvikuukausina tuulee eniten, niin tuulivoima voisi olla hyvä tapa tuottaa osa lämmitykseen käytettävästä energiasta.

Mökillä vietetään aikaa eniten kesällä, jolloin ei tuule paljoa, mutta päivä on pitkä ja aurinko paistaa paljon. Tällöin auringosta saisi hyvin lisää energiaa tulevaisuudessa sähköauton lataamiseen. Tämän kannattavuutta ei tässä työssä arvioida, sillä se ei ole vielä tällä hetkellä ajankohtaista. Tulevaisuuden energian tarpeen arvioiminen on myös vielä hankalaa, kun ei ole tietoa, millä autot tulevat tulevaisuudessa liikkumaan. Kesäaikaan energiaa kuluu tällä hetkellä myös veden lämmittämiseen jonkin verran, kun siellä vietetään aikaa. Tuulivoimalla ei tähän välttämättä paljoa saada tuotettua energiaa kesällä vallitsevien heikompien tuuliolojen vuoksi, jolloin aurinkopaneeleista olisi hyötyä.

Alkuun tarkastellaan yleisesti, miten arvioida tuulesta saatavaa energiaa. Tämän jälkeen tutkitaan erilaisia tuuliturbiineja, joista valita sopivin asennettavaksi. Lisäksi työssä tutustutaan vähän aurinkopaneeleihin ja paneelien tuottaman energian määrään vaikuttaviin tekijöihin. Tämän jälkeen selvitetään kytkentätapoja ja mitä komponentteja tarvitaan tuulivoimalan kytkemiseksi pientalon verkkoon ja miten mahdollisesti tulevaisuudessa hankittavat aurinkopaneelit voisi liittää yhdessä tuulivoimalan kanssa verkkoon.

Lopuksi arvioidaan kustannuksia ja koitetaan selvittää, miten voisi arvioida järjestelmän kannattavuutta. Kannattavuuslaskentaan tarvitaan tietoa, kuinka paljon energiaa saadaan tuotettua ja miten suuri osa tästä voidaan hyödyntää itse. Lisäksi pitäisi onnistua arvioimaan sähköenergian hinta pitkällä aikavälillä sekä korkokanta. Kannattavuutta voidaan sitten arvioida useammilla tavoilla ja tässä työssä sitä tarkastellaan nettonykyarvon avulla. Lisäksi kannattavuuden arviointiin voi ottaa mukaan muitakin arvoja kuin taloudellisia arvoja.

2 Kohde

Kiinteistö sijaitsee Pohjois-Savossa. Talo on pienellä mäellä, jonka eteläpuolella on avointa tasaista peltomaastoa ja pellon takana metsää. Etelän suuntaan on pienempi järvi sekä vähän pidemmällä isompi järvi. Mökki on vähän yli 20 metriä korkeammalla kuin kaakon ja lännen välinen maasto (kuvat 1 ja 2). Tuulivoimala on tarkoitus sijoittaa vielä ylemmäs kyseisellä mäellä, paikalle, joka on vähän yli 30 metriä edustalla olevaa maastoa korkeammalla.



Kuva 1. Kohde, tuulivoimalan sijoituspaikalta kuva etelään tai eteläkaakkoon.

Sijoituspaikalla on tällä hetkellä taimikkoa ympärillä (kuva 2) ja metsä kasvaa, mutta kestää n. 30–40 vuotta, että puusto alkaa haittaamaan enemmän tuuligeneraattoria.



Kuva 2. Kohde, tuulivoimalan sijoituspaikalta kuva lounaaseen.

Tuuligeneraattorien elinikä on noin 20 vuotta, jolloin 40 vuoden aikana paikalla ehtii olla toinenkin generaattori ja tämän jälkeen kaapeli sijoituspaikalta alkaa olla uusittavissa ja voi miettiä uusia ratkaisuja.

3 Tuuli- ja aurinkovoima

Tuuli- ja aurinkovoima ovat uusiutuvia energiamuotoja. Tänä päivänä huolta aiheuttaa ilmastonmuutos ja luonnonvarojen väheneminen. Energiantuotannolla on merkittävä osuus ilmastonmuutosta aiheuttavien kasvihuonekaasujen päästöissä. Tuuli- ja aurinkovoima ovat puhtaita sähkön tuotantotapoja, ja niillä voidaan vähentää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä. Lisäämällä uusiutuvan energian tuotantoa voidaan vaikuttaa ilmastonmuutokseen. [1.]

3.1 Tuulivoima

3.1.1 Tuulienergia

Tuuli on ilmakehässä liikkuva ilmavirtaus, joka syntyy eri alueiden välisistä paine-eroista. Aurinko lämmittää maapalloa epätasaisesti, jolloin muodostuu eroja ilmanpaineeseen. Paine-erot pyrkivät tasautumaan, jolloin ilma alkaa virrata korkeamman paineen alueelta matalamman paineen alueelle päin. Paikallisiin tuuliin maan pinnan lähellä vaikuttavat monet tekijät, muun muassa maaston muodot ja peitteisyys, maanpinnan laatu ja liikkuvat matalapaineet. Ilman lämpötila vaikuttaa myös tuulesta saatavaan energiaan: kylmällä ilma on tiheämpää ja tuulella on enemmän energiaa. [1; 2.]

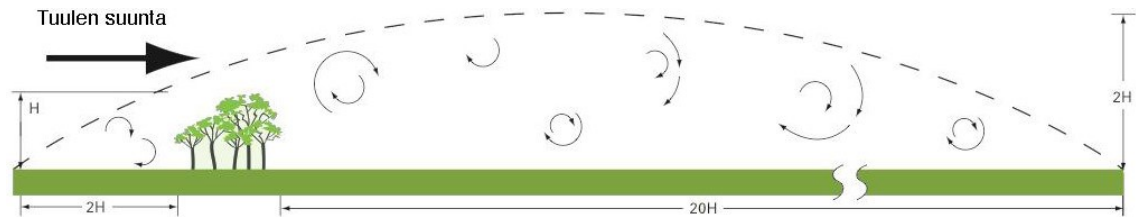
Tuulesta saadaan teho kaavalla 1

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3, \quad (1)$$

missä ρ = ilman tiheys, A = roottorin pyyhkäisypinta-ala ja v = tuulen nopeus. Tuulen energiaa ei voida hyödyntää kokonaan, sillä jos koko teho saataisiin hyödynnettyä, niin generaattorin takana ilman pitäisi pysähtyä. Hyötysuhteen teoreettinen maksimi on 59 %, mutta muiden häviöiden johdosta se on aina pienempi. Tuulivoimalan toimintateho voidaan laskea kaavalla 2

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot v^3, \quad (2)$$

missä ρ = ilman tiheys, C_p = tehokerroin, A = roottorin pyyhkäisyypinta-ala ja v = tuulen nopeus. Esteet aiheuttavat tuuleen pyörteisyyttä (kuva 3).



Kuva 3. Esteiden aiheuttama turbulenssi [3].

Pyörteisyyys vaikuttaa tuulesta saatavaan energiaan ja se rasittaa myös generaattoria, mikä lyhentää sen käyttöikä. Tuulivoimalan asennuspaikkaan tulee siten kiinnittää huomiota. [3.]

Tuulennopeuden redusointi eri korkeuksille voidaan tehdä logaritmisen tuuliprofiilin mukaisesti (kaava 3). Se on yleisesti käytetty puoliempiirinen suhde tuulennopeuksien arviointiin eri korkeuksilla alle 100 m:n korkeudella ja tuottaa kohtuullisen ennusteen keskimääräisestä tuulennopeudesta. Arvioitaessa tuulennopeutta korkeudella z_2 , kun tiedetään keskituulen nopeus korkeudella z_1

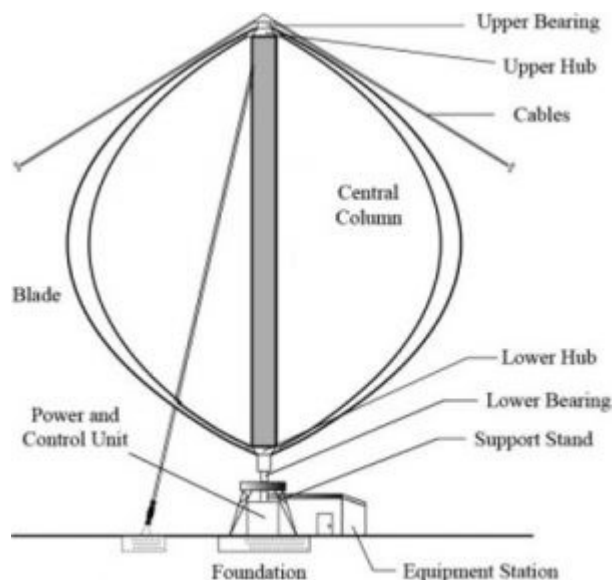
$$u(z_2) = u(z_1) \cdot \frac{\ln((z_2 - d)/z_0)}{\ln((z_1 - d)/z_0)}, \quad (3)$$

missä d on nollatason siirtymä metreinä ja z_0 on pinnan rosoisuus. Nollatason siirtymä tarkoittaa korkeutta, jolla esteiden, kuten puiden tai rakennusten, vuoksi saavutetaan keskituulennopeus 0. Nollatason siirtymäksi voidaan arvioida $\frac{2}{3}$ tai $\frac{3}{4}$ esteiden korkeudesta. Pinnan rosoisuus on korjaava mitta, jolla otetaan huomioon pinnan vaikutus tuulen virtaukseen. Rosoisuus voidaan arvioida kymmenesosaan pinnan rosoisuuselementtien korkeudesta. Metsäisellä alueella, kuten kohteessa, rosoisuudeksi voi arvioida $z_0 = 1,0$. [4.]

Tuulen energia muutetaan tuulivoimalassa ensin mekaaniseksi energiaksi, turbiinin akselin pyörimisenergiaksi, joka edelleen muutetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi. Tuuliturbiinin akseli pyörittää generaattoria, joka tuottaa vaihtojännitettä. Pienissä tuuliturbiineissa generaattorin tuottama vaihtojännite usein tasasuunnataan 12, 24 tai 48 V:n jännitteeksi. Pienissä tuuliturbiineissa käytetään usein kestmagnetoituja generaattoreita. Tuulivoimalat voidaan jakaa karkeasti rakenteensa puolesta vaaka- ja pystyakselisiin voimaloihin (HAWT- ja VAWT). [1; 3.]

3.1.2 Pystyakseliset tuulivoimalat

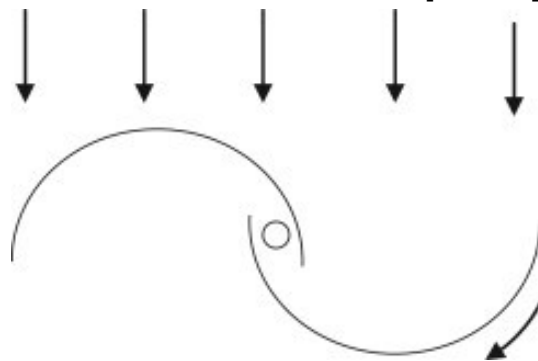
Pystyakseliset tuulivoimalat voidaan jakaa pääpiirteittäin roottorin mukaan kolmeen tyyppiin: Darrieus, Savonius ja Windside. Darrieus-tyyppisen roottorin kehitti Georges Darrieus vuonna 1931. Roottorissa on pystyakseli ja sen ympärillä kaarevat lavat (kuva 4). Lavat ovat kiinni pystyakselin ylä- ja alapäästä. Turbiinilla on matala vääntömomentti ja pyörimisnopeus on suuri. Koska vääntömomentti on alhainen, se vaatii useimmiten ulkopuolisen voiman, apumoottorin, käynnistymiseen. [5; 6.]



Kuva 4. Darrieus -roottori [5].

Roottorin etuja on, että se voidaan rakentaa matalalle, maan tasalle, eikä sen tarvitse kääntyä tuulensuunnan mukaan. Hyötysuhde on teoriassa hyvä, mutta käytännössä huonompi kuin vaaka-akselisilla roottoreilla. Lapojen pyöriminen aiheuttaa keskeisvoimien vuoksi salkoon helposti värähtelyjä, jotka rasittavat laakereita. Toisaalta lapojen pyöriminen tasoittaa tuulen vaikutusta keskisalkoon, mutta sitä on kuitenkin jäykistettävä. Jäykistäminen on vaikea toteuttaa vaijereilla ja johtaa helposti poikkileikkaukselta suuriläpimittaiseen salkoon. [5; 6.]

