



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mira Perttula

# PIENTUULIVOIMAN MAHDOLLISUUDET KULUTTAJILLA JA YRITYKSILLÄ

Tekniikka  
2024

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mira Perttula
Opinnäytetyön nimi	Pientuulivoiman mahdollisuudet kuluttajilla ja yrityksillä
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	54 + 3 liitettä
Ohjaaja	Jan Nyman

---

Energian hinnanvaihteluista ja saatavuuden epävarmuudesta johtuen etenkin kuluttajilta on tullut paljon kysymyksiä pientuulivoimasta Thermopolis Oy:n energianeuvontaan, jota rahoittaa Energiavirasto. Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä case-esimerkkejä käyttäjiltä ja tulosten perusteella lisätä pientuulivoiman käyttöä etenkin kuluttajapuolella ja yrityksissä. Tavoitteena oli myös lisätä tietoa siitä, mitä kaikkea tulee ottaa huomioon pientuulivoiman suunnittelussa ja toteutuksessa.

Case-esimerkkejä kerättiin ottamalla yhteyttä sähköpostilla ja soittamalla pientuulivoimaloiden omistajille. Omistajia löytyi pientuulivoimasta tehdyistä uutisista ja Facebookin pientuulivoimaan keskittyvästä ryhmästä. Kerroin myös opinnäytetyöstäni laajasti ja sain sitä kautta kaksi yhteystietoa. Lisäksi haastattelin puhelimessa pientuulivoimaloita myyviä yrityksiä.

Tämän työn johtopäätöksenä voidaan todeta, että pientuulivoima voi olla hyvä ratkaisu esimerkiksi kohteissa, joissa ei ole sähköverkkoa tai sähköverkkoon liittyminen tulisi kohtuuttoman kalliiksi. Sähköverkon ulottuvissa pientuulivoimalasta on vaikea saada taloudellisesti kannattavaa ratkaisua. Pientuulivoimaa suunnittelevan kannattaa perehtyä aiheeseen tarkasti ja suorittaa tuulimittaukset vuoden ajalta.

---

Avainsanat	tuulivoima, uusiutuvat energialähteet, pientuotanto, tuuliturbiinit
------------	---

## ABSTRACT

Author	Mira Perttula
Title	Opportunities of Small Wind Power Turbines for Consumers and Enterprises
Year	2024
Language	Finnish
Pages	54 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Jan Nyman

---

Due to fluctuations in energy prices and the uncertainty of energy availability, consumers in particular have been asking a lot of questions from the Thermopolis Oy, Energy Authority's financed energy advisory service about small wind power. The aim of the thesis was to collect case studies from users and, based on the results, to increase the use of small wind power, especially on the consumer side and in companies. The aim was also to increase knowledge about what needs to be taken into account in the planning and implementation of small wind power.

Case studies were collected by email and by calling the owners of small wind turbines. Owners were found through news articles on small wind power and a group on Facebook dedicated to small wind turbines and also by spreading the word about the thesis. Companies selling small wind turbines were also interviewed over the phone.

The conclusion of this thesis is that small wind power can be a good solution, for example in areas where there is no electricity grid or where it would be prohibitively expensive to connect to the grid. Where there is access to the grid, small wind turbines are difficult to find an economically viable solution. Anyone considering small wind power should study the subject carefully and carry out wind measurements over the whole year.

---

Keywords	Wind power, renewable energy sources, small-scale production, wind turbines
----------	---

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	TUULIVOIMA.....	10
	2.1 Tuulivoiman ympäristövaikutukset.....	10
	2.2 Tuulivoiman toimintaperiaate .....	13
	2.3 Maa- ja merituulivoima.....	16
	2.4 Tuulivoiman lupamenettely .....	16
3	PIENTUULIVOIMALAT .....	20
	3.1 Pysty akseliset tuulivoimalat.....	20
	3.2 Vaaka-akseliset tuulivoimalat .....	22
	3.3 Hybridivoimalat.....	22
	3.4 Pientuulivoimalan hankinta .....	23
	3.5 Pientuulivoimalan huolto ja elinkaari .....	24
4	ESIMERKKIKOhteita PIENTUULIVOIMALOISTA.....	25
	4.1 Omakotitalo Ristiinassa .....	25
	4.2 Vapaa-ajan asunto Inarissa .....	25
	4.3 Vapaa-ajan asunto Iniössä .....	26
	4.4 Maatila Iisalmessa.....	29
	4.5 Forms-kyselyn tulokset .....	29
	4.6 Valmistajat ja jälleenmyyjät.....	32
	4.7 Esimerkkejä yrityksistä ja oppilaitoksista .....	33
	4.8 Esimerkkejä ulkomailta .....	33
5	PIENTUULIVOIMALAN KANNATTAVUUS .....	35
	5.1 Pientuulivoiman kannattavuus nykyisillä teknologioilla.....	35
	5.2 Uusia innovaatioita pientuulivoimaan.....	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	42

LÄHTEET .....	48
LIITTEET .....	55

## KUVIO-, KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Metsä tuulivoimalan sähkölinjan hakkuun jäljiltä ja ennen hakkuuta (Marjala, 2021).....	12
<b>Kuva 2.</b> Tuulivoimalan rakenne (Motiva, 2023).....	14
<b>Kuva 3.</b> Tuulivoimalan toimintatehon laskentaan käytettävä kaava (Eklund, 2011). ....	15
<b>Kuva 4.</b> Suomen tuulivoimaloiden kappalemäärät maakunnittain (Suomen tuulivoimayhdistys 8, n.d.).....	18
<b>Kuva 6.</b> Darrieus-tyyppisiä voimaloita, a kuvassa on sähkökäynnisteinen voimala ja b kuvassa on muuttuvageometriset lavat (Kumar ym., 2019).....	21
<b>Kuva 7.</b> Vaaka-akselinen tuulivoimala (Käpylehto, n.d.). ....	22
<b>Kuva 8.</b> Esimerkki pientuulivoimaa ja aurinkoenergiaa yhdistävästä hybridivoimalasta Aalto yliopistossa (Finnwind, n.d.). ....	23
<b>Kuva 9.</b> Iniön vapaa-ajan asunnon tuulivoimala sijaitsee 5–7 metriä korkean kallion päällä 6 m korkean maston päässä ja voimalaan osuvat tuulet suunnista 190 – 30 astetta (Pennanen, 2024).....	28
<b>Kuva 10.</b> Näkymä Intelin pääkonttorin katon tuuliturbiineihin (Swartz, 2015) ...	34
<b>Kuva 11.</b> Aurinkosähkön tehon vuosittainen kasvu Suomessa (Tuomi, 2022).....	36
<b>Kuva 12.</b> Aurinkosähköinvestointien energiatuet (Tuomi, 2022).....	37
<b>Kuva 13.</b> New World Windin tuulivoiman ja aurinkoenergian yhdistävä puu (New World Wind, n.d.).....	38
<b>Kuva 14.</b> Tuuliturbiini katonharjalla (Ridgeblade, n.d.). ....	39
<b>Kuva 15.</b> Vortex Bladelessin Skybrator-voimala (Vortex Bladeless, n.d.).....	40
<b>Kuva 16.</b> Aerominen tuuliturbiineja katolla (Firtina, 2021).....	41
<b>Kuva 17.</b> Doucetin suunnittelema tuulivoimalaseinä (Blain, 2021). ....	41
<b>Taulukko 1.</b> Yhteenveto pientuulivoimalakokemuksista.....	42
<b>Taulukko 2.</b> Pientuulivoimalan hankinnassa huomioon otettavat asiat. ....	45

## KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

akku	sähköenergian varasto
generaattori	muuttaa liike-energian sähkövirraksi
invertteri	vaihtosuuntaaja, joka muuttaa tasavirtaa vaihtovirraksi
lataussäädin	estää akun yllilatautumisen ja syväpurkaantumisen
napakorkeus	tuulivoimalan tornin pituus
off-grid	kohde, jota ei ole liitetty sähköverkkoon
pientuulivoimala	tuulivoimala, joka on korkeudeltaan alle 50 m, lapojen pituudeltaan alle 9 m ja teholtaan alle 50 kW.
takaisinmaksuaika	aika, jossa hankinnan tuottamat säästöt kattavat hankintahinnan
Tuuliatlas	Ilmatieteen laitoksen tuulienergiakartasto, joka kuvaa pitkän ajan keskimääräisiä tuuliolosuhteita eri korkeuksissa 50 metristä 400 metriin

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Kyselylomake pientuulivoimasta



## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on pientuulivoiman mahdollisuudet kuluttajilla ja yrityksillä. Työssä esitellään tuulivoiman toimintaperiaatteet, lupamenettelyt, pientuulivoimalan hankinta, käyttö ja huolto sekä kerrotaan esimerkkejä käytössä olevista pientuulivoimaloista ja uusista innovaatioista. Työn toimeksiantaja Thermopolis Oy toteuttaa Energiaviraston rahoittamaa energianeuvontaa kuluttajille, kunnille ja yrityksille. Energian hinnanvaihteluista ja saatavuuden epävarmuudesta johtuen etenkin kuluttajilta on tullut paljon kysymyksiä pientuulivoimasta. Valitettavasti tähän ei ole ollut saatavilla laajasti tietoa käyttäjäkokemuksista.

Thermopolis Oy on vuonna 2006 perustettu energiatoimisto, joka toimii Lapualla. Omistajina ovat Lapuan kaupunki, Ilmajoen kunta, Lapuan Energia ja Seinäjoen Energia. Thermopolis Oy toteuttaa monipuolisia kehittämis- ja konsultointipalveluita. Tällä hetkellä energianeuvonnan lisäksi yrityksessä on käynnissä kaksi kansainvälistä hanketta. Energy Equilibrium, jonka tavoitteena on kehittää vuorovaihteinen ja helposti sovellettava työkalu kuntien ja energiantoimittajien päätöksenteon tueksi sekä DETOCS, jonka tavoitteena on tukea EU:n matkailuinfrastruktuurin elpymistä koronan ja energiakriisin jälkimainingeissa kestävästi ja vähähiilisesti. Konsultointipalveluita ovat esimerkiksi energiakatselmukset ja meluselvitykset. (Thermopolis, n.d.)

## 2 TUULIVOIMA

Tuulivoimaa on osattu hyödyntää pitkään, Egyptissä tuulivoimalla soitettiin urkuja 10–70 jaa, 600-luvun Persiassa tuulimyllyt jauhoivat viljaa ja Suomesta ensimmäinen maininta tuulimyllyistä on 1400-luvulta. 1800-luvun lopulla tuulivoimaa alettiin hyödyntää sähkön tuottamiseen ja 1903 Tanskaan perustettiin ensimmäinen tuulisähkön tuottajien seura. Vasta vuonna 2001 perustettiin maailman tuulienergiayhdistys (WWEA, World Wind Energy Association), joka järjestää vuosittain kansainvälisen tuulikongressin. (Wilkins, 2012.)

Nykyisin tuulivoiman sähköntuotantokapasiteetti on suuri, esimerkiksi vuoden 2014 alkuun mennessä tuotantokapasiteetti oli 318 000 MW, mikä riittää täyttämään 80 miljoonan yhdysvaltalaisen kotitalouden sähkötarpeen. Samaan aikaan aurinkosähkön tuotantokapasiteetti riitti vain 20 miljoonan yhdysvaltalaisen kotitalouden sähkötarpeeseen. (Brown, 2017.)

Tuulivoiman vahvuutena on nopea rakennusaika, ydinvoimalan rakentaminen voi viedä kymmenen vuotta, kun taas tuulipuisto rakennetaan vuodessa. Tuulivoiman muita etuja ovat edullisuus, tuulen saatavuus ja ympäristöhyödyt. Tuotannosta ei synny päästöjä ympäristöön, kun käytössä ei ole fossiilisia polttoaineita. Tuulivoiman heikkous puolestaan on saatavuuden vaihtelevuus. (Brown, 2017.)

### 2.1 Tuulivoiman ympäristövaikutukset

Laki ympäristövaikutusten menettelystä määrittelee ympäristövaikutusten tarkoittavan hankkeen aiheuttamia välittömiä ja välillisiä vaikutuksia Suomessa ja sen alueen ulkopuolella:

- väestöön sekä ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen
- maahan, maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen sekä eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen
- yhdyskuntarakenteeseen, aineelliseen omaisuuteen, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön

- luonnonvarojen hyödyntämiseen. (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä, 252/2017, 2 §.)

Tuulivoimalan sijoittelussa täytyy ottaa huomioon ympäristö, jotta vaikutukset luontoon ja linnustoon ovat mahdollisimman pienet. Lintuja tuulivoimaloihin törmää vuosittain muutamista muutamiin kymmeneen voimalaa kohden, eikä tämä ole yleensä merkittävä ongelma. Lintujen törmäykset tuulivoimaloihin ovat ongelma silloin, kun niihin törmää vähälukuisia, vähentyneitä ja hitaasti lisääntyviä lajeja. Suurikokoiset kaartelevat linnut, kuten kotkat ja lokit, törmäävät voimaloihin useimpia suoraan lentäviä lajeja yleisemmin. Tästä syystä jo suunnitteluvaiheessa tehdään luontoselvitykset ja arvioidaan voimaloiden luonto- ja linnustovaiikutukset. (Birdlife, n.d.)

Voimalat vaativat perustuksia, huoltoteitä sekä sähkölinjoja ja näiden kaikkien tieltä on raivattava metsää, joka taas vaikuttaa voimala-alueen ekosysteemeihin (WWF, n.d.). Kuvassa 1 näkyvät metsän muutokset tuulivoimalan sähkölinjan raivaamisen seurauksena.



