



Otto Miettinen

Pientuulivoimalat pientaloalueilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

23.4.2026

Tiivistelmä

Tekijä: Otto Miettinen
Otsikko: Pientuulivoimalat pientaloalueilla
Sivumäärä: 27 sivua + 1 liite
Aika: 23.4.2026

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Kiinteistöjen sähkötekniikka
Ohjaajat: Lehtori Juha Kallunki

Opinnäytetyö käsittelee pientuulivoiman hyödyntämistä pientaloalueilla. Työssä käsiteltiin erilaisten pientuulivoimalaratkaisuiden soveltuvuutta ja taloudellista kannattavuutta. Tavoitteena oli selvittää pientuulivoimalaratkaisuiden mahdollisuuksia ja ongelmia pientaloympäristössä.

Työssä käytiin läpi erilaisia tuulivoimalatyyppejä sekä tuulivoiman hyödyntämistä yleisellä tasolla. Lisäksi työssä tehtiin laskelmia oikean pientuulivoimalan antamista tuotantotiedoista. Tuotantotietojen perusteella on laskettu pientuulivoimalan tuotantokyky, ja niiden perusteella on päätelty pientuulivoimalan kannattavuutta ja soveltuvuutta pientalojen käytössä.

Pientuulivoimalan hankintaan liittyy paljon taustatyötä ja erilaisia selvityksiä. Tähän opinnäytetyöhön on myös koottu pientuulivoimalan hankintaan tarvittavia taustatietoja, lupakäytäntöjä sekä mahdollisia rajoitteita. Työssä käsiteltiin edellä mainittuja asioita sekä suurempien pientuulivoimaloiden että pienempien katolle asennettävien pientuulivoimaloiden näkökulmasta.

Lopputuloksena syntyi monipuolinen selvitys pientuulivoiman mahdollisuuksista ja haasteista. Pientuulivoimala on harvoin taloudellisesti kannattava investointi, mutta sen hankkimiselle voi olla muitakin perusteita, kuten ympäristötekijät.

Avainsanat: pientuulivoima, pientuulivoimala, tuulivoima, tuulivoima
asuinalueella

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Otto Miettinen
Title: Small-Scale Wind Turbines in Detached House Areas
Number of Pages: 27 pages + 1 appendix
Date: 23 April 2026

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Building Services
Supervisors: Juha Kallunki, Senior Lecturer

The thesis discusses utilization of small-scale wind turbines in detached house areas. The thesis work examined different small wind power solutions and their suitability and profitability. The purpose was to determine opportunities and challenges of small wind power in detached housing environment.

The thesis reviews different small wind turbine types and utilization of wind power in general terms. In addition, the thesis includes calculations of production data from an actual small-scale wind power plant. The production capacity of the wind power plant has been calculated based on the production data, and the profitability and suitability of the small wind turbine in detached house areas have been determined.

The acquisition of a small wind turbine includes plenty of preparatory work and research. The thesis also handles necessary preparatory work of purchasing a small wind turbine, licensing procedures and potential restrictions. The thesis discusses these matters from a point of view of both larger scale small wind turbines and smaller scale turbines, typically installed on the roof.

The result is information concerning opportunities and challenges of small wind power in detached house areas. A small-scale wind turbine is rarely a financially profitable solution. However, there may be other motives for purchasing a small wind turbine, for example environmental issues.

Keywords: wind power, small wind power, small wind power plant,
wind power in detached house areas

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tuulivoima yleisesti	2
2.1	Tuulivoiman perusteet	2
2.2	Tuulivoiman käyttö Suomessa	3
2.3	Hyödyt ja haitat	4
3	Eri tuulivoimalatyypit	5
3.1	Pystyakseliset tuulivoimalat	5
3.2	Vaaka-akseliset tuulivoimalat	7
3.3	Lapojen määrän vaikutus tuulivoimalaan	9
3.4	Muunlaiset tuulivoimalatyypit	10
4	Tuulivoiman käyttö asuinalueilla	12
5	Pientuulivoimaladatan käsittely	19
6	Pientuulivoimalan taloudellinen kannattavuus	23
7	Yhteenveto	24
	Lähteet	26
	Liite 1: Excel-taulukko tuulivoimadatasta	

1 Johdanto

Tuulivoima on voimakkaasti kasvava energiatuotannon ala, ja sen käyttö on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina Suomessa. Tuulivoiman tuotannon edullisuus taloudellisesti sekä ympäristöystävällisyys ovat suurimpia syitä sille, miksi tuulivoiman käyttöä on viime vuosina lisätty energiantuotannossa. Tuulivoima tarjoaa myös mahdollisuuden korvata uusiutumattomia energialähteitä ja sitä kautta muuttaa energiantuotantoa ympäristöystävällisemmäksi. [1.] Tuulivoimaloista on olemassa myös pienemmän kokoluokan versioita, joita kutsutaan pientuulivoimaloiksi. Tässä työssä tarkastellaan niiden hyödyntämismahdollisuuksia pientaloalueilla sekä asukkaiden energiantuotannossa.

Tämän opinnäytetyön aiheena on pientuulivoiman hyödyntäminen asuinalueilla sekä siihen liittyvät edut ja haasteet ja taloudellinen kannattavuus. Tavoitteena on selvittää, minkälaisiin ratkaisuihin pientuulivoimaa on mahdollista hyödyntää. Lisäksi tavoitteena on myös selvittää, onko tietynlainen pientuulivoimala taloudellisesti kannattava. Opinnäytetyössä käydään myös läpi, minkälaisilla ratkaisuilla pientuulivoiman käyttöä olisi mahdollista kehittää. Pientuulivoimalat pientaloalueilla valikoitui opinnäytetyön aiheeksi oman mielenkiinnon kautta sekä ohjaavan opettajan ehdottamana.

Työssä käsitellään tuulivoimaa yleisesti, erilaisia tuulivoimalatyyppejä sekä pientuulivoimaloiden hyödyntämistä eri tarkoituksissa. Lisäksi työssä tutkitaan oikeasta pientuulivoimalasta peräisin olevaa dataa ja pientuulivoimalan taloudellista kannattavuutta. Pientuulivoimalan todellinen tuotanto lasketaan siitä saatujen arvojen perusteella, ja sen pohjalta päätellään, onko voimala taloudellisesti kannattava ja sopiva sen tarkoitukseen. Työssä tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset ovat teoreettisia, ja niistä tehdyt johtopäätökset opinnäytetyön tekijän omia johtopäätöksiä.

Opinnäytetyön tekemisessä on hyödynnetty OpenAI:n ChatGPT:n selainversiota. Tekoälyä on hyödynnetty apuvälineenä lähdetekstin kääntämisessä sekä

hakutyökaluna lähteiden löytämiseksi. Opinnäytetyön tekijä on vastuussa kaikesta opinnäytetyön sisällöstä ja muotoilusta.

2 Tuulivoima yleisesti

2.1 Tuulivoiman perusteet

Tuulivoima on energiantuotantomuoto, jossa tuuli pyörittää tuulivoimalan lapoja synnyttäen näin liike-energiaa. Liike-energian avulla tuulivoimalassa oleva generaattori alkaa pyöriä ja näin tuottaa sähköä. Tuulivoima kuuluu Auringosta peräisin oleviin energiamuotoihin, koska tuuli sääilmionä on alun perin peräisin Auringosta. Eri alueiden välillä olevat lämpötilaerot aiheuttavat eroja myös ilmanpaineessa. Koska ilmanpaine-erot pyrkivät tasoittumaan, ilma liikkuu korkea- ja matalapainealueiden välillä synnyttäen näin tuulia. Suurimmat tällä hetkellä Suomessa käytössä olevat tuulivoimalat tuottavat tehoa noin 5 MW. [1.]

Tuulivoimalat sijoitetaan yleensä ryhmittäin, niin sanottuihin tuulivoimalapuistoihin. Tuulivoimalat pyritään sijoittamaan paikkoihin, joissa tuulee mahdollisimman paljon. Tästä syystä tuulivoimaloita on sijoitettu maan lisäksi myös merelle. Tuulivoimaloita ei myöskään voi sijoittaa liian lähelle toisiaan, koska turbiinin pyöriminen aiheuttaa ilmavirtoja, jotka voivat aiheuttaa turhia tehohäviöitä. Tuulivoimaloiden välinen etäisyys on tyypillisesti noin 4–10-kertaisesti roottorin pyörähdyksen muodostaman ympyrän kehän verran. [1.]

