



Pientuulivoiman mahdollisuudet kunnallisten palvelurakennusten yhteydessä

LOPPURAPORTTI 27.11.2020

Sauli Miettinen, Laura Ylimäki, Tuukka Rautiainen
Gaia Consulting Oy

Sisältö

1. Johdanto

- 1.1 Tausta ja tavoitteet
- 1.2 Pientuulivoimalat
- 1.3 Käytetyt käsitteet

2. Pientuulivoiman markkinat ja teknologinen suorituskyky

- 2.1 Pientuulivoiman markkinakehitys
- 2.2 Pientuulivoiman soveltuvuus ja käyttökohteet
- 2.3 Pientuulivoiman teknologinen suorituskyky
- 2.4 Pientuulivoimalat rakennusten katoilla
- 2.5 Pientuulivoimalat omilla perustuksilla

3. Kustannukset ja taloudellisuus

- 3.1 Tyypillinen pientuulivoimala
- 3.2 Tyypillinen pientuulivoimala eri sijoituspaikoissa
- 3.3 Vertailukohteet: aurinkosähkö ja verkkosähkö
- 3.4 Eri tuotanto- ja hankintamuotojen kustannusten vertailu
- 3.6 Pienemmän ja suuremman pientuulivoimalan vertailu
- 3.7 Investoinnin takaisinmaksuaika

4. Mahdollisuudet ja uhat

- 4.1 Pientuulivoimalan uhat
- 4.2 Luvitus
- 4.3 Pientuulivoiman kehitysnäkymät

5. Yhteenveto

Liite 1: Pientuulivoimalla tuotetun sähkön hinnan herkkyytstarkastelut

Liite 2: Pientuulivoimaloiden toimittajia Suomessa

Liite 3: Lähteet ja linkit



1.1 Tausta ja tavoite

- Energiateknologioiden kehitysvauhti on tällä hetkellä nopeampaa kuin koskaan aiemmin. Uudet teknologiat haastavat perinteiset teknologiat niin sähkön kuin lämmön tuotannossa sekä liikenteessä ja teollisuuden prosesseissa.
- Tuulivoiman tuotannossa on viime aikoina keskitytty MW-kokoluokan turbiineihin, joissa kehitys on ollut merkittävää. Pientuulivoimaratkaisut ovat jääneet vähäisemmälle huomiolle, kun kiinteistökohtainen sähköntuotanto on keskittynyt aurinkosähköön sen nopean hintakehityksen johdosta.
- Tämän selvityksen tavoitteena on arvioida pientuulivoiman mahdollisuuksia kunnallisten palvelurakennusten yhteydessä.



Erlaisia pientuulivoimaloita.

1.2 Pientuulivoimalat

Kokoluokka



Pientuulivoimaloiksi kutsutaan yleisesti nimellisteholtaan alle 50 kW voimaloita*.

Pientuulivoimalan lavan pituus on yleensä alle 8 metriä eli roottorin halkaisija on alle 16 metriä.

Pientuulivoimaloita voidaan asentaa suoraan katolle tai oman maston varaan tyypillisesti korkeintaan 40 metrin korkeuteen.

Käyttökohteet



Pientuulivoimaloita käytetään usein akkujen lataamiseen tai veden lämmitykseen sähköverkon ulkopuolisissa kohteissa, kuten kesämökeillä.

Suurempia pientuulivoimaloita käytetään myös sähköverkkoon liitettynä.

*) Vrt. Teollisessa tuulivoimatuotannossa käytettyjen voimaloiden nimellisteho on pääasiassa 4 – 5 MW (eli noin 100 kertaa pientuulivoimalan teho), roottorin halkaisija vaihtelee välillä 130 – 160 m ja tornin korkeus 140 – 175 metrin välillä.

Lähde: 1. Tuulivoimayhdistys]

1.3 Käytetyt käsitteet

Käsitteen selitys

Huipunkäyttöaika – Kuvaa aikaa joka voimalalta kuluisi vuodessa tuotetun energian tuottamiseen, mikäli voimala toimisi koko ajan nimellistehollaan.

Keskimääräinen teho – tuotettu energia siihen kulunutta aikaa kohden, esimerkiksi vuoden aikana.

LCOE (Levelized Cost of Energy) - elinkaaren ajalta laskettu tuotantokustannus. Kuvaa voimalan käyttöä aikana tuotetun energian keskimääräistä kustannusta nykyarvossa laskettuna

Nimellisteho – suurin laitteelle suunniteltu teho. Yleensä pientuulivoimalan valmistajan laitteelle ilmoittama teho.

Roottorin halkaisija – roottorin pyörivien lapojen (eli siipien) kärkien liikeradan läpimitta. Roottoria voidaan kutsua myös turbiiniksi.

Takaisinmaksuaika – aika joka vaaditaan siihen että investoinnin tuotot tai sen tuottamat säästöt saavuttavat sen kokonaisinvestointikustannukset.

€/MWh – euroa per megawattitunti. Kertoo kustannuksen tai hinnan tuotettua sähköä kohden.

Esimerkki

1kW voimalan vuosituotanto on 1 000 kWh. Tällöin voimalan huipunkäyttöaika on $1\,000\text{kWh}/1\text{kW} = 1\,000\text{h}$.

Voimalan vuosituotanto on 1 000 kWh. Tällöin voimalan keskimääräinen teho on $1\,000\text{kWh} / 8760\text{h} \approx 0,11\text{ kW}$. Pientuulivoimaloilla keskimääräinen teho on tyypillisesti noin 10-15% nimellistehosta.

Puhuttaessa esimerkiksi 1 kW pientuulivoimalasta on kyse pientuulivoimalasta jonka nimellisteho on 1 kW.

Jos 15 000 euron investointi tuo vuosittain tasaisen 1 000 euron tuoton, tällöin kumulatiiviset tuotot saavuttavat investointikustannuksen 15 vuodessa.

Pientuulivoimalla tuotetun sähkön hinta on noin €/MWh

2. Pientuulivoiman markkinat ja teknologinen suorituskyky

2.1 Pientuulivoiman markkinakehitys

Myyntimäärät

Globaalisti pientuulivoiman markkinan on ennustettu kasvavan yli 10 % vuositaitia lähivuosina,² mutta kehitys ei ole vastannut ennustetta:

- Vuonna 2018 pientuulivoiman uuden kapasiteetin asentaminen laski selvästi globaalisti.³
- Yhdysvalloissa uuden pientuulivoiman rakentaminen on hidastunut merkittävästi aurinkoenergian kasvun vuoksi⁴. Vuonna 2018 myynti oli noin 2 700 pientuulivoimalaa, joiden yhteisteho oli 1,5 MW. Samana vuonna aurinkovoimaa asennettiin asuinrakennuksiin 2 500 MW⁵.