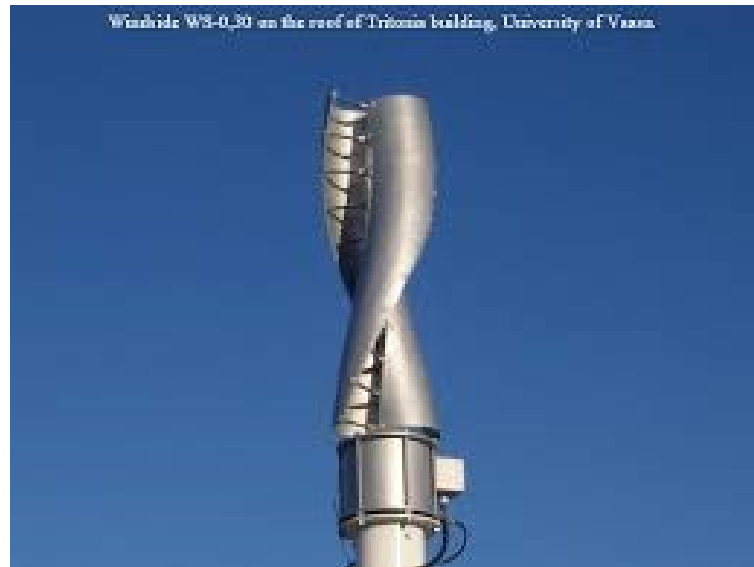
Savonius-roottorin kehitti suomalainen Sigurd J. Savonius 1922. Alun perin muodoltaan se on kahden sylinterin puolikkaan yhdistelmä lähes S-kirjaimen muotoon aseteltuna (kuva 5). Etuina on, että rakenne on yksinkertainen, eikä roottorin tarvitse myöskään kääntyä tuulen suunnan mukaan. Huonoja puolia on, että käynnistysmomentti riippuu roottorin asennosta ja että pyöriminen on epätasaista. Roottori aiheuttaa myös laakereita ja tukirakenteita rasittavia voimia, jotka rajoittavat sen kokoa. Epätasaista pyörimistä voidaan vähentää asentamalla päällekkäin kaksi roottoria 90°:n kulmaan. [7; 8; 9.]



Kuva 5. Savonius-roottori [7].

Windside-roottorin kehitti suomalainen Risto Joutsiniemi 1980-luvulla. Windside-roottorissa on kaksi poikkileikkaukselta lähes puoliympyrän muotoista spiraaliksi pituussuunnassa kierrettyä siipeä (kuva 6). Ne sijaitsevat kiertosymmetrisesti pystysuoralla akselilla. Tuulen vaikutuksesta roottoriin syntyy tuulen suuntainen vastusvoima ja tätä vasten kohtisuoraan nostovoima, joka saa aikaan vääntömomentin. Roottorin hyötysuhde on parempi kuin muilla tunnetuilla

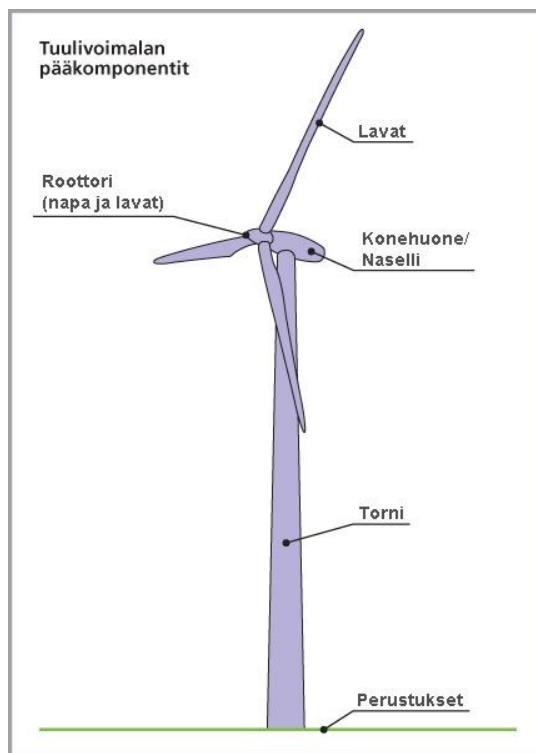
pystyakselisilla rottoreilla. Windside-voimala alkaa tuottaa sähköä jo tuulennopeudella 2 m/s. [10.]



Kuva 6. Windside-roottori [10].

3.1.3 Vaaka-akseliset tuulivoimalat

Vaaka-akselinen tuulivoimala on yksi yleisimmistä tuulivoimaloiden tyypeistä. Vaaka-akselisessa tuulivoimalassa generaattorin akseli on vaakatasossa ja sitä pyörittää akseliin yhdistetty roottori (kuva 7). Roottori koostuu navasta ja laivoista. Tilaa, jossa generaattori sijaitsee, kutsutaan naselliksi. Generaattori asennetaan torniin, ja tornien korkeus vaihtelee generaattorin koon ja asennuspaikan mukaan muutamasta metristä pariin sataan metriin. [1.]



Kuva 7. Vaaka-akselisen tuulivoimalan osat [12].

Vaaka-akselisten tuuliturbiinien etuja ovat hyvä skaalautuvuus erilaisiin tarpeisiin. Vaaka-akselisia tuulivoimaloita on pienistä muutaman sadan watin voimaloista muutaman megawatin voimaloihin asti. Suurimpien maatuulivoimaloiden teho on noin 8–10 MW ja merituulivoimaloiden yli 10 MW. Tuulesta saatavaan energiaan vaikuttaa roottorin pinta-ala, ja vaaka-akselisessa tuuliturbiinissa se on lapojen kärkien piirtämän ympyrän pinta-ala. Vaaka-akselisessa tuuliturbiinin etu pystyakseliseen verrattuna on roottorin suurempi pyyhkäisyala. [1.]

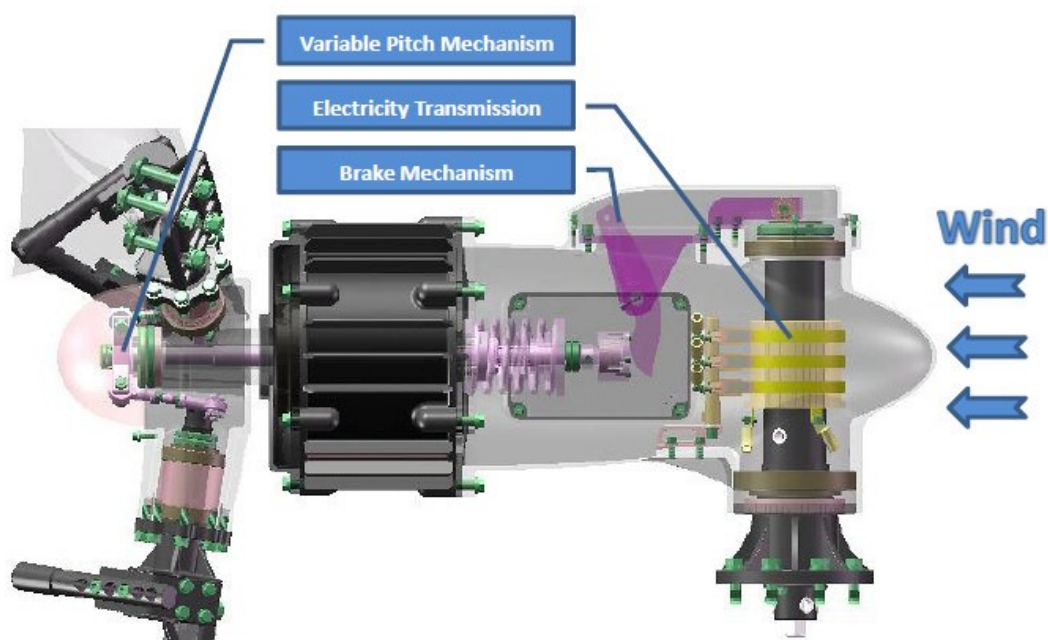
3.1.4 Pientuulivoimala

Tuulivoimalan kokoa voidaan kuvata sen nimellisteholla. Se on valmistajan ilmoittama teho jollain tuulennopeudella. Nimellisteho voidaan ilmoittaa matalan tuulennopeuden mukaan esimerkiksi 8 m/s tai korkean tuulennopeuden esimerkiksi 12 m/s. Vertailtaessa tuulivoimaloiden kokoa nimellistehon avulla pitää siis huomioida tuulennopeus, jolla nimellisteho saavutetaan. Nimellisteho ei myöskään kerro, miten paljon tuulivoimala tuottaa sähköenergiaa. Tuulivoimalan tuottama teho eri tuulennopeuksilla saadaan valmistajan antamasta tuottokäyrästä.

Tuottokäyrien avulla voidaan myös vertailla tuulivoimaloita pelkästään nimellistehoa paremmin. [1; 13.]

Pientuulivoimalalle on määritelmä, jonka mukaan voimalan potkurin pyyhkäisy-pinta-ala on alle 200 m^2 . Tällöin laitteen nimellisteho olisi alle 50 kW. Kesämökkin tai omakotitalon käyttöön riittää hyvin pienempikin, ja usein ne ovat muutamista sadoista wateista muutamaan kilowattiin riippuen käyttötarkoituksesta ja energian tarpeesta. Yli 10 kilowatin tuulivoimalat sopivat jo maataloille. Maston korkeus pientuulivoimalalla on tyypillisesti 5–30 metriä. [1, 13.]

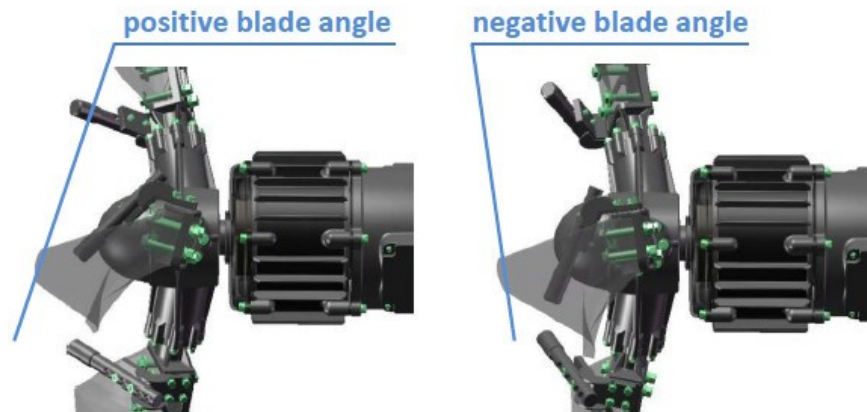
Pientuulivoimaloissa on usein kestopäinnettögeneraattori. Roottori on yleensä kytketty suoraan generaattorin akseliin ilman vaihdelaatikkoa (kuva 8).



Kuva 8. Pientuuliturbiini, roottori tuulen alapuolella [22].

Roottori voi olla tuulen ylä- tai alapuolella. Turbiinien selviäminen kovemmissa tuulioloissa tapahtuu usein elektronisen jarrituksen ja roottorin lapojen kääntämisen avulla. Lavat kääntyvä keskeisvoiman vaikutuksesta, kun roottorin nopeus nousee riittävän suureksi. Lavat kääntyvät niin, että roottori sakkaa. Hiljaisessa tuulen nopeudessa kulma voi olla positiivinen (kuva 9), jolloin roottori

lähtee herkemmin pyörimään ja kovassa tuulen nopeudessa kulma on negatiivinen, jolloin roottori sakkaa. Lavat voi olla myös muotoiltu niin, että roottori sakkaa, kun nopeus kasvaa riittävän suureksi.



Kuva 9. Roottorin lapakulman säätö [22].

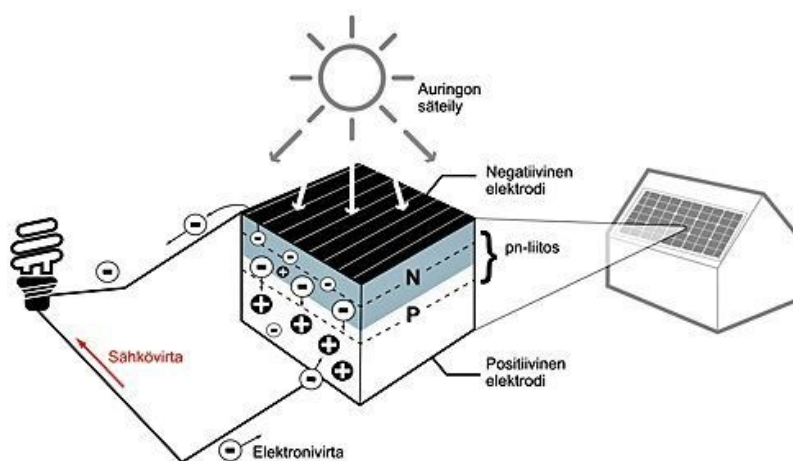
3.2 Aurinkovoima

3.2.1 Yleistä

Auringon säteilemää energiaa voidaan hyödyntää sähkö- tai lämpöenergiana. Auringon säteilyn teho maapallolle on 170 000 TW, mutta siitä ei voida hyödyntää kuin osa. Pilvet estävät osan säteilystä, säteilyä absorboituu ilmakehään ja säteilystä heijastuu suoraan takaisin noin 30 %. Auringon säteilyä voidaan suoraan sitoa sähköksi aurinkokennossa valosähköisen ilmiön avulla. Valosähköisessä ilmiössä fotonit absorboituvat elektroneihin ja elektronit joko saavat kaiken fotonin energian tai ei saa mitään. Kun fotonin energia on riittävän suuri, elektronit saavat fotonin energian ja irtoavat. Tarvittavan energian suuruus riippuu materiaalista, ja raja-arvoa kutsutaan irrotustyöksi. Useimmilla tehokkailla aurinkokennomateriaaleilla irrotustyön suuruus on 1,0–1,6 eV. Mikäli fotonin energia ei ole riittävän suuri irrottamaan elektroneja tai energia on suurempi kuin irrotustyö, ylimääräinen energia vapautuu lämpönä. [15; 16; 17; 18.]