Tuulivoimalan tuottaman tehon määrää voidaan laskea kaavalla 1. Kyseessä on ilmavirtauksen tehon kaava.

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v_0^3 \quad (1)$$

P_0 on tuotettu teho (W)

ρ on ilman tiheys (kg/m^3)

A on ilmavirtausta vastaan oleva pinta-ala (m^2)

v_0 on tuulen nopeus (m/s). [2, s. 36.]

Kaavan perusteella tuulen nopeudella on suurin vaikutus ilmavirtauksen tehoon, koska se on kaavassa kolmannessa potenssissa. Esimerkiksi tuulen nopeuden kaksinkertaistuessaa ilmavirtauksen teho kasvaa 8-kertaiseksi. Tästä syystä tuulivoimalan paikkaa suunnitellessa on erityisen tärkeää ottaa huomioon paikan tuuliolosuhteet. Lisäksi tuulta on mitattava tarkasti pitkältä aikaväliltä, eikä esimerkiksi vuosittaisen keskiarvon perusteella kannata tehdä päätöksiä tuulivoimalan sijoittamisesta. [2, s. 36–37.] Tuuliolosuhteiden tutkimista ja sitä kautta voimalan sijoittamista varten voi hyödyntää Suomen Tuuliatlas-nimistä sivustoa. Siellä on tietoa tuuliolosuhteista pitkältä ajalta kaikkialta Suomesta, ja sitä hyödynnetään tuulivoimaloiden sopivaa sijaintia mietittäessä. [3.]

2.2 Tuulivoiman käyttö Suomessa

Vuoden 2025 kesäkuussa Suomeen oli rakennettu 1920 tuulivoimalaa. Näiden yhteenlaskettu teho on noin 8902 MW. [4.] Tuulivoima kattoi vuonna 2025 noin 28 % kaikesta Suomen sähköntuotannosta ollen näin Suomen toiseksi suurin sähköntuottaja ydinvoiman jälkeen [5]. Tuulivoimaloita on sijoitettu eniten Pohjois-Pohjanmaalle, jossa sijaitsee noin 40 % kaikista voimaloista. Suomen tuulivoimaloista 45 % on kotimaisessa omistuksessa, ja kaikki voimalat on valmistettu Euroopassa. [4.]

Tuulivoima on ollut erityisesti viime vuosina kasvava energiatuotannon ala Suomessa, ja tuulivoiman osuus Suomen sähköntuotannossa on kasvanut koko ajan sekä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Esimerkiksi vuonna 2015 ylitettiin tuhannen megawatin raja, joten tuulivoiman tuotanto on lähes kymmenkertaistunut kymmenen vuoden aikana. 2010-luvulla tuulivoimaan alettiin rakentamaan merkittävästi aikaisempia vuosikymmeniä enemmän, kun lainsäädäntöön tehtiin tarvittavia muutoksia tuulivoiman kannattavuuden mahdollistamiseksi. Tämä näkyi erityisesti vuonna 2018, jolloin julkaistiin ensimmäinen tuulivoimalahanke, jossa ei ollut ollenkaan valtion rahoitusta. [4.]

2.3 Hyödyt ja haitat

Tuulivoima kuuluu uusiutuviin energialähteisiin, eikä se saastuta ympäristöä, joten se on ekologinen ratkaisu. Lisäksi suurin osa tuulivoimalasta voidaan tehdä kierrätysmateriaalista, sekä tuulivoimaenergiaa on saatavilla käytännössä loputtomasti. [1.] Vaikka tuulivoimalan rakentamisessa syntyy jonkin verran päästöjä, rakentamisen ja energiatuotannon yhteenlasketut päästöt ovat jo kuukausien päästä matalammat kuin fossiilisissa polttoaineissa. Kun otetaan huomioon koko tuulivoimalan elinkaari, tyypillisesti noin 20–30 vuotta, voidaan katsoa tuulivoiman olevan päästötöntä. [6.]

Tuulivoimalla voidaan myös hyvin korvata uusiutumattomia energialähteitä, mikä vähentää ympäristölle haitallisia päästöjä entisestään. Voimaloita on mahdollista rakentaa vielä huomattavasti nykyistä enemmän, vaikka niitä on viime vuosina rakennettu runsaasti. Lisäksi tuulivoimalat tuottavat 70 % vuosittaisesta energiastaan kuuden kylmimmän kuukauden aikana, eli silloin kun sähkön tarve on kaikista suurinta. Tämä johtuu siitä, että talvisin tuulee enemmän. Ilma on myös silloin suuremman tiheydensä ansiosta otollisempaa tuulivoiman tuotannolle, koska tiheämpi ilmamassa pystyy tehokkaammin pyörittämään turbiineja. [1.]

Tuulivoiman tuotanto on toisaalta erittäin riippuvainen vallitsevasta säätilasta, joten tuulivoiman tuotantoa ei voi ennustaa kovinkaan pitkälle. Tuulivoiman tuotanto voi siis olla hyvinkin epätasaista tai jopa olematonta tuulettomina päivinä. Tästä syystä myös muunlaiset energialähteet ovat välttämättömiä, eikä sähkön tuotantoa voi jättää pelkän tuulivoiman varaan. Voimalat aiheuttavat myös jonkin verran haittaa ympäristölle aiheuttaen melua sekä maisemahaittoja. [1.]

Tuulivoimalat aiheuttavat myös haittoja eliöstölle, esimerkiksi linnuille. Tuulivoimalat ovat aiheuttaneet useita merikotkien kuolemia sekä tutkimusten mukaan myös mahdollisesti lepakoiden kuolemia. Törmäysten lisäksi linnut myös pakenivat voimaloita, mikä pienentää lintujen elintilaa sekä mahdollisesti ajaa lintuja epäsopeville elinalueille. Lisäksi tuulivoimaloilla on havaittu olevan negatiivisia

vaikutuksia esimerkiksi poroihin ja pöllöihin jopa useiden kilometrien päässä. Kaikki nämä edellä mainitut asiat on otettava huomioon tuulivoimaloiden sijoittelussa ja rakentamisessa. Tuulivoimaloita on viime vuosina rakennettu niin nopealla tahdilla, että niiden vaikutuksia ei ole ehditty välttämättä kunnolla tutkia. [7.]

3 Eri tuulivoimalatyypit

3.1 Pysty akseliset tuulivoimalat

Pysty akselinen eli vertikaalinen tuulivoimala on tuulivoimalatyypin, jossa roottori on nimensä mukaisesti pystysuorassa asennossa. Tällöin voimalan generaattori sekä vaihdelaatikko on sijoitettu roottorin alapuolelle. Pysty akselinen tuulivoimala tekee siis vaakasuoraa pyörimisliikettä, kun tuuli pyörittää roottorin lapoja. Toimintamalli on muuten sama kuin vaaka- akselisessa voimalassa. Pysty akselinen tuulivoimalatyypin on huomattavasti harvinaisempi kuin vaaka- akselinen voimala. Toisaalta pysty akselisiä voimaloita esiintyy huomattavasti enemmän asuinalueilla kuin varsinaisissa suuremman kokoluokan tuulivoimalapuistoissa. Lisäksi pysty akseliset voimalat ovat olleet yleistymässä jo pidemmän aikaa, kun joihinkin tilanteisiin ne sopivat vaaka- akselisiä voimaloita paremmin. [8, s. 10–12.] Kuvassa 1 on esitetty pysty akselinen pientuulivoimala.



Kuva 1. Pystyakselinen pientuulivoimala, tyypiltään Darrieus [9].