Suomessa pientuulivoimaloita myydään arviolta noin 1 000 kpl vuodessa, joista merkittävä osa on tilauksia ulkomaisista nettikaupoista.⁶

- Suomessa pientuulivoimaloiden kysyntä on ollut melko vähäistä johtuen aurinkosähköön verrattuna korkeista kustannuksista ja huoltotarpeesta sekä heikoista tuuliolosuhteista sisämaassa⁷. Esimerkiksi Finnwind Oy:n pientuulivoimalatoimitukset olivat laskussa vuonna 2017.

Kustannuskehitys

Pientuulivoimalan kustannusten ei oleteta merkittävästi laskevan.

Teollisen mittakaavan tuulivoiman hinnat sen sijaan laskevat, johtuen osittain rottorien koon kasvun tuomasta mittakaavaedusta. Teollisen kokoluokan tuulivoimalan investointikustannus suhteessa nimellistehoon pienenee nimellistehon kasvaessa⁸. Pientuulivoiman rottorien koot eivät kasva, joten myöskään tuotetun sähkön hinta ei tule laskemaan kuten teollisen mittakaavan tuulivoimalla.⁹

Markkinasegmentit

Pientuulivoimalat asennetaan Suomessa tyypillisesti hybridiratkaisuna eli yhdessä aurinkopaneelien kanssa ja akkujen lataamiseen kohteissa, jotka ovat sähköverkon ulkopuolella. Ajurina on energiaomavaraisuus eikä sähköverkkoa halvempi energia.

- Lisäksi sähköverkkoon liitettävillä pientuulivoimaloilla on jonkin verran kysyntää.

2.2 Pientuulivoiman soveltuvuus ja käyttökohteet

Nyrkkisääntönä kannattava pientuulivoima vaatii vähintään 5 m/s keskituulennopeuden.

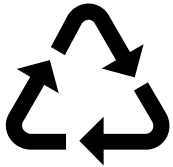
- Aukeilla paikoilla meren läheisyydessä pientuulivoimalla on erinomaiset tuuliolosuhteet.
- Sisämaassa aukeilla alueilla ja mäkien päällä on melko hyvät tuuliolosuhteet. 5 m/s keskimääräinen tuulennopeus saavutetaan yleensä vain hyvin laajoilla aukeilla alueilla tai muuten vähintään noin 50 metrin korkeudella maasta.
- Ympäröivät rakennukset heikentävät tuuliolosuhteita, jonka vuoksi kaupungissa pientuulivoimalan mahdollisuudet ovat yleisesti huonommat.

Pientuulivoima on hyvä vaihtoehto erityisesti sähköverkon ulkopuolisiin kohteisiin, esimerkiksi aurinkovoiman lisänä.



Maston päässä oleva pientuulivoimala yhdessä aurinkopaneelin kanssa.
<https://pixabay.com/photos/air-battery-blade-breeze-charge-1238449/>

2.3 Pientuulivoiman teknologinen suorituskyky



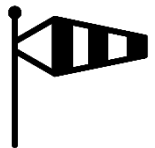
Voimalan tyypillinen **elinikä on noin 10-20 vuotta**.

Huoltotarve vaihtelee malleittain. Toiset mallit ovat käytännössä huoltovapaita ja toiset vaativat pieniä toimenpiteitä, kuten öljyämistä, noin 1-2 kertaa vuodessa.



Pientuulivoimaloiden **teho vaihtelee muutamasta sadasta watista 50 kilowattiin**.

Verkkoon liitettyjen voimaloiden teho on yleensä 2 kW tai enemmän. 2 kW:n voimalan roottori on halkaisijaltaan noin 4m¹⁰.



Pientuulivoimalan **tyypillinen keskimääräinen teho Suomessa on noin 10-15 % nimellistehosta***.¹¹ Tällöin esimerkiksi 2 kW voimala tuottaa vuodessa noin 1 700 – 2 600 kWh, vastaten noin kahden hengen kerrostalokodin kulutusta. Tämä tyypillinen keskimääräinen teho vastaa sisämaassa lähes optimaaliselle paikalle asennetun pientuulivoimalan tuotantoa.

Optimaalinen paikka tarkoittaa aukeaa paikkaa, jossa keskituulennopeus on vähintään 5 m/s. Voimala voidaan sijoittaa jopa muutaman sadan metrin päähän käyttöpaikasta ilman merkittäviä siirtohäviöitä.

Pientuulivoiman **tuotanto on erittäin voimakkaasti riippuvainen sijaintipaikan tuuliolosuhteista**, ja siten myös paikan korkeudesta¹². Pienillä (n. 1-3 m/s) tuulen nopeuksilla pientuulivoimala ei tuota lainkaan sähköä.

*) Pientuulivoimaloiden keskimääräinen teho vaihtelee jopa välillä 2 – 36 % nimellistehosta¹³, kun taas teollisilla tuulivoimaloilla (4-5MW) keskiteho on tyypillisesti yli 30 %, merellä jopa yli 50 % nimellistehosta¹⁴.

10. Kiwatti Oy 11. Kim Blomqvist, Karelia Ammattikorkeakoulu 2016 12. Petri Leppänen, Oulu University of Applied Sciences 2016

13. US Department of Energy 14. Wind Europe

2.4 Pientuulivoimalat rakennusten katoilla

Rakennusten katoilla sijoitetaan tyypillisesti pienempiä, noin 0,5 - 5 kW tuulivoimaloita. Näiden roottorin halkaisija on yleensä noin 1-6 metriä. Käytössä on sekä horisontaalisen että vertikaalisen akselin voimaloita. Horisontaalisen akselin voimalat usein kustannustehokkaampia, vertikaalisen akselin voimalat taas hiljaisempia ja esteettisempiä¹⁵

Voimalan sijoittaminen katolle voi säästää kustannuksia, kun perustuksia ja mastoa ei tarvitse rakentaa. Esimerkiksi kerrostalojen päällä tuuliolosuhteet voivat olla riittävät.

- Pienehkön voimalan asennuskustannukset katolle ovat pieniä. 4 kW:n voimalalle asennuskustannus on noin 1 000 euroa⁶ eli karkeasti 10% kustannuksista.
- Koko voimalan kustannus on tyypillisesti 1 000 € - 15 000 €. Kustannus on vahvasti riippuvainen pientuulivoimalan koosta.

Yhdelle katolle voi olla mahdollista asentaa useita voimaloita, mikäli ne eivät ole samalla linjalla tuulen kanssa.

- Omakotitalolle yksi voimala riittää tuottamaan merkittävän osan sähköstä
- Suurelle kiinteistölle, kuten koululle, yhden voimalan tuotto on usein vain joitakin prosentteja kulutuksesta.