**Kuva 1.** Metsä tuulivoimalan sähkölinjan hakkuun jäljiltä ja ennen hakkuuta (Marjala, 2021).

Elinympäristö voi tuhoutua tai pirstoutua ja sillä voi olla vaikutuksia nisäkkäiden ja lintujen ravinnon saantiin ja pesimäpaikkoihin. Tuulivoimalat eivät sulaudu ympäristöön korkeutensa ja ulkonäkönsä puolesta ja esimerkiksi 200 metriä korkea tuulivoimala näkyy hyvällä säällä jopa 35 kilometrin päähän. Lisäksi tuulivoimaloiden lentoestevalot näkyvät pimeällä ja huonolla säällä, joten voimala näkyy jollain tavalla aina, mikä tulee huomioida ennen tuulivoimalan rakentamista. Tuulivoimaloita suunniteltaessa selvitetään, onko valittu alue valtakunnallisesti tai maakunnallisesti arvokas maisema-alue, kulttuurihistoriallinen alue tai sijaitseeko alueella muinaisjäännöksiä. Näiden selvitysten perusteella pyritään valitsemaan tuulivoimaloille parhaiten sopivat alueet. (Ympäristöministeriö, 2016.)

Tuulivoimalan lavat sekä voimalan koneisto aiheuttavat ääntä, joista lapojen ääni koetaan häiritsevämpänä ja voimalan koon kasvaessa lapojen aiheuttama äänikin kasvaa. Tärkein keino torjua tuulivoimaloista johtuvaa häiritsevää ääntä eli melua,

on sijoittaa voimalat riittävän kauas asutuksista. Sijoituspaikan valinnassa käytetään melumallinnusta. Tuulivoimaloiden ulkomelutasoksi asutusten, oppilaitosten ja hoitolaitosten luona on asetettu päiväaikaan 45 dB ja yöaikaan 40 dB. (Ympäristöministeriö, 2016.) 45 dB vastaa jääkaapin hurinaa (MTV Uutiset, 2015). Tuulivoimalat tuottavat infraääntä eli ääntä, jonka taajuus on alle 20 Hz, mutta infraäänen voi kuulla vasta silloin, kun äänenpaine on 90–120 dB, joten tuulivoiman infraääni ei ole korvilla kuultavissa (Suomen tuulivoimayhdistys 6, n.d.). Tuulivoimalan melun terveysvaikutuksista on käyty keskustelua pitkään ja THL:n 2017 tekemässä selvityksessä todettiin, että tieteellistä näyttöä tuulivoiman infraäänen vaikutuksista terveyteen ei ole, mutta asiaa on tutkittu vasta vähän, joten pitkäaikaisvaikutuksia ei vielä tunneta (THL, 2023).

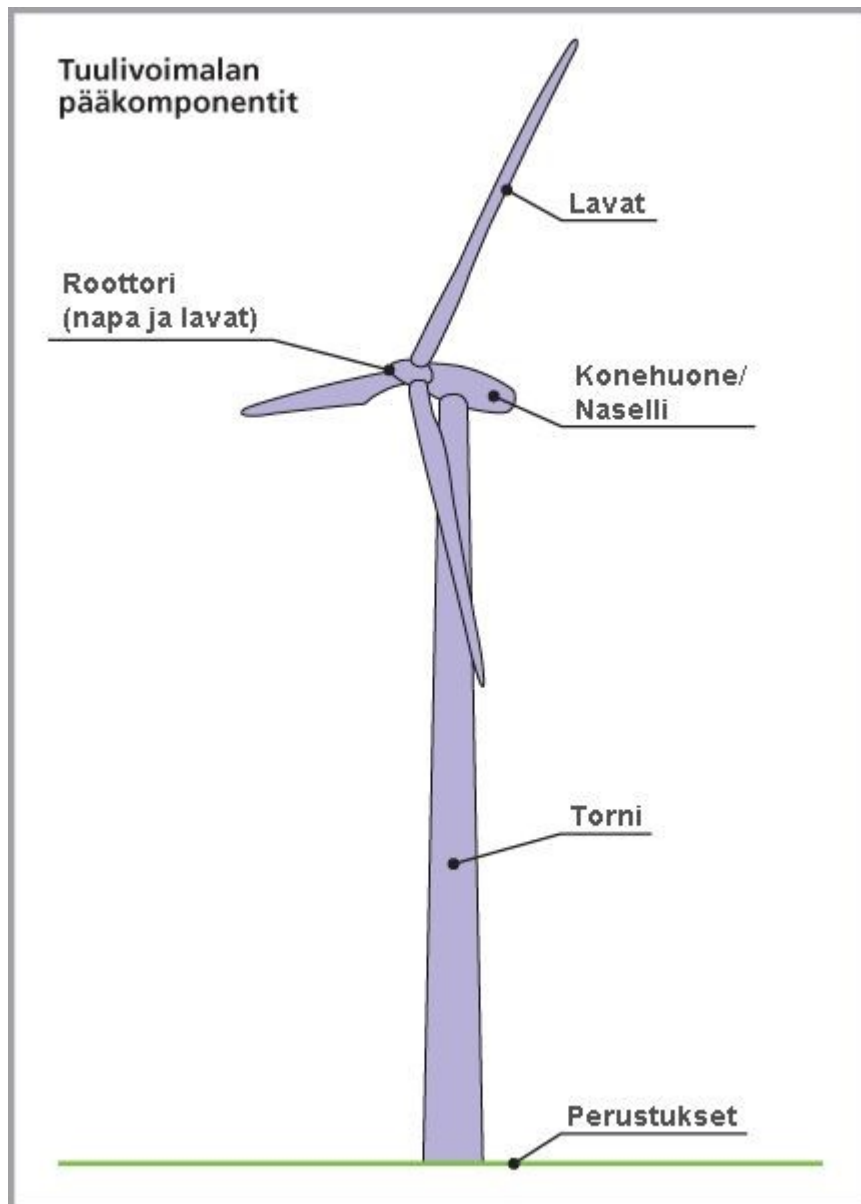
Auringon paistaessa tuulivoimalan takaa aiheutuu välkevaikutusta, kun valo ja varjo vilkkuvat. Liikkuva varjo aiheutuu lapojen pyörimisestä ja välkevaikutus voi teollisen kokoluokan voimaloissa ulottua 1–3 kilometrin päähän. Ruotsissa suositus aika välkkeelle on enintään 8 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Suomessa vastaavaa suositusta ei ole, mutta myös välkevaikutus otetaan huomioon suunnittelussa ja mallinnetaan. (Ympäristöministeriö, 2016.)

Pientuulivoimalan kohdalla maisemavaikutukset ovat pienemmät, koska isoja huoltoteitä tai sähkölinjoja ei tarvita ja perustuksetkin ovat huomattavasti pienemmät teollisen kokoluokan voimalaan verrattuna. Pienempi korkeus ja pienemmät lavat aiheuttavat vähemmän melu- ja välkevaikutusta, mutta voimalaa suunniteltaessa ympäristö-, melu- ja välkevaikutukset on otettava huomioon.

## **2.2 Tuulivoiman toimintaperiaate**

Ilmavirtaukset ovat ilmamolekyylien liike-energiaa ja tuulivoimalassa tämä energia muutetaan roottorin liike-energiaksi. Roottorin liike-energia taas muunnetaan generaattorissa sähkömagneettisen induktion avulla sähköenergiaksi. (Korpela, 2016.) Tuulivoimala koostuu perustuksista, tornista, konehuoneesta ja roottorista.

Konehuoneeseen sisältyvät generaattori ja vaihteisto. Roottoriin sisältyvät lavat ja napa. (Motiva, 2023.) Kuvassa 2 on esitelty tarkemmin tuulivoimalan osat.



**Kuva 2.** Tuulivoimalan rakenne (Motiva, 2023).

Tuulivoimalan torneja on kolmea erilaista mallia. Ensimmäinen vaihtoehto on harustettu masto, jossa on putki tai ristikkorakenne, joka on tuettu pystyyn harusvaihjereilla. Harustetun maston ei tarvitse olla raskastekoinen ja siksi se on edullisin ratkaisu. Toinen vaihtoehto on itsestään seisova putkimasto, joka koostuu useista osista ja kapenee huippua kohden. Putkimasto tarvitsee vahvan, yleensä valetun,

perustuksen. Kolmas vaihtoehto on ristikkomasto, joka on myös vahvan perustuksen vaativa itsestään seisova masto. Ristikkomaston etu putkimastoon on kevyempi rakenne ja edullisempi hinta. (Eklund, 2011.)

Tuulivoimalan lavat valmistetaan useimmiten komposiittimateriaaleista ja käytössä on esimerkiksi lasikuitua, hiilikuitua, puuta, epoksia ja polyesteria. Konehuone, josta käytetään myös nimeä naselli, sisältää generaattorin, vaihteiston, muuntajan sekä säätö- ja ohjausjärjestelmät. Konehuoneen runko valmistetaan teräksestä ja se on pinnoitettu lasikuidulla. (Suomen tuulivoimayhdistys 5, n.d.)

Tuulivoiman hyötysuhteella tarkoitetaan generaattorin tuottaman sähkötehon ja tuuliturbiinille tulevan ilmavirtauksen tehon osamäärää ja esimerkiksi 40 %:n kokonaishyötysuhde on tuulivoimalalle jo hyvä. (Korpela, 2016.) Tuulivoimalan toimintateho voidaan laskea kuvassa 3 olevan kaavan avulla.

$P$	$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V^3$
	jossa
$\rho$	= ilman tiheys, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
$C_p$	= tehokerroin
$R$	= lavan pituus, m
$A$	= $\pi \cdot R^2$ eli pyyhkäisyypinta-ala
$V$	= tuulen nopeus, m/s

**Kuva 3.** Tuulivoimalan toimintatehon laskentaan käytettävä kaava (Eklund, 2011).

Kuten kaavasta nähdään, tuulen nopeudella on iso vaikutus tuulivoimalan tehoon. Pyyhkäisyypinta-alaan vaikuttaa lavan pituus, joten myös lapojen pituudella on iso vaikutus tuulivoimalan tehoon.

### 2.3 Maa- ja merituulivoima

Teollisen kokoluokan tuulivoima jaetaan maa- ja merituulivoimaan. Jako tehdään sen perusteella, missä voimalan perustukset ovat ja missä sähkökaapelit kulkevat. Suomessa maatuulivoima on selvästi suositumpaa, tuulivoiman kokonaiskapasiteetti vuoden 2023 lopussa oli 6 946 MW, mistä merituulivoiman osuus oli vain 0,65 % (Suomen tuulivoimayhdistys 7, n.d.). Maatuulivoimasta puhutaan, kun voimalan perustukset ja sähkökaapeli ovat maassa. Voimalalta sähkönsiirto käyttöpaikkoihin voidaan toteuttaa pylväiden tai mastojen varassa olevien ilmajohtojen kautta (Eolus, 2024). Mikäli voimalan sähkökaapeli kulkee meren pohjassa ja perustukset ovat merenpohjassa tai kelluvat, on kyseessä merituulivoimala. Keino- ja merituulivoimalat voidaan myös luokitella merituulivoimaloiksi, jos niiden sähkökaapeli kulkee meren pohjassa. Ulkonäöltään ja toimintaperiaatteeltaan maa- ja merituulivoimalat ovat samanlaisia. Suomessa on yksi 45 MW:n merituulivoimapuisto Porin Tahkoluodossa. Tällä hetkellä käynnissä on useita suunnitelmia merituulivoiman lisäämiseksi ja käynnissä on ainakin yksi YVA-menettely. (Suomen tuulivoimayhdistys 2, n.d.)

Tyypillisimmät maatuulivoimalat ovat nimellisteholtaan 4–5 MW, roottorin halkaisijaltaan 130–160 m ja tornin korkeudeltaan 140–175 m, jolloin kokonaiskorkeus on 200–255 m. Merituulivoimaloissa on tyypillisesti matalampi torni, pidemmät lavat ja jopa kaksinkertainen teho. Maa- ja merivoimalat ovat tyypillisesti kolmilapaisia, koska tällöin voimala on pyörähdyssymmetrisesti ja massahitausmomenttien suhteen tasapainossa. Lisäksi useampi lapa nostaa kustannuksia tuottamatta merkittävää lisähyötyä. (Suomen tuulivoimayhdistys 3, n.d.)

### 2.4 Tuulivoiman lupamenettely

Teollisen kokoluokan tuulivoimaloita, kuten muutakin rakentamista, ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki. Maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa kaavoitusta, jolla suunnitellaan tuulivoimaloiden rakentamisalueet ja tarkemmat voimaloiden rakennuspaikat. Maakuntakaava osoittaa tuulivoima-alueita ja osayleiskaavalla voidaan

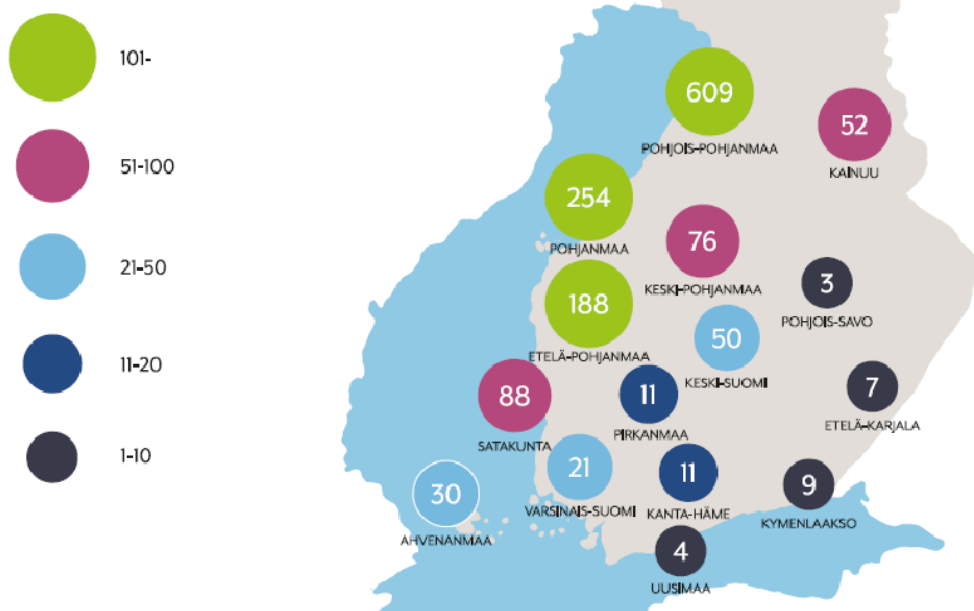


myöntää rakennusluvut yksittäisille tuulivoimaloille maankäyttö- ja rakennuslain tuulivoimarakentamista koskevien erityisten säännösten perusteella MRL 10 a luku (11.2.2011/134). Yksityiskohtaisemmin rakentamista ohjaavaa asemakaavaa käytetään silloin, kun tuulivoimarakentaminen on tarpeen määritellä tarkasti suhteessa alueen muuhun maankäyttöön. Tämä voi tulla kyseeseen taajamien lähellä sekä teollisuus- ja satama-alueilla. (Ely-keskus, 2024.)