Pystyakselisen voimalan etu on se, että se voi vastaanottaa tuulta mistä suunnasta tahansa, joten tuulen suunnalla ei ole vaikutusta voimalan toimintaan. Lisäksi itse voimalaa ei tarvitse käännellä tuulen suunnan mukaisesti. Tämä tarkoittaa myös sitä, että voimala on helpompi ja yksinkertaisempi suunnitella ja rakentaa. Lisäksi pystyakselinen voimala kestää paremmin koviakin tuulen nopeuksia, joten se soveltuu myös myrskyalttiille alueelle. Melua aiheutuu myös tyypillisesti vaaka-akselista voimalaa vähemmän, joten se on siltäkin osin soveltuva asuinalueiden käyttöön. Lisäksi pystyakseliset voimalat on myös helpompi sovittaa maisemaan ja arkkitehtuuriin kuin vaaka-akseliset voimalat, jotka mielletään usein maisemahaitaksi. Pystyakseliset voimalat ovat myös helposti muokattavissa kokonsa puolesta, joten voimaloita voidaan suunnitella monenlaisiin tarkoituksiin sopiviksi. [8, s. 10–11.]

Toisaalta sähköntuotannon määrää on vaikeampaa säädellä kuin vaaka-akselisessa voimalassa, koska pysty akselisen voimalan lapoja ei pysty samalla tavalla säätämään. Pysty akselinen voimala tarvitsee myös kovempia tuulen nopeuksia käynnistyäkseen, joten pienillä tuulen nopeuksilla sähköä ei pysty tuottamaan niin helposti. Hyötysuhde on myös matalampi, koska pysty akselisen voimalan kärkinopeussuhde on matalampi. Matalampi kärkinopeussuhde tarkoittaa sitä, että lavat eivät liiku tuulen nopeuteen verrattuna niin nopeasti verrattuna korkean kärkinopeussuhteen tuulivoimalaan. Tällöin myös itse sähköntuotanto jää määrältään pienemmäksi. [8, s. 11.]

3.2 Vaaka-akseliset tuulivoimalat

Vaaka-akselinen eli horisontaalinen tuulivoimala on tuulivoimalatyyppejä, jossa roottori on voimalaan nähden vaaka-asennossa. Vaihdelaatikko ja generaattori on sijoitettu roottorin taakse. Roottorin halkaisija on vaaka-akselisessa voimalassa melko suuri itse voimalan kokoon verrattuna, kun taas pysty akselisessä voimalassa roottorin korkeus on suurempi. Voimalan lapojen kulmia on mahdollista säädellä, joko mekaanisesti tai sähköisesti. Vaaka-akselinen tuulivoimala on huomattavasti yleisemmässä käytössä oleva tuulivoimalatyyppejä. [8, s. 9–11.] Kuvassa 2 on esitetty vaaka-akselinen pientuulivoimala.



Kuva 2. Vaaka-akselinen pientuulivoimala potkurilla [9].

Vaaka-akselisen tuulivoimalan suurin etu on korkea kärkinopeussuhde ja sitä kautta korkea hyötysuhde. Voimala voi siis tuottaa sähköä melko pienilläkin tuulen nopeuksilla. Voimalan lapojen kulmaa säätelemällä voidaan myös vaikuttaa sähköntuotannon tehokkuuteen sekä voimalan kestävyys korkeammilla tuulen nopeuksilla. Tämä tekee vaaka-akselisesta tuulivoimalasta helpommin hallittavan kuin pystyakselisen voimalan, jonka lapoja ei ole mahdollista säädellä sähköntuotannon aikana. Lisäksi lapojen oikeanlaisella muotoilulla voidaan myös lisätä voimalan hyötysuhdetta entisestään. [8, s. 10–11.]

Vaaka-akselisen voimalan suunnittelussa on kuitenkin huomioitava se, että se voi vastaanottaa tuulta vain yhdestä suunnasta toisin kuin pystyakselinen voimala. Tästä syystä tuulivoimalassa on oltava mahdollisuus käänellä sitä, jotta sähköntuotanto olisi mahdollisimman tehokasta. Vaaka-akselinen tuulivoimala myös kestää korkeita tuulen nopeuksia pystyakselista tuulivoimalaa huonommin, joten sitä ei voi sijoittaa alueille, joissa esiintyy kovia myrskyjä. Turvallisuussyistä vaaka-akselinen tuulivoimala on myös sammutettava myrskyjen

aikana. Useimmiten tämä tapahtuu automaattisesti raja-arvon ollessa tyypillisesti 20–25 m/s. Raja-arvon jälkeen tuulivoimala siis menettää tuotantokykynsä kokonaan. Vaaka-akselinen tuulivoimala aiheuttaa myös enemmän meluhaittoja kuin pystyakselinen voimala, joten asuinalueille suuremman kokoluokan voimaloita ei voi rakentaa. [8, s. 10–11.]

3.3 Lapojen määrän vaikutus tuulivoimalaan

Lapojen määrällä on merkittävä vaikutus tuulivoimalan toimintaan ja tehokkuuteen, joten ei ole aivan yhdentekevää, kuinka monta lapaa voimalassa on. Tyypillisesti vaaka-akselisessa tuulivoimalassa on joko kaksi tai kolme lapaa, koska näiden on todettu olevan energiantuotannon näkökulmasta kaikista tehokkaimpia ja sitä kautta parhaimpia sähkön tuotannossa. Lisäksi yleisessä käytössä on ollut myös neljä- ja yksilapaisia tuulivoimaloita, mutta nämä ovat harvinaisempia. Erityisesti Euroopassa oli ennen tapana rakentaa tuulivoimalat neljälapaisina, todennäköisesti sen takia, että puiset lavat asetettiin ristikkäin. Tällöin kahdesta palkista muodostui neljä lapaa. Tutkimusten sekä uudenlaisten materiaalien ja menetelmien myötä kaksi- ja kolmilapaiset ovat kuitenkin nykyään yleisimmin käytettyjä tuulivoimalatyyppejä. [10, s. 340–341.]

Oikeaa lapojen määrää valittaessa on otettava huomioon useat tuulivoimalan toimintaan vaikuttavat seikat. Näitä ovat muun muassa vaikutukset pyörimisnopeuteen, kuormat, vaikutukset voimansiirtoon, materiaalikustannukset sekä mahdolliset meluhaitat. Lisäksi lapojen määrä vaikuttaa roottorien pyörimisliikkeeseen visuaalisesti, vaikkakin tämän vaikutus ihmisiin vaihtelee yksilöiden välillä. Kolmilapaisen tuulivoimalan on kuitenkin todettu olevan useamman mielestä miellyttävämmän näköinen kuin kaksilapaisen. Tälle on arveltu olevan kaksi syytä. Kolmilapaisen tuulivoimalan pyörimisliike on miellyttävämmän näköistä kuin kaksilapaisen voimalan viivamainen liike. Kaksilapainen tuulivoimala myös pyörii nopeammin, jonka katsoja voi kokea epämiellyttävämpänä. [10, s. 340–341, 346.]

Suurempi lapojen määrä tarkoittaa merkittävästi suurempia materiaalikustannuksia, mikä tarkoittaa kalliimpaa ja sitä kautta mahdollisesti heikommin kannattavaa voimaa. Tästä syystä lapojen määrä kannattaa pitää pienenä. Tämä on yksi niistä syistä, miksi kaksi- ja kolmilapaiset tuulivoimalat ovat yleisimpiä. Vaikka lapojen määrää lisäämällä voi kasvattaa roottorin pyörimisnopeutta, ja sitä kautta sähköntuotantoa, lisääntynyt sähköntuotanto ei välttämättä riitä kattamaan lisääntyneitä materiaalikustannuksia. Toisaalta myös enemmän lapoja sisältävä tuulivoimala painaa enemmän, jolloin tuulivoimala on vaikeampi saada kääntymään, jolloin myös tuulen suunnalla on paljon ratkaisevampi vaikutus voimalan toimintaan. [10, s. 340–341.]