Tämän hetken kaupalliset aurinkokennot on toteutettu p- ja n-tyyppisen puolijohteen liitoksena. Kennossa fotonit absorboituvat p-tyypin puolijohhteessa ja

saavat elektronit siirtymään n-puolelle, josta ne voidaan johtaa ulkoisen virtapiirin kautta takaisin p-puolelle (kuva 10). Ulkoisessa virtapiirissä sähkövirta voidaan esimerkiksi hyödyntää tasasähköä käyttävissä laitteissa, muuttaa invertterin avulla kotitalouden sähkölaitteissa hyödynnettäväksi tai lataussäätimen avulla varastoida akustoon. Aurinkokennojen tehokkuuteen vaikuttaa auringon säteilyenergian määrä ja lämpötila. Aurinkokennojen tyypillinen käyttöikä on noin 30 vuotta. [18.]



Kuva 10. Pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate [18].

Kennoteknologiat voidaan jakaa kolmeen sukupolveen: ensimmäisen sukupolven kennoja ovat yksi- ja monikiteiset piikennot, toisen sukupolven kennoja ohutkalvokennot ja kolmannen sukupolven kennot esimerkiksi nanokidekennot ovat vielä tutkimusasteella. Ensimmäisen sukupolven kennoista yksikiteinen piikkenno muodostuu yhdestä kiteestä, joka on kasvatettu tankomuotoon ja joka on sahattu kiekkoiksi. Kiderakenteessa atomit ovat tietyssä järjestyksessä. Monikiteinen kenno on muodostettu sulattamalla erilaisia piin sirpaleita yhdeksi paliksi. Yksikiteisellä piillä on hieman parempi hyötysuhde monikiteiseen verrattuna. [18.]

Ohutkalvokennot muodostuvat ohuista kerroksista valoherkkää materiaalia edullisen pohjamateriaalin päällä, kuten lasin, ruostumattoman teräksen tai

muovin päällä. Kennojen hyötysuhde on huonompi kuin piikidekennoilla. Hyötysuhteeseen vaikuttaa myös ympäristön lämpötila, ja piikidekennojen hyötysuhde paranee viileässä suhteellisesti enemmän kuin ohutkalvokennojen. Ohutkalvokennojen valmistaminen on halvempaa, ja ne voidaan myös muokata erilaisiin muotoihin, mikä antaa erilaisia mahdollisuuksia sovelluksille. Ohutkalvokennoja voidaan valmistaa eri materiaaleista, esimerkiksi amorfisesta piistä, kadmiumtelluridista tai kupari-indium-diselenidista. [18.]

Kolmannen sukupolven kennoista nanokidekennoissa ei ole pn-liitoksen aikaansaamaa sähkökenttää, vaan ne perustuvat kemiallisiin reaktioihin. Nanokidekennojen lisäksi on kehitteillä joustavia kennoja, joista on jo sovelluksia olemassa, ja keskittäviin järjestelmiin kennoja. Joustavat kennot vastaavat ohutkalvoteknologiaa, mutta niissä valoherkkä aine painetaan joustavalle pohjamateriaalille. Keskittämissä järjestelmissä auringon säteilyä kerätään peilin tai linssin avulla. Kennomateriaalia voi silloin käyttää vähemmän ja siten voi käyttää kalliimpia ja paremman hyötysuhteen omaavia kennoja. [18.]

3.2.2 Aurinkopaneelit

Yksittäisen kennon jännite on kohtuullisen pieni, noin 0,5 V. Kytkemällä kennoja sarjaan ja asentamalla kehikkoon aurinkopaneeliksi saadaan jännitettä kasvatettua. Aurinkopaneelien nimellisteho, piikkiwatti W_p , ilmoittaa paneelin standardiolosuhteissa enimmillään tuottamaa tehoa. Standardiolosuhteissa kennon lämpötila on 25 °C ja auringon säteily määrä on $1000 \frac{W}{m^2}$. Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään nimellistehon ja pinta-alan avulla kaavalla 4:

$$\eta = \frac{P_n}{A \cdot 1000 \frac{W}{m^2}}, \quad (4)$$

missä P_n on paneelin nimellisteho ja A paneelin pinta-ala. [18; 19.]

Suurin osa tarjolla olevista aurinkopaneeleista on yksi- tai monikiteisistä piikennoista valmistettu. Piikennojen hyötysuhde on noin 20 %. Yksikidepaneelin

hyötysuhde on parempi kuin monikidepaneelissa, mutta monikidepaneeli hyödyntää paremmin hajasäteilyä. Kuluttajan kannalta ei ole suurta merkitystä kumman hankkii, sillä esimerkiksi Finnwind Oy asensi kaksi identtistä $10,4 \text{ kW}_p$:n aurinkovoimalaa Savon Ammatti- ja Aikuisopiston katolle Siilinjärven Toivalassa ja seurasi viiden vuoden ajan voimaloiden tuottoa. Yksikidepaneeleilla toteutetun voimalan tuotto oli $47\,289 \text{ kWh}$ ja monikidepaneeleilla toteutetun voimalan tuotto oli $46\,734 \text{ kWh}$ seuranta-ajalla. Ero, noin 1,2 %, oli mittaustarkkuuden rajoissa, jolloin ei voi tehdä johtopäätöksiä, kumpi on parempi. [20.]

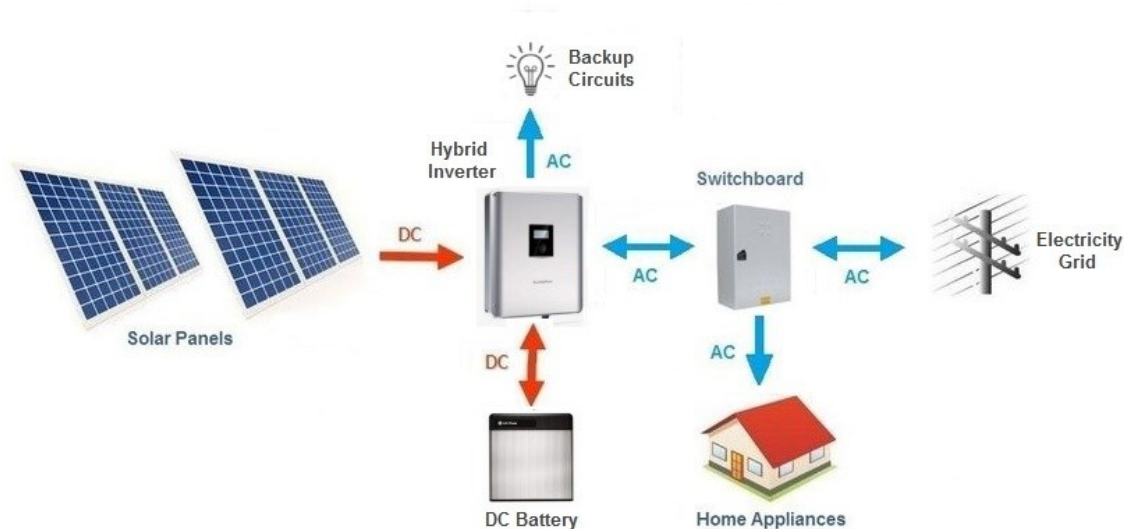
Piikidekennojen hyötysuhdetta on onnistuttu parantamaan kokoamalla kenno perovskiitti- ja piikennoista siten, että perovskiittikenno on päällimmäisenä. Perovskiitillä viitataan tässä kiderakenteeseen. Se tarkoittaa, että materiaalin kiderakenne on sama kuin perovskiittimineraalilla eli kalsiumtitaanilla. Perovskiittikennot hyödyntävät auringon ultraviolett- ja infrapuna-alueita paremmin. Saudiarabialainen Kaust-yliopisto on onnistunut kehittämään kennon, jonka hyötysuhde on 33,2 %, ja tämä on vahvistettu ESTI-laboratoriossa. [21.]

4 Liittäminen sähköverkkoon

Pientuuli- tai aurinkovoimala voidaan liittää kiinteistön sähköverkkoon invertterin avulla. Aurinkovoimalan tasajännite muunnetaan invertterillä kiinteistön verkkoon sopivaksi vaihtojännitteeksi. Pientuulivoimala liitetään myös invertterin avulla, mutta tuulivoimalan tuottama vaihteleva vaihtojännite ensin tasasuunnataan ja sen jälkeen invertterillä muunnetaan kiinteistön verkkoon sopivaksi vaihtojännitteeksi 1- tai 3-vaiheiseksi. Jos verkkoon syötetään yksivaiheista sähköä, tuulivoimala saa olla Energiateollisuus ry:n suosituksen mukaan teholtaan korkeintaan 3,7 kW [22, s. 3]. Mikäli järjestelmään lisätään akusto, se voidaan tehdä DC- tai AC-kytkentänä, ja näillä molemmilla on etunsa ja haittapuolensa [23; 24; 25].

4.1 DC-kytkentä

Aurinko- tai tuulivoimalan kytkeminen kiinteistön verkkoon DC-kytkentänä tapahtuu hybridi-invertterin avulla alla olevan kuvan 11 mukaisesti. Hybridi-invertterillä tarkoitetaan tässä yhteydessä invertteriä, joka toimii myös lataussäätimenä. Aurinkovoimalan tuottama energia syötetään invertterille ja siitä tarpeen mukaan verkkoon, ja ylimääräinen energia ladataan akustoon. Mikäli voimala ei tuota energiaa kulutusta vastaavaa määrää, akustoon varastoitua energiaa syötetään verkkoon. Mikäli akusto on täynnä ja voimala tuottaa enemmän energiaa kuin verkossa on kulutusta, niin ylimääräinen energia syötetään jakeluverkkoon. Mikäli akusto on tyhjä ja voimala ei tuota energiaa riittävästi, niin silloin jakelverkosta saadaan energiaa vastaamaan kulutusta.



Kuva 11. DC-kytkentä [23].

DC-kytkennän etuja ovat:

- Akuston lataaminen on tehokkaampaa.
- Kytkenä on yksinkertainen, helppo asentaa ja valmistajilla on valmiiksi konfiguroidut komponentit.
- Akuston tyhjentyessä invertteri sammuu ja pystyy käynnistymään, kun voimala taas tuottaa energiaa.

Haittapuolia ovat:

- Ei sovellu suurille voimaloille.
- Tasajännite on usein varsin matala, varsinkin aurinkopaneeleilla, ja vaatii paksummat kaapelit, jotka ovat kalliimpia.
- Monissa järjestelmissä varavoimatoiminnallisuudessa on 3–5 sekunnin viive. [24.]

4.2 AC-kytkentä

Aurinko- ja tuulivoimalan kytkeminen kiinteistön verkkoon AC-kytkentänä tapahtuu invertterin avulla suoraan esimerkiksi ryhmäkeskukseen (kuva 12). Kiinteistön liittymispisteen jälkeen asennetaan myös hybridi-invertteri, joka lataa voimaloiden tuottaman ylimääräisen energian akustoon. Kuten DC-kytkennässä, mikäli voimala ei tuota energiaa kulutusta vastaavaa määrää, akustoon varastoitua energiaa syötetään verkkoon. Mikäli akusto on täynnä ja voimala tuottaa enemmän energiaa kuin verkossa on kulutusta, niin ylimääräinen energia syötetään jakeluverkkoon. Mikäli akusto on tyhjä ja voimala ei tuota energiaa riittävästi, niin silloin jakeluverkosta saadaan energiaa vastaamaan kulutusta.



Kuva 12. AC-kytkentä [25].

AC-kytkennän etuja ovat:

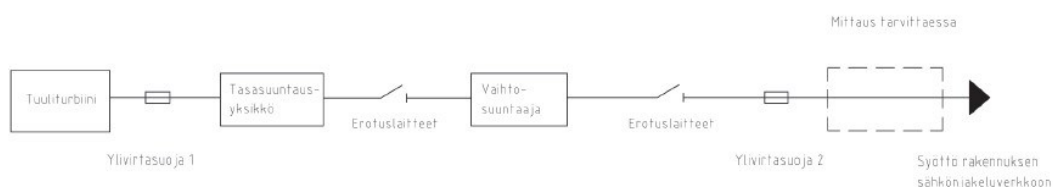
- Tarvitsee ohuemmat kaapeloinnit.
- Voimala voi olla kauempana.
- On mahdollista lisätä useampia eri paikoissa sijaitsevia aurinko- tai tuulivoimaloita.