Yleiskaavan lisäksi teollisen kokoluokan tuulivoimalat tarvitsevat rakennusluvan ja Puolustusvoimien hyväksynnän. Lisäksi lentoestelupa vaaditaan yli 30 metriä korkeille esteille lentoaseman läheisyydessä ja muualla yli 60 metriä korkeille esteille. Ympäristölupaa ei yleensä tarvita, ellei tuulivoimalasta aiheudu naapuruussuhde-laissa tarkoitettua kohtuutonta rasitusta melu- tai välkevaikutuksista johtuen. Vesilupa tarvitaan, jos voimala voi muuttaa vesistön asemaa, syvyyttä, virtaamaa, rantaa tai vesiympäristöä ja yleensä vesilupa vaaditaan vain merituulivoimalan kohdalla. (Suomen tuulivoimayhdistys 4, n.d.) Jos voimaloita on alle 9 tai niiden kokonaisteho on alle 45 MW, YVA-menettelyä ei tarvita tai YVA-menettelyyn voidaan harkita arviointimenettelyn soveltamista yksittäistapauksessa. Tästä päätöksen tekee aina ELY-keskus. (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä, 252/2017, Liite 1.)

Suomessa tuulivoimalat ovat keskittyneet länsirannikolle, kuten kuvasta 4 näkyy. Itä-Suomessa rakentamista jarruttaa Puolustusvoimien aluevalvontajärjestelmät. Uudet järjestelmät ja laitteet Puolustusvoimille voisivat mahdollistaa tuulivoiman ja valvontajärjestelmien yhteensovittamisen, mutta tämä vaatii uusia investointeja. (Noponen, 2023.)

## Tuulivoimaloiden kappalemäärät maakunnittain (12/2023)



**Kuva 4.** Suomen tuulivoimaloiden kappalemäärät maakunnittain (Suomen tuulivoimayhdistys 8, n.d.).

Pientuulivoimaloiden osalta ei ole laadittu kaavoja. Pientuulivoiman kohdalla on kuntakohtaista, tarvitaanko rakennuslupaa vai riittääkö toimenpidelupa. Yleisesti kaava-alueen ulkopuolella riittää toimenpidelupa. Lupa-asia kannattaa hoitaa kuntoon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Luvan hakemuksen liitteenä tulee olla karttaote tai asemapiirros voimalan sijainnilla merkittynä sekä voimalan julkisivupiirros. (Finnwind, n.d.) Lisäksi hakemukseen tulee liittää selvitys hankkeen vaikutuksista maisemaan ja naapureihin sekä selvitys hakijan lähimmistä suunnitelluista muista mastoista/tuulivoimaloista (Ely-keskus, 2024). Monet pientuulivoimalat sijaitsevat sähköverkon ulkopuolella, mutta mikäli voimala on mahdollista liittää sähköverkkoon ja omistaja haluaa voimalan verkkoon liittää, on

sähköverkonhaltijalla liittämisvelvollisuus toiminta-alueellaan. Voimalan omistajan on ennen verkkoon kytkemistä varmistettava sähköverkonhaltijalta, että järjestelmän laitteisto täyttää sähköverkon ja sähköturvallisuusmääräysten vaatimukset. (Ely-keskus, 2024.)

### 3 PIENTUULIVOIMALAT

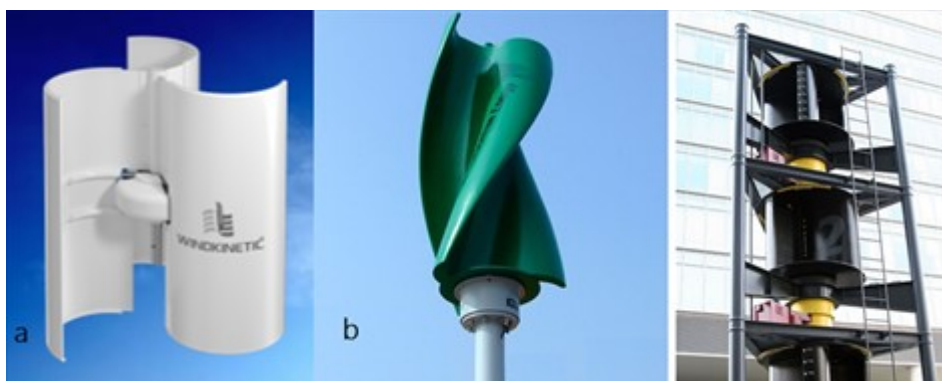
Pientuulivoimalat ovat teholtaan tyypillisesti muutaman sadan tai tuhannen watin tehoisia voimaloita, mutta myös pienteollisuudessa käytettävät 50 kW:n voimalat luokitellaan vielä pientuulivoimaloiksi (Suomen tuulivoimayhdistys 1). Standardi IEC 61400-2 määrittelee pientuulivoimaksi korkeudeltaan alle 50 m ja lapojen pituudeltaan alle 9 m jäävät voimalat. Alle 10 kW:n pientuulivoimalat määritellään mikrotuulivoimaloiksi. (Haapanen ym., 2015).

Teholuokan 500 W–2 kW voimalat ovat tavallisesti käytössä mökeillä, omakotitalokäytössä teholuokka on 3 kW–10 kW ja yli 20 kW:n voimalat soveltuvat esimerkiksi maatalouskäyttöön, jossa energiantarvetta on enemmän (TTGreen, n.d.). Tyypillisin kohde pientuulivoimalalle on vapaa-ajan asunto, jossa ei ole sähköverkkoa. Tavallisimmat pientuulivoimalat ovat vaaka-akselisia potkuriturbiineja, joissa on mahdollisimman suuri pyyhkäisyypinta-ala sekä pysty akseliset Savonius ja Darrieus -tyyppiset voimalat. (Suomen tuulivoimayhdistys 1, n.d.)

#### 3.1 Pysty akseliset tuulivoimalat

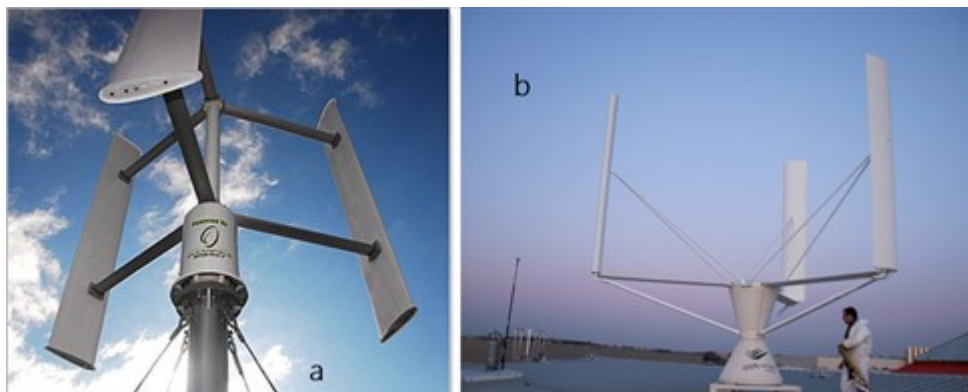
Pysty akseliset tuulivoimalat (VAWT, vertical-axis wind turbine) seisovat pystyssä maanpintaan nähden, mutta turbiinin lavat eivät pyöri tuulta vasten, vaan tuulet pyörittävät niitä puhaltaessaan mistä suunnasta tahansa (Wilkins, 2012). Pysty akselinen tuulivoimala voidaan sijoittaa moniin erilaisiin paikkoihin, koska se toimii hyvin pyörteisissä tuuliolosuhteissa (Suomen tuulivoimayhdistys 1, n.d.).

Savonius- ja Darrieus-tyyppiset voimalat tarvitsevat enemmän tuulta tuottaakseen saman tehon kuin potkurivoimalat, tämä tarkoittaa sitä, että niiden hyötysuhde on heikompi. Nämä voimalat ovat vähemmän herkkiä turbulensseille eli ilman pyörteille. (Eklund, 2011.)



**Kuva 5.** Savonius-tyyppisiä voimaloita, a kuvassa on suora siipi, b kuvassa kierteinen siipi ja c kuvassa monivaiheinen turbiini (Kumar ym., 2019).

Kuvan 5 mukaisten Savonius-tyyppisten voimaloiden edut korostuvat kaupunkiympäristöissä, koska ne voivat tuottaa energiaa turbulentsissa ja alhaisessa tuulenopeudessa, joka vallitsee rakennetulla alueella. Parhaimmillaan Savonius-tyyppisen voimalan hyötysuhteeksi on saatu 18 %, keskimäärin hyötysuhde on 15 % luokkaa. Savonius-tyyppiset voimalat ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja kustannuksiltaan edullisempia, joten tekniikan kehittyessä näitä voitaisiin ottaa laajemminkin käyttöön. (Kumar ym., 2019.)



**Kuva 6.** Darrieus-tyyppisiä voimaloita, a kuvassa on sähkökäynnisteinen voimala ja b kuvassa on muuttuvageometriset lavat (Kumar ym., 2019).

Kuvan 6 mukaisten Darrieus-tyyppisten voimaloiden ongelmana on niiden käynnistyminen vasta isommassa tuulenopeudessa, joka haittaa käyttöä kaupunkiympäristössä (Kumar ym., 2019).

### 3.2 Vaaka-akseliset tuulivoimalat

Vaaka-akseliset (HAWT, horizontal-axis wind turbine) kolmisiipiset tuuliturbiinit ovat nykyään tuulivoimaloiden käytetyin muoto, sillä sähköntuotannon kannalta mallin on todettu olevan tehokkain, etenkin roottorin halkaisijan ollessa suuri, 40–90 metriä (Wilkins, 2012). Vaaka-akselisilla potkuriturbiini on kustannustehokkain voimalatyyppi, koska sillä saa helpommin toteutettua mahdollisimman suuren pyyhkäisy-pinta-alan (Suomen tuulivoimayhdistys 1, n.d.). Kuvassa 7 on esimerkki vaaka-akselisesta tuulivoimalasta, jossa on harustettu masto.



**Kuva 7.** Vaaka-akselinen tuulivoimala (Käpylehto, n.d.).

### 3.3 Hybridivoimalat

Hybridivoimala koostuu vähintään kahdesta osasta, joita voivat olla tuulivoimala, aurinkovoimala ja akut. Hybridivoimala lisää energiaomavaraisuutta, kun uusiutuvaa energiaa tulee tasaisemmin ympäri vuoden kesällä auringosta ja talvella tuulesta. Esimerkiksi Simon kuntaan aloitetaan keväällä 2024 aurinkovoimalan rakentaminen. Aurinkovoimala rakennetaan tuulivoimapuiston yhteyteen, joten koko

puistoalue on teollisen mittakaavan hybridivoimala, jossa on tuuli- ja aurinkovoiman lisäksi vielä sähkövarasto. (Simo, 2024.)



**Kuva 8.** Esimerkki pientuulivoimaa ja aurinkoenergiaa yhdistävästä hybridivoimalasta Aalto yliopistossa (Finnwind, n.d.).

Etenkin sähköverkon ulottumattomissa off-grid-kohteissa hybridivoimala on hyvin tyypillinen ratkaisu. Käytössä on vähintään aurinko- tai tuulivoimala ja akkuja. Tekemäni kyselyn perusteella pientuulivoimakohteissa on käytössä usein nämä kaikki kolme. Kyselyn tuloksiin palataan tarkemmin luvussa 4.7.

### 3.4 Pientuulivoimalan hankinta

Pientuulivoiman suunnittelussa ensimmäisenä tulee miettiä sijaintipaikka ja selvittää alustavasti lupa-asioita. Taajamassa pientuulivoimala edellyttää rakennus- tai toimenpidelupaa, tämä on kuntakohtaista (Eklund, 2011). Usein rajoitteena on korkeus. Ennen pientuulivoimalan hankintaa on ehdottoman tärkeää selvittää tuuliolosuhteet. Ilman tuulta ei tule tuottoa ja investointi ei maksa itseään takaisin. Ilmatieteen laitoksen Tuuliatlas on koonnut keskimääräisiä tuulennopeuksia 50 metrin korkeudesta 400 metriin asti, näitä voi käyttää suunnittelun apuna, mutta pientuulivoimalat jäävät matalammalle, joten Tuuliatlaksen tietojen pohjalta pientuulivoimalan hankintapäätöstä ei kannata tehdä (Ilmatieteen laitos, n.d.). Tuulimittauksia tulee suorittaa pitkällä aikavälillä, mielellään vuoden ajan (Eklund, 2011). Tuulisuuden mittaamiseen käytettäviä mittareita saa 100–200 eurolla, joten investointi tuulimittariin kannattaa tehdä ennen tuhansien eurojen tuulivoimalan hankintaa. Tuulivoimalan sijoittelua suunniteltaessa tuulimittaukset ovat

erittäin tärkeitä, koska ilmavirtauksen teho 8-kertaistuu tuulennopeuden kaksinkertaistuessa (Korpela, 2016).

Suomessa on useita pientuulivoimaloiden valmistajia ja jälleenmyyjiä. Kannattaa tutustua ennakkoon näiden yritysten sivuihin ja olla yhteydessä itselle sopivimpia vaihtoehtoja myyviin yrityksiin. Tuotteiden ja yritysten vertailua varten voi tehdä esimerkiksi taulukon, johon kirjaa monipuolisesti tietoja tuotteesta, kuten tuotot eri tuuliolosuhteissa, tuulivoimalan paino ja korkeus, arvio takaisinmaksuajasta, huoltotarpeet ja käyttökustannukset sekä voimalan käyttöikä. Tuulimittausten perusteella on myös helpompi vertailla eri toimittajia ja nähdä mitä todelliset tuotot omassa kohteessa voivat olla. Ammattilaista kannattaa käyttää apuna paikan valinnassa, koska ammattilainen osaa arvioida, missä voimala toimii tehokkaimmin ja missä on mahdollisimman turvallinen sijainti. Lisäksi ammattilainen osaa kertoa, missä ulkonäkö- ja meluhaittoja on mahdollisimman vähän. (Windesol, n.d.)