Suomessa rakennetaan suuremman luokan tuulivoimalat yleensä kolmilapaisiksi. Tämä on kaikkien tuulivoimalan kannattavuuteen ja toimintaan vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutuksien perusteella kannattavinta. Yksi- ja kaksilapaiset tuulivoimalat olisivat liian epävakaita, mikä tekisi voimalasta myös turvallisuusriskin. Sähköntuotantoa voisi Suomen tuuliolosuhteissa jopa kasvattaa lapojen määrää lisäämällä, mutta tällöin tuulivoimalan taloudellinen kannattavuus nousisi ongelmaksi. Tuulivoimalatuotannon tarkoituksena on myös saada sähkön hinta mahdollisimman halvaksi, mistä syystä tuulivoimalan tulee olla mahdollisimman kannattava taloudellisesti. [2, s. 65–67.] Kolmilapaisen tuulivoimalan voidaan siis ajatella olevan eräänlainen kultainen keskitie, kun otetaan huomioon voimalan tuotanto, toiminta ja kannattavuus. Kuitenkin kotitalouksien käytössä olevia pientuulivoimaloita voidaan myös helposti toteuttaa useampilapaisina, koska materiaalikustannukset eivät lapojen määrää kasvattaessa muutu kovinkaan merkittävästi.

3.4 Muunlaiset tuulivoimalatyypit

Erityisesti pientuulivoimaloita voidaan toteuttaa hyvin monella eri tavalla, ja markkinoilla onkin lukemattomia erilaisia tuulivoimalatyyppejä. Yhtenä esimerkkinä tästä on Ridgeblade-tuulivoimala, joka asennetaan tyypillisesti katolle korkeimpaan kohtaan. Voimaa voi rakenteensa puolesta verrata vaaka-akselisiin voimaloihin. Kattoa pitkin kulkeva tuulimassa kiihtyy noustessaan ylöspäin ja

lopulta saavuttaa itse tuulivoimalan. Saavutettuaan huippunopeuden tuulimassa pyörittää turbiineja, jolloin saavutetaan voimalan maksimaalinen hyöty. Optimaalisin katon kulma Ridgeblade-voimalalle on 45 astetta, jolloin tuulen nopeus kaksinkertaistuu kattoa pitkin kulkiessaan. Voimala kestää hyvin koviakin tuulen nopeuksia, ja sen on mitattu kestävän jopa tuulia 160 km/h. Ridgeblade-voimaloita myydään sekä kotitalouksille että teollisuuskäyttöön. [11.] Kuvassa 3 on esitetty katolle asennettu Ridgeblade-tuulivoimala.



Kuva 3. Ridgeblade-tuulivoimala [11].

Novia-ammattikorkeakoulussa on kehitelty opinnäytetyönä vielä prototyypin as- teella oleva pientuulivoimalatyyppi, nimeltään Roofy. Myös se vertautuu raken- teeltaan vaaka-akselisiin voimaloihin. Roofy-voimalassa hyödynnetään myös fy- sikaalista ilmiötä, jossa tuulen nopeus kasvaa kattoa pitkin kulkiessaan, joten toimintaperiaate on samanlainen kuin Ridgeblade-voimalassa. Lisäksi Roofy- voimala asennetaan katolle sen korkeimpaan kohtaan. Voimalaa on tutkittu sekä nostovoimaa että vastusvoimaa hyödyntäviä roottoreita käyttäen sekä roottorin lapojen eri määrillä. Tehokkaimmaksi ratkaisuksi todettiin seitsemänla- painen, nostovoimaa hyödyntävä roottori. Tosin opinnäytetyön tekijät päätyivät lopputulokseen, että työssä käytetyillä komponenteilla Roofy ei todennäköisesti

tuota riittävästi sähköä menestyäkseen kaupallisesti. Aihetta lisää tutkimalla ja komponentteja kehittämällä voimalalla voi kuitenkin olla potentiaalia. [12.]

4 Tuulivoiman käyttö asuinalueilla

Tuulivoimaa on mahdollista hyödyntää myös asuinkäytössä sekä kesämökeillä. Tähän tarkoitukseen on kehitetty pienemmän kokoluokan tuulivoimaloita eli pientuulivoimaloita. Nämä ovat kokoluokaltaan tyypillisesti satoja tai tuhansia watteja, tosin pienteollisuudessa ja maatalouskäytössä käytetään suuremman kokoluokan, 50–100 kilowatin, voimaloita. Näissä maahan asennettavissa voimaloissa potkurin halkaisija vaihtelee 2–10 metrin välillä riippuen voimalan tehosta ja tuotantotavoitteista. Yleensä kesämökeille asennetaan pienemmän kokoluokan voimaloita, joiden teho on alle kilowatin ja lavan pituus alle kaksi metriä. Omakotitaloissa hyödynnetään yleensä suurempia voimaloita, joissa lavan pituus on vähintään kolme metriä, joten kyseessä on silloin teholtaan vähintään kilowatin kokoinen voimala. [9.] Kuvassa 4 on esitetty pientuulivoimala maatalaympäristössä.



Kuva 4. Mastoon asennettu pientuulivoimala maatilalla [13].

Pientuulivoimaloita hankitaan yleensä joko sähköverkon ulkopuolisiin kohteisiin tai verkkoon kytkettynä kotitalouksien omaan käyttöön. Sähköverkon ulkopuolisisa kohteissa kyse on useimmiten kesämökistä, ja silloin pientuulivoimalaan

liitetään myös akku tai muita sähköntuotantomuotoja. Tällöin pientuulivoimala on hankittu kattamaan kiinteistön koko sähkönkulutus. Pientuulivoimalan voi myös hankkia pienentämään omaa sähkölaskua joko tuottamalla sähköä ja sitten vähentämään sähköön ostamisen tarvetta muualta tai tuottamaan ja myymään sähköä sähköverkkoon. Mikäli sähköä on tarkoitus myös myydä, tulee pientuulivoimalassa olla asennettuna invertteri. [9.]

Kuten tuulivoimapuistojen suuret voimalat, myös pientuulivoimalat toimivat parhaiten paikoissa, joissa on mahdollisimman tuulista. Mitä suurempi on tuulen nopeus, sitä enemmän tuulivoimala tuottaa sähköä. Tuulivoiman tuotantoon vaikuttaa tuulisuuden lisäksi tuulien pyörteisyys. Tähän vaikuttavat kaikki tuulivirran tiellä olevat esteet, kuten maasto ja rakennukset. Suomen Tuuliatlasta ei voi kuitenkaan hyödyntää pientuulivoimalan hankinnassa, koska se antaa tietoa tuuliolosuhteista vasta 50 metrin korkeudesta alkaen eli pientuulivoimalaa ajatellen liian korkealta. Tuulen pyörteisyys vaikuttaa tuulivoiman tuotantoon negatiivisesti, eli pyörteisyyttä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. Tuuliturbiini tulisi sijoittaa mahdollisimman korkealle, koska muiden esteiden lisäksi myös maanpinta aiheuttaa pyörteisyyttä tuuleen. Korkealla ei myöskään ole niin paljon tuulen kulkua haittaavia esteitä kuin maanpinnalla. [9.]

Jotta pientuulivoimalasta saadaan paras mahdollinen tuotto ja hyöty, on selvitettävä tuuliolosuhteet paikasta, mihin voimala on tarkoitus asentaa. Suuntaa antavia arvioita voi tehdä sen perusteella, missä kohde sijaitsee. Paikan tuuliolosuhteisiin vaikuttaa esimerkiksi ympäröivä maasto, rakennukset, korkeus verrattuna ympäristöön tai etäisyys vesistöistä. Varmin tapa selvittää alueen tuulisuus on kuitenkin mitata tuulta tuulimittarilla. Jotta mittauksista saadaan mahdollisimman tarkat ja luotettavat, mittauksia on tehtävä mahdollisimman pitkältä ajalta. Suositeltavaa on mitata tuulta 6–12 kuukauden ajalta, jotta myös eri vuodenaikojen vaikutukset tuuliolosuhteisiin tulisi tutkituksi. Tuulimittareita on mahdollista joko ostaa tai vuokrata, ja niiden hinta on joitain satoja euroja. [9.]

Korkeuden vaikutusta tuulisuuteen voidaan myös tarkastella kaavalla 2.

$$U(z) = \frac{u_*}{k} * \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (2)$$

$U(z)$ on tuulen nopeus (m/s)

u_* on kitkanopeus (m/s)

k on Von Kármánin vakio (0,4)

z on tarkastelupisteen korkeus (m)

z_0 on maaston rosoisuutta kuvaava parametri (m). [14;15.]