Haittapuolia ovat:

- Järjestelmä tarvitsee ohjelmointia.
- Järjestelmään tarvitsee useamman invertterin.
- Mikäli varavoimaa ei ole tai ei ole jakeluverkkoa käytettävissä, akuston tyhjentyessä hybridi-invertteri sammuu akuston suojaamiseksi eikä käynnisty automaattisesti, kun aurinko- tai tuulivoimala taas tuottaa energiaa verkkoon. [25.]

4.3 Varavirta ja suojalaitteet

Aurinko- ja tuulivoimalalaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät laitteiston irti julkisesta jakeluverkosta jakeluverkon vikatapauksissa. Mikäli aurinko- ja tuulivoimalaa sekä akustoon varattua energiaa halutaan hyödyntää jakeluverkon vikatapauksen aikaan, on laitteistoon asennettava kaksoiskytkentämahdollisuus. Tällöin toisella kytkennällä laitteisto toimii rinnan jakeluverkon kanssa ja toisella saarekekäytössä jakeluverkosta erotettuna. Tuuliturbiinin jälkeen tarvitaan ylijännitesuoja suojaamaan ilmastollisten ylijännitteiden aiheuttamilta vahingoilta. Kuvassa 13 nähdään muut tarvittavat suojalaitteet. Ylijännitesuojan jälkeen on oltava ylivirtasuoja suojaamassa kaapelia ja tasasuuntaajaa. Invertterin jälkeen tarvitaan kytkin, jolla laitteisto voidaan erottaa verkosta. [22; 26; 27.]



Kuva 13. Tuuliturbiinin suojalaitteet ja kytkentä kiinteistön verkkoon [26].

Mikäli yleisen jakeluverkon syöttö katkeaa tai jännite tai taajuus generaattorin liitännänavoissa poikkeaa normaaleista jakeluverkolle ilmoitetuista arvoista, generaattori on kytkettävä irti jakeluverkosta standardin [28, s. 11] mukaisesti. Tuuliturbiini kytketään invertterin avulla kiinteistön verkkoon, yleensä

pääkeskukseen. Pääkeskukseen tarvitaan vielä ylivirtasuojia ennen keskukseen kytkemistä. Keskuksen nimellisvirran tulee olla suurempi kuin keskuksen jakeluverkon syötön puoleisen suojalaitteen nimellisvirran ja invertterin keskuksen syötön ylivirtasuojan nimellisvirran summa. Kaapelien kuormitettavuus turbiinilta tasasuuntaajalle, tasasuuntaajalta invertterille ja invertteriltä keskukselle on määriteltävä standardin [27] mukaisesti.

4.4 Toteutustapa kohteessa

Yleisesti aurinkopaneeleja varten tehtyjä hybridi-inverttereitä ei voi hyödyntää tuuligeneraattorin kanssa. Aurinkopaneelien tuottama jännite on melko tasainen ja virta on vaihtelevampi, kun puolestaan tuuligeneraattorista tasasuuntaajalla saatava jännite vaihtelee enemmän ja virta on tasaisempi. Markkinoilla on myös tuuligeneraattorille suunniteltuja sekä tuuli- ja aurinkovoimalle suunniteltuja hybridi-inverttereitä, mutta vähemmän. Koska kohteeseen tullaan myöhemmin lisäämään myös aurinkopaneeleja ja tuulivoimalan sijoituspaikka tulee olemaan kauempana, niin pientuulivoimala tullaan liittämään kiinteistön verkkoon AC-kytkentänä. Tällöin voi käyttää ohuempaa kaapelia ja pidemmällä matkalla sen hinta on jo huomattavasti alhaisempi kuin paksumman. Lisäksi tulevaisuudessa lisätävien aurinkopaneelien lisääminen kiinteistön verkkoon on yksinkertaisempi AC-kytkentänä tehtävään laitteistoon.

Kohteeseen tullaan myös lisäämään akusto julkisen jakeluverkon häiriötilanteita varten sekä hieman paremman tuulivoimalla tuotetun energian hyödynnettävyyden vuoksi. Energiaa ei aina kuluteta niin paljoa kuin tuulivoimala tuottaa, niin ylimääräinen energia saadaan talteen tilanteita varten, jolloin tuulivoima ei tuota riittävästi tai julkisessa verkossa on vika, eikä sieltä saada energiaa. Tätä varten tarvitaan akuston lisäksi lataussäädin. Lisäksi julkisen jakeluverkon vikatilannetta varten kiinteistön verkko pitää erottaa omaksi saarekkeeksi. Mikäli hybridi-invertteri ei tue tätä, pitää erikseen rakentaa kytkin, joka automaattisesti erottaa kiinteistön verkon julkisesta jakeluverkosta jakeluverkon vikatilanteen ajaksi.

5 Mitoitus ja komponenttien valinta

5.1 Tuulivoimala

Vuosittainen sähköenergian kulutus mökillä on verkkoyhtiön mittauksen mukaan noin 12 000 kWh (liite 2), eroa eri vuosien välillä on korkeimmillaan muutama sata kilowattituntia. Tavoitteena olisi pienentää tätä kulutusta vähintään noin kahteen kolmasosaan nykyisestä. Tarkoitus ei ole saada tuotettua tuuli- tai aurinkovoimalalla tätä kaikkea, vaan hankkia myös lisäksi ilmalämpöpumppu. Tavoiteltava tuulivoimalla saatava energiantuotto on noin 5000 kWh. Tällä ja ilmalämpöpumpun avulla arvioidaan mökin energian vuosikulutuksen pienenevän vähintään kahteen kolmasosaan nykyisestä vuosittaisesta kulutuksesta.

Pientuulivoimalan voi mitoittaa tuulimittauksella, jolloin saadaan todelliset tuuliolosuhteet paikalla selville, ja katsomalla valmistajan tuottokäyrästä arvion tuotettavan energian määrästä. Taloudellisesti kannattavinta on, kun kaiken tuotetun energian voi hyödyntää itse. Tällöin tuulivoimalan ei kannata keskimääräiseltä teholta olla omaa kulutusta suurempi [3]. Nyt kohteeseen ei ole saatavilla tuulimittausdataa, joten arviointi pitää tehdä keskimääräisillä luvuilla. Pientuulivoimala toimii keskimäärin 15 %:n teholla nimellistehosta [3]. Tällöin 5000 kWh:n tuotetun energian määrään tarvitaan tuottaa

$$\frac{5\,000\,000\text{ Wh}}{24 \cdot 365\text{ h}} \approx 571\text{ W}$$

vuoden jokaisena tuntina, jolloin pientuulivoimalan nimellistehon pitäisi olla vähintään

$$\frac{571\text{ W}}{0,15} \approx 3,8\text{ kW.}$$

Enimmillään vuodessa tarvittavaa energiaa tulisi olemaan noin 9 000 kWh, jolloin tuulivoimalan tuottama keskimääräinen teho tunnissa pitäisi korkeintaan olla

$$\frac{9\,000\,000\text{ Wh}}{24 \cdot 365\text{ h}} \approx 1028\text{ W}$$

ja tällöin pientuulivoimalan nimellisteho voi olla korkeintaan

$$\frac{1028\text{ W}}{0,15} \approx 6,9\text{ kW}.$$

Yleisistä pientuulivoimaloiden nimellistehoista 3,8 kWh:n ja 6,9 kWh:n välille sattuu 5 kWh:n nimellistehoinen voimala. Tällöin tuulivoimalla tuotettu energia pitäisi pystyä käyttämään suurelta osin mökillä omaan kulutukseen, eikä suurta tarvetta myyntiin pitäisi olla. Internetistä valikoimaa ja hintoja selattua päädyttiin kiinalaisvalmisteiseen Senwei SWT5-5.6 -merkkiseen ja -malliseen pientuulivoimalaan. Nimellisteholta se on 5 kW, ja nimellisteho saavutetaan nopeudella 10,5 m/s. Käyntiinlähtönopeus on 3 m/s. Generaattori on 3-vaiheinen kestopag-netoitu generaattori. Suunniteltu käyttöikä on 20 vuotta. Tuottokäyrästä (liite 4) arvoitu energian tuotto mökillä keskimääräisellä vuotuisella tuulennopeudella 4,4 m/s (liite 1) on noin 6100 kWh.

5.2 Kontrolleri, lataussäädin ja invertterit

Tuulivoimala tarvitsee tasasuuntaajan ja kontrollerin yhdistelmän, jolla tasasuunnataan generaattorin tuottama vaihteleva vaihtojännite, voidaan pysäyttää tuuligeneraattori ja ylimääräinen energia, jota ei voida syöttää kiinteistön verkkoon, ohjata erilliseen kuormayksikköön. Tasasuunnattu jännite pitää muuttaa vielä invertterillä verkkoon sopivaksi vaihtojännitteeksi. Valitulla tuulivoimalan valmistajalla on myytävänä 3-vaiheinen kontrolleri, tasasuuntaaja ja invertteri yhtenä yksikkönä ja erillinen kuormavastus. Tällä laitteistolla voidaan tuuligeneraattorin energia syöttää verkkoon. Laitteen malli on Senwei WGI-10KW-BI.

Kiinteistön lisätään akusto mahdollisia julkisen jakeluverkon vikatilanteita varten. Tätä varten tarvitaan hybridi-invertteri, lataussäädin ja invertteri, jotta akustoa voidaan ladata ja akustosta voidaan tarvittaessa syöttää kiinteistön verkkoon sähköenergiaa. Lisäksi järjestelmän tulisi toimia julkisen jakeluverkon vian aikana, joten mökin verkko pitäisi erottaa tällöin jakeluverkosta. Tähän tarkoitukseen sopii Victronin MultiPlus II 48/3000/35–32. Mökin verkko on 3-vaiheinen, joten näitä tarvitaan kolme rinnakkain, sillä yhden invertterin ulostulojännite on 230 V, joka on vaihejännite. Lataussäädin toimii 48 V:n akuston kanssa ja voi ladata 3000 VA:n teholla. Kolmella vaiheella voi silloin ladata 9 000 VA:n teholla, joka on riittävä valittua 5 kW:n tuulivoimalaa varten.

5.3 Akusto

Akuston mitoitus tehdään kokemukseen perustuen jakeluverkon vikojen keston mukaan sekä tulevien aurinkopaneelien avulla kesällä ilta- ja yöajaksi kulutusta vastaavan energian määrän tarpeen mukaisesti. Jakeluverkon viat ovat yleisiä talvella ajoittaisten puiden raskaan lumikuorman ja talvimyrskyjen vuoksi. Käytetään tunnin kulutuksena talviajan tunnin mediaanikulutusta ja vian kestossa noin normaalia työpäivän kestoa. Vian kestot ovat kokemuksen mukaan harvoin pidempiä, yleisesti muutaman tunnin mittaisia, ja kestona voi käyttää noin yhden työpäivän pituutta. Akuston kapasiteetiksi voidaan sitten valita suurempaa tarvetta varten lähimpänä oleva arvo. Valitaan akustoksi moduuleista koottava yksikkö, jota tarvittaessa voi kasvattaa tai johon voi tarvittaessa kytkeä rinnalle toinen akusto, mikäli on tarvetta suuremmalle kapasiteetille.

Kulutustiedoista (liite 2) saadaan kesäajan yöajan kulutukseksi noin 10 kWh ja talviajan tunnin mediaanikulutukseksi noin 2,14 kWh. Työpäivän normaali pituus on yleisesti 7,5 h, ja tällöin työpäivän aikaan kulutus talvella on

$$2,14 \text{ kW} \cdot 7,5 \text{ h} \approx 16 \text{ kWh.}$$

Hybridi-invertterin valmistajan ilmoittama eräs yhteensopiva akusto on Byd Battery Box Premium LVS, joka voidaan koostaa 4 kWh:n moduuleista [29].

Riittäväksi akuston kooksi voidaan valita BYD Battery-Box Premium LVS12.0, jonka kapasiteetti on 12 kWh. Tämä riittää kesäajan illan ja yön kulutukseen sekä vajaan päivän mittaisen sähkökatkon ajaksi, mikäli on täyteen ladattuna.

5.4 Kaapelit, muut komponentit ja asennustarvikkeet

Tuulivoimala tulee sijoittumaan noin 63 metrin päähän mökistä. Kaapelireitti tulee olemaan noin 77 metriä ja tähän voidaan lisätä vielä asennusvara ja tornin korkeus, jolloin saadaan yhteispituudeksi noin 105 metriä. Turbiini tuottaa enimmillään 5,6 kW:n tehon. Kaapeli mitoitetaan standardin [27] mukaan: kaapeli asennetaan maahan putkeen, se nousee seinän pinnalla ja menee eristetyn seinän läpi. Eristeenpaksuus on 200 mm, jolloin korjauskerroin standardin [27, s.16] mukaan on 0,68. Kaapeliksi valitaan PEX-eristeinen kuparikaapeli. Kaapelissa suurin virta on 15 A. Korkein kuormitettavuus kaapelilla vaaditaan eristetyn seinän läpi mennessä, jolloin kuormitettavuus pitää olla vähintään 23 A. Standardin [27, s.39 taulukko B.52.5] mukaan 2,5 neliömillimetrin kuparikaapelin kuormitus riittää tähän. Siten valitaan kaapeliksi XCMK 3x2,5/2,5.