Tuulivoimala kannattaa mahdollisuuksien mukaan asettaa kauemmas asuinrakennuksista, sillä voimala voi aiheuttaa melua ja talvella sen lapoihin voi kerääntyä lunta ja jäätä, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskin. Tuulivoimalan asentaminen kannattaa jättää ammattilaisten vastuulle, jotka laittavat voimalan toimintaan päivässä tai kahdessa. (Windesol, n.d.)

### **3.5 Pientuulivoimalan huolto ja elinkaari**

Pientuulivoimalat täytyy tarkastaa vuosittain silmämääräisesti ja käytön aikana voimalaa tulee seurata. Huolto ja tarkastus tulee tehdä muutaman vuoden välein, jolloin pientuulivoimala lasketaan alas. Riippuen voimalatyypistä ja olosuhteista voi huoltoa tarvita useamminkin, joten hankintaa tehdessä tulee ottaa huomioon mahdollisuudet huollon tekemiseen. (Suomen tuulivoimayhdistys 1, n.d.) Laadukkaiden tuulivoimaloiden ikä on noin 20 vuotta, mutta arvio perustuu olettamukseen säännöllisesti tehtävästä huollosta (Windesol, n.d.).



## 4 ESIMERKKIKOhteita Pientuulivoimaloista

### 4.1 Omakotitalo Ristiinassa

Esa Pulkkisen Ristiinassa sijaitsevan omakotitalon pihaa koristaa Hollannista tuotu pientuulivoimala. Voimalan teho on 6 kW, maston korkeus on 20 metriä ja lapojen pituudet 3 metriä. Vuodessa voimala tuottaa 2 000–3 000 kWh. Pulkkinen teki tuulimitoituksia ennen investointipäätöstä ja odotusten mukaan suunnitellussa paikassa tuuli, sillä paikka on korkean kallion päällä ja esteitä ei ole. Tuulivoimalan kanssa ei ole käytössä akkuja, mutta energia menee lämminvesivaraajalle. Lisäksi käytössä on 4–5 kW:n aurinkokeräimet. Pientuulivoimalan kustannukset liikkuvat tuhansissa euroissa, mutta tarkkoja summia omistaja ei kertonut. Pientuulivoimala on mielenkiintoinen harrastus ja sitä on mukava katsella, joten tästä syystä Pulkkinen on tyytyväinen voimalaansa, mutta ei ole laskenut takaisinmaksuaikaa. Hän suosittelee pientuulivoimaa, mikäli sille on sopiva tuulinen paikka. Pulkkisen pientuulivoimalalle haettiin rakennuslupa omakotitalon rakennusluvan yhteydessä ja lupaprosessi oli sujuva. Toistaiseksi omistaja on huoltanut itse voimalan ja mitään osia ei ole tarvinnut vaihtaa. (Pulkkinen, 2024.)

### 4.2 Vapaa-ajan asunto Inarissa

Hannu Mäkisen vapaa-ajan asunto sijaitsee Lapissa Inarin Joukhaisvaaran huipulla, jossa on käytössä Finnwindin 4 kW:n Tuule C200 -tuulivoimala. Hybridivoimalaan kuuluu tuulivoimalan lisäksi aurinkovoimala ja akkujärjestelmä. Varalla on myös dieselaggregaatti, mutta vuosina 2013–2014 polttoöljyä kului vain 160 litraa, jonka jälkeen aurinkovoimalan koko on vielä kasvanut. Neljän seurantavuoden aikana pientuulivoimalan keskivuosituotto on ollut 3 377 kWh. Vaihteluväli on ollut 2 851–3 689 kWh. (Lavento, 2022.) Vapaa-ajan asunnolle saisi myös sähkölinjan, mutta omat tuotantotavat riittävät kattamaan asukkaan sähkötarpeen. Omaan sähkötuotantojärjestelmään on kulunut noin 20 000 euroa sekä sähköasentajana toimineen Mäkisen omaa työtä. (Siivikko & Koskinen, 2022.)

### 4.3 Vapaa-ajan asunto Iniössä

Neljän hehtaarin saari Iniössä on toiminut vuodesta 1997 lähtien erilaisten pientuulivoimaloiden kokeilualustana. Ensimmäisessä asennuksessa oli kaksi 180 Ah akkua rinnan, kaksi 80 Wp:n aurinkopaneelia ja 300 Wp:n tuulivoimala säätiminen. Invertterinä oli Storno 1200 W. Tässä asetelmassa ilmeni kaksi isoa ongelmaa. Ensimmäinen ongelma oli ”liian hieno” tuplainvertteri. Ensin pienempi invertteri teki 240 VAC, mutta teho oli vain 4 wattia. Kuorman kasvaessa käynnistyi isompi 1200 W:n invertteri. Toinen ongelma oli 3-lapainen kiinteällä pyrstöllä varustettu tuulivoimala, jossa oli säädin, mutta kovalla tuulella säädin irrotti täydet akut päästäten voimalan pyörimään vapaasti. Tämän seurauksena lapojen kärkien tangentialinopeus ylitti 343 m/s eli äänen nopeuden, jota ohuet hiilikuitulavat eivät kestäneet. Parina keväänä Iniössä vaihdettiin voimalaan lavat, mutta tämän jälkeen voimala päätettiin poistaa käytöstä.

2000-luvun loppupuolella Kiinasta tuotiin Suomeen muutamaa erilaista pientuulivoimalaa, joissa oli 3-vaihegeneraattori ja säätöboxissa järeitä releitä kytkemässä ja ”säätämässä” tuottoa. Lisäksi oli releellä kytkettävä shunttivastus liian tuulienergian hävittämiseen. Voimalassa oli myös mekaaninen myrskyjarru epäkeskeisellä kääntöakselilla ja taittuvalla pyrstöllä. Iniöön ostettiin ensin 500 Wp:n voimala säätiminen. Tämän voimalan suurin ongelma oli siinä, että sähköä siitä ei tullut.

Samalta maahantuojalta Iniöön saatiin uusi 1000 Wp:n voimala, jonka koko ja paino olivat edellistä voimalaa suuremmat, mutta tuotto oli edelleen heikko. Voimalan tuottama pienjännitteinen ja suurivirtainen sähkö hukkui todennäköisesti kaapeliin ja säätimeen, jolloin parhailla tuulilla tuottoa tuli noin 200 W. Tämän jälkeen Saksasta tuli uusi säädin. Uusi säädin oli edeltäjänsä parempi, mutta paloi jo ensimmäisen talven jälkeen. Tässä vaiheessa ilmaantui vielä uusi ongelma, ensimmäisen kiinalaisen voimalan mukana tullut putkimasto ruostui jo ensimmäisenä kesänä ja kolmen vuoden jälkeen se oli kauttaaltaan ruosteessa.

Seuraavaksi Iniöön tuli erittäin hyvä ja tukeva noin 6 m korkea kolmioristikkomas-ton toppielementti ja Rutlandin FM-1803-tuulivoimala säätimiseen. Rutlandin generaattorilla painoa oli melkein 40 kg, huomattavasti edeltäviä voimaloita enemmän, mutta uusi masto kestää tämän painon. Masto on pultattu kallioon kuudella M16-kierretangolla, jotka on liimattu Hiltin HIT-massalla kallioon, joten nyt masto pysyy paikoillaan myrskytuulillakin.

Rutlandin generaattori tuotti noin 3 x 150 V, jonka säädin muunsi 12 V akuille sopivaksi. Voimalassa on mekaaninen myrskysuoja ”Whirlmatic”, jolle taataan kestävyys 40 m/s tuulessa. Syksyllä 2020 vapaa-ajan asunnon asukkaat olivat saarella katsomassa Aila-myrskyn riehumista. Tuuli puhalsi tasaisesti 30 m/s ja puuskissa 35 m/s. Silloin koko vapaa-ajan asunnon lämmityksenkin pystyi hoitamaan ilmalämpöpumpulla, joka sai kaiken tarvitsemansa sähkön tuulesta.

Rutlandin voimala on tuottanut melko tarkasti sen, mitä tuotekortti lupaa. 18 m/s tuulen jälkeen voimala alkaa kääntymään sivulle, jolloin tuotanto putoaa hieman. Säädin ohjaa myös latausta asiallisesti ja pysäyttää voimalan sähköjarrulla (navat oikosulkuun). Sähköinen jarru toimii hyvin, koska voimalan jännite on niin suuri, että kaapelihäviöt eivät anna voimalan pyöriä.

Vuonna 2018 koko sähköjärjestelmä siirrettiin ja päivitettiin. Akuiksi valittiin 12 kpl Enersys Powersafe 2 V 900 Ah (noin 22 kWh brutto) ja invertteri vaihdettiin Victronin 3000 W:n laitteeseen. Akkujännitteen muutos piti langoittaa tuulivoimalan säätimessä, mutta siihen omistaja sai Rutlandilta hyvät ohjeet. Seuraavaksi jänniterajat säädettiin niin, että tuulivoimala on jarrulla, paitsi jos tuulee tarpeeksi tai akut tarvitsevat sähköä. Muun ajan voimala on sähköisellä jarrullaan ja säästää mekaanisia ja kuluvia osiaan. Omistajan kokemuksen mukaan Rutlandin ainoa ongelma on n. 2 500 euron hinta.



**Kuva 9.** Iniön vapaa-ajan asunnon tuulivoimala sijaitsee 5–7 metriä korkean kallion päällä 6 m korkean maston päässä ja voimalaan osuvat tuulet suunnista 190 – 30 astetta (Pennanen, 2024).

Erilaisten tuulivoimalakokeilujen perusteella voidaan todeta se, että halkaisijaltaan 2 metrin potkuri voi tuottaa parhaimmillaan sähköä noin 1 000 W tuulennopeudella 16 m/s. Lisäksi tuulivoimalan paino kertoo voimalan kestävydestä, alle 50 kg/1 000 Wp on liian kevyt eikä kestä myrskytuulia. Pientuulivoimasta käydyistä keskusteluissa Iniön vapaa-ajan asunnon omistaja on huomannut, että moni valitsee kevyen ja edullisen voimalan, sijoittaa sen metsäiseen paikkaan liian matalalle ja pettyy pieniin tuottoihin. Valmistajat kertovat tuotoista täydellisissä tuuliolosuhteissa, joita harvemmin sattuu kohdalle, joten luvattuihin tuottoihin tulee suhtautua varauksella. (Pennanen, 2024.)

#### 4.4 Maatila lisalmessa

lisalmessa sijaitsevat Savon Siemen Oy ja Itikan tila ovat erikoistuneet peltokasvien siemenkauppaan, siementen kunnostukseen ja siementuotantoon. Lisäksi yhteisestä pihapiiristä löytyy pientuulivoimala, josta toimitusjohtaja Antti Sarvela kertoo lisää. Kolmilapainen nimellistehoaltaan 5 kW:n voimala on 22 metriä korkean maston päässä. Kohteessa ei suoritettu etukäteen tuulimittauksia, mutta tiedossa oli, että kahteen ilmansuuntaan tuulet osuvat hyvin ja esteitä ei ole. Tiedossa oli myös, että kahdessa ilmansuunnassa on puita ja rakennuksia, joten näistä suunnista tuuliolosuhteet eivät ole parhaat mahdolliset. Tuulivoimalan kanssa ei ole käytössä erillisiä akkuja, vaan tuotettu energia käytetään lämminvesivaraajassa. Tuulivoimalan rinnalla on kaksi aurinkovoimalaa, joiden yhteenlaskettu teho on 40 kWp.

Tuuli- ja aurinkovoimaa vertaillen Sarvela kertoo, että taloudellisesti aurinkovoima on huomattavasti kannattavampi investointi, mutta hän on silti tyytyväinen pientuulivoimalaansa. Itä-Suomessa ei juurikaan ole tuulivoimaloita, joten oma pientuulivoimala onkin esimerkki ja mahdollisuus vaikuttaa ihmisten asenteisiin. Kun ihmiset näkevät pienemmässä mittakaavassa toimivan voimala, he huomavat, että sillä ei ole haitallisia vaikutuksia naapurustoon. Lisäksi tilan pientuulivoimala on mielenkiintoinen uusi kokeilu ja maamerkki. Voimala hankittiin vuonna 2017, jolloin investoinnin kustannus oli noin 15 000 euroa. Hinta sisälsi perustukset ja maston, joka voidaan kaataa huoltojen tekemiseksi. Vuosihuoltoon on mennyt arviolta satoja euroja ja tähän mennessä huoltotoimenpiteinä ovat olleet vain puhdistaminen ja säätäminen. Voimala on tuottanut vuosittain noin 2 000 kWh, joten takaisinmaksuaika on pitkä, mutta kuten Sarvela totesi, pelkkä taloudellisuus ei ole vaikuttanut investointipäätökseen. (Sarvela, 2024.)

#### 4.5 Forms-kyselyn tulokset

Facebookissa on ryhmä nimeltään ”tuuli-, aurinko- ja pienvesivoiman itserakentajat”, johon kuuluu 35 000 jäsentä. Eniten ryhmässä on aurinkovoiman rakentajia,

mutta pientuulivoiman rakentajiakin on. Kysyin ryhmässä olevien kokemuksia pientuulivoimasta ja sain yhden kattavan vastauksen sähköpostilla Iniön vapaa-ajanasunnon omistajalta. Vähäisen vastausmäärän vuoksi, päätin tehdä ryhmään uuden julkaisun. Laadin kysymykset Microsoft Forms -kyselylomakkeelle, johon vastaaminen oli nopeaa ja helppoa monivalintakysymysten avulla. Kyselylomake on liitteessä 1. Kyselyssä yksikään kysymys ei ollut pakollinen, joten tämä madalsi vastaamiskynnystä entisestään. Kyselyyn sain 5 vastausta, joista yksi vastasi vain muutamaaan kysymykseen.