Kaavasta voidaan huomata, että korkeuden kasvaessa tuulen nopeus alkaa kasvamaan jyrkästi. Korkealla on siis huomattavasti tuulisempaa kuin maan pinnan läheisyydessä, joten myös kaavan perusteella tuulivoimala kannattaa sijoittaa mahdollisimman korkealle.

Pientuulivoimalan hankinta voi olla hyvinkin monimutkainen ja aikaa vievä prosessi, varsinkin jos sen haluaa toteuttaa niin sanottuna avaimet käteen -toteutuksena, eli niin että urakoitsija vastaa kaikista työn vaiheista. Pientuulivoimaloiden myyjiä on myös Suomessa melko vähän, joten voi olla vaikea löytää sopivaa pientuulivoimalaa ja sen toteuttajaa. Oikeanlaista voimalaa valittaessa on otettava huomioon myös voimalan taloudellinen kannattavuus ja oikeanlaisen sekä sopivan tuulivoimalatyyppin löytäminen. Pientuulivoimalan ostaja on myös perehdytettävä voimalan käyttöön ja huoltamiseen, jotta voimalan käyttö olisi mahdollisimman turvallista ja tehokasta. [9.]

Pientuulivoimalaa hankittaessa on otettava huomioon useita eri asioita. Näitä ovat muun muassa

- sijainnin sekä paikallisten tuuliolosuhteiden vaikutus tuotantoon
- käyttäjän sähkön tarve
- tuulivoimalan sijoittaminen joko rakennukseen kiinni tai mastoon
- voimalan rakentamiseen tarvittavat luvat
- verkkoyhtiön kanssa asiointi
- hyvän ja luotettavan toimittajan löytäminen
- hyvän sähköurakoitsijan löytäminen
- riittävän hyvä internetyhteys sähkön kulutusseurantaa varten.

Lisäksi on myös selvítettävä, onko tuulivoimalaa ylipäättänsä mahdollista rakentaa omalle kiinteistölle. Tästä päättää kunnan rakennusvalvonta, ja tähän vaikuttaa edellä mainittujen seikkojen lisäksi esimerkiksi maston korkeus. [9.]

Pientuulivoimalan hankkiminen vaatii useita eri lupia, ja lopullinen lupien määrä riippuu tuulivoimalan kokoluokasta, paljonko eri ominaisuuksia tuulivoimalaan liitetään ja kuntien omista käytännöistä. Mikäli tuulivoimalan maston korkeus ylittää 30 metriä, voimalan rakentamiseen tarvitaan rakennuslupa. Naapureilla on myös oltava mahdollisuus esittää mielipiteensä, mikäli voimala on tarkoitus asentaa asemakaava-alueelle. Voimala voi myös tarvita lentoesteluvan, jos se sijaitsee lähellä lentokoneiden kulkureittejä. Puolustusvoimilta voi myös harvinaisissa tapauksissa myös tarvita luvan, mikäli voimala rakennetaan Puolustusvoimien käytössä olevalle alueelle. [9.]

Nämä edellä mainitut lupa-asiat koskevat suuremman kokoluokan pientuulivoimaloita, ja esimerkiksi rakennukseen kiinnitettävään pieneen voimalaan ei näitä lupia tarvita. Kuitenkin myös näiden pienempien voimaloiden asentaminen luokitellaan sähkötyöksi, joten sen voi suorittaa vain asianmukaiset asennusluvat omistava henkilö. Lisäksi paikallisen jakeluverkkoyhtiön kanssa on tehtävä verkkopalvelusopimus, mikäli voimalan on tarkoitus tuottaa sähköä myös sähköverkkoon. Tällöin myös ylijäämäsiähkön myynnistä on sovittava. Mahdollisesti myös erillinen tuotannon liittymissopimus on tehtävä riippuen voimalan koosta

ja käyttötarkoituksesta sekä siitä, onko tällainen sopimus tehty jo ennestään. [9.]

Pientuulivoimala vaatii säännöllisiä huoltotöitä, jotta sen toimintakyky pysyisi korkeana myös tulevaisuudessa. Voimala on tarkistettava silmämääräisesti vuosittain ja sen lisäksi esimerkiksi myrskyn tai muun voimalaa mahdollisesti vahingoittavan luonnonilmiön jälkeen. Silmämääräisen tarkastuksen tarkoituksena on katsoa, ettei voimalassa ole mitään näkyviä vikoja. Lisäksi esimerkiksi siivet on puhdistettava säännöllisesti, laakerit on rasvattava, sekä ruuvikiinnitysten kunto on tarkistettava. Mikäli voimala on kiinnitetty vaijereilla mastoon, on tarkistettava myös maston harusvaijereiden kireys. Tuulivoimalan valmistajan ohjeissa kerrotaan tarkemmin voimalan huoltoon liittyvistä seikoista, ja huoltotöiden toteuttamisesta on myös mahdollista sopia myyjän kanssa. [9.]

Pientuulivoimaloista on olemassa vieläkin pienempiä versioita, jotka asennetaan tyypillisesti katolle. Nämä ovat kokoluokaltaan pienempiä kuin mastoon asennettavat tuulivoimalat, joten ne tarvitsevat vähemmän tilaa kuin mastoon asennettava voimala. Mastoon asennettava voimala nimittäin tarvitsee noin 100 neliömetrin kokoisen tilan. Lisäksi mastoon asennettavaan tuulivoimalaan on oltava vapaa kulkuyhteys ajoneuvolla. [9.] Katolle asennettava voimala voi siis olla parempi ratkaisu siinä tapauksessa, kun omakotitalossa on rajallisesti pihatilaa. Toisaalta katolle ei ole mahdollista asentaa niin suurta tuulivoimalaa kuin mastoon, joten tämä ei ole välttämättä toimiva ratkaisu siinä tapauksessa, kun tuulivoimalalta odotetaan suurempaa sähköntuotantoa. Pieni katolle asennettava tuulivoimala on kuitenkin halvempi ratkaisu, halvimmillaan voimalat ovat joitain satoja euroja. Kuvassa 5 on esitetty katolle asennettava pientuulivoimala.



Kuva 5. Pientuulivoimala katolla [16].

Pientuulivoimalan hyvä puoli on se, että se on ekologinen ratkaisu tuottaa sähköä, aivan kuten tuulivoimapuistojen voimalat. Se ei tuota päästöjä ilmakehään, ja tuulivoimaa on saatavilla rajattomasti. Myös pientuulivoimaloiden rakentaminen tuottaa vain vähän päästöjä, jotka voidaan kompensoida itse tuulivoiman tuotannolla. Pientuulivoimalan avulla voi siis pienentää omaa hiilijalanjälkeä ja korvata mahdollisesti fossiilisia polttoaineita päästöttömillä ratkaisulla. Voimalan tuottaman sähkön avulla voi myös pienentää omaa sähkölaskuaan. Kuuden kylmimmän kuukauden aikana tuulivoiman tuotanto on suurempaa, joten voimala tuottaa sähköä silloin, kun sille on eniten tarvetta [1]. Lisäksi pientuulivoimalasta on olemassa monenlaisia eri ratkaisuja, joten on mahdollista mukauttaa pientuulivoimala olosuhteisiin sopivaksi ja siten valita itselleen sopivin ratkaisu.

Pientuulivoimalan hankinnassa on kuitenkin myös useita eri haasteita. Pientuulivoimaloita myyviä toimijoita on Suomessa vähän, joten voi olla vaikeaa löytää

itselle sopivaa myyjää. Lisäksi jo pelkkä tuulivoimalan hankinta vaatii ostajalta hyvin paljon aikaa ja vaivaa, kun pitää selvittää kohteen tuuliolosuhteet ja kaikki voimalan hankintaan liittyvät lupakäytännöt sekä muut toimenpiteet. Pientuulivoimala ei siis välttämättä sovi kaikkiin kohteisiin tai tarkoitukseen. Lopputuloksena voi myös olla se, että tuulivoimalaa ei ole kannattavaa rakentaa. Kustannukset voivat myös nousta korkeiksi, varsinkin jos voimala toteutetaan avaimet käteen -mallina. Lisäksi pientuulivoimala vaatii säännöllisiä huoltotöitä, joten myös voimalan ylläpito vaatii aikaa ja rahaa. [9.] Pientuulivoimalan hankinta ja toteutus saatetaan siis mieltää hyvinkin vaikeaksi ja monimutkaiseksi prosessiksi, mikä voi karkottaa potentiaalisia ostajia.