Horisontaalinen pientuulivoimala

Kuva: <https://pixabay.com/photos/eco-friendly-energy-demand-energy-2232415/>



Vertikaalinen pientuulivoimala

Kuva: <https://pixabay.com/photos/savonius-rotor-vertical-wind-turbine-3084781/>

15. Klein Windkraftanlagen 6. Perustuu haastateltujen toimittajien arvioihin

2.5 Pientuulivoimalat omilla perustuksilla

Omilla perustuksilla seisovat tuulivoimalat rakennetaan suoraan maahan. Roottori on maston päässä. Perustuksille kaivetaan kuoppa maahan tai porataan reiät ankkureille kallioon.

Omilla perustuksilla seisovat pientuulivoimalat ovat yleensä horisontaalisen akselin ja pienissä määrin myös vertikaalisen akselin voimaloita. Niiden koko vaihtelee 1 kW ja 50 kW välillä.

Maston on oltava korkea, jotta se tavoittaa riittävän tuulen. Tuulen nopeus kasvaa selvästi korkeuden kasvaessa. Tyypillinen mastonkorkeus noin 5-40 metriä.

Ilmavirran pyörteisyyden välttämiseksi roottori tulisi olla noin 9 metriä korkeammalla kuin ympäröivät esteet 150 m säteellä, mikä heikentää ratkaisun sovellettavuutta kaupungeissa merkittävästi.

Horisontaalinen tuulivoimala vaatii tilaa vähintään yhden aarin ja turvallisuussyistä voimala sijoitetaan paikkaan, missä ei oleskele tai kulje ihmisiä.

Perustuksien ja asennuksen kustannukset riippuvat maaperästä ja voimalan koosta.

- Suuntaa antava kustannusarvio 10 kW:n voimalalla 4 000-5 000 euroa. Yli 20kW voimalalle perustus- ja asennuskustannus on usein selvästi enemmän⁶.
- Investoinnin kokonaiskustannus vahvasti riippuvainen voimalan koosta ja tehosta: 1 kW:n voimalan kustannus on tyypillisesti välillä 3 000 - 6 000€, 10 kW:n noin 20 000 - 60 000€.

6. Perustuu haastateltujen toimittajien arvioihin

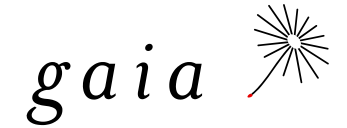


Pientuulivoimala mastolla

<https://pixabay.com/photos/wind-power-turbine-windmill-3106627/>

3. Kustannukset ja taloudellisuus

3.1 Tyypillinen pientuulivoimala



Tässä luvussa tarkastelemme tyypillisen pientuulivoimalan kustannuksia, sähkön tuotantomääriä sekä vertaamme pientuulivoimalla tuotetun sähkön hintaa aurinko- ja verkkosähkön hintaan.

Laskelmat on tehty 4 kW:n pientuulivoimalalle, sillä tämänkoinen tuulivoimala tuottaa sopivan määrän sähköä esimerkiksi päiväkotikiinteistölle, ja se pystytään asentamaan katolle. Lisäksi tämän kokoisia tuulivoimaloita toimitetaan Suomessa verkkoinvertterin kanssa, jolla se voidaan liittää rakennuksen sähköverkkoon¹⁷.

Yhden 4 kW pientuulivoimalan voidaan arvioida tuottavan noin 3 600 kWh vuodessa. Esimerkiksi uudehko, pinta-alaltaan 1 000 m² päiväkoti kuluttaa tyypillisesti noin 60 000 kWh sähköä vuodessa. Tällaisessa päiväkodissa 4 kW:n pientuulivoimala tuottaisi siis noin 6 % tarvittavasta sähköstä vuodessa. Useammalla voimalalla saadaan katettua suurempi osa kulutuksesta, mutta ajoittain tuotanto todennäköisesti ylittäisi kulutuksen eikä kaikkea tuotettua sähköä pystyittäisi kuluttamaan kiinteistössä.

3.2 Tyypillinen pientuulivoimala eri sijoituspaikoissa

Laskelmia varten on muodostettu kaksi skenaariota.

Perusskenaario: 4kW:n pientuulivoimala sijoitetaan sisämaahan tyypilliseen sijoituspaikkaan ja tuuliolosuhteisiin. Sijoituspaikka noin 10-20 m korkean rakennuksen katto tyypillisellä taajama-alueella, jossa ympäröivät rakennukset ovat hieman matalampia. Keskimääräinen tuulennopeus noin 3-4m/s.

Optimistinen skenaario: 4kW:n pientuulivoimala sijoitetaan sisämaassa lähes parhaisiin mahdollisiin olosuhteisiin. Pientuulivoimala on sijoitettu ympäröivää maastoa selvästi korkeamman, yli 20 m korkean rakennuksen katolle, tai laajalla aukealla alueella sijaitsevan rakennuksen katolle jossa keskimääräinen tuulennopeus lähes 5m/s.

	Nimellis-teho	Kustannusarvio, alkuinvestointi	Huolto-kustannukset	Voimalan elinikä	Keskimääräinen tuulennopeus	Huipunkäyttö-aika	Korkotaso	Arvioitu tuotanto
Perus-skenaario	4 kW	11 000 €	50 € / vuosi	15 vuotta	3-4 m/s	900 h/vuosi	5 %	3 600 kWh / vuosi
Optimistinen skenaario	4 kW	11 000 €	20 € / vuosi	20 vuotta	5 m/s	1 200 h/vuosi	3 %	4 800 kWh / vuosi

Arvio huoltokustannuksista ja eliniästä perustuu toimittajien haastatteluihin. Osa arvioi pientuulivoimalat käytännössä huoltovapaiksi, osa arveli niiden tarvitsevan ajoittain pieniä huoltotoimenpiteitä kuten öljyämistä. Arvio kustannuksista ja tuotosta perustuu Saaristotekniikka.com –verkkokaupan tuotteisiin, AirDolphin GTO-mallin lukuihin (lähde 18.) sekä opinnäytetyöhön pientuulivoimasta: (lähde 11.)

3.3 Vertailukohteet: aurinkosähkö ja verkkosähkö

Aurinkosähkö

Nimellisteho	Kustannusarvio, alkuinvestointi	Arvioitu tuotanto	Huoltokustannukset	Voimalan elinikä
10 kW	12 000 €	9 000 kWh / vuosi	100 € / vuosi	20 vuotta

Verrokiksi on valittu 10kW aurinkopaneelijärjestelmä, koska sen hinta vastaa 4kW tuulivoimalaa ja tämänkokoiset tuuli- ja aurinkovoimaratkaisut ovat tyypillisiä ja sopivia ratkaisuja esimerkiksi rakennuksien katoille. Aurinkopaneeli-investoinnissa skaalaetu on merkittävämpi kuin usean pientuulivoimalan asentamisessa, eli tätä pienemmän paneelijärjestelmän hinta tehoa kohden olisi selvästi korkeampi. Siten suurempi järjestelmä on järkevämpi valinta ja todennäköisempi vertailukohde.