Vain muutamaaan kysymykseen vastanneen kohde oli on-grid sisämaassa, jossa tuuliolosuhteet olivat huonot. Tuulimittauksia ei ollut tehty ennen tuulivoimalan asennusta. Lisäksi käytössä ei ollut akkuja tai aurinkovoimalaa. Seuraavassa keskityn neljän muun vastaajaan laajempiin vastauksiin.

Vastaajien kohteista kolme oli off-grid ja yksi on-grid ja vain yksi vastaajista oli tehnyt etukäteen tuulimittauksia. Kolme kohdetta sijaitsi sisämaassa ja yksi rannikolla. Kaikissa neljässä kohteessa oli myös aurinkovoimala ja kolmessa kohteessa oli käytössä lisäksi akkuja. Hankintahinnat vaihtelivat suuresti 400 eurosta 7000 euroon, kuten myös vuosituotot alle 50 kWh:sta 20 000 kWh:n.

Vastaajan 1 kohde on off-grid sisämaassa, jossa rakennuksen katolla on Savonius-tyyppinen Forgen Ventus 30 -voimala. Kohteessa ei tehty etukäteen tuulimittauksia, koska kyseessä on tuulinen salmipaikka. Kohteessa on käytössä myös aurinkovoimala ja akut, tuulivoimalan tärkein tehtävä on ylläpitää akkujen jännitettä viikonloppukäytössä olevassa mökissä. Ennen tuulivoimalan hankintaa akkuja ladattiin talvella aggregaatilla, mutta nykyään tuulivoimala pitää huolen akkujen varauksesta. Voimalan tuottoa ja takaisinmaksuaikaa ei ole laskettu, sillä vastaajalle tärkeintä on, että mökille mennessä akut ovat täynnä. Vastaaja on ollut tyytyväinen voimalaansa, koska se helpottaa akkujen jännitteen ylläpitämistä pimeänä vuodenaikana. Vastaaja myös suosittelee samantyyppisiin off-grid-kohteisiin samanlaista voimalaa, mikä hänellä itsellään on käytössä. Lisäksi hän muistuttaa

vielä kiinnittämään huomiota kohteen tuulisuuteen, koska ilman tuulta ei tuulivoimalla toimi.

Vastaajan 2 kohde on sisämaassa järvellä sijaitsevassa saarella, jossa ei ole sähköverkkoa. Pientuulivoimalla on kolmilapainen, lapojen pituus on 0,75 m ja valmistajan ilmoittama teho on 500 W. Käyttökokemusten perusteella tehon todettiin olevan noin 200 W. Pientuulivoimalan rinnalla on käytössä aurinkovoimalla ja akut. Voimalla tuottaa vuodessa alle 50 kWh eli takaisinmaksuaika on todella pitkä, mutta off-grid-kohteissa hinta ei ole ainoa valintaperuste laitehankinnalle. Esimerkiksi tässä kohteessa sähköverkkoliittymän hankintahinta olisi yli 15 000 euroa, kun pientuulivoimalan hankintahinta oli 400 euroa. Tässä kohteessa suurin hyöty on saatu aurinkopaneeleilla, pientuulivoiman osuus sähköntuotannosta on jäänyt pieneksi. Vastaaja on ollut kuitenkin tyytyväinen voimalaansa mielenkiintoisena kokeiluna, mutta ei suosittele sitä sähkön korkean tuotantohinnan vuoksi. Vastaaja arvioi, että off-grid-kohteessa esimerkiksi tuulisessa saaristossa pientuulivoimalla voi olla kannattava vaihtoehto. Lisäksi vastaaja toteaa monien myyjien esittävän pientuulivoimaloista liian suuria tuotantolukuja. Lisäksi Suomessa useat pientuulivoimalan hankkineet ovat sijoittaneet voimalan liian matalalle, jolloin ei päästä valmistajien ilmoittamiin tuotantolukuihin.

Vastaajan 3 kohde on off-grid sisämaassa, jossa tehtiin tuulimittauksia ennen voimalan hankintaa. Talo sijaitsee korkealla paikalla ja kolmilapainen 500 W:n pientuulivoimalla asennettiin katolle 3 metrisen maston päähän. Pientuulivoimalan lisäksi kohteessa on aurinkovoimalla ja akut. Vastaaja on tyytymätön pientuulivoimalaansa, koska tuulettomana aikana tuulivoimalan ohjauselektronikka kuluttaa akustoon varattua sähköä. Vastaaja suosittelee pientuulivoimalaa ainoastaan ympäristöön, jossa tuuliolosuhteet ovat suotuisat pientuulivoimalalle. Käyttökokemuksen perusteella omistaja kertoo voimalan aiheuttavan myrskyjen aikana ylimääräistä huolta, koska välillä lavat täytyy sitoa kiinni sähköjarrun riittämättömän tehon vuoksi. Vastaaja kertoo pientuulivoimalan olevan myös työläs rakentaa, huoltaa ja ylläpitää.

Vastaajan 4 kohde on sähköverkossa rannikolla. Kohteessa ei tehty tuulimittauksia, mutta alueella on satoja isoja tuulivoimaloita, joten tämä ja omat kokemukset tuulisuudesta saivat hankkimaan kolmilapaisen 20 kW:n voimalan, jonka napakorkeus on 25 metriä. Tuulivoimalan kanssa on käytössä aurinkovoimala. Tuulivoimala maksoi käytettynä noin 7 000 euroa, jonka lisäksi omia työtunteja on kulunut paljon. Vastaaja on ollut tyytyväinen hankintaansa, hyvä tuulinen alue on taannut hyvät tuotot. Voimala onkin maksanut jo itsensä takaisin tuottamalla omakotitalon sähkölämmitykseen ja käyttöveden lämmitykseen vuosittain 15 000–20 000 kWh. Vastaaja suosittelee pientuulivoimaa, mutta muistuttaa, että valitun paikan tulee olla tuulinen eli yleensä sisämaassa ei kannata, tekniikan tuntemus on eduksi ja voimala vaatii huoltoa ja korjauksia.

#### **4.6 Valmistajat ja jälleenmyyjät**

Vihreä Watti Oy on vuonna 2022 toimintansa aloittanut tuuli- ja aurinkoenergiaan sekä led-valaistukseen keskittyvä yritys Sotkamosta. Vihreän Watin myyntijohtaja Tero Mäkinen kertoi isojen tuulivoimaloiden vahvan tulemisen vaikuttaneen myönteisesti myös pientuulivoimaa koskevaan erittäin suureen kiinnostukseen. Pitkän kehitystyön jälkeen Vihreä Watti on aloittanut pientuulivoimaloiden myynnin ja toukokuussa 2024 valmistuukin useampi voimala muun muassa Joensuuhun, Puumalaan, Hankoon, Turkuun, Kalajoelle ja Vaasaan. Pientuulivoimaan myönnetään tällä hetkellä energiatukia maataloille 40 % ja yrityksille 15 %, mikä on vaikuttanut etenkin maatalojen kiinnostukseen. Mäkinen muistuttaa, että tuulivoimalan painolla on merkitystä voimalan laatuun ja tuottavuuteen. Esimerkiksi Vihreän Watin 5 kW:n vertikaalivoimalan turbiini painaa 450 kg. Pientuulivoimalaa harkitsevan onkin syytä kiinnittää huomiota moneen asiaan, muun muassa voimalan painoon, tuotteen laatuun, voimalan toimittajaan ja toimitussisältöön. Vihreän Watin voimaloihin kuuluu aina akusto, joka mahdollistaa tuulienergian varastoinnin. Mäkinen muistuttaa myös paikan valinnan tärkeydestä, rannikkoalueet ja korkeat aukeat soveltuvat hyvin tuulivoimalle. (Mäkinen, 2024.)



Sunwind on osa ruotsalaista AB Gylling Co:ta ja toimii mökki-, grilli- ja vapaa-ajan markkinoilla. Sunwindin valikoimissa on myös pientuulivoimaloita, joista toimitusjohtaja Juha-Pekka Toivanen kertoi lisää. Toivasen mukaan pientuulivoimaloiden suosio on laskenut aurinkopaneelien hintojen laskiessa. Hän muistuttaa kuitenkin, että hyvin toimiessaan pientuulivoimala on loistava lisä, jos se yhdistetään esimerkiksi osaksi aurinkoenergiajärjestelmää. Toivasen mukaan pientuulivoimaloita asennetaan eniten pohjoiseen, jossa aurinkoa ei ole niin paljon saatavilla tai ulkoisaaristoon, jossa tuuliolot ovat otolliset pientuulivoimalalle. Pientuulivoimalan käyttöä rajoittaa korkeiden kustannuksen lisäksi asentaminen, asennuspaikka ja esteettiset haitat. (Toivanen, 2024.)

#### **4.7 Esimerkkejä yrityksistä ja oppilaitoksista**

Pientuulivoimaloita on otettu käyttöön jonkin verran myös yrityksissä ja oppilaitoksissa. Esimerkiksi Viitasaaren ABC:n pylonissa on ollut vuodesta 2016 lähtien Windsiden pystyakselinen voimala WS-2 (Windside, n.d.). Lisäksi Viitasaaren ABC:n katolla on pystyakselisia pientuulivoimaloita ja aurinkopaneelit.

Aalto yliopistolla on käytössä Finnwindin Tuule E200 -pientuulivoimala tutkimuskäytössä. Tämän lisäksi käytössä on useita aurinkopaneeleja (Lavento, n.d.).

Vaasan yliopistolla on kolme Windsiden tuuliturbiinia. Bertil Brännbacka on tutkinut Vaasan yliopiston voimaloita tarkemmin väitöskirjassaan, jossa on myös tuottokäyriä. Tuottokäyristä on nähtävissä, että tuottoa alkaa syntyä vasta tuulen ollessa 8 m/s. (Brännbacka, 2015.) Rakennusten katolla korkeus jää sen verran matalaksi, että 8 m/s keskituuleen on vaikea päästä.

#### **4.8 Esimerkkejä ulkomailta**

Islantilainen IceWind valmistaa mikrokokoluokan tuuliturbiineja arktisiin olosuhteisiin esimerkiksi sääasemille ja hätäpalveluihin. Yrityksen tuuliturbiinit ovat päässeet jopa 40 % hyötysuhteeseen. IceWind on kiinnittänyt huomiota materiaalivalintoihin, lentokonealumiinista valmistetut lavat, hiilikuituiset akselit ja

ruostumattomasta teräksestä valmistetut muut osat kestävät jopa 70 m/s myrskytuulia. Tärkein markkina on televiestintätornit. Maailmassa on 800 000 tornia, jotka toimivat dieselillä, joten niiden muuttaminen tuulivoimalla toimiviksi olisi ympäristön kannalta loistava ratkaisu. (Vattenfall, n.d.)

Intel asensi kokeiluhankkeena Santa Claran pääkonttorin katolle 58 tuulivoimalaa, jotka tuottavat 65 kW (Perry, 2015). Valitettavasti tästä ei löytynyt uutisia vuoden 2015 jälkeen. Google Mapsista löytyi kuva vuodelta 2022, jossa tuuliturbiinit vielä olivat katolla.



**Kuva 10.** Näkymä Intelin pääkonttorin katon tuuliturbiineihin (Swartz, 2015).

## 5 PIENTUULIVOIMALAN KANNATTAVUUS

Pientuulivoimaloista on useiden vuosien ajan etsitty ratkaisua monipuoliseen energiantuotantoon. Esimerkiksi vuonna 2008 St1 ilmoitti pystyttävänsä pientuulivoimaloita bensa-asemille ympäri Suomea, mutta neljä vuotta myöhemmin pientuulivoimaloita valmistava yhteistyöyritys ajautui konkurssiin. (Bell, 2018.) Samana vuonna Helsingin Vallilaan avattiin uusi St1-asema, jonka energiantuotannosta vastasivat sekä pientuulivoimalat että aurinkopaneelit (Uusi Suomi, 2018). Google Mapsin kuva vuodelta 2022 näyttää, että asemalla on nykyään vain aurinkopaneelit ja pientuulivoimalat ovat poistettu käytöstä.

Vuonna 1992 perustettu Finnwind erikoistui aluksi pientuulivoimaloihin, mutta nykyään yrityksen suurin myyntituote on aurinkosähköjärjestelmät. Syitä pientuulivoiman vähäiselle myynnille ovat korkeat kustannukset etenkin aurinkosähköön verrattuna sekä säännöllisen huollon tarve. Parhaana vuonna yritys myi 6 pientuulivoimalaa, mutta elokuussa 2017 yhtiön tuotantopäällikkö arveli voimaloita menevän yksi tai kaksi vuodessa. (Arvinen, 2017.)

Pientuulivoimaloiden kannattavuutta voidaan arvioida kustannusten kautta, mutta pientuulivoiman kohdalla tulee huomioida muutkin hyödyt, kuten mahdollisuus tuottaa sähköä sähköjakeluverkon ulottumattomissa.

### 5.1 Pientuulivoiman kannattavuus nykyisillä teknologioilla

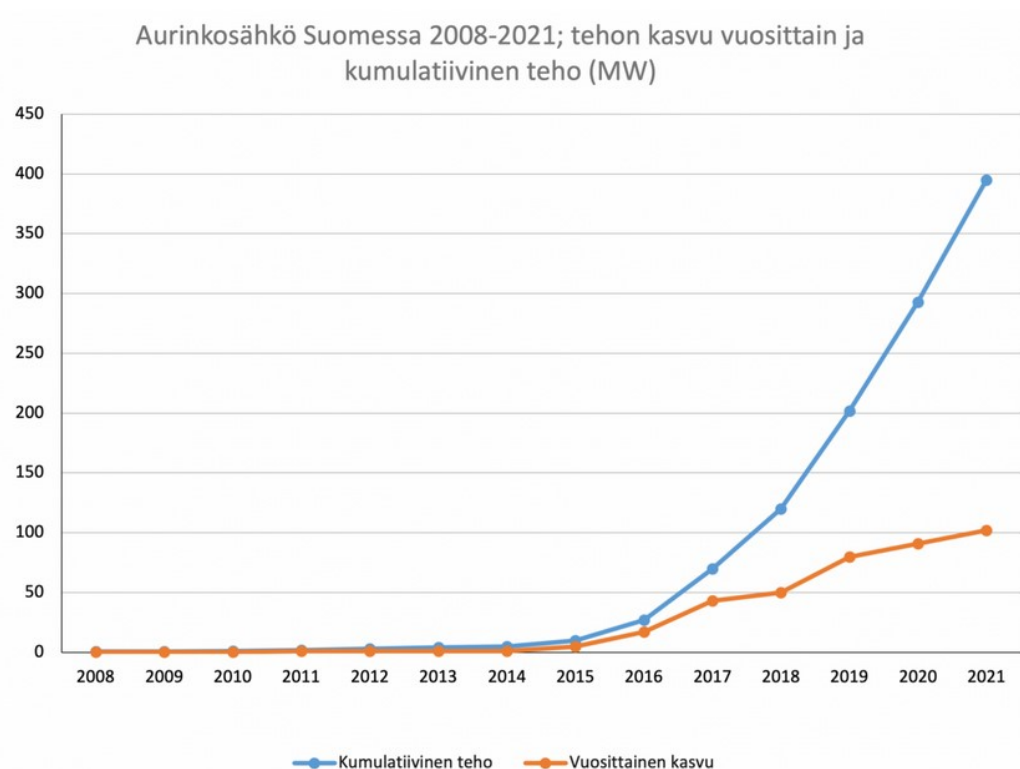
Sähköverkon ulottuvissa erilaiset lämpöpumput ovat energiatehokkaita ratkaisuja, jotka ovat kustannuksiltaan edullisia ja tarvitsevat vain vähän huoltoa ja kunnossapitoa. Suomessa on 1,6 miljoonaa lämpöpumppua (Sulpu, 2024).