5 Pientuulivoimaladatan käsittely

Opinnäytetyössä on myös hyödynnetty oikeasta pientuulivoimalasta peräisin olevaa dataa. Tuulivoimaladatan tarjosi tämän opinnäytetyön ohjaava opettaja Juha Kallunki, ja kyseinen data on peräisin omakotitalon katolle asennetusta pientuulivoimalasta. Kyseinen kiinteistö sijaitsee Etelä-Suomessa. Pientuulivoimala antaa dataa minuutin välein, ja siinä kerrotaan kunkin minuutin tuulivoiman tuottama virran sekä jännitteen keskiarvo ja huippuarvo. Tutkimuksessa käytetty pientuulivoimalan roottorin halkaisija on 1,3 metriä, ja valmistaja ilmoittaa voimalan tehoksi 400 W. Kuvassa 6 on havainnollistettu tuulivoimalan antamaa raakadataa.

Tiedosto	Muokkaa	Näytä			
20251129000052	2.492	2.507	2.575	2.581	0
20251129000152	2.491	2.502	2.575	2.581	0
20251129000252	2.491	2.502	2.575	2.581	0
20251129000352	2.493	2.507	2.574	2.576	0
20251129000452	2.492	2.502	2.575	2.581	0
20251129000552	2.496	2.551	2.578	2.600	0
20251129000652	2.491	2.502	2.579	2.586	0
20251129000752	2.493	2.507	2.578	2.586	0
20251129000852	2.492	2.502	2.576	2.586	0
20251129000952	2.491	2.502	2.576	2.581	0
20251129001052	2.492	2.507	2.576	2.581	0
20251129001152	2.492	2.507	2.575	2.581	0
20251129001252	2.492	2.502	2.576	2.581	0
20251129001352	2.492	2.502	2.574	2.576	0
20251129001452	2.491	2.507	2.575	2.581	0
20251129001552	2.493	2.507	2.575	2.576	0
20251129001652	2.493	2.507	2.574	2.576	0
20251129001752	2.491	2.502	2.575	2.581	0
20251129001852	2.491	2.507	2.575	2.581	0
20251129001952	2.490	2.502	2.575	2.581	0
20251129002052	2.492	2.502	2.574	2.576	0

Kuva 6. Tuulivoimaladataa txt-tiedostomuodossa. Sarakkeet vasemmalta oikealle: aikaleima, virran keskiarvo, virran huippuarvo, jännitteen keskiarvo, jännitteen huippuarvo ja status (0 tai 1).

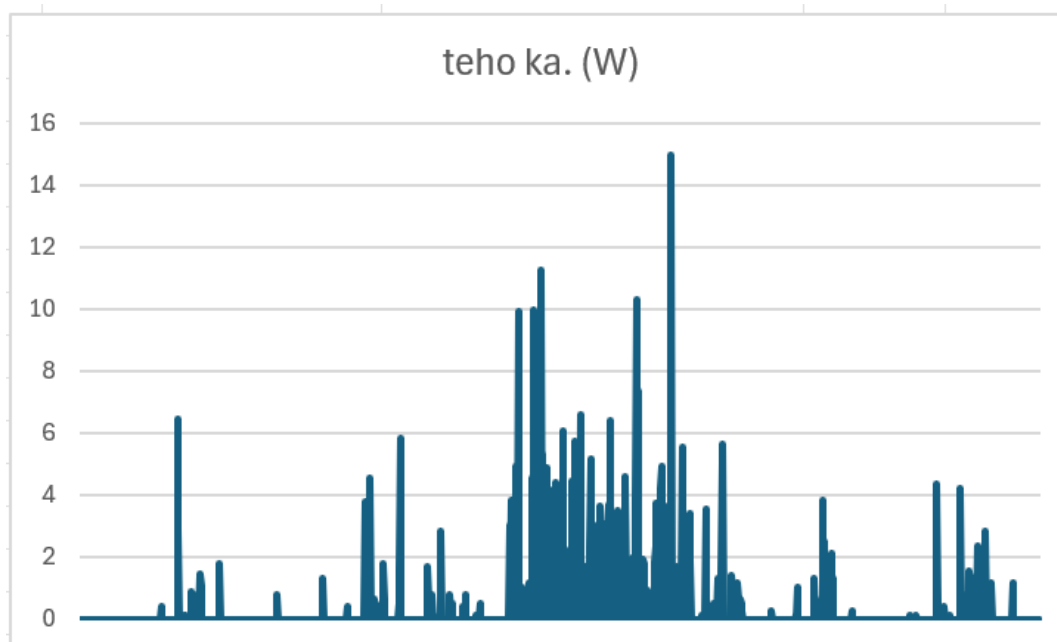
Pientuulivoimaladatan antamia arvoja on muutettava korjauskertoimilla, jotta saadaan totuudenmukainen kuva pientuulivoimalan tuotantokyvystä. Korjauskertoimet ovat seuraavat: virran arvon ollessa 2,5 tai alle todellinen arvo on 0 A. Kun arvo 2,5 ylitetään, jokainen 0,1 ylitys tarkoittaa todellisuudessa yhtä ampeeria. Esimerkiksi arvo 2,6 tarkoittaa yhtä ampeeria, ja 2,7 tarkoittaa kahta ampeeria. Jännitteen arvo saadaan kertomalla tuulivoimaladatan antama arvo viidellä.

Kun korjauskertoimet on huomioitu ja todelliset virran ja jännitteiden arvot laskettu, voidaan laskea jokaisen minuutin keskiarvoteho. Tehon perusteella voidaan laskea jokaisen minuutin sähköntuotanto wattitunteina jakamalla jokaisen

minuutin keskiarvoteho 60:llä. Näiden summa on koko vuorokauden sähköntuotanto. Excel-taulukossa koko vuorokauden sähköntuotannon määrä on muutettu kilowattitunneiksi jakamalla kyseinen summa tuhannella.

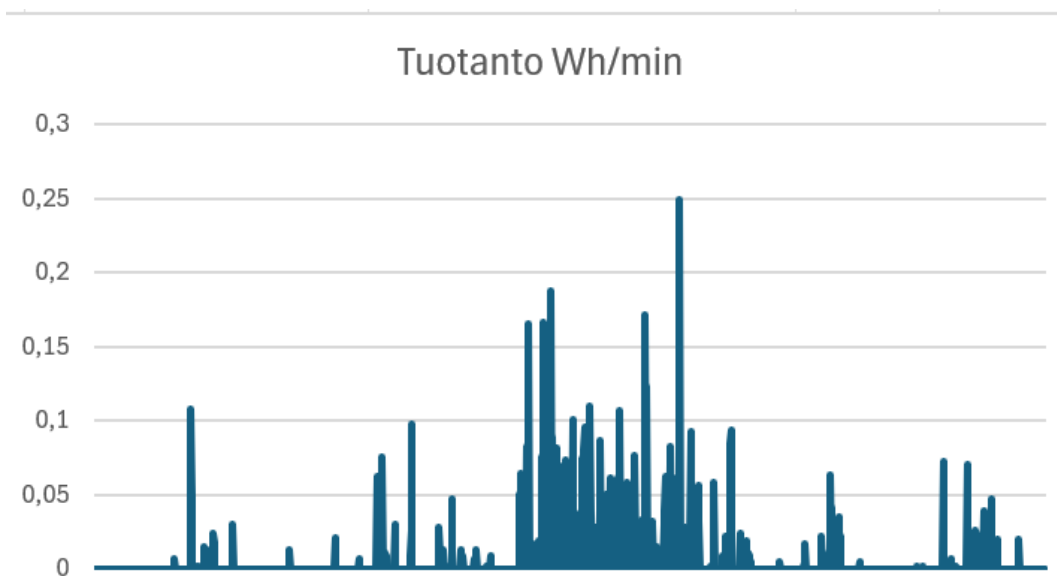
Pientuulivoimaladatan tutkimisen tarkastelujaksoksi on valittu 3 päivän jakso, välillä 28.11–30.11.2025. Näiltä päiviltä on laskettu kunkin päivän sähköntuotanto. Tarkastelujakso on valittu sattumanvaraisesti, ja sen tarkoituksenaan ei ole tehdä mitään pitkäaikaista ja syväluotaavaa tutkimusta. Tuulivoimaladatan tutkimisen tarkoituksena on tutkia teorian tasolla oikeasta pientuulivoimalasta peräisin olevaa dataa. Tarkempien tutkimustulosten saavuttamiseksi tarvittaisiin dataa ainakin vuoden ajalta, jota tässä tapauksessa ei ole saatavilla. Laskelmien tulokset ovat enemmänkin suuntaa antavia, ja niistä tehdyt johtopäätökset ovat täysin teoreettisia. Liitteestä 1 löytyy ote tuulivoimaladatan laskelmista.