Verkkosähkö

Energiamaksu	Sähkövero*	Sähkövero sis. alv	Siirtomaksu
40 €/MWh	22,53 €/MWh	27,94 €/MWh	30 €/MWh

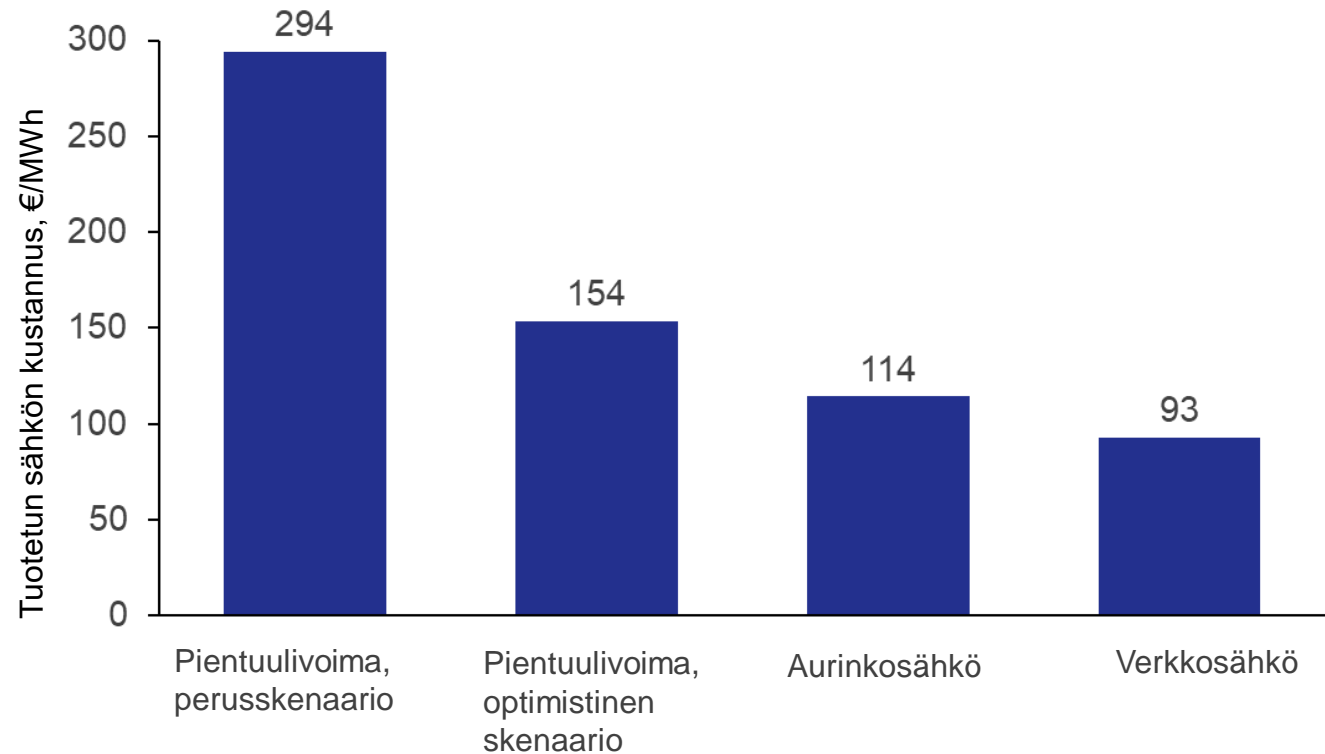
Pientuulivoimalla tuotetun sähkön hintaa verrataan samaan määrään verkosta ostettua sähköä. Laskelmassa ei ole huomioitu verkkosähkön käytön edellyttämiä investointeja esimerkiksi kaapeleihin ja liityntään, sillä nämä ovat käyttökohteeseen joka tapauksessa tarvittavia investointeja, pientuulivoiman tuottaessa vain osan kiinteistön sähköstä. Lisäksi näiden investointien elinikä on hyvin pitkä eikä merkittävästi lisää verkkosähkön kustannuksia.

* Sähköveroluokka 1. Tähän korkeampaan sähköveroluokkaan kuuluu mm. palvelutoiminta ja kaikki muu toiminta paitsi valmistavaa teollisuus, kaivostoiminta, louhinta tai ammattimainen kasvihuoneviljely. Lähteet: Aurinkosähkö: <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/> Verkkosähkö: Sipoon energia, Nord Pool. Sähkövero: <https://www.elenia.fi/sahko/sahkovero>

3.4 Eri tuotanto- ja hankintamuotojen kustannusten vertailu

Pientuulivoimalla tuotetun sähkön kustannus on 294 €/MWh perusskenaariossa eli pientuulivoimalan todennäköisessä asennuspaikassa ja tyypillisissä tuuliolosuhteissa. Se on selvästi aurinkosähköä (114 €/MWh) ja verkkosähköä (93 €/MWh) kalliimpi tapa tuottaa sähköä.

Optimistisessa skenaariossa eli silloin, kun pientuulivoimala voidaan asentaa erinomaiselle sijainnille ja erinomaiseen tuuliolosuhteisiin, pientuulivoimalla tuotetun sähkön kustannus on 154 €/MWh. Se on edelleen verrokkeja eli aurinkosähköä ja verkkosähköä kalliimpi ratkaisu.