Lisäksi tarvitaan maadoitusta ja ylijännitesuojausta varten Cu16-kaapelia 25 metriä ja tyyppin 1 ylijännitesuoja. Johdonsuojakatkaisijoita tarvitaan kolme, C-laukaisukäyrä ja nimellisvirta 16 A. Invertterin ja keskuksen välille tarvitaan MMJ 5x2,5 S -kaapelia. Hybridi-inverttereiden ja akuston välille tarvitaan MMJ 2x6 N -kaapelia. Lisäksi tarvitaan kiinnikkeitä, liittimiä ja muita tarvikkeita, joita ei tarkemmin listata.

6 Kustannus- ja kannattavuuslaskennat

Kustannukset ovat hyvin riippuvaisia ajankohdasta, jolloin tarvikkeet hankitaan. Sähkönhinta vaihtelee myös paljon eri aikoina. Kustannuslaskelmiin vaikuttaa myös korkotaso, joka vaihtelee myös. Korot olivat pitkään todella matalalla tasolla, mutta nousivat nopeasti maailman tapahtumien johdosta. Tulevaisuudessa korkotaso saattaa nousta vielä paljonkin tai pysyä maltillisena, vaikka nousisikin vielä. Nämä aiheuttavat haasteita kannattavuuden laskemiseen. Tässä työssä lasketaan kevään 2024 hinnoilla, mutta laskelmat on helppo toistaa toteutusajankohdan hinnoilla ja korkotasolla ja laskea kustannus- ja kannattavuusarviot.

6.1 Kustannukset ja tuotettava energia

Taulukossa 1 ovat valittujen komponenttien hinnat (sis. alv). Valitun tuulivoimalan tuotto valmistajan ilmoituksen mukaan tuulennopeudella 4,5 m/s ideaalitilanteessa on 8 212 kWh. Tuulen pyörteisyyden vaikutuksesta tuotto voi olla vähän yli 6 000 kWh ja todellisuus lienee jotain tuolta väliltä. Tuulivoimalan keskimääräinen tuotto on kuitenkin pienempi kuin mökillä kuluva keskimääräinen energia, niin tuotosta saa käytettyä melko suuren osan itse. Kannattavuuslaskelmia varten arvioidaan suuntaa antavat tuotot. Akuston kanssa arvioidaan, että vuodessa saadaan tuulivoimalla tuotetusta energiasta käytettyä itse 6 000 kWh ja ilman akustoa 5 000 kWh. [30.]

Vuosittain tuuliturbiinia pitää huoltaa ja sähköpostilla kysyen saatiin arvio, että vuosittaiset huoltokulut ovat noin 100–200 €. Käytetään kannattavuuslaskennassa huoltokulujen arvona 150 €:a. Tuuliturbiinin valmistajan ilmoittama käyttöikä on 20 vuotta. Invertterit jouduttanee uusimaan 10 vuoden kuluttua. Korkokannaksi voidaan valita pitkän euriborkoron ja pörssin pitkän aikavälin vuosituoton väliltä sopiva korko. Pörssin pitkän ajan vuosituotto on keskimäärin ollut 8 % [29]. Euribor (12 kk) on hieman alle neljä prosenttia [30]. Korkokannaksi valitaan neljä prosenttia lainarahoituksen tarpeen vuoksi, eikä tuoton maksimointi ole tärkeintä projektissa.

Taulukko 1. Komponenttien hinnat sähköpostitarjouksina ja eri sivustoilta.

Komponentit	Merkki ja malli	Hinta
Tuuligeneraattori	Senwei SWT5-5.6	3 621,45 €
Kontrolleri/Invertteri	Senwei WGI-10KW-BI	2 589,38 €
Rahti		350,00 €
Hybridi-invertteri x3	Victron MultiPlus II 48/3000/35-32	3 276,00 €
Kaapeli	XCMK 3x2,5/2,5, 100 m	233,61 €
Akusto	BYD Battery-Box Premium LVS 12.0	8 667,54 €
Torni	25 m	10 000,00 €
Jalusta + peruspultit		1 200 €
Muut		1 000 €
	Yhteensä:	30 937,98 €
Ilman akustoa ja hybridi-inverttereitä, yhteensä:		18 994,19 €

Lisäksi ylimääräisestä sähköenergiasta saadaan myyntituloa. Tällöin saadaan hyödyksi vain sen hetken pörssisähkön hinta, joka voi olla myös negatiivinen. Negatiivinen pörssisähkön hinta tuo kustannuksia. Koska keskimääräisellä tuulella tuotettu energia pystytään käyttämään kokonaisuudessaan, myytäväksi jää kovemmalla tuulisella säällä tuotettu energia. Tällöin pörssisähkön hinta on usein lähellä nollaa. Myytävän sähkön vaikutus tällöin kannattavuuteen on pieni ja jätetään huomioimatta.

6.2 Kannattavuus

Tuulivoiman lisäämisen kannattavuutta laskiessa on perusteltua laskea myös ilman akustoa. Akusto kuitenkin lisätään julkisen jakeluverkon vikatilanteita varten, jotta sähkökatkoja itse mökissä olisi vähemmän ja katkot olisivat lyhyempiä. Tornin hinta kokonaisuudessa on merkittävä ja sen käyttöikä on pidempi kuin tuuliturbiinin. Tällöin olisi myös perusteltua laskea pidemmällä aikavälillä kuin yhden turbiinin käyttöiän verran. Laskennassa pitäisi tällöin kuitenkin

huomioida, että torniin tarvitaan luultavasti uusi kruunu toiselle turbiinille, mutta tämän hinta ei ole kokonaisuudessa kovin suuri.

Kannattavuutta voidaan arvioida nettonykyarvolla. Nettonykyarvossa lasketaan investoinnin tulo- ja menoarvioiden nykyarvojen erotus. Nettonykyarvossa diskontataan investoinnin koko elinkaaren tulot ja menot nykyhetkeen valitulla korralla. Koroksi voi valita pankkikoron, jolla investointi rahoitetaan, tai keskimääräisen pörssin tuotto-%:n, jolla investoinnin suuruinen sijoitus kasvattaisi arvoa. Tulona voidaan pitää tuotettua ja itse käytettyä sähköenergiaa, jolloin sähkön hintaan lasketaan myös säästetty sähkönsiirto ja sähkövero mukaan. [31.]

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan, kuinka nopeasti kustannukset on katettu kokonaisuudessaan. Mitä lyhyempi takaisinmaksuaika on, sitä kannattavampi investointi on. Takaisinmaksuaikaa laskettaessa ei huomioida inflaation vaikutusta, joten se ei kovin tarkka, mutta se on nopea laskea. Takaisinmaksuaika voidaan laskea keskiarvoisesti, jolloin alkuinvestoinnin arvo jaetaan keskimääräisillä kustannussäästöillä. Jos saatavat kustannussäästöt ovat vaihtelevia, niin takaisinmaksuaika voidaan laskea vähennysperusteisesti. Tällöin alkuinvestointiin lisätään kustannussäästöt aikajaksoittain, kunnes investointi on katettu. [32.]

Nykyarvo saadaan nyt laskettua

$$NNA = -K_{inv} + k \cdot (-K_{huolto} + K_{energia}) - \frac{K_{uus.}}{(1 + korko)^{aikajakso/2}}$$

missä K_{inv} on investointikulut, k on kapitalointikerroin $\frac{1}{i} \cdot \left[1 - \frac{1}{(1+i)^a}\right]$, K_{huolto} huoltokulut vuodessa, $K_{energia}$ saatava hyöty tuotetusta energiasta vuodessa ja $K_{uus.}$ uusittavien laitteiden kulut. Alkuinvestoinnin arvo saadaan luvun 6.1 taulukosta 1. Korkokannaksi valittiin 4 %, joka on pankkikoron ja pitkän ajan pörssi-sijoituksen tuoton välissä. Laskettaessa kannattavuutta 20 vuoden ajanjaksolle uusittavia laitteita ovat invertterit. Sähkön siirto on $4,841 \frac{c}{kWh}$ ja sähkövero

$2,79372 \frac{\text{c}}{\text{kWh}}$. Sähköenergian hinnaksi lasketaan $6,0 \frac{\text{c}}{\text{kWh}}$. Nettonykyarvoksi saadaan siis

$$\begin{aligned} \text{NNA} &= -18\,994,44 \text{ €} + \frac{1}{0,04} \cdot \left[1 - \frac{1}{1,04^{20}} \right] \\ &\quad \cdot \left(-150 \text{ €} + 5\,000 \text{ kWh} \cdot 0,1363472 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) - \frac{2\,589,38 \text{ €}}{1,04^{10}} \\ &\approx -13\,517,27 \text{ €}. \end{aligned}$$

Nettonykyarvolla mitattuna tuulivoiman hankinta ei siis ole kannattavaa.

Takaisinmaksuajaksi saadaan nyt laskettua

$$\text{TMA} = \frac{K_{\text{inv}} + K_{\text{uus.}}}{K_{\text{energia}} - K_{\text{huolto}}},$$

missä K_{inv} on investointikulut, K_{huolto} huoltokulut vuodessa, K_{energia} saatava hyöty tuotetusta energiasta vuodessa ja $K_{\text{uus.}}$ uusittavien laitteiden kulut. Edellä valituilla sähkönsiirtohinnoilla, sähköverolla ja energian hinnoilla sekä investointi-, huolto- ja uusittavien laitteiden kuluilla takaisinmaksuajaksi saadaan

$$\text{TMA} = \frac{18\,994,44 \text{ €} + 2\,589,38 \text{ €}}{5\,000 \text{ kWh} \cdot 0,1363472 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} - 150 \text{ €}} \approx 40 \text{ a } 7 \text{ kk.}$$

Tuulivoimalan investointi ei tule maksamaan itseään takaisin, sillä valmistajan ilmoittama generaattorin käyttöikä oli 20 vuotta.

7 Johtopäätökset ja yhteenveto

Työssä tutkittiin, miten pientuulivoiman tuotantoa voi lisätä olemassa olevaan mökin tai talon verkkoon. Aluksi tutustuttiin yleisesti tuuleen ja tuulesta saatavaan energiaan, tuulivoimalan sijoittamiseen vaikuttaviin tekijöihin ja erilaisiin tuulivoimaloihin. Sijoituspaikalla on oleellinen vaikutus, miten paljon energiaa tuulesta saadaan käyttöön. Lisäksi tutustuttiin aurinkoenergiaan ja paneeleihin mahdollisen lisäenergian tarpeen täyttämiseksi. Sitten selvitettiin, miten tuotantoa voi lisätä jakeluverkon rinnalle ja mitä komponentteja tarvitaan. Lopuksi tutkittiin kannattavuutta, miten sitä voi arvioida ja onko tuulivoiman lisääminen taloudellisesti kannattavaa.

Työssä saatiin selville tuulivoimalan valintaan ja sijoittamiseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi saatiin selville erilaisia mahdollisuuksia liittää mikrotuotanto jakeluverkon kanssa rinnan kiinteistön sähköverkkoon ja miten sitä voisi hyödyntää julkisen jakeluverkon vikatilanteen aikana varavoimana. Työssä löydettiin tapa arvioida taloudellista kannattavuutta. Työn tavoitteet saavutettiin ja selvitysten perusteella pitäisi pystyä lisäämään mikrotuotantolaitteisto kiinteistön sähköverkkoon ja löytää sopivimmat komponentit siihen. Lisäksi saatiin selville taloudellisen kannattavuuden arviointiin sopiva menetelmä.

Taloudellisen kannattavuuden arviointi on karkeaa tässä työssä. Tuulesta saatava energia, ja miten paljon siitä saadaan omaan käyttöön hyödynnettäväksi, on aika karkea arvio. Tätä voisi arvioida paremmin sekä generaattorin koon mittaamisen ja taloudellisen kannattavuuden arvioinnin osalta mittaamalla sijoituspaikalla tuulia vuoden ajan. Tämän tuulidatan, verkkoyhtiöltä saatavan tunti-kohtaisen kulutuksen ja generaattorin tuottokäyrän avulla saadaan laskemalla tarkemmin selville, miten paljon sähköenergiaa saadaan tuotettua ja miten paljon sitä saadaan hyödynnettyä itse. Tällöin voidaan arvioida tarkemmin myös akuston lisäämisen vaikutusta kiinteistössä hyödynnettävään energian määrään.

Komponenttien hinnoilla on suuri vaikutus taloudelliseen kannattavuuteen. Tornin hinnalla on suhteellisen suuri osuus kokonaishinnasta, ja tähän löytyisi varmasti halvempia vaihtoehtoja. Tätä työtä varten kysyttiin vain eräältä kotimaiselta tornien valmistajalta kustannusarvioita. Generaattorin valmistajalta löytyy myös tornivaihtoehtoja, mutta sen hinnan lisäksi tulee ottaa huomioon myös rahti satamasta kiinteistölle, sillä torni ei välttämättä ole itse kuljetettavissa koon vuoksi. Lisäksi sähköenergian arvioidulla keskimääräisellä hinnalla on vaikutus kannattavuuteen.

