

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
LUONNONVARA- JA YMPÄRISTÖALA

TUULIVOIMAA MAATILALLE – OLLILAN TILA KOHTI ENERGIAOMAVARAISUUTTA

TEKIJÄ Merja Tuovinen

Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala	
Tutkinto-ohjelma Agrologin tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Merja Tuovinen	
Työn nimi Tuulivoimaa maatilalle – Ollilan tila kohti energiaomavaraisuutta	
Päiväys	15.5.2023
Sivumäärä/Liitteet	47/2
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Ollilan tila	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Maatilojen energiaomavaraisuus ja hiilineutraalisuus ovat tällä hetkellä ajankohtaisia aiheita. Ukrainan sodan aiheuttama energiakriisi on saanut monet maatilat pohtimaan vaihtoehtoja energiakustannusten alentamiseksi sekä energiansaannin turvaamiseksi. Tuulivoimalla tuotettu sähkö edistää hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamista, koska se on uusiutuvaa ja päästötöntä energiaa. Tuulivoimalan ylläpitokustannukset ovat alhaiset ja tuuli on ilmaista energiaa.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, kannattaako tuulivoimalan hankinta pohjoissavolaiselle maitotilalle. Maitotila oli kiinnostunut uusiutuvan energian tuotannosta ja energiaomavaraisuuden lisäämisestä. Tutkimushetkellä maatilalla oli käytössä maalämpö- ja aurinkosähköjärjestelmä. Tuulivoimala tuottaa eniten sähköä talvella, joten se sopii hyvin aurinkosähkön rinnalle tuottamaan sähköenergiaa. Tila on ostanut sähköä noin 100 000 kWh vuodessa. Tuulivoimalan työllistävä vaikutus on erittäin pieni, mikä lisäsi investoinnin houkuttelevuutta.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla teoriaan sekä vierailamalla muutamissa maatilakokoluokkaan sopivissa tuulivoimaloissa. Lisäksi tutustuttiin teollisen kokoluokan tuulivoimapuistoihin. Kohteen tuuliolosuhteita selvitettiin Suomen tuuliatlas -energiakartaston avulla. Työssä tarvittavat laskelmat tehtiin Envitecpolis Oy:n ja Savon Siemen Oy:n kehittämällä E-farm Pro -ohjelmistolla. Ohjelmistolla tehtiin herkkyyksianalyyskejä käyttäen tuotantoon ja talouteen vaikuttavia muuttujia.</p> <p>Laskelmien perusteella todettiin, että tuulivoimalahankinta kannattaa, mikäli tuulivoimala tuottaa sähköä vähintään tilan kulutuksen verran. Kannattavin vaihtoehto maatilalle on 300 kW:n käytetty tuulivoimala. Suurimmat riskitekijät laskelmissa ovat tuulivoimalan todellisen tuotannon arviointi sekä sähkön hinta. Taloudellisten ja tuotannollisten näkökulmien lisäksi on myös pohdittava tarkkaan tuulivoimalan sijaintia ympäristö ja naapurit huomioiden.</p> <p>Opinnäytetyön tulosten perusteella pohjoissavolaiselle maatilalle voidaan suositella tuulivoimalan hankintaa. Parhaimmillaan takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta. Ennen hankintapäätöstä kannattaa pohtia asiantuntijoiden kanssa mahdollista sijoituspaikkaa. Tuulivoimalat ovat Suomessa maataloilla vielä harvinaisuuksia, joten mahdollisesti työ innostaa maatilayrittäjiä tutkimaan tuulivoimaa yhtenä energiantuotantovaihtoehtona.</p>	
Avainsanat tuulienergia, tuulivoimalat, maatalousyrietykset, energiantuotanto, uusiutuvat energianlähteet	