Sähkön kustannus eri tuotanto- ja hankintamuodoilla

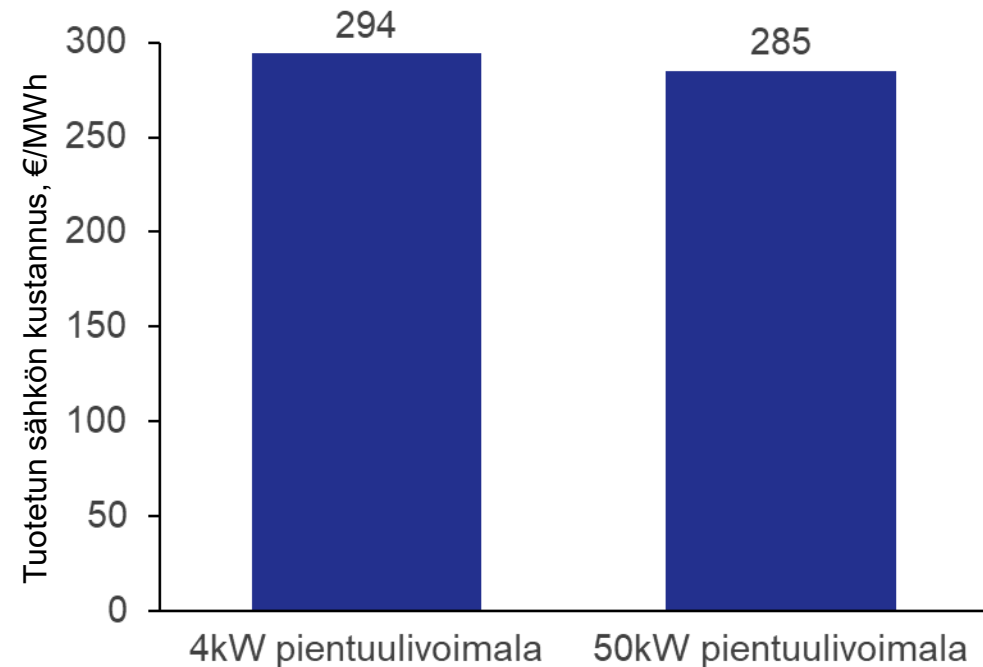
Nykykustannuksilla pientuulivoimalla tuotettu sähkö on selvästi aurinkosähköä ja verkkosähköä kalliimpaa, myös pientuulivoimalle optimaalisissa olosuhteissa.

3.6 Pienemmän ja suuremman pientuulivoimalan vertailu

Suuremman pientuulivoimalan tuottaman sähkön kustannukset eivät ole yleensä merkittävästi matalampia kuin pienemmän voimalan.

Pientuulivoimalan investointikustannus riippuu voimakkaasti sen koosta. Korkea masto parantaa sähköntuotantoa, mutta on myös kallis.

Mallikohtaiset erot esimerkiksi hankintakustannuksissa vaikuttavat tuotetun sähkön kustannukseen usein enemmän kuin pientuulivoimalan koko.



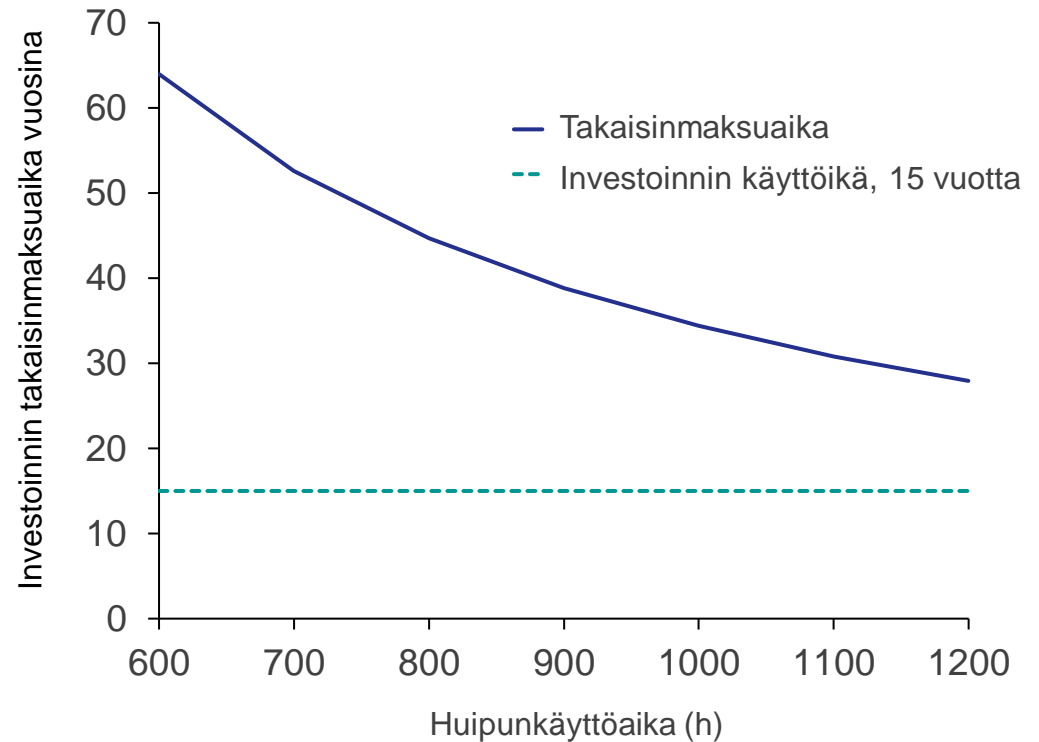
Pienemmän ja suuremman pientuulivoimalan tuottaman sähkön kustannuksen vertailu

Ero tuotetun sähkön kustannuksessa pienen ja suuren pientuulivoimalan välillä on yleensä pieni.

3.7 Investoinnin takaisinmaksuaika

Todennäköisillä kustannuksilla ja tuotantomäärillä (eli kuten esitetty perusskenaario) pientuulivoimalainvestoinnin takaisinmaksuaika on pidempi kuin voimalan käyttöikä.

Huipunkäyttöaika kuvaa tuuliolosuhteita. Erinomaisilla tuuliolosuhteilla huipunkäyttöaika voi olla jopa 1200 h. Tällöinkin tuulivoimalan takaisinmaksuaika on sen käyttöikää pidempi.



Kuvaaja pientuulivoimalan takaisinmaksuajasta riippuen huipunkäyttöajasta

Investoinnin takaisinmaksuaika on sen käyttöikää pidempi. Laskennan parametreinä käytetty Perusskenaarion lukuja.

4. Mahdollisuudet ja uhat

4.1 Pientuulivoimalan uhat

Uhat ihmisille

Ei voida turvallisesti sijoittaa paikkaan minkä välittömässä läheisyydessä oleskelee ihmisiä. Vaarana on esimerkiksi putoava jää.

Tuulivoimalan potkurit tuottavat suhinaa, joka tosin yleensä sekoittuu tuulen ääneen. Suuren rakennuksen katolla meluhaittoja tuskin ilmenee.

Uhat ympäristölle

Linnut törmäävät pientuulivoimalaan vain hyvin harvoin.

Tuulivoimalaan kohdistuvat uhat

Myrskyt voivat aiheuttaa vahinkoja tuulivoimalalle. Useimmat ratkaisut kuitenkin kestävät myrskyjä hyvin.

Linnun törmäys voi rikkoa pienen roottorin.

Pientuulivoiman aiheuttamat ja siihen kohdistuvat uhat ovat pääsääntöisesti pieniä. Merkittävin sijoituspaikkaa määrittävä tekijä ovat tuuliolosuhteet, sillä tuottaakseen sähkö pientuulivoima tarvitsee tuulisuudeltaan hyvän sijoituspaikan.