Pientuulivoima ei ole taloudellisesti kannattava sijoitusmuoto tähän tutkimukseen saaduilla hinnoilla. Muilla sijoitusmuodoilla saa samansuuruisella pääomalla todennäköisemmin suuremman tuoton. Mikäli sähköenergian keskimääräinen hinta olisi esimerkiksi $2 \frac{c}{\text{kWh}}$ suurempi ja maston saisi noin puolella tähän työhön saadusta hinnasta, takaisinmaksuaika olisi jo noin 20 vuotta. Edelleen muilla sijoitusmuodoilla saanee paremman tuoton, mutta tarkkaan valituilla komponenttien ja tarvikkeiden ostopaikoilla ja -hinnoilla lienee mahdollista saada investoidun pääoman takaisin riippuen sähköenergian keskimääräisestä hinnasta. Sähköenergian hintaa on pitkälle tulevaisuuteen mahdoton arvioida, joten se tuo suurta epävarmuutta investoinnin kannattavuuden arviointiin.

Omaan tuulivoimaan sijoittamisessa on muitakin puolia. Ympäristön kannalta ainakin voi olla omalta osalta varma, että osa kulutetusta energiasta on uusiutuvaa energiaa. Lisäksi haja-asutusalueella sähkökatkokset voivat olla pitkiä ja omalla tuotannolla ja sähköenergian varastolla voi lyhentää ja vähentää sähkökatkoja. Mikäli rakentaa tai olemassa oleva kiinteistö sijaitsee paikassa, jonne sähköliittymän ottaminen tulee kustantamaan paljon, voi tuuli- ja aurinkovoimala ja generaattori olla kannattavaa silloin riippuen tuuliolosuhteista. Lisäksi sähköalan ammattilaiselle mikrotuotannon lisääminen voi olla myös harrastusprojekti ja tiedon ja taitojen kartuttamista. Samalla voi ehkä saada ideoita taloudellisen kannattavuuden parantamiseksi.

Lähteet

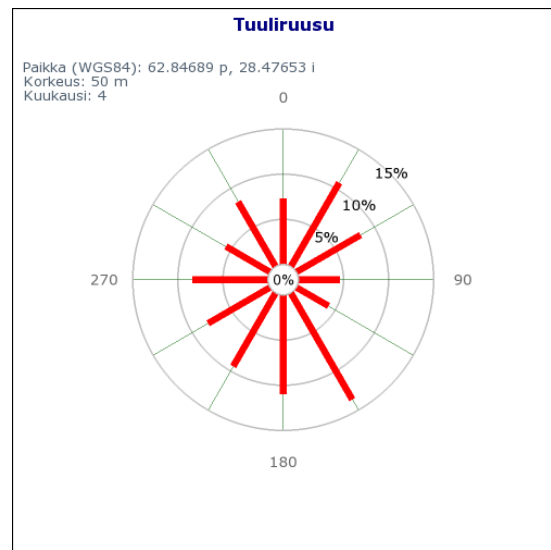
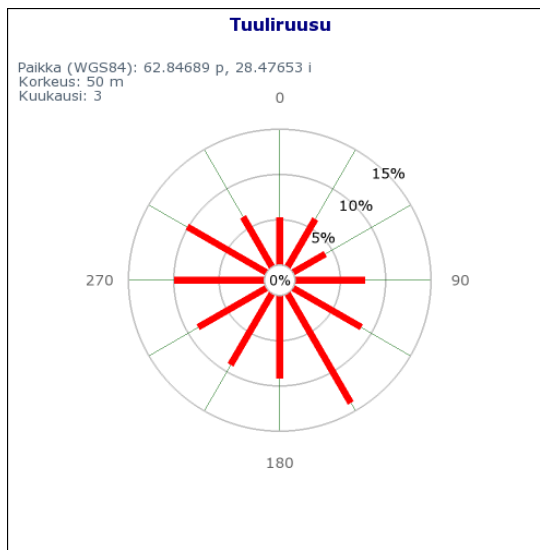
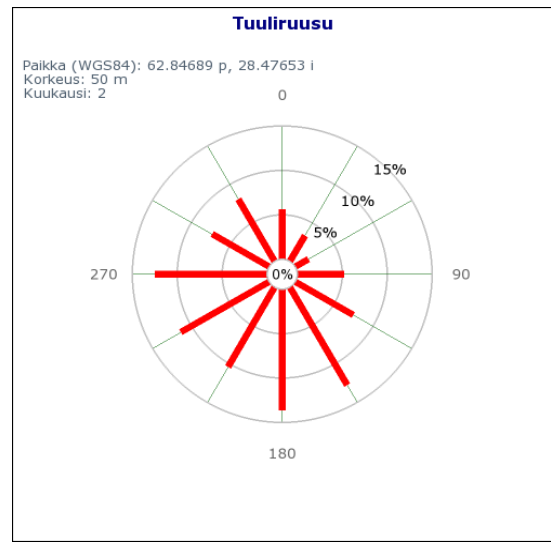
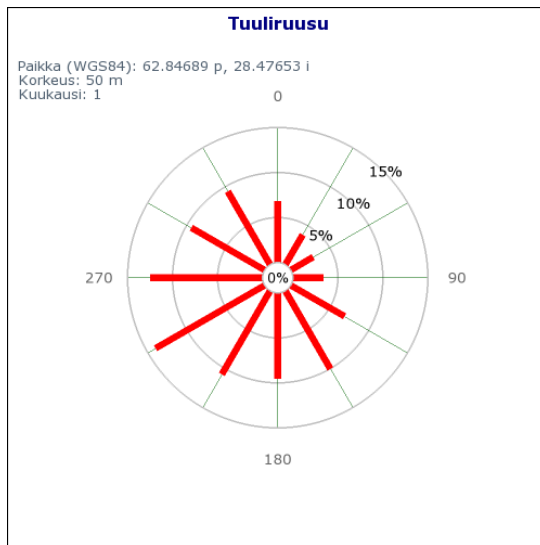
- 1 Tietoa tuulivoimasta. Verkkoaineisto. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. <<https://tuulivoimayhdistys.fi/>>. Luettu 22.5.2022.
- 2 Tuuli. Verkkoaineisto. 2024. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Tuuli>>. Päivitetty 2.5.2024. Luettu 12.5.2024.
- 3 Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. 2012. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf>. Tampereella tuulee -projekti. 18.6.2012. Luettu 9.5.2022.
- 4 Log wind profile. Verkkoaineisto. 2023. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Log_wind_profile>. Päivitetty 15.9.2023. Luettu 22.2.2024.
- 5 What is a Darrieus Wind Turbine & Its Working. Verkkoaineisto. Elprocus. <<https://www.elprocus.com/darrieus-wind-turbine-working/>>. Luettu 22.4.2023.
- 6 Darrieus-roottori. Verkkoaineisto. 2023. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Darrieus-roottori>>. Päivitetty 20.9.2023. Luettu 22.2.2024.
- 7 What is a Savonius Wind Turbine : Design & Its Working. Verkkoaineisto. Elprocus. <<https://www.elprocus.com/what-is-a-savonius-wind-turbine-design-its-working/>>. Luettu 22.4.2023.
- 8 Savonius-roottori. Verkkoaineisto. 2023. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Savonius-roottori>>. Päivitetty 20.9.2023. Luettu 22.2.2024.
- 9 Mathew, S. & Philip, G.S. 2012. Wind Turbines. Comprehensive Renewable Energy. Vol. 2, s. 93-111.

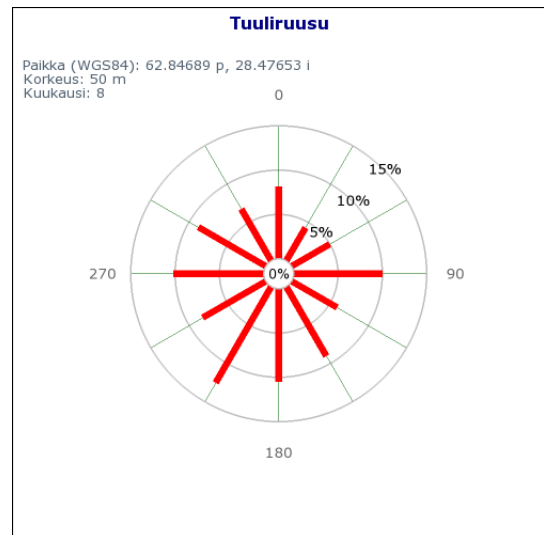
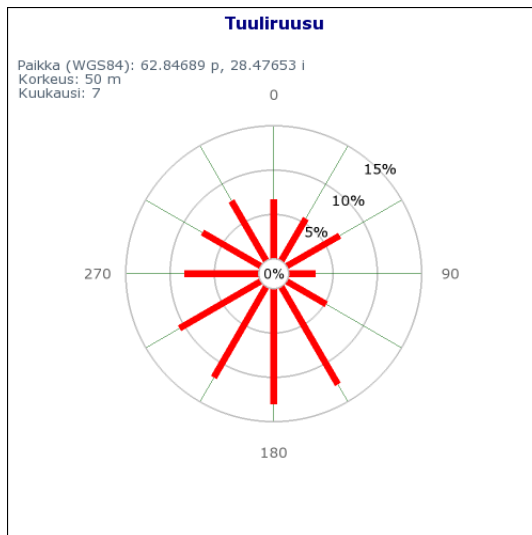
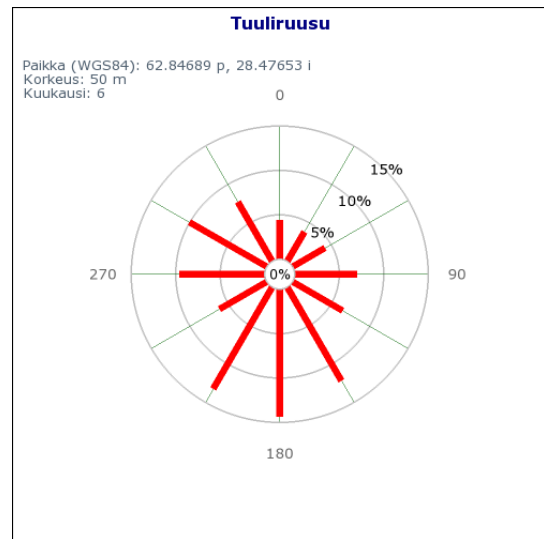
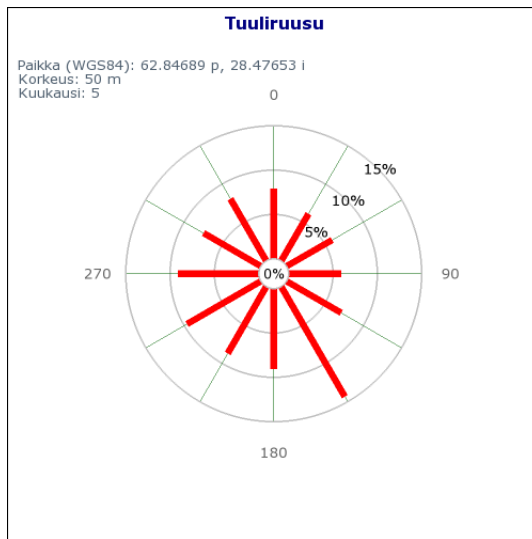
- 10 Windside-roottori. Verkkoaineisto. 2023. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Windside-roottori>>. Päivitetty 13.12.2023. Luettu 22.4.2023.
- 11 Windside. Verkkoaineisto. Oy Windside Production Ltd. <<https://windside.com/products/ws-030/>>. Luettu 22.4.2023.
- 12 Tuulivoimateknologia. Verkkoaineisto. 2023. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia>. Päivitetty 11.4.2023. Luettu 22.4.2023.
- 13 Pientuulivoima. Verkkoaineisto. 2022. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/pientuulivoima>. Päivitetty 7.3.2022. Luettu 4.2.2024.
- 14 Senwei 5kw pitch wind turbine. Senwei. <<https://www.windpowercn.com/products/48.html>>. Luettu 22.4.2024
- 15 Aurinkokenno. Verkkoaineisto. 2024. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkokenno>>. Päivitetty 20.1.2024. Luettu 4.2.2024.
- 16 Maalampi, Jukka & Perko, Tapani. 2006. Lyhyt modernin fysiikan johdatus. 4. painos. Helsinki: Limes ry.
- 17 Valosähköinen ilmiö. Verkkoaineisto. 2023. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Valos%C3%A4hk%C3%B6inen_ilmi%C3%B6>. Päivitetty 6.7.2023. Luettu 4.2.2024.
- 18 Aurinkosähköteknologiat. Verkkoaineisto. 2024. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat>. Päivitetty 31.1.2024. Luettu 4.2.2024.
- 19 Aurinkosähköjärjestelmät. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>>. Luettu 5.5.2024.