Vuonna 2012 Suomessa oli noin 1 100 pientuulivoimalaa (Yle, 2012), mutta tämän jälkeen tietoa pientuulivoimaloiden määrästä ei löydy. Lainsäädäntö ja kuntakohdittaiset erot ovat tuoneet omat haasteensa pientuulivoimaloiden asentamiseen. Lisäksi pientuulivoimalan hankintakustannukset ja huoltotarpeet rajoittavat sen suosiota. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että pientuulivoima olisi syytä

kokonaan hylätä. Esimerkiksi off-grid-kohteissa, joissa sähköverkkoon ei voida liittyä tai se tulisi kohtuuttoman kalliiksi, pientuulivoimala voi olla hyvinkin kannattava vaihtoehto.

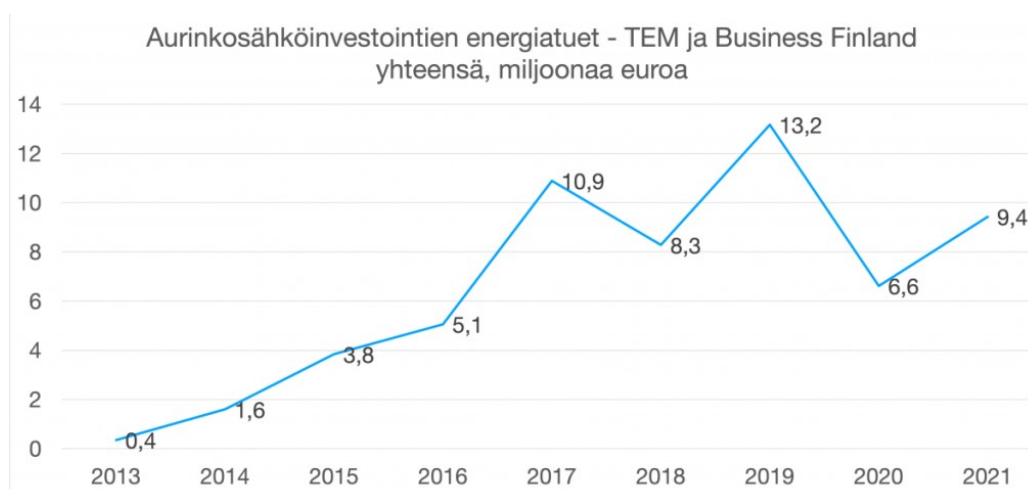
Aurinkovoimalan asentamiseen ei tarvitse rakennus- tai toimenpidelupia, joten lainsäädännön kannalta aurinkovoimalan asentaminen on helppoa. Aurinkopaneelien tuottamalla sähköllä voidaan korvata helposti lämpöpumpun tarvitsemaa sähköenergiaa. 2021 vuoden lopussa verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä oli yli 39 000 (Tuomi, 2022).

Nykyisillä teknologioilla lämpöpumput ja aurinkosähköjärjestelmät ovat ohittaneet pientuulivoiman suosion, kuten tilastotkin osoittavat. Kuvasta 11 nähdään aurinkosähkön vuosittainen kasvu Suomessa, joka on ollut hyvin nopeaa. Kasvua on vauhdittanut energian saatavuus ja hinta sekä yrityksille maksetut energiatuet (Tuomi, 2022).



**Kuva 11.** Aurinkosähkön tehon vuosittainen kasvu Suomessa (Tuomi, 2022).

Business Finland ei enää tue aurinkosähkjärjestelmiä, elleivät ne ole uutta teknologiaa. Pientuulivoimaan rahoitusta voi käyttää. (Business Finland, n.d.) Maataloudessa energiainvestoinnin tuki on 40 % (Ruokavirasto, 2024). Aiemmin Business Finlandin tukea pystyi käyttämään aurinkoenergiaan, joten on mielenkiintoista nähdä miten tuen muutos vaikuttaa yritysten investointeihin ja alkaako pientuulivoiman suosio kasvamaan. Aurinkosähköinvestointeihin maksetut tuet näkyvät kuvassa 12.



**Kuva 12.** Aurinkosähköinvestointien energiatuet (Tuomi, 2022).

Kuvista 11 ja 12 onkin selvästi nähtävissä aurinkosähkön nopea kasvu energiatu-  
kien lisääntyessä, mutta aurinkosähkö on jatkanut koko ajan kasvuaan, vaikka tu-  
kien määrä on myöhemmin vähentynytkin.

## 5.2 Uusia innovaatioita pientuulivoimaan

Ranskalainen New World Wind -yhtiö esitteli uudenlaisen tuulivoimalan, johon voi yhdistää myös aurinkovoimalan. Yhtiön innovaatio on puun kokoinen ja näköinen. Tarjolla on yksittäisiä tuulella toimivia turbiineja, joiden teho on 300 W ja hinta alkaen 695 €, hybridiversion teho on 336 W ja hinta alkaen 994 €. Isompaa puun muotoista voimalaa suunniteltaessa kustannuksetkin nousevat, esimerkiksi 5,4 kW:n voimalan hinta on alkaen 28 800 €. Kuvassa 13 on yhtiön tuuli- ja aurinkoenergiaa yhdistävä puu. (New World Wind, n.d.)



**Kuva 13.** New World Windin tuulivoiman ja aurinkoenergian yhdistävä puu (New World Wind, n.d.).

New World Windin tuuliturbiineja esiteltiin jo heinäkuun 2016 Tiede-lehdessä. Tällöin kerrottiin, että tuulipuu tuottaa sähköä kannattavasti jo pari metriä sekunnissa puhaltavalla tuulella (Tiede, 2016).

Tuuliturbiineja katoille valmistaa Hong Kongissa pääkonttoria pitävä Ridgeblade. Uudenlainen tuuliturbiini kerää ja keskittää vallitsevan tuulen hyödyntäen harjakaton olemassa olevaa pinta-alaa ja valjastaen tuulien keskittämisen (Aeolian wind focus effect). Tällöin tuuli pakotetaan kulkemaan katon pinnan yli, jolloin katon harjalle muodostuu puristuspiste, joka kiihdyttää turbiinin läpi kulkevaa ilmavirtaa. (Ridgeblade, n.d.) Turbiinin huipputeho on 5,4 kW, joka tuottaisi vuodessa jopa 22 000 kWh (Suojanen, 2024). Kuvassa 14 näkyy yksi vaihtoehto Ridgebladen kolmesta erilaisesta katonharjalle tulevasta tuuliturbiinista.





**Kuva 14.** Tuuliturbiini katonharjalla (Ridgeblade, n.d.).

Espanjalaisen Vortex Bladelessin Skybrator -voimala on värisevä sauva, joka näkyy kuvassa 15. Tuulen kiertäessä voimalaa, syntyy painepöörteitä. Pöörteiden taajuus riippuu tuulen nopeudesta, ja jos rakenteella on samankaltainen luonnollinen resonanssitaajuus, se alkaa värähtelemään ja hyödyntämään niiden energiaa. Skybrator saa aikaan vuorovaikutuksen kelojen ja magneettikenttien välillä, jolloin sähköä tuotetaan sähkömagneettisella induktiolla ilman akselin pyörimistä tai vaihdelaatikkoa. (Vortex Bladeless, n.d.)



**Kuva 15.** Vortex Bladelessin Skybrator-voimala (Vortex Bladeless, n.d.).

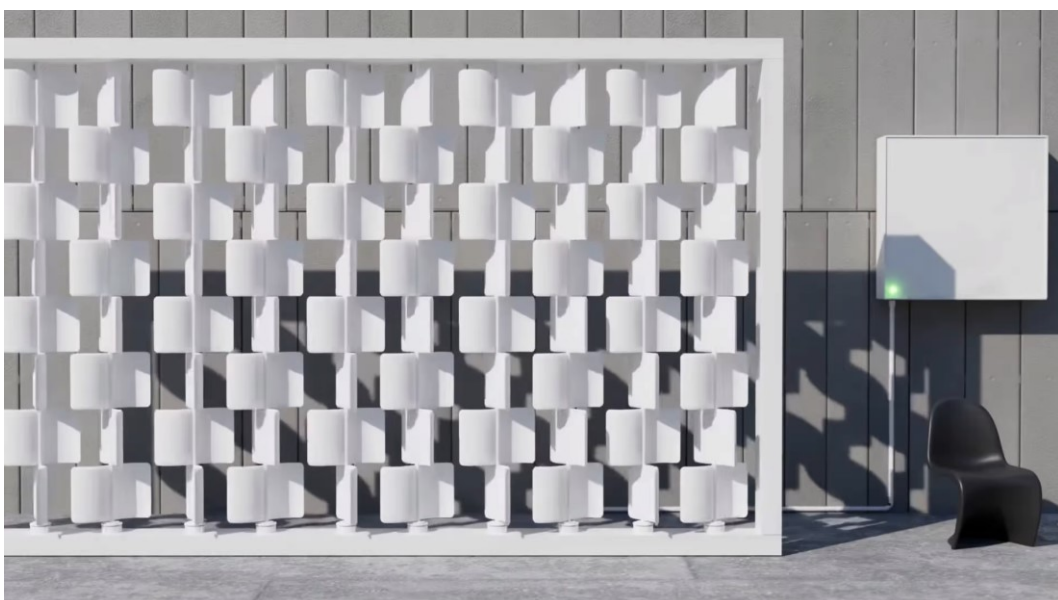
Yhdysvaltalaisen Aerominen tuulivoimala lainaa ideansa lentokoneen siivistä. Aerominen tuulivoimalassa tuulen voimaa vahvistetaan ohjaamalla ilmavirta kantsiipien tapaan. (ETN, n.d.) Tuulen kulkiessa siipien läpi, syntyy matalapaine, joka vetää ilmaa ylös imuilman ja sisäisen generaattorin läpi (Aeromine Technologies, n.d.). Ratkaisu on äänetön, mutta teho on rajallinen ja siksi talon katolle asennetaankin rivi turbiineja, tyypillisesti 20–40 kappaletta. Pienen koon ansiosta loppuosa katosta voidaan täyttää aurinkopaneeleilla, jolloin suurenkin rakennuksen energiantarve voidaan korvata täysin uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla. (ETN, n.d.) Kuvassa 16 näkyy rivi Aerominen tuuliturbiineja.





**Kuva 16.** Aerominen tuuliturbiineja katolla (Firtina, 2021).

Yhdysvalloissa on kehitteillä toinenkin uusi innovaatio pientuulivoimaan, Joe Doucetin suunnittelema tuulivoimalaseinä. Yhteen seinään tulisi noin 25 turbiinia ja kokonaisteho olisi 10 kW. Idea on mielenkiintoinen, mutta tuote ei ole vielä edes tuotannossa ja haasteena on saada tuulivoimalaseinä tuottamaan kannattavasti. (Blain, 2021.) Kuvassa 17 on Doucetin suunnittelema tuulivoimalaseinä, mutta suosittelen katsomaan myös videon aiheesta, joka näyttää miltä voimala näyttää tuulella.



**Kuva 17.** Doucetin suunnittelema tuulivoimalaseinä (Blain 2021).

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että pientuulivoimala on kallis investointi, jonka hankintaa suunniteltaessa tulee suorittaa kunnon tuulimittaukset. Taulukossa 1 on case-esimerkkien osalta yhteenveto, millaisia voimaloita on käytössä, hankintahinnat, vuosituotot ja takaisinmaksuajat.

**Taulukko 1.** Yhteenveto pientuulivoimalakokemuksista.

Kohde ja voimalan kuvaus	Hankintahinta	Vuosituotto	Takaisinmaksuaika
1. Savonius-tyyppinen Forgen Ventus 30	n. 1 000 €	Akut ovat mökille mennessä täynnä	Ei merkitystä, koska off-grid-kohde
2. Potkurimallinen, 3 lapaa, lapojen halkaisija 1,5 m	400 €	Alle 50 kWh	Pitkä, mutta off-grid-kohde
3. 500 W, kolmilapainen, katolla 3 m maston päässä	1 000 €	Ei laskettu	Ei laskettu
4. 20 kW teho, napakorkeus 25 m, kolmilapainen	Käytettynä n. 7 000 € ja paljon omaa työtä	15–20 000 kWh	On jo maksanut itsensä takaisin
5. Rutland, 6 m masto, 750 W	Generaattori n. 2 500 €, lisäksi masto ja säätimet		Pitkä, mutta off-grid-kohde

6. 5 kW teho, masto 22 m, kolmilapainen	n. 15 000 € kaikkineen	2 000 kWh	Pitkä
7. 4 kW:n Tuule C200		2 851–3 689 kWh	
8. 6 kW, 20 m masto, 3 m lavat	tuhansia	2 000–3 000 kWh	

Voimalan 2 omistaja muistuttaa vielä, että valmistajien ilmoittamat tuotot ovat hyvin ylimitoitettuja. Tästä syystä hankintaa miettivän tulee perehtyä millaiset tuuliolosuhteet ovat omassa kohteessa ja millaiset voimalan todelliset tuotot voisivat olla. Voimalan 3 omistaja kertoo, että tuulettomana aikana tuulivoimalan ohjauselektronikka kuluttaa akustoon varattua sähköä. Tämä on hyvä huomioida suunnittelussa siten, että sähköä riittää myös käyttöön. Voimalan 4 omistajan kokemuksen mukaan pientuulivoimala ei kannata sisämaassa. Kaikkien opinnäytetyöhöni tehtyjen haastattelujen perusteella olen sitä mieltä, että tämä on hyvä perussääntö, mutta poikkeus vahvistaa säännön. Hyviä tuottoja voidaan saavuttaa sisämaassakin, jos kohde on esimerkiksi korkealla paikalla ja rakennukset tai puut eivät estä tuulta. Voimalan 4 omistaja muistuttaa myös, että tekniikan tuntemus on hyväksi, etenkin voimalan huoltojen ja mahdollisten korjaustarpeiden vuoksi. Voimaloiden 6 ja 7 omistajat kertovat, että heille taloudellisuus ei ole heille pientuulivoimalassa tärkeintä, vaan muut arvot ja mielenkiinto aiheita kohtaan.