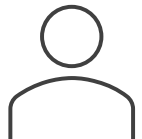
4.2 Luvitus



Riippuen maston korkeudesta ja sijoituspaikasta, kaavoitusalueella tuulivoimala yleensä edellyttää rakennusluvan tai toimenpideluvan¹⁹. Kaava-alueen ulkopuolella edellytetään yleensä vain toimenpidelupa.



Koko Sipoon kunnassa edellytetään pelkästään toimenpidelupa alle 15 m ja alle 15 kW tuulivoimaloille.



Lupien hakemisen prosessi on tekijä, joka vähentää pientuulivoiman suosiota verrattuna aurinkosähköön.

- Lupakäytännöt ovat kuntien vastuulla. Tällä hetkellä ei ole valtion asetusta.
- Sipoon kunnassa alle 5m² aurinkopaneeleille asennettuna muualle kuin julkisivulle ei vaadita lupaa, suuremmalle vaaditaan toimenpidelupa.

4.3 Pientuulivoiman kehitysnäkymät

Pientuulivoimaloiden toimintaperiaatteessa ei ole näkyvissä suuria kehitysaskelia.

Roottorien muotoa ja lapojen aerodynamiikkaa kehitetään jatkuvasti, joka voi mahdollistaa usean kymmenen prosentin parannuksen hyötysuhteessa²⁰.

- Tuotto pienissä tuulenopeuksissa (<5m/s) on silti matala
- Kustannukset ja taloudellinen arviointi -osiossa oletuksena on muuttumaton hinta. Kehittyneempien ratkaisujen hinta voi kuitenkin olla korkeampi.

Vertikaalisen akselin tuulivoimaloiden energiantuotannon odotetaan kehittyvän, mutta se on vielä selvästi heikompi kuin horisontaalisten⁶.

Toimittajien näkemyksien mukaan hinnoissa ei ole odotettavissa suuria muutoksia lähiaikoina.



Vertikaalinen pientuulivoimala
<https://pixabay.com/photos/turbine-wind-energy-sky-generator-3554237/>

20. Perustuu valmistajien antamiin tietoihin 6. Haastateltujen toimittajien näkemys

5. Yhteenveto



Pientuulivoimaloita on hyvin saatavilla, ja toimittajia on useita. Pientuulivoimalat ovat teknologialtaan kypsiä ja pääosin toimintavarmoja.



Kustannuksiltaan pientuulivoima on sisämaassa pääsääntöisesti selvästi kalliimpaa kuin verkkosähkö tai aurinkosähkö. Pientuulivoiman kustannusten ei odoteta merkittävästi alenevan lähitulevaisuudessa.



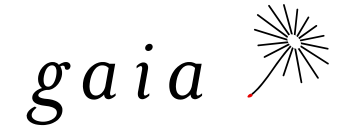
Pientuulivoimalat ovat soveltuvia ratkaisuja erityisesti sähköverkon ulkopuolisiin kohteisiin, esimerkiksi rannikolla ja saaristossa, jossa tuuliolosuhteet ovat hyvät.



Pientuulivoimalla tuotettu sähkö lisää uusiutuvan, päästöttömän sähkön määrää ja on siten ilmastoteko. Kustannustehokkuuden näkökulmasta aurinkosähkö on verkkoalueella kannattavampaa.

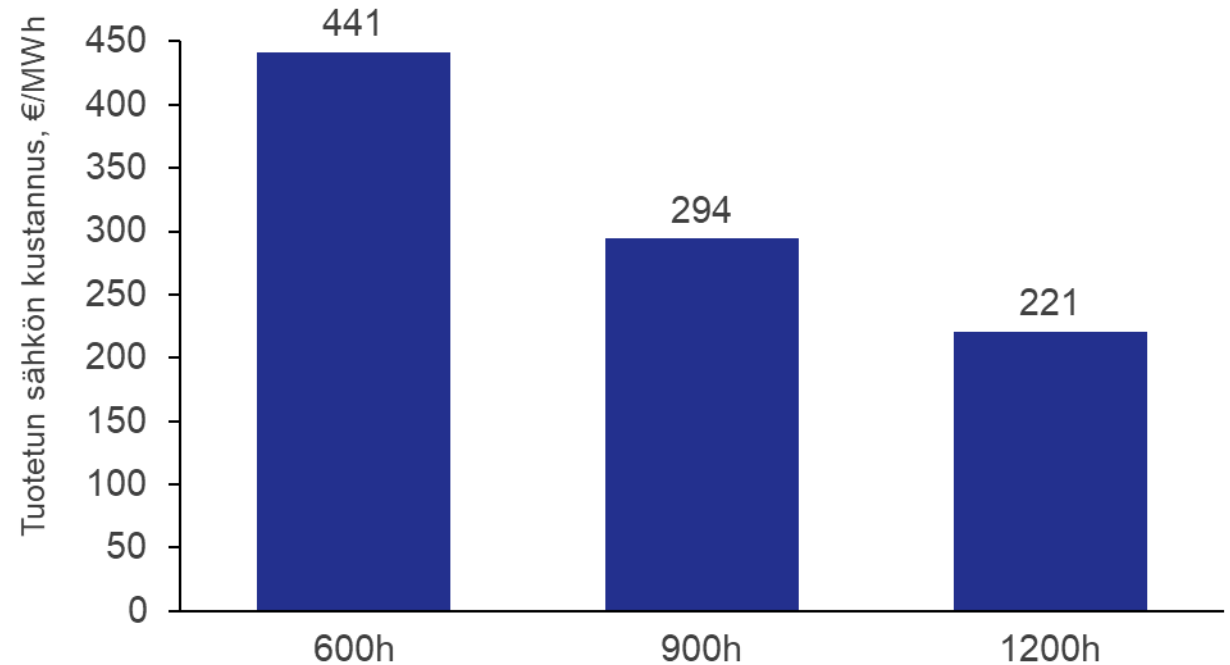
Liite 1. Pientuulivoimalla tuotetun sähkön hinnan herkkyystarkastelut

Pientuulivoimasähkön kustannus eri tuuliolosuhteissa



Pientuulivoimalan tuottaman sähkön määrä on riippuvainen tuuliolosuhteista. Paremmissa tuuliolosuhteissa pientuulivoimala on toiminnassa enemmän eli voimalan käyttöaika on suurempi, ja se tuottaa enemmän sähköä. Kun tuuliolosuhteet ovat hyvät, ja tuulivoimala tuottaa paljon sähköä, on sähkön kustannus pieni, sillä samoilla kiinteillä kustannuksilla (investointi, perustukset) saadaan tuotettua paljon sähköä. Kun taas tuuliolosuhteet ovat heikot, voimala tuottaa vain vähän sähköä, sähkön kustannus on suuri, sillä samoilla kiinteillä kustannuksilla voidaan tuottaa vain vähän sähköä.