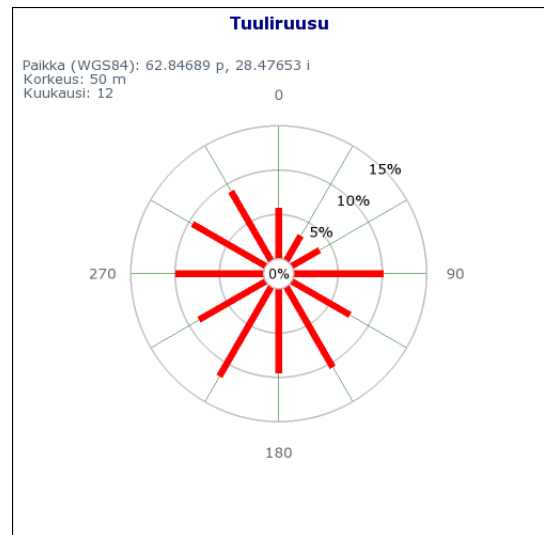
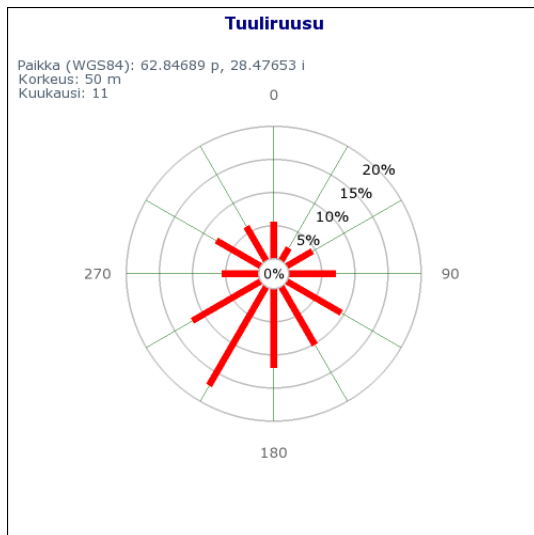
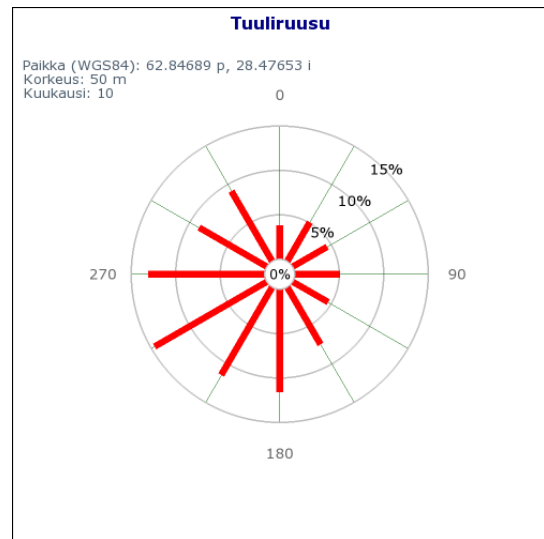
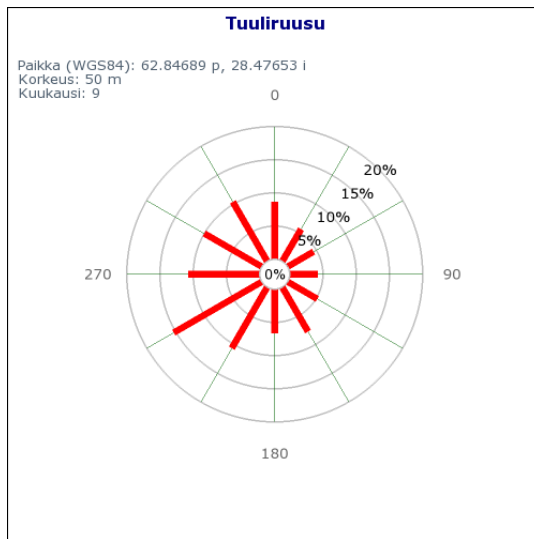
- 20 FAQ aurinkopaneeli. Verkkoaineisto. Finnwind Oy. <<https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysyttya/>>. Luettu 4.2.2024.
- 21 Jalli, Lotta. 2023. Uusi enätys aurinkokennoissa. Tekniikka&Talous 15/2023, s. 8.
- 22 Verkostosuositus YA9:3. Verkkoaineisto. 2023. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/12/YA-9-23-pientuotannon-liittaminen-sahkonjakeluverkkoon-2023-11-29-final.pdf>>. 29.11.2023. Luettu 22.2.2024.
- 23 DC-kytkentä. Verkkoaineisto. DS Nuova Energia. <<https://it.dnsolar.com/Content/upload/2020377093/202005101603049745671.jpgformat=1500w.jpg>>. Luettu 24.3.2024.
- 24 Solar battery system types - AC Vs DC coupled. Verkkoaineisto. 2023. Clean Energy Reviews. <<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/ac-coupling-vs-dc-coupling-solar-battery-storage>>. Päivitetty 16.3.2023. Luettu 28.4.2024.
- 25 AC Coupled Solar System with Battery Charge. Verkkoaineisto. Regen power. <<https://regenpower.com/ac-coupled-solar-system-battery-charge/>>. Luettu 24.3.2024.
- 26 Tuulienergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähköjakelujärjestelmään. 2016. ST 55.34. Sähköinfo Oy.
- 27 SFS-6000-5-52:2022. Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardoimisliitto.
- 28 SFS-6000-5-55:2022. Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardoimisliitto.

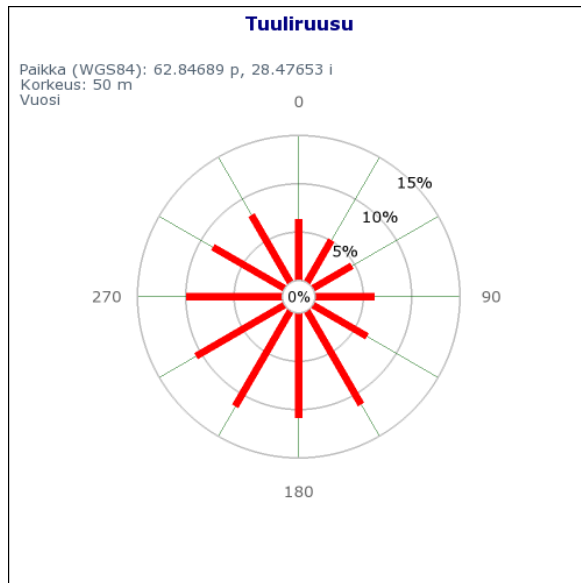
- 29 Victron & BYD. Verkkoaineisto. 2024. Victron Energy B.V.
<https://www.victronenergy.com/live/battery_compatibility:byd_b-box>.
Päivitetty 22.1.2024. Luettu 7.4.2024.
- 30 Senwei SWT-5kw wind turbine. Verkkoaineisto. Senwei.
<<https://www.windpowercn.com/products/15.html>>. Luettu 7.4.2024.
- 31 Sijoituskohteet ja niiden valinta. Verkkoaineisto. Pörssisäätiö.
<<https://www.porssisaatio.fi/opi-sijoittamaan/sijoituskoulu/sijoituskohteet-ja-niiden-valinta/>>. Luettu 28.4.2024.
- 32 Euriborkorot päivittäin. Verkkoaineisto. 2024. Suomen Pankki.
<https://www.suomenpankki.fi/fi/Tilastot/korot/kuviot/korot_kuviot/euribor-korot_pv_chrt_fi/>. Päivitetty 4.5.2024. Luettu 5.5.2024.
- 33 Nettonykyarvo. Verkkoaineisto. Pankkiasiat.fi. <<https://pankkiasiat.fi/nettonykyarvo>>. Luettu 7.4.2024.
- 34 Takaisinmaksuaika. Verkkoaineisto. Pankkiasiat.fi <<https://pankkiasiat.fi/takaisinmaksuaika>>. Luettu 5.5.2024.

Liite 1: Tuuliolosuhteet









Kuva 14. Tuuliruusut vuoden tuulista.

Taulukko 2. Tuulennopeudet redusoituna logaritmisen tuulilain mukaisesti

Kuukausi	Tuulennopeus [m/s] 50 m korkeudella	Tuulennopeus [m/s] 40 m korkeudella
Tammikuu	5,6	5,3
Helmikuu	5,3	5,0
Maaliskuu	4,7	4,4
Huhtikuu	4,3	4,0
Toukokuu	4,5	4,2
Kesäkuu	4,2	4,0
Heinäkuu	4,0	3,8
Elokuu	3,9	3,7
Syyskuu	4,7	4,4
Lokakuu	5,1	4,8
Marraskuu	5,3	5,0
Joulukuu	5,1	4,8
Vuosi	4,7	4,4

Liite 2: Kulutustiedot

Taulukko 3. Kuukausittainen sähköenergian kulutus.

Kuukausi	E [kWh]	T [°C]
07/2021	617,98	20,8
08/2021	596,20	15,0
09/2021	623,39	8,2
10/2021	713,27	6,5
11/2021	1265,38	-0,3
12/2021	2227,33	-9,2
01/2022	1769,36	-7,0
02/2022	1430,93	-4,5
03/2022	1023,54	-1,4
04/2022	693,88	1,8
05/2022	519,19	9,2
06/2022	517,31	16,5
Yhteensä	11997,76	

Taulukko 4. Päiväkohtainen suurin, mediaani ja keskiarvokulutus.

	E [kWh]	Päivä
Suurin:	102,5	26.12.2021
Mediaani:	24,48	25.7.2021
K-A:	32,87	

Taulukko 5. Talven mediaani kulutus ja kesä-/heinäkuun keskimääräinen yön kulutus.

	E [kWh]
Mediaani kulutus tunnissa talvella:	2,14
Kesä-/heinäkuun keskim. yön kulutus:	10,17

Liite 3: BYD Battery-Box LVS

BATTERY-BOX PREMIUM LVS

- Scalable from 4 kWh to 256 kWh
- Maximum Flexibility for any Application with up to 64 Modules Connected in Parallel
- Compatible with Market Leading 1 and 3 Phase Inverters
- Cobalt Free Lithium Iron Phosphate (LFP) Battery: Maximum Safety, Life Cycle and Power
- Capable of High-Powered Emergency-Backup and Off-Grid Function
- Patented Internal Plug Design Requires No Additional Wiring
- Self-Consumption Optimization for Residential and Commercial Applications



BATTERY-BOX PREMIUM LVS

- 4 kWh Module
- Modular Design Simplifies Transport and Installation

The BYD Battery-Box Premium LVS is a lithium iron phosphate (LFP) battery pack for use with an external inverter. A single Battery-Box Premium LVS contains between 1 to 6 battery modules LVS stacked in parallel and can reach 4 to 24.0 kWh usable capacity in one tower:

- Battery-Box LVS 4.0 (4 kWh)
- Battery-Box LVS 8.0 (8 kWh)
- Battery-Box LVS 12.0 (12 kWh)
- Battery-Box LVS 16.0 (16 kWh)
- Battery-Box LVS 20.0 (20 kWh - single tower only)
- Battery-Box LVS 24.0 (24 kWh - single tower only)

Connect up to 16 Battery-Box LVS 16.0 in parallel for a maximum size of 256 kWh. Ability to scale by adding LVS modules or parallel towers of 1 to 4 modules later.



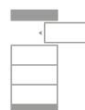
FLEXIBLE, EFFICIENT, SIMPLE



Internal Plug Connection
No Additional Wiring Required



4 - 256 kWh
Tailored Sizing for Each Application









Extend Anytime
Easily Adapts to New Requirements



High Power
Power for Every Application



TECHNICAL PARAMETERS **PREMIUM LVS**

						
	LVS 4.0	LVS 8.0	LVS 12.0	LVS 16.0	LVS 20.0	LVS 24.0
Battery Module	LVS (4 kWh, 51.2 V, 45 kg)					
Number of Modules	1	2	3	4	5	6
Usable Energy [1]	4 kWh	8 kWh	12 kWh	16 kWh	20 kWh	24 kWh
Max Cont. Output Current [2]	65 A	130 A	195 A	250 A	250 A	250 A
Peak Output Current [2]	90 A, 5 s	180 A, 5 s	270 A, 5 s	360 A, 5 s	360 A, 5 s	360 A, 5 s
Dimensions (H/W/D)	528 x 650 x 298 mm	761 x 650 x 298 mm	994 x 650 x 298 mm	1227 x 650 x 298 mm	1460 x 650 x 298 mm	1693 x 650 x 298 mm
Weight	64 kg	109 kg	154 kg	199 kg	244 kg	289 kg
Nominal Voltage	51.2 V					
Operating Voltage	40-57.6 V					
Operating Temperature	-10 °C to +50°C					
Battery Cell Technology	Lithium Iron Phosphate (cobalt-free)					
Communication	CAN / RS485					
Enclosure Protection Rating	IP55					
Round-Trip Efficiency	≥95%					
Scalability [3]	Max. 64 Modules in Parallel (256 kWh)				Single Tower Only	
Certification	VDE2510-50 / IEC62619 / CE / CEC / UN38.3					
Applications	ON Grid / ON Grid + Backup / OFF Grid					
Warranty [4]	10 Years					
Compatible Inverters	Refer to BYD Battery-Box Premium LVS Minimum Configuration List					

[1] DC Usable Energy, Test conditions: 100% DOD, 0.2C charge & discharge at + 25 °C. System Usable Energy may vary with different inverter brands
 [2] Charge derating will occur between -10 °C and +5 °C
 [3] Parallel tower function only available for 1 to 4 battery modules per tower. LVS 20.0 and LVS 24.0 can only be used as a single tower.
 [4] Conditions apply. Refer to BYD Battery-Box Premium Limited Warranty Letter.