Field of Study Natural Resources and the Environment	
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and Rural Industries	
Author(s) Merja Tuovinen	
Title of Thesis Wind power for the farm – Ollila farm towards energy self-sufficiency	
Date 15 May 2023	Pages/Appendices 47/2
Client Organisation /Partners Ollila farm	
<p>Abstract</p> <p>Energy self-sufficiency and carbon neutrality on farms are currently topical issues. The energy crisis caused by the war in Ukraine has made many farms to consider alternative ways to reduce energy costs and ensure energy supply. Electricity produced by wind power also contributes to achieving carbon neutrality goals because it is renewable and emission-free energy. The maintenance costs of wind turbines are low, and wind is a free source of energy.</p> <p>The aim of the study was to determine whether purchasing a wind turbine is profitable for dairy farm in Northern Savonia. The dairy farm was interested in renewable energy production and increasing energy self-sufficiency. Currently, the farm had a geothermal and solar electricity system in use. A wind turbine produces the most electricity in winter, so it is well suited to produce electrical energy alongside solar electricity. The farm has been buying around 100 000 kWh of electricity annually. The employment effect of the wind turbine is very small, which increases the attractiveness of the investment.</p> <p>The work began by familiarizing with the theory and visiting a few wind turbines suitable for farm-scale. In addition, industrial-scale wind farms were also examined. The target wind conditions were determined using the Finnish Wind Atlas energy map. The calculations required for the work were made using E-farm Pro software developed by Envitecpolis Oy and Savon Siemen Oy. The software performed sensitivity analyses using variables affecting production and economy.</p> <p>Based on the calculations, it was found that wind power investment is profitable if the wind turbine produces electricity at least as much as the farm's consumption. The most profitable option for the farm is a 300 kW used wind turbine. The biggest risk factors in the calculations are the assessment of the wind turbine's actual production and the price of electricity. In addition to economic and production perspectives, the location of the wind turbine must also be carefully considered, taking the environment and neighbors into account.</p> <p>Based on the results of the thesis, purchasing a wind turbine can be recommended for Northern Savonia-based dairy farm. The payback period can be less than 10 years in the best case. Before making a purchase decision, it is advisable to consider possible locations with experts. Wind turbines are still rare on farms in Finland, so the work may inspire farm entrepreneurs to explore wind power as an energy production option.</p>	
<p>Keywords wind energy, wind power stations, farms, energy production, renewable energy sources</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	TUULIVOIMASTA JA TUULIVOIMALOISTA.....	8
2.1	Tuuli ja tuulivoima	8
2.2	Tuulivoiman nykytilanne Suomessa	9
2.3	Tuulivoimalatyypit.....	11
2.4	Vaaka-akselisen tuulivoimalan rakenne.....	14
2.5	Tuulivoimaloiden hyödyt ja haitat.....	15
2.6	Tuulivoimalan tuotantoon vaikuttavat tekijät.....	16
2.7	Tuulivoimalan tunnusluvut.....	18
3	TUULIVOIMALAN HANKINTAPROSESSI	19
3.1	Paikan valinta	19
3.2	Maston valinta	20
3.3	Tuuliturbiinin valinta.....	21
3.4	Luvat, lausunnot ja verkkoon liittyminen.....	21
3.5	Tuet ja avustukset	22
3.6	Investoinnin kustannukset.....	23
4	TYÖN TOTEUTUS	24
4.1	Tavoitteet, tarkoitus ja tilaesittely	24
4.2	Laskentaohjelman esittely ja käyttäminen.....	24
4.3	Lähtötiedot.....	26
4.3.1	Tuuliatlas	26
4.3.2	Tilan tietoja.....	27
4.4	Opinnäytetyöhön liittyvät eettiset ja luotettavuuskysymykset	30
5	TULOKSET	31
5.1	Voimalan tehon valinta	31
5.2	Herkkyysanalyysit	32
5.2.1	Vakiotiedot laskelmissa	34
5.2.2	Sijainnin vaikutus tuotantoon	34
5.2.3	Maston korkeuden ja roottorin halkaisijan vaikutus tuotantoon (VE 1 ja VE 2)	37
5.2.4	Sähkön hinnan vaikutus takaisinmaksu-aikaan (VE 1 ja VE 2)	38
5.2.5	Investointikustannuksen vaikutus takaisinmaksu-aikaan (VE 1 ja VE 2)	39

6 JOHTOPÄÄTÖKSET	40
7 POHDINTA.....	42
LÄHTEET	44
LIITE 1: LAUSUNTOPYYNTÖ TUULIVOIMAHANKKEESTA	48
LIITE 2: E-FARM PRO -RAPORTTI	49

KUVALUETTELO

KUVA 1. Jalkamyly on keskiaikainen ja vanhin myllytyyppi (Horn 2017a).....	8
KUVA 2. Kuvaleike Ilmatieteen laitoksen verkkosivulta Tuuliruusut (Ilmatieteen laitos julkaisuaika tuntematon a)	9
KUVA 3. Suomessa olevat tuulivoimalat maakunnittain vuonna 2022 (Suomen Tuulivoimayhdistys 2023a, 16)	10
KUVA 4. Tuulivoimaloiden määrän ja kapasiteetin kasvu Suomessa (Suomen Tuulivoimayhdistys 2023c, 20).....	10
KUVA 5. Vaaka-akselisia tuulivoimaloita maatilalla Ruotsissa (Tuovinen 2019).....	12
KUVA 6. Vaaka-akselinen pientuulivoimala (Bergey Windpower julkaisuaika tuntematon)	12
KUVA 7. Windside-tuuliturbiini ravintolan mainostornissa (Oy Windside Production Ltd 2022)	13
KUVA 8. Savonius-tyyppinen tuulivoimala (Luvsid julkaisuaika tuntematon).....	13
KUVA 9. Darrieus-tuuliturbiini (Matysik 2011).....	13
KUVA 10. Kuvaleike Motivan Tuulivoimateknologia-verkkosivulta (Motiva 2022a)	14
KUVA 11. Tuulivoimalasanastoa (Tuovinen 2022)	15
KUVA 12. Tuulivoimalan plussat ja miinukset	15
KUVA 13. Lapojen