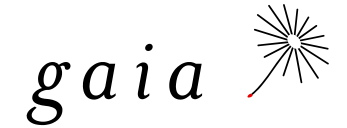
Huipunkäyttöaika on laskennallinen termi ja kuvaa sitä aikaa, jonka tuulivoimala olisi pyörinyt vuoden aikana täydellä teholla eli kuinka suuri osa ajasta olisi ollut erinomaista käyttöaika. Huipunkäyttöaika käytetään kuvaamaan tuuliolosuhteita: 1 200 tunnin huipunkäyttöajan saavuttaminen vaatii sisämaassa erittäin hyvät tuuliolosuhteet. 900 tunnin saavuttaminen on realistista kohtalaisen hyvässä sijoituspaikassa (perusskenaario), 600 tunnin huipunkäyttöaika taas vastaa sijoitusta matalalle tai esteiden lähelle.



Pientuulivoiman tuottaman sähkön kustannus (LCOE) eri huipunkäyttöajoilla.

Huipunkäyttöaika lukuun ottamatta käytetyt parametrit samoja kuin perusskenaariossa.

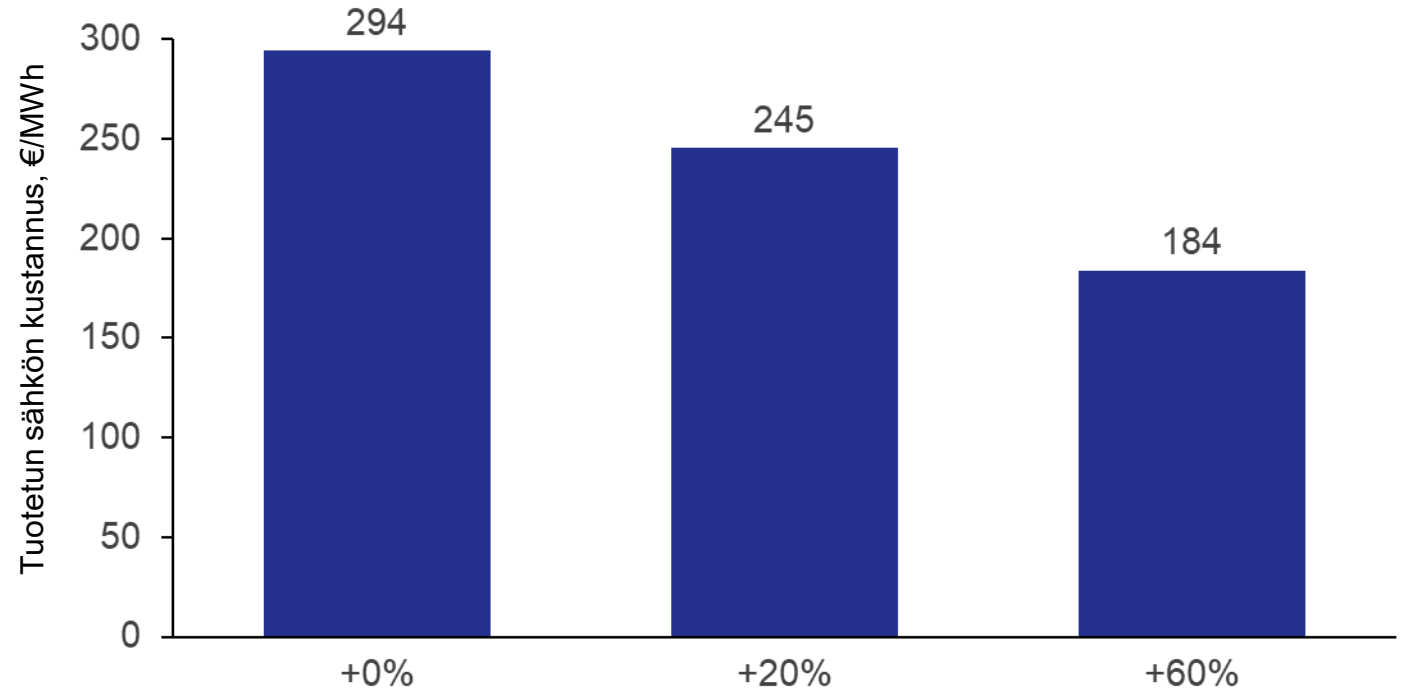
Pientuulivoimasähkön kustannus teknologian kehittyessä



Pientuulivoimaloiden teknologian kehittyessä niiden hyötysuhteen odotetaan parantuvan. Tämä hyötysuhde on riippuvainen voimalan mallista, eikä esimerkiksi sijoituspaikasta.

Hyötysuhde kuvaa kuinka suuren osan tuulen liike-energiasta voimala pystyy hyödyntämään. Parempi hyötysuhde tarkoittaa, että tuulivoimala tuottaa enemmän sähköä samoissa tuuliolosuhteissa.

Hyötysuhteen parantuminen lisää sähköntuotantoa ja siten laskee kustannuksia tuotetun sähkön määrään nähden.



Pientuulivoimasähkön kustannus eri skenaarioilla hyötysuhteen kehityksestä

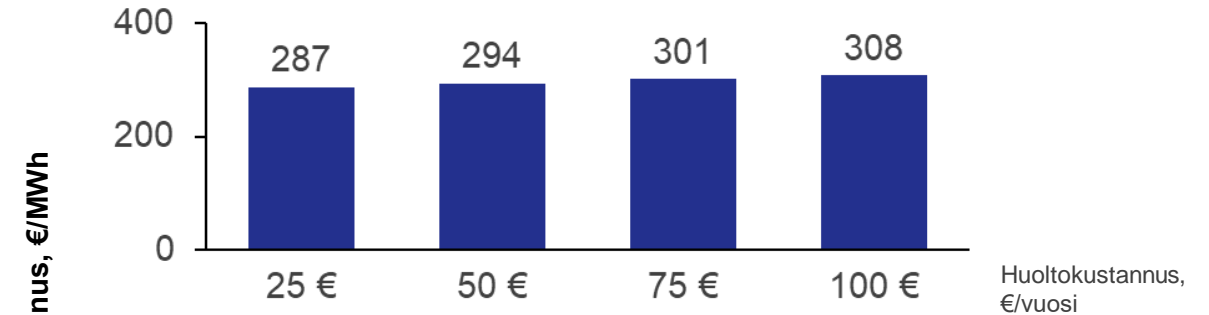
+0% kuvaa hyötysuhdetta nykytilanteessa. Tällä hetkellä hyötysuhde on tyypillisesti noin 30% riippuen voimalan mallista²¹. Hyötysuhteen muuttumista lukuun ottamatta käytetyt laskentaoletukset ovat samoja kuin perusskenaariossa.