Näiden kolmen päivän yhteenlaskettu tuotanto on noin 0,03 kWh, joka on sähköntuotannon näkökulmasta hyvin vähän. Koska pientuulivoimala on asennettu katolle, tuulivoimala on kokoluokaltaan pieni. Tästä syystä myös voimalan tuotantokyky on myös matala. Alhainen tuotanto ei myöskään johdu huonoista tuuliolosuhteista, koska kyseinen ajankohta oli Etelä-Suomessa hyvin tuulinen. [17.] Tämän kokoluokan tuulivoimalat eivät juurikaan tuota tämän enempää, joten tässä mennään todennäköisesti voimalan tuotantokapasiteetin ylärajoilla. Toisaalta tämän kokoluokan voimalat eivät myöskään ole läheskään niin kalliita kuin esimerkiksi mastoon asennettavat voimalat, joten kannattavuus ei kärsi yhtä pahasti. Kuvissa 7 esitetään pientuulivoimalan tehoa watteina pylväsdia-grammina.



Kuva 7. Kaavio 28.11.2025 kunkin minuutin keskimääräisestä tehosta watteina.

Kuvassa 8 esitetään pientuulivoimalan sähköntuotantoa wattitunteina pylväsdiagrammina.



Kuva 8. Kaavio 28.11.2025 kunkin minuutin sähköntuotannosta wattitunteina.

Mikäli pientuulivoimala tuottaisi sähköä koko vuoden näiden kolmen päivän tahdilla, tulisi vuosituotoksi noin 3,2 kWh. Tämä on myös vuositasolla hyvin vähäinen lukema, joten sähköntuotannossa tällainen pientuulivoimala toimii lähinnä täydentävänä tekijänä. Oman kodin sähköntuotantoa ei siis ole järkevä rakentaa tällaisen ratkaisun varaan. Lisäksi valitun ajankohdan hyvien tuuliolosuhteiden takia tämä lukema on todennäköisesti todellista vuosituotantoa suurempi, jolloin todellinen tuotanto on vielä tätäkin lukemaa matalampi. Tämänlainen pientuulivoimala ei siis laskelmien perusteella ole todennäköisesti kovinkaan kannattava ratkaisu taloudellisesti. Toisaalta pientuulivoimalan hankkimiselle on muitakin perusteita kuin sen taloudellinen kannattavuus. Tällaisia syitä on esimerkiksi ekologiset syyt ja sähköntuotannon hankkiminen sähköverkon ulkopuoliseen kohteeseen, kuten kesämökille.

6 Pientuulivoimalan taloudellinen kannattavuus

Pientuulivoimalan kokonaiskustannus riippuu monesta eri tekijästä. Näitä ovat muiden muassa voimalan kokoluokka, voimalan tyyppi sekä mahdolliset muut voimalan asentamiseen vaadittavat työt, kuten maansiirtotyöt. Voimalaitos itsessään maksaa tyypillisesti noin 1 000 euroa, tosin katolle asennettavan voimalan voi saada halvemmallakin. Katolle asennettavaan tuulivoimalaan ei myöskään tarvitse mastoa, jonka hinta on alkaen 500 eurosta. Tällöin ei myöskään tarvita maansiirtotöitä tai perustuksia, joiden hinta riippuu kohteesta ja sen olosuhteista. Tyypillisesti tässä tapauksessa hintaluokka on tuhannesta eurosta ylöspäin. Voimalan asentaminen vaatii myös sähkötöitä, joihin vaaditaan sähköalan ammattihenkilö. Lisäksi tuuliolosuhteiden mittaamiseksi tarvitaan tuulimittari, joiden hintaluokka on joitain satoja euroja. Koko pientuulivoimala voi siis maksaa yhteensä useita tuhansia euroja riippuen voimalan kokoluokasta. Suurimpien voimaloiden hinta voi nousta kymmeniintuhansiin euroihin. [9.]

Kuten pientuulivoimaladataluku osoitti, pientuulivoimalaa voi olla vaikea saada taloudellisesti kannattavaksi. Tämä on haastavaa erityisesti sähköverkon piiriin kuuluvilla alueilla, joissa pientuulivoimala ei yleensä tuota rahaa omistajalleen. Pientuulivoimalaa on kuitenkin mahdollista saada kannattavammaksi voimalan

kokoluokkaa kasvattamalla. Takaisinmaksuajat ovat kuitenkin tyypillisesti pientuulivoimaloissa pitkiä. Joissakin tapauksissa voimaloiden tuotto on jäänyt huomattavasti luvattua tuottoa pienemmäksi, koska tuulivoimalan tuotanto on mitoitettu liian optimistisilla tuuliolosuhteilla. Pientuulivoimalat eivät siis yksinkertaisesti sovi kaikkiin kohteisiin, koska tuuliolosuhteet vaihtelevat hyvin voimakkaasti sijainnista ja ympäristöstä riippuen. Sisämaassa muiden rakennusten ympäröimässä kohteessa pientuulivoimalan tuotto on huomattavasti heikompi kuin esimerkiksi rannikolla tai avomerellä saarella sijaitsevassa kohteessa. [18.]

Pientuulivoimaloiden kanssa tehdään kuitenkin jatkuvasti tutkimustyötä voimaloiden kehittämiseksi, jotta ne olisi mahdollista saada kannattavaksi myös kaupungeissa tai esimerkiksi pientaloalueilla. Pientuulivoimaa onkin esimerkiksi yhdistetty aurinkovoiman kanssa New World Windin kehittämässä ratkaisussa. Muunlaiset tuulivoimalatyypit -luvussa mainittu Ridgeblade-tuulivoimala on myös hyvä esimerkki uudenaikaisesta teknologiasta, jossa hyödynnetään tuulimassan kiihtymistä katon pinnalla. Lisäksi Aeromisessa tuuliturbiinissa hyödynnetään lentokoneiden siivistä tuttua aerodynamiikkaa. Kaikki nämä ovat uusia innovaatioita, ja näitä kehittämällä pientuulivoimaloista voidaan mahdollisesti saada kannattavia monenlaisissa erilaisissa olosuhteissa. [18.]

7 Yhteenveto

Kuten tuulivoimadatalaskelmat sekä käyttäjien omat kokemukset osoittavat, pientuulivoimalaa on yleensä vaikea saada taloudellisesti kannattavaksi. Syynä tähän on useimmiten haasteelliset tuuliolosuhteet ja korkeat kustannukset. Lisäksi pientuulivoimalan hankinta voi olla pitkä ja monimutkainen prosessi, mikä omalta osaltaan myös vaikeuttaa potentiaalisten asiakkaiden löytämistä. Toisaalta pientuulivoimalan hankinnalle on muitakin kriteereitä kuin taloudellinen kannattavuus tai takaisinmaksuaika. Joillekin pientuulivoimala voi olla hyvä ratkaisu kesämökille, jos se sijaitsee sähköverkon ulkopuolella. Pientuulivoimala on myös päästötön ja ekologinen ratkaisu, joten se voi olla ratkaisu sellaiselle, joka haluaa sähköenergiansa ympäristöystävällisillä ratkaisuilla.