Näiden kokemusten lisäksi sain kuulla lyhyesti kolmesta huonosta kokemuksesta. Ensimmäisessä kohteessa oli kolmilapainen voimala sisämaassa. Voimalan suurin ongelma on ollut se, että voimala on ollut useammin rikki kuin käytössä. Toisessa kohteessa oli pysty akselinen voimala meren saaristossa. Voimala kesti noin kaksi vuotta, kunnes rikkoontui kovalla tuulella. Tuottoja voimalasta ei tullut.

Kolmannessa kohteessa pystymallinen voimala sisämaassa ei tuottanut sähköä ja voimala myytiin pois.

Pientuulivoimaloita on kokeiltu myös kerrostalojen katoille, mutta niistä on tois-  
taiseksi saatu huonoja kokemuksia. Vuonna 2011 Raahen Kummatin alueella asen-  
nettiin neljän kerrostalon katoille yhteensä 8 pientuulivoimalaa (Kontukoski, n.d.).  
Kolmen käyttövuoden jälkeen tuulivoimalat poistettiin kokonaan. Syitä tuulivoi-  
maloiden poistamiselle olivat voimaloiden toimimattomuus ja tuottamattomuus.  
(Raahen Seutu, 2024.) Helsingin Arabianrannassa sijaitsevan kerrostalon katolle  
asennettu pientuulivoimala aiheutti outoa värinää. Ongelmaa yritettiin korjata  
jäykistämällä seiniä ja teräsrakenteita sekä valamalla kuitulaatta. Mikään näistä  
toimista ei poistanut värinää, jonka kuvailtiin muistuttavan maanjäristystä. Kym-  
menen vuoden jälkeen voimalan poistamiselle saatiin ehdollinen lupa. Luvan edel-  
lytyksenä oli, että mikäli värinä olisi jatkunut voimalan poistamisen jälkeen, olisi  
voimala täytynyt palauttaa paikalleen. (Vehkasalo, 2016.) Vuonna 2009 Ruotsin  
Göteborgissa asennettiin ensimmäinen tuuliturbiini kerrostalon katolle (SVT Ny-  
heter, 2009). Tuuliturbiini jouduttiin poistamaan, koska se aiheutti todella kovaa  
melua ja tärinää, mutta tuotti liian vähän sähköä (Göteborgs-Posten, 2010).

Teoriatiedon ja haastattelujen pohjalta tulen lopputulokseen, että hyvä suunnit-  
telu on ensimmäinen edellytys, jotta pientuulivoimala voi olla järkevä investointi.  
Suunnittelussa huomioitavaa on paikan valinta ja hyvät tuuliolosuhteet. Paikassa  
ei saa olla isoja esteitä ja esimerkiksi maston pitää olla korkeampi kuin puiden lat-  
vojen. Paikan valinnan jälkeen siellä tulee suorittaa vuoden ajalta tuulimittaukset.  
Tuulimittarit eivät ole iso investointi verrattuna pientuulivoimalan hintaan, joten  
mittauksien tekemättä jättämistä ei kannata valita säästökohteeksi. Jos pitkän  
ajan tuulimittaukset näyttävät, että pientuulivoimala voisi olla kohteessa järkevä  
valinta, seuraavat askeleet ovat luvat ja voimaloiden vertailu.

Haastattelujen perusteella kunnat ovat olleet myönteisiä luvan myöntämiseksi ja  
yleensä toimenpidelupa on riittänyt. Voimaloiden vertailu on haastavin osuus,  
koska tarjonta on hyvin monipuolista niin kokoluokan kuin hinnan osalta. Itse

kokoaisin vertailua eri vaihtoehtojen osalta. Taulukkoon 2 on koottu asioita, joita kannattaa ottaa huomioon vertailussa.

**Taulukko 2.** Pientuulivoimalan hankinnassa huomioon otettavat asiat.

<b>Kohteen tarpeet</b>	<b>Millainen voimala on?</b>	<b>Voimalan hinta</b>	<b>Voimalan huolto</b>	<b>Ympäristövaikutukset</b>
Mille laitteille tarvitaan sähköä ja mikä on kokonaisenergiantarve?	Koko, lapojen pituus, maston pituus	Mitä hintaan sisältyy?	Voitko huoltaa itse vai tarvitsetko ammattilaisen huoltamaan?	Miten voimala soveltuu ympäristöön?
Millaisia energiantuotantoratkaisuja kohteeseen on ja minkä hintaisia muut ratkaisut ovat?	Teho	Arvio vuosituotosta ja takaisinmaksuajasta	Huoltokustannukset	Kuinka lähellä naapurit ovat ja mitä mieltä he ovat voimalasta?
Onko kohde käytössä vain kesällä vai ympäri vuoden?	Paino	Asennuskustannukset ja saatavilla olevat tuet	Jos masto pittää kaataa huollon ajaksi, onko sille tilaa?	Melu- ja värähtelyvaikutukset

Teknologiayrittäjä Martin Flusberg julkaisi LinkedInissä kirjoituksen, jossa hän tarkasteli laajasti pientuulivoimaa. Hänen kirjoituksessaan nousi vahvasti esille se, että vuosina 2008–2011 Yhdysvalloissa pientuulivoimaa asennettiin paljon, mutta

tuotot eivät vastanneet odotuksia ja myöhemmin voimaloita poistettiin käytöstä. Tästä huolimatta pientuulivoima kiinnostaa edelleen ja esimerkiksi NREL (National Renewable Energy Laboratory) on myöntänyt 2,9 miljoonaa dollaria useille pien- ja keskisuurten tuuliturbiinien valmistajille kehitystyöhön. Flusberg suosittelee kaupunkiympäristöön pystyakselisia voimaloita. Pystyakselisten voimaloiden etu on, että turbulenttiset ilmavirtaukset vaikuttavat niihin vähemmän ja ne toimivat pienemmillä tuulennopeuksilla. Lisäksi ne aiheuttavat vähemmän tärinää ja ovat hiljaisempia. (Flusberg, 2023.)

Pientuulivoimalaksi luokitellaan vielä voimalat, jotka ovat alle 50 metriä korkeita ja teholtaan alle 50 kW. Kun tarkastellaan näitä isoimpia vielä pientuulivoimalaksi luokiteltavia voimaloita, huomataan, että koon kasvaessa myös tuotot kasvavat. Näistä löytyy useampiakin uutisia, joissa omistajat kertovat tarkemmin voimaloistaan ja tuotoista. Jos siis energiantarve on suurempi, esimerkiksi maatilalla, ja tuulivoimalan kokoa ollaan valmiita kasvattamaan, voi pientuulivoimasta löytyä hyvin kannattavia vaihtoehtoja.

Aurinkovoima kasvattaa koko ajan suosiotaan ja tärkeimmät syyt suosion kasvulle ovat hankintahinta ja huoltovapaus. Lisäksi pientuulivoimalaan verrattuna aurinkovoimalan takaisinmaksuaika on lyhyempi hyvän sähköntuotannon vuoksi. Esimerkiksi 5 kW:n aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa 4 300–4 800 kWh vuodessa (Solarum, 2024). Jos sähköenergia maksaa 0,15 €/kWh ja 5 kW:n voimala tuottaa vuodessa 4 500 kWh, vuosituotto on tällöin 675 €. Aurinkovoimaloiden hinnoissa on valmistajien välillä eroja. Käytetään esimerkkinä voimalaa, jonka hinta asennettuna on 6 000 €. Takaisinmaksuajaksi tässä tapauksessa tulee 9 vuotta. Sähköverkkoon kuuluvissa kohteissa on myös mahdollista myydä ylijäämäsähköä ja näin lyhentää voimalan takaisinmaksuaikaa (Elenia, n.d.). Monella pientuulivoimalan omistajalla oli myös aurinkovoimala ja monet heistä totesivat aurinkovoiman olevan parempi ratkaisu etenkin kustannusten vuoksi. Suomen Tuulivoimayhdistys on laajentamassa toimintaansa teollisen kokoluokan aurinkovoimaan. Yhdistyksen uutta nimeä ei ole vielä julkaistu. (Suomen tuulivoimayhdistys 9, 2024.)

Suomen ympäristöopisto SYKLI, Hämeen ammattikorkeakoulu ja logistiikan parissa toimiva Limowa ovat aloittaneet helmikuussa 2024 SmartCityWind-hankkeen. Hankkeessa mitataan tuulioloja kerrostalojen katoilla, merenrantojen läheisyydessä sekä muuten avoimilla alueilla. Tuulimittausten lisäksi hankkeessa selvitetään lupamenettelyä. Uusi rakentamislaki astuu voimaan vuonna 2025 ja tämä saattaa tuoda muutoksia pientuulivoiman lupamenettelyihin. (Sykli, n.d.) Uudessa rakentamislaisissa ennallaan pysyy se, että rakentamislupa täytyy hakea yli 30 metriä korkeille mastoille (Rakentamislaki 751/2023, 42 §). Pientuulivoiman sijoittamista voidaan ohjata myös kunnan rakennusjärjestyksellä, joka voi olla erilainen kunnan eri alueilla. Rakennusjärjestys voi koskea rakennuspaikkaa, rakennuksen sijoittamista ja kokoa. Kunnan rakennusjärjestys ei voi ohittaa yleis- tai asemakaavaa. (Rakentamislaki 751/2023, 17 §.) SmartCityWind-hankkeen lisäksi vuoden 2025 alusta on käynnistymässä pienten tuuliturbiinien testausvaihe (Sykli, n.d.).

Pientuulivoiman suurin haaste on sen taloudellinen kannattavuus. Silti pientuulivoimassa nähdään iso potentiaali, josta esimerkkinä on luvussa 5.2. kuvatut uudet innovaatiot. Näiden lisäksi kehitteillä on vielä monia muitakin uudenlaisia pientuulivoimaloita, kuten tulppaania muistuttava Flower Turbine (Flower Turbines, n.d.) ja vesiputousta muistuttava kelluva Wind Catching (Wind Caching, n.d.). Arvioin, että lähitulevaisuudessa markkinoille tulee taloudellisesti kannattava pientuulivoimala, joka parhaassa tapauksessa soveltuu kaupunkiympäristöön.

## LÄHTEET

- Aeromine Technologies. N.d. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta <https://aeromine-technologies.com/>
- Arvinen, M., 1.8.2017. Pientuulivoiman kysyntä kaatui kustannuksiin. Noudettu 13.3.2024 osoitteesta <https://www.sahkomaailma.fi/pientuulivoiman-ky-synta-kaatui-kustannuksiin/>
- Bell, C. V., 30.7.2018. Autotoday 10 vuotta sitten: Pientuulivoimalasta ei tullut menestystä. Autotoday. Noudettu 13.3.2024 osoitteesta <https://autotoday.fi/autotoday-10-vuotta-sitten-pientuulivoimalasta-ei-tullut-menestysta/>
- Birdlife. N.d. Tuulivoima ja linnut. Noudettu 20.3.2024 osoitteesta <https://www.birdlife.fi/suojelu/vaikuttaminen/tuulivoima/>
- Blain, L. 29.12.2021. "Wind turbine wall" turns power generation into an aesthetic feature. Noudettu 27.3.2023 osoitteesta <https://newatlas.com/energy/wind-turbine-wall-doucet/>
- Brown, L. R., Talvikallio, E. 2017. Suuri energiamurros: Hyviä uutisia energiataloudesta ilmastonmuutoksen aikakautena. Helsinki. Into.
- Brännbacka, B. 2015. Technical improvements of Windside wind turbine systems. Noudettu 30.4.2024 osoitteesta [https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/7244/isbn\\_978-952-476-635-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/7244/isbn_978-952-476-635-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Business Finland. N.d. Energiatuki. Noudettu 15.4.2024 osoitteesta <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>
- Eklund, E. 2011. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. Noudettu 7.3.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/files/6010/Joka\\_miehen\\_opas\\_pientuulivoiman\\_kayttoon.pdf](https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf)
- Elenia. N.d. Aurinkosähkö ja sähkön pientuotanto. Noudettu 30.4.2024 osoitteesta <https://www.elenia.fi/palvelut/kotiin-ja-mokille/aurinkosahkon-ja-pientuotannon-liittaminen>



Ely-keskus. 2024. Maatuulivoima. Noudettu 4.4.2024 osoitteesta

<https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/maatuulivoima>

Eolus. 29.2.2024. Maakaapeli vai ilmajohto? Toimivimman ratkaisun valinta on monen tekijän summa. Noudettu 24.4.2024 osoitteesta

[https://eolus.fi/mfn\\_news/maakaapeli-vai-ilmajohto-toimivimman-ratkaisun-valinta-on-monen-tekijan-summa/](https://eolus.fi/mfn_news/maakaapeli-vai-ilmajohto-toimivimman-ratkaisun-valinta-on-monen-tekijan-summa/)

ETN. N.d. Uusi turbiini voi mullistaa tuulivoiman. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta

<https://etn.fi/index.php/13-news/14117-uusi-turbiini-voi-mullistaa-tuulivoiman>

Finnwind. N.d. Usein kysyttyä pientuulivoimasta. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta

<https://finnwind.fi/pientuulivoimala/>

Firtina, N. 21.11.2021. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta <https://interestingengineering.com/innovation/aeromine-wind-turbine-without-blade>

Flower Turbines. N.d. Noudettu 30.4.2024 osoitteesta <https://www.flowerturbines.com/>

Flusberg, M. 4.4.2023. Is the Growth of Rooftop Wind Still in the Wind? Noudettu

25.4.2024 osoitteesta <https://www.linkedin.com/pulse/growth-rooftop-wind-still-martin-flusberg>

Göteborgs-Posten. 26.10.2008. Vindkraftverk på hustak tas bort. Noudettu

29.4.2024 osoitteesta <https://www.gp.se/nyheter/goteborg/vindkraftverk-pa-hustak-tas-bort.f33fde5b-243b-48c5-92b6-6a108fdf48d6>

Haapanen, A., Kumpulainen, L., Kitinoja, A., ym. Energiakylä. 2015. Noudettu

8.3.2024 osoitteesta [https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/7296/isbn\\_978-952-476-693-7.pdf;jsessionid=F8DBFD70F102210ED5CB201CBB54756C?sequence=1](https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/7296/isbn_978-952-476-693-7.pdf;jsessionid=F8DBFD70F102210ED5CB201CBB54756C?sequence=1)

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. 252/2017. Noudettu 19.4.2024

osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170252>

Ilmatieteenlaitos. N.d. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuliatlas>

- Kontukoski. N.d. Kummatti. Noudettu 29.4.2024 osoitteesta <https://kontukoski.fi/portfolio/kummatti/>
- Korpela, A. 2016. Tuulivoiman perusteet. Tampere. AMK-Kustannus Oy Tammer-tekniikka.
- Kumar, P.M., Sivalingam, K., Narasimalu, S., Lim, T.-C., Ramakrishna, S. and Wei, H. 2019. A Review on the Evolution of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: Small Wind Turbines. Journal of Power and Energy Engineering. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=92117>
- Käpylehto, J. N.d. Oman kesämökin sähköistäminen. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta <http://www.vaihdavirtaa.net/page/show/id/kesamokinsahkoistaminen>
- Lavento, D. 14.3.2022. Pientuulivoimala tuottaa sähköä aurinkosähkön kanssa. Noudettu 29.4.2024 osoitteesta <https://rakennusmaailma.fi/pientuulivoimala-tuottaa-sahkoa-aurinkosahkon-kanssa/>
- Lavento, D. N.d. 239 kWp ja 103 kWp aurinkovoimalat Aalto-yliopisto ja Otaniemen kampus. Noudettu 30.4.2024 osoitteesta <https://finnwind.fi/referenssit/aalto-yliopisto-ja-otaniemen-kampus/>
- Marjala, H. 7.5.2021. Noudettu 4.4.2024 osoitteesta <https://twitter.com/helimarjala/status/1390533085482061827/photo/1>
- Motiva. 11.4.2023. Tuulivoimateknologia. Noudettu 26.1.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima\\_suomessa/tuulivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia)
- MTV Uutiset. 5.2.2015. Vältä tätä arkipäivän meteliä – voi vahingoittaa kuuloasi. Noudettu 4.4.2023 osoitteesta <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/valta-tata-arkipaivan-metelia-voi-vahingoittaa-kuuloasi/4755798#gs.6w27on>
- Mäkinen, T. 18.4.2024. Puhelu.
- New World Wind. N.d. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta <https://www.newworldwind.com/>

- Noponen, S. 15.3.2023. Selvitys: Puolustusvoimien tarpeet rajoittaneet Itä-Suomen tuulivoimarakentamista. Ilta-Sanomat. Noudettu 4.4.2024 osoitteesta <https://www.is.fi/taloussanomat/art-2000009455589.html>
- Paukku, T. Puussa pyörii miniturbiineja. 7/2016. Tiede.
- Pennanen, J. 23.2.2024. Sähköposti.
- Perry, T. S. 2015. Intel Ups its Green Game with a Rooftop Wind Farm. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta <https://spectrum.ieee.org/intel-ups-its-green-game-with-a-rooftop-wind-farm>
- Pulkkinen, E. 18.4.2024. Puhelu.
- Raahen Seutu. 2.4.2024. Vuosien takaa: Kummatin pientuulivoimalat lähtivät lopullisesti. Noudettu 29.4.2024 osoitteesta <https://www.raahenseutu.fi/vuosien-takaa-kummatin-pientuulivoimalat-lahtivat/6279364>
- Rakentamislaki 751/2023. Noudettu 30.4.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajan-tasa/2023/20230751?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=rakentamislaki>
- Ridgeblade. N.d. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta <https://ridgeblade.com/technology/>
- Ruokavirasto. Maatalouden investointituet. 2024. Noudettu 15.4.2024 osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/investoinnit/maatalouden-investointituet/#3.-maatilojen-energiainvestoinnit>
- Sarvela, A. 18.4.2024. Puhelu.
- Siivikko, J. Koskinen, R. 7.9.2022. Inarilainen Hannu Mäkinen rakensi mökilleen oman sähköntuotannon – nyt muut kadehtivat häntä: “Tuo se vain käyttää ilmaista sähköä”. Noudettu 29.4.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-12587063>
- Simo. 1.2.2024. Simon aurinkovoimalan rakennustyöt aloitetaan kevään aikana. Noudettu 11.4.2024 osoitteesta <https://www.simo.fi/ajankohtaista/simon-aurinkovoimalan-rakennustyot-aloitetaan-kevaan-aikana/>

- Solarum. 5.4.2024. Aurinkopaneeli tuotto- kuinka paljon energiaa aurinkopaneelit voivat tuottaa? Noudettu 30.4.2024 osoitteesta <https://solarum.fi/aurinkopaneeli-tuotto/>
- Sulpu. 25.1.2024. Lämpöpumppumyynti normalisoitui huippuvuoden jälkeen edellisten vuosien tasolle. Noudettu 25.4.2024 osoitteesta <https://www.sulpu.fi/lampopumppumyynti-normalisoitui-huippuvuoden-jalkeen-edellisten-vuosien-tasolle/>
- Suojanen, K. 19.2.20234. Tekniikka & Talous. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/uudenlainen-tuuliturbiini-asetaan-katonharjalle-ja-tuottaa-energiaa-ympari-vuorokauden-5-4-kw-huipputeholla-jopa-22000-kwh-vuodessa/fc1fe62a-0d5f-4e6b-94fc-6479dab3bdd0>
- Suomen tuulivoimayhdistys 1. N.d. Yleistä pientuulivoimasta. Noudettu 4.1.2024 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/pientuulivoima/yleista-pientuulivoimasta>
- Suomen tuulivoimayhdistys 2. N.d. Yleistä merituulivoimasta. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/merituulivoima/yleista-merituulivoimasta>
- Suomen tuulivoimayhdistys 3. N.d. Eri tuulivoimalatyyppejä. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/eri-voimalatyyppeja>
- Suomen tuulivoimayhdistys 4. N.d. Tuulivoimaloille haettavat luvat. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tuulivoimasta-kunnille/tuulivoimahanke/tuulivoimaloille-haettavat-luvat>
- Suomen tuulivoimayhdistys 5. N.d. Tuulivoimaloiden rakenne. Noudettu 26.2.2024 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>

Suomen tuulivoimayhdistys 6. N.d. Infraääni. Noudettu 4.4.2024 osoitteesta

<https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tuulivoimasta-kunnille/tuulivoimaloiden-aani/infraaani>

Suomen tuulivoimayhdistys 7. N.d. Toiminnassa olevat ja puretut voimalat. Noudettu 4.4.2024 osoitteesta

<https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/toiminnassa-olevat-puretut>

Suomen tuulivoimayhdistys 8. 31.12.2023. Tuulivoima Suomessa 2023. Noudettu 4.4.2024 osoitteesta

[https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima\\_vuositilastot-2023-3.pdf](https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot-2023-3.pdf)

Suomen tuulivoimayhdistys 9. 19.4.2024. Suomen Tuulivoimayhdistys laajentaa toimintaansa aurinkovoimaan. Noudettu 25.4.2024 osoitteesta

<https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tiedotteet/suomen-tuulivoimayhdistys-laajentaa-toimintaansa-aurinkovoimaan>

SVT Nyheter. 29.5.2009. Göteborg – Vindkraftverk på taket stör grannarna. Noudettu 29.4.2024 osoitteesta

<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vast/goteborg-vindkraftverk-pa-taket-stor-grannarna>

Swartz, A. 2015. Intel's HQ gets a new renewable energy crown, but not the type you think. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta

<https://www.bizjournal.com/sanjose/news/2015/05/22/intels-hq-gets-a-new-renewable-energy-crown-but.html>

Sykli. N.d. SmartCityWind: Kaupunkituulivoimasta lisää virtaa energiasiirtymään. Noudettu 29.4.2024 osoitteesta

<https://sykli.fi/vaikuttaminen/kehittamishankkeet/smartcitywind/>

Thermopolis. N.d. Noudettu 9.2.2024 osoitteesta

<https://www.thermopolis.fi/>  
THL. 7.12.2023. Tuulivoima ja melu. Noudettu 4.4.2023 osoitteesta  
<https://thl.fi/aiheet/ymparistoterveys/melu/tuulivoima-ja-melu>

TTGreen. N.d. Tuulivoima. Noudettu 12.4.2024 osoitteesta

<http://ttgreen.fi/tuulivoima/>

Tuomi, T. 23.6.2022. Aurinkoenergiajärjestelmien lukumäärä 2021 lopussa selvitetty ja MW-luokan aurinkovoimalat yleistyvät. Noudettu 28.4.2024

- osoitteesta <https://lahienergia.org/aurinkoenergiajarjestelmien-lukumaara-2021-lopussa-selvitetty-ja-mw-luokan-aurinkovoimalat-yleistyvat/>
- Uusi Suomi. 30.10.2008. Helsingissä avataan uudenlainen huoltoasema. Noudettu 13.3.2024 osoitteesta <https://www.uusisuomi.fi/uutiset/helsingissa-avataan-uudenlainen-huoltoasema/115bb1fd-2c78-3dff-9f1a-87f459f47845>
- Vattenfall. N.d. Små vindturbiner kan fasa ut dieselmotorer. Noudettu 8.3.2024 osoitteesta <https://www.vattenfall.se/fokus/trender-och-innovation/vind-mikro/>
- Vehkasalo, J. 21.2.2016. Outo vibraatio vaivaa kerrostaloa: "Vastaa maanjäristystä". Uusimaa. Noudettu 29.4.2024 osoitteesta <https://www.uusimaa.fi/paikalliset/1703879>
- Vortex Bladeless. N.d. Noudettu 12.3.2024 osoitteesta <https://vortexbladeless.com/technology>
- Wilkins, M., Valjakka, N. & Palanterä, J. 2012. Tuulivoima. Helsinki. Perhemediat.
- Wind Caching. N.d. Noudettu 30.4.2024 osoitteesta <https://www.windcaching.com/>
- Windesol. N.d. Tuulivoimalat: oman pientuulivoimalan hankkiminen. Noudettu 17.4.2024 osoitteesta <https://windesol.fi/tuulivoimala-kotiin/>
- Windside. N.d. Pientuulivoimala WS-2. Noudettu 30.4.2024 osoitteesta <https://windside.com/fi/tuotteet/ws-2/>
- WWF. N.d. Tuulivoima. Noudettu 27.3.2024 osoitteesta <https://wwf.fi/tuulivoima/#tuulivoimaloiden-luonto-ja-ymparistovaikutukset>
- Yle. 8.6.2012. Epäselvä laki näivettää bisneksen: Onko pientuulivoimala rakennus vai ei? Noudettu 15.4.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-5079182>
- Ympäristöministeriö. 2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Noudettu 4.4.2024 osoitteesta [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79057/OH\\_5\\_2016.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79057/OH_5_2016.pdf)

## LIITTEET

### LIITE 1

# Kysely pientuulivoimasta

Tämä kysely on osa Vaasan ammattikorkeakoulussa toteuttamaani opinnäytetyötä aiheesta "Pientuulivoiman mahdollisuudet kuluttajille ja yrityksille". Opinnäytetyössäni vastaukset käsitellään nimettöminä.

1. Onko kohteesi

On-Grid

Off-Grid

Muu

2. Teitkö tuulisuusmittauksia ennen pientuulivoimalan hankintaa?

Kyllä

Ei

3. Millaiset tuoliolosuhteet pientuulivoimakohteessasi on?

Kirjoita vastaus

4. Missä pientuulivoimalasi sijaitsee?

Saaristossa

Rannikolla

Sisämaassa

Sisämaassa erityisen korkealla paikalla

Muu

5. Millainen pientuulivoimalasi on? (Onko voimala mastossa (maston korkeus) vai rakennuksen katolla, kolmilapainen, Darrieus/Savonius, voimalan teho jne.)

Kirjoita vastaus

6. Onko tuulivoimalan kanssa käytössä akkuja?



Kyllä

Ei

7. Onko tuulivoimalan kanssa käytössä aurinkovoimalaa?



Kyllä

Ei

8. Voimalan kustannukset (tai suuruusluokka)?



Kirjoita vastaus

9. Voimalan vuosituotto ja (arvioitu) takaisinmaksuaika?



Kirjoita vastaus

10. Oletko ollut tyytyväinen pientuulivoimalaasi?



Kyllä

Ei

11. Miksi olet ollut tyytyväinen tai tyytymätön pientuulivoimalaasi?



Kirjoita vastaus

12. Suositteletko pientuulivoimaa?



Kyllä

Ei



13. Miksi suosittelet/et suosittele pientuulivoimaa? Onko tiettyjä kohteita joihin suosittelet/et suosittele?



Kirjoita vastaus

14. Muita huomioita?



Kirjoita vastaus

15. Mikäli haluat, että otan sinuun yhteyttä lisätietojen kysymiseksi, voit jättää yhteystietosi tähän.



Kirjoita vastaus

Lähetä