Pientuulivoimasähkön kustannus eri huollon sekä asennuksen ja perustusten kustannuksilla

Pientuulivoiman tavalliset huoltokustannukset ovat pieniä, ja siten niiden vaikutus kannattavuuteen on pieni.

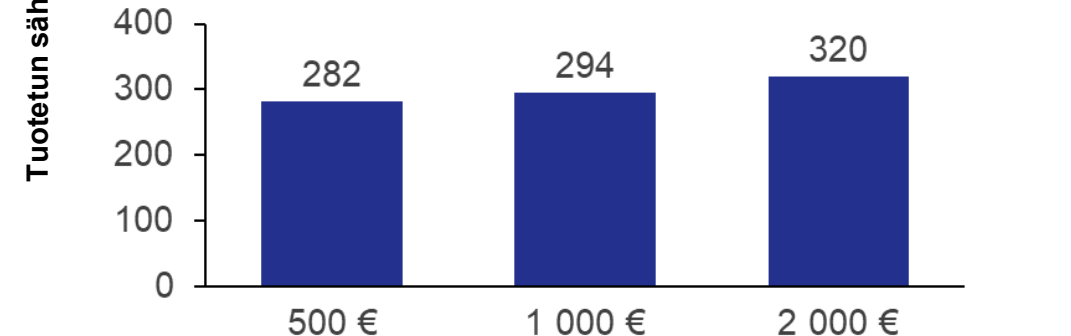
Toimittajien mukaan monet pientuulivoimalat ovat käytännössä huoltovapaita. Ajoittainen öljyäminen voi olla tarpeen malleissa joissa ei ole automaattista öljyämisominaisuutta.

Perustusten ja asennuksen kustannukset ovat yleensä 5-20 % kokonaiskustannuksista, joten vaihtelu niiden kustannuksissa vaikuttaa kokonaiskustannuksiin vain vähän. Arviot asennuskustannuksista sisältävät kaikki kustannukset ns. Avaimet käteen – periaatteella.



Pientuulivoimalan tuottaman sähköksen kustannus (LCOE) eri huoltokustannuksilla

Huoltokustannusten vaikutus tuotetun sähköksen kustannukseen on melko pieni.

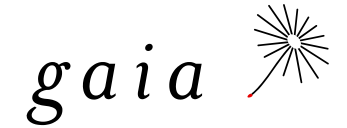


Pientuulivoiman tuottaman sähköksen kustannus (LCOE) eri asennuksen ja perustusten kustannuksilla

Asennusten ja perustusten vaikutus tuotetun sähköksen kustannukseen on myös melko pieni.

Laskennassa käytetty huolto- ja asennuskustannuksien vaihtamista lukuun ottamatta perusskenaarion oletuksia 4kW pientuulivoimalasta. Arviot huollon, asennuksen ja perustusten kustannuksista perustuvat toimittajien haastatteluihin.

Pientuulivoimaloiden toimittajia Suomessa



Gaian haastattelemat toimittajat:

Kiwatti Oy

- Toimittaa Virossa sekä Japanissa valmistettuja pientuulivoimaloita 1-50kW väliltä.

Suomenlahden Saaristopalvelut.com Oy

- Toimittaa useita erilaisia pientuulivoimaloita 0,3-4kW väliltä.

Muita toimittajia:

Oy Windside Production Ltd

- Valmistaa ja toimittaa vertikaalisen akselin pientuulivoimaloita noin 0,1-20kW väliltä.

Finnwind Oy

- Toimittaa akuston lataukseen tarkoitettuja 1,5kW pientuulivoimaloita.

Kodin vihreä energia OY

- Pieni toimija, toimittaa 1,5-10kW pientuulivoimaloita.

Lisäksi useat verkkokaupat toimittavat pieniä 0,1-0,5kW pientuulivoimaloita kotikäyttöön.

Lähteet ja linkit

1. Tuulivoimayhdistys: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/eri-voimalatyyppeja>
2. Energias Market Research: <https://www.energiasmarketresearch.com/global-small-wind-market-outlook/>
3. EVWind.es: <https://www.evwind.es/2020/07/05/wind-energy-expanded-19-in-2019-with-around-60-gw-of-new-capacity/75563>
4. US Department of Energy: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/08/f65/2018%20Distributed%20Wind%20Market%20Report.pdf>
5. Solar Energy Industries Association: <https://www.seia.org/solar-industry-research-data>
6. Gaian haastattelemien pientuulivoimaloiden toimittajien näkemys.
7. Tekniikka ja talous: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/pientuulivoimalat-eivat-yleisty-millaan-missa-vika/0eb1189d-5a26-3fd1-a4dc-554b0ca17814>
8. Soulouknga, M.H., Oyedepo, S.O., Doka, S.Y. et al. 2020. Evaluation of the cost of producing wind-generated electricity in Chad. Int J Energy Environ Eng 11, 275–287 (2020).
9. US Energy Market and Policy Group Report: https://emp.lbl.gov/sites/all/files/scaling_turbines.pdf
10. Kiwatti Oy, Tuge 2-pientuulivoimala.
11. Kim Blomqvist, Karelia Ammattikorkeakoulu 2016, opinnäytetyö: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104413/Opinnaytetyo_Kim%20Blomqvist.pdf?sequence=1&isAllowed=y
12. Petri Leppänen, Oulu University of Applied Sciences 2016, opinnäytetyö: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/115317/Leppanen_Petri.pdf?sequence=1&isAllowed=y
13. US Department of Energy: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/09/f55/2017-DWMR-091918-final.pdf>
14. Wind Europe: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>
15. Klein Windkraftanlagen: <https://www.klein-windkraftanlagen.com/horizontale-vertikale-windkraftanlage-bauart>
16. Utriainen R., 2013. Opinnäytetyö, Metropolia https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/62844/Paivakotirakennusten_energiatehokkuus.pdf;jsessionid=2F396D1113DEA5C2EDD106E2AEA240CA?sequence=1
17. Esimerkkituote, Saaristotekniikka.com: <https://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/348/230vac--4kw-tuulivoimala--verkkoinvertteri>
18. AirDolphin GTO –pientuulivoimala: <https://www.kiwatti.fi/wp-content/uploads/airdolphin-new-seriestelecom.pdf>
19. Finnwind: <https://finnwind.fi/pientuulivoimala/>, https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/ohjeet/Finnwind-Tuule-C-tuulivoimala.pdf
20. Perustuu valmistajien antamiin tietoihin, mm. <https://www.halo.energy/technology>