Pientuulivoimaloista on kuitenkin olemassa monenlaisia eri ratkaisuja, joten on mahdollista räätälöidä itselleen sopiva ratkaisu. Pienemmät katolle asennettavat tuulivoimalat ovat yleensä melko halpoja, hinnaltaan joitain satoja euroja, joten sen matala tuotto ja pitkä takaisinmaksuaika ei siltikään välttämättä tarkoita korkeita kustannuksia. Suuremman kokoluokan pientuulivoimalat ovat tyypillisesti taloudellisesti kannattavampia, ja tällaiset ratkaisut sopivat esimerkiksi kesämökille tai maatilalle. Pientuulivoimaloiden monipuoliset ja erilaiset ratkaisut tarkoittavat kuitenkin sitä, että niissä on potentiaalia ja on mahdollista, että tulevaisuudessa pientuulivoimaloista on olemassa monenlaisia ja taloudellisesti kannattavia ratkaisuja kaikenlaisiin tarkoitukseen.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat kuitenkin lähinnä suuntaa antavia johtuen otoskoon pienuudesta ja yksipuolisuudesta. Mikäli olisi mahdollisuus tehdä tämä tutkimus uudestaan, hankkisin tietoa pientuulivoimaloiden tuotannosta pidemmältä aikaväliltä ja useammasta eri kohteesta. Tällöin olisi monipuolisempi ja realistisempi kokonaiskuva tuulivoimaloiden tuotantokyvystä sekä monipuolisemmin tietoa erilaisten olosuhteiden vaikutuksesta pientuulivoimaloiden tuotantoon. Lisäksi pientuulivoiman käyttäjiä voisi haastatella, jotta saataisiin myös käyttäjien omia kokemuksia pientuulivoiman käyttämisestä ja esimerkiksi vinkkejä itse hankintaprosessiin.

Mikäli tutkimusta haluttaisiin kehittää eteenpäin, olisi järkevintä hankkia tietoa mahdollisimman monipuolisesti ja monenlaisista erilaisista olosuhteista. Mielestäni olisi myös hyvä tutkia, miten pientuulivoimaloiden toimittajia saataisiin enemmän, jotta pientuulivoimalan hankkiminen olisi helpompaa ja kustannustehokkaampaa. Esimerkiksi turha byrokratia voi olla joissakin tapauksissa esteenä joko pientuulivoima-alan yrittäjäksi ryhtymiseen tai itse pientuulivoimalan hankkimiseen. Pientuulivoimaloiden toimittajien vähyys myös väistämättä nostaa kustannuksia, koska kilpailua on vähemmän, ja tuulivoimaloiden toimittaminen on vaikeampaa. Kokonaisuudessaan kuitenkin näen, että pientuulivoimassa on paljon lunastamatonta potentiaalia, jota voidaan lunastaa alaa tutkimalla ja kehittämällä.

Lähteet

- 1 Tuulivoima ja sen hyödyt ja haitat. Verkkoaineisto. Vattenfall. <<https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/tuulivoima/>>. Luettu 10.2.2026.
- 2 Korpela, Aki. 2016. Tuulivoiman perusteet. Tampere: AMK-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- 3 Suomen Tuuliatlas. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/>>. Luettu 9.3.2026.
- 4 Tuulivoima Suomessa. Verkkoaineisto. Suomen uusiutuvat. <<https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoima/tuulivoima-maailmalla/tuulivoima-suomessa/>>. Luettu 11.2.2026.
- 5 Tuulivoima oli Suomen toiseksi suurin sähköntuottaja. 2026. Verkkoaineisto. Suomen uusiutuvat. <<https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoima-oli-suomen-toiseksi-suurin-sahkontuottaja/>>. 21.1.2016. Luettu 11.2.2026.
- 6 Tuulivoima – uusiutuva energialähde. Verkkoaineisto. Fortum. <<https://www.fortum.com/fi/tietoa-meista/energiantuotanto/tuulivoima/>>. Luettu 11.2.2026.
- 7 Markkanen, Mari. 2025. Vastatuulessa. Verkkoaineisto. Ilta-Sanomat. <<https://www.is.fi/kotimaa/art-2000010991536.html>>. 28.1.2025. Luettu 11.2.2026.
- 8 Martin, Gerard & Roux, Jeremie. 2010. Wind Turbines: Types, Economics and Development. New York: Nova Science.
- 9 Pientuulivoima Suomessa. Verkkoaineisto. Motiva. <<https://www.motiva.fi/tietopankki/pientuulivoima-suomessa/>>. Luettu 4.3.2026.
- 10 Bossanyi, Ervin; Burton, Tony; Jenkins, Nick & Sharpe, David. 2001. Wind Energy Handbook. West Sussex: Wiley.
- 11 Introducing Ridgeblade. Verkkoaineisto. RidgeBlade. <<https://ridgeblade.com/>>. Luettu 3.3.2026.
- 12 Burger, Toni & Briskén, Daniel. 2025. Harnessing Wind Power with Roofy: A Horizontal Ridge-Mounted Rooftop Wind Turbine Prototype. Insinööri-työ. Novia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 13 Small wind becomes big in Groningen: visiting Hulst Wind Energy. Verkkoaineisto. NedZero. <<https://nedzero.nl/en/news/small-wind-becomes-big-in-groningen-visiting-hulst-wind-energy>>. Luettu 24.3.2026.
- 14 Istchenko, Rob & Turner, Barry. 2008. Extrapolation of Wind Profiles Using Indirect Measures of Stability. Verkkoaineisto. Wind Engineering. Vol 32, no. 5, s. 434–438. <https://www.windserver.com/Publications/2008_White-Paper_ExtrapolationofWindProfilesUsingIndirectMeasuresofStability.pdf>. Luettu 25.3.2026.
- 15 Pyörälä, Harri. 2020. Lämpötilan ja tuulen vaikutus korkeiden rakennusten ulkovaipan paine-eroihin. Insinööri työ. Oulun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Micro Wind Turbine. Verkkoaineisto. Energy Education. <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Micro-wind_turbine>. Luettu 19.3.2026.
- 17 Vanhala, Akseli. 2025. Lohduton tilanne säässä. Verkkoaineisto. Ilta-Sanomien. <<https://www.is.fi/kotimaa/art-2000011656599.html>>. 28.11.2025. Luettu 30.3.2026.
- 18 Perttula, Mira & Nyman, Jan. 2024. Kokemuksia pientuulivoimaloista. Verkkoaineisto. Energiaa. <<https://energiaa.vamk.fi/artikkelit/osaaminen/kokemuksia-pientuulivoimaloista/>>. 15.5.2024. Luettu 31.3.2026.

Excel-taulukko tuulivoimadatasta

Ote tuulivoimadatan laskelma-Excelistä päivämäärältä 28.11.2025

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Datan arvot ilman korjauskertoimia					Todelliset arvot			Tuotanto		
2	aikaleima	Virta ka.	virta max	jännite ka.	jännite max	status	Virta ka. (A)	jännite ka. (V)	teho ka. (W)	Wh/min	kWh yht
3	20251128000003	2,494	2,507	2,554	2,556	0	0	12,77	0	0	0,006876
4	20251128000104	2,494	2,502	2,554	2,556	0	0	12,77	0	0	
5	20251128000204	2,494	2,507	2,554	2,556	0	0	12,77	0	0	
6	20251128000304	2,494	2,502	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
7	20251128000404	2,494	2,507	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
8	20251128000504	2,495	2,512	2,554	2,556	0	0	12,77	0	0	
9	20251128000604	2,495	2,507	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
10	20251128000704	2,495	2,512	2,555	2,561	0	0	12,775	0	0	
11	20251128000804	2,494	2,507	2,554	2,561	0	0	12,77	0	0	
12	20251128000904	2,496	2,507	2,554	2,556	0	0	12,77	0	0	
13	20251128001004	2,495	2,507	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
14	20251128001104	2,495	2,507	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
15	20251128001204	2,494	2,512	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
16	20251128001304	2,493	2,512	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
17	20251128001404	2,494	2,507	2,554	2,556	0	0	12,77	0	0	
18	20251128001504	2,496	2,512	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	
19	20251128001604	2,495	2,512	2,553	2,556	0	0	12,765	0	0	