BYD Company Limited
www.bydbatterybox.com
 Global Sales: batteryboxgrp@byd.com
 Global Service: bboxservice@byd.com

Battery-Box EU Service Partner
 EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de
info@eft-systems.de

Battery-Box AU Service Partner
 Alps Power Pty Ltd
www.alppower.com.au
service@alppower.com.au

Battery-Box US Service Partner
 EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de/us
USservice@eft-systems.de

V2.1



Liite 4: Senwei SWT5-5.6



● Technical Data

Rotor Diameter (m)	5.6
Blade Material / Quantity	RTM GRP / 3
Rated Power (W)	5000
Rated Wind Speed (m/s)	10.5
Startup Wind Speed (m/s)	3
Working Wind Speed (m/s)	3-25
Security Wind Speed (m/s)	59.5
Rated Rotation Speed (r/min)	240
Working Voltage	DC240V
System Output Voltage	AC220V
Weight of Turbine (kg)	340
Generator Type	3 Phase AC PM
Rotation Speed Regulation	Variable Blade Pitch
Brake System	Negative Angel Blade Pitch + Electromagnetic Brake
Operating Temperature	-10° C — +40° C
Extreme Temperature	-20° C / +50° C
Design Lifetime	20 years

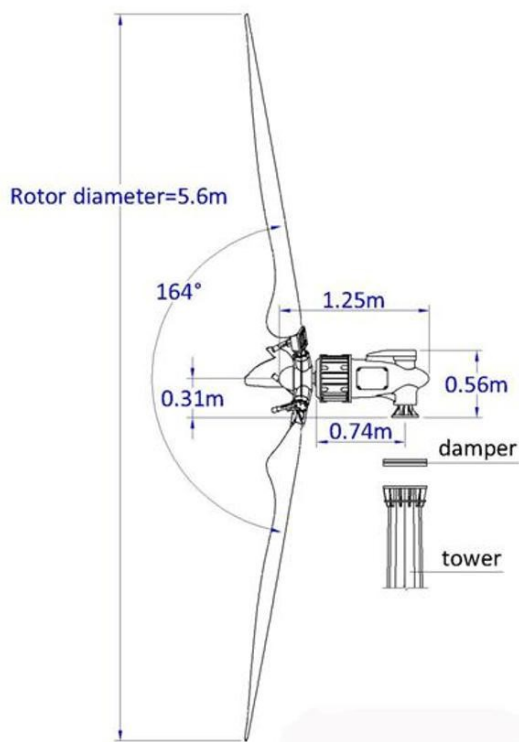
Tel: 86-577-68206018 68206016
 Fax: 86-577-68206017
 Address: 10th ZhanBei Road, Ping Ta Industrial Estate WenZhou City, ZheJiang Province Of China
 Zip code: 325800
 Website: <https://www.windpowercn.com>
 E-mail: sales@windpowercn.com



● **Product Characteristics**

- Rotation speed controlled by centrifugal force with passive variable pitch mechanism.
- Power curve optimized by two-stage springs to balance pitch driving force.
- No tailvane, down-wind design with electricity transmitted by collecting ring.
- 3-phase direct drive permanent magnet generator with maintenance free.
- All surfaces sealed with turbine outer parts pot galvanized, antirust.
- Quick installation and easy operating.
- Compact structure with streamline and nice appearance.
- Running stability and safety with 15 years lifetime, easy maintenance.

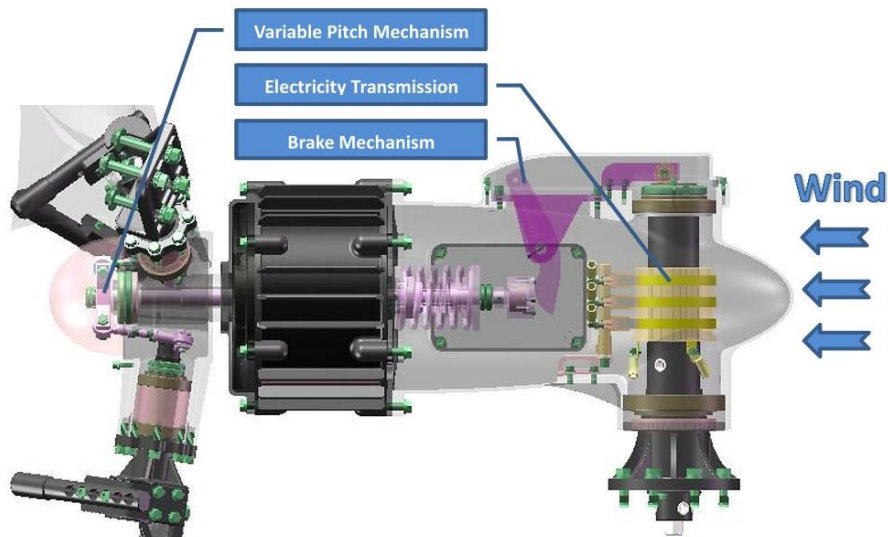
● **Structure Dimentions**



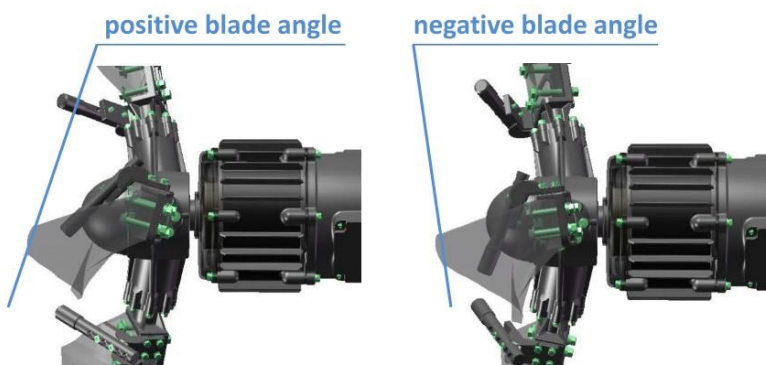
Tel: 86-577-68206018 68206016
Fax: 86-577-68206017
Address: 10th ZhanBei Road, Ping Ta Industrial Estate Wenzhou City, ZheJiang Province Of China
Zip code: 325800
Website: <https://www.windpowercn.com>
E-mail: sales@windpowercn.com



● Functional Units



● Variable Pitch Mechanism



Blade angle is positive 15 degree as factory setting at which the turbine is easy to start spinning. After the turbine getting running ,the angle of blades turns to 0 degree quickly, and the blade acts at its most efficient point (one spring acts). It outputs 5kW electrical power at 10.5m/s wind speed with 240 rpm rotor rotation speed. If the wind speed increases,the blade is forced to turn towards negative angle by centrifugal hammers to limit rotation speed (two springs act). The springs balance the blades angle and rotation speed while regulating power generating.

Tel: 86-577-68206018 68206016

Fax: 86-577-68206017

Address: 10th ZhanBei Road,Ping Ta Industrial Estate Wenzhou City,ZheJiang Province Of China

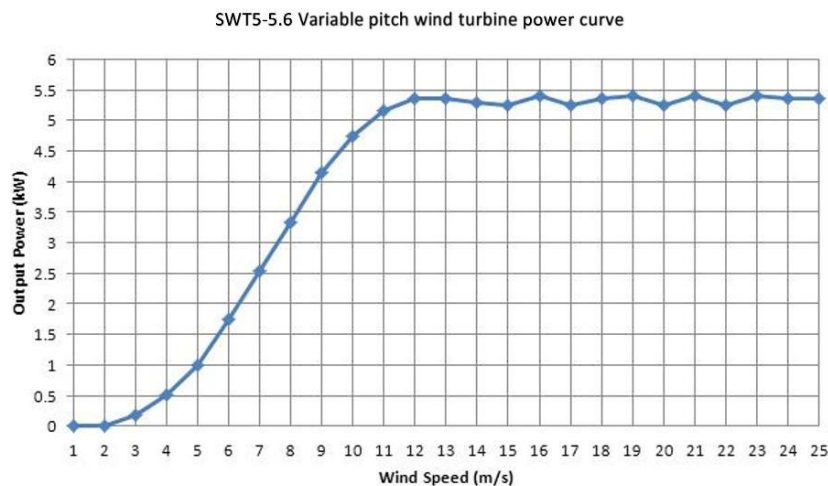
Zip code: 325800

Website: <https://www.windpowercn.com>

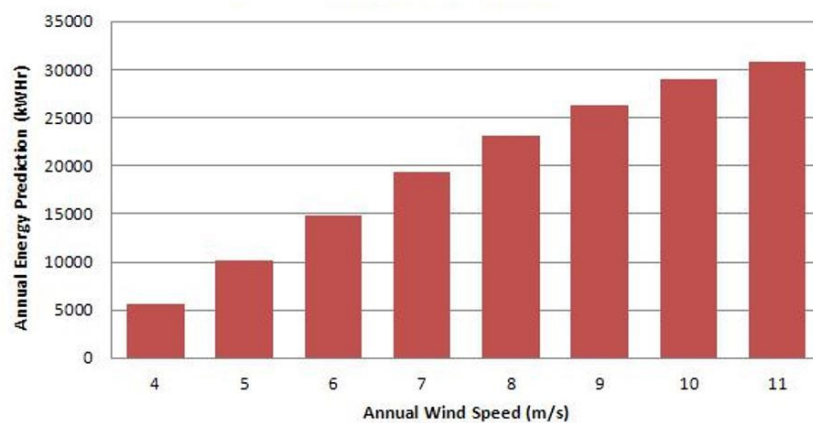
E-mail: sales@windpowercn.com



● Power Curve




● AEP (Annual Energy Prediction)



Liite 5: Kontrolleri/dumbload/invertteri, tekniset tiedot

TECHNICAL SPECIFICATION: (build-in controller/dump-load/inverter with one unit)

MODEL	WGI -10KW-BI (3-phase)	WGI -30KW-BI (3-phase)
Picture		
Max. AC Input Power	10KWp	30KWp
Rate. AC Input Voltage	0-640Vac from wind turbine , 380Vac (star-up voltage: 60Vac=80VDC)	
Input Voltage Range(V)	80~600Vac (cut-in voltage, 80V as default, settable)	
Efficiency (Max)	$\eta_{max} > 95\%$	
Europe Efficiency (Max)	$\eta_{max} > 94\%$	
Max. input current	15.0A	46A
Nominal AC Output Power	10.0KW	30.0KW
Maximum AC Output Power	12.5Kw	33.0KW
Operating Range Utility Voltage	310 – 450 V AC	
Operating Range Utility Frequency	49 – 51 Hz, 59 – 61 Hz	
power factor	≥ 0.99	
Total Harmonic Distortion(THD)	THDAC<3%	
Configuration	Input and output is isolation with transformer,32 power points settable	
Utility monitoring	Islanding protection VAC; fAC in accordance with UL 1741, IEEE929, G83/1, AS 4777	
Short circuit protection	Current controlled, Fuse	
Communication Interfaces	RS485	
zero power consumption at night	<1W	
electrical insulation properties	1500Vac, 1 minute	
operation surroundings temperature	-25~+60°C	
operation surroundings humidity	0~95%,no dew	
Safety	Short circuit protection Protection、Islanding Protection、 Over Heat protection、Over Load Protection、 Grounding Fault Protection	
EMC	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007	
noisy (horizontal distance 1m)	<40dB	
Ingress Protection Waterproof Class	IP65	
size(W×L×Hmm)	784×514×265mm (controller) 520×550×430mm (dump-load)	1650*980*410mm controller 1700*1100*500mm dump-load
Grid Interference	EN61000-3-2	
Weight (Kg)	62kg (controller) 45kg (dump-load)	230kg (controller) 255kg (dump-load)
Warranty	5 years	
Price (USD) FOB Shanghai	\$2810	\$8820
We can adjust the configurations and parameters according to customers' requirement.		

SENWEI ENERGY TECHNOLOGIES CO.,LTD

Add: Longgang City wenzhou city,Zhejiang province of China.

Site: www.windpowercn.com Whatsapp:+86-15805772441 Wechat/Mob:+86-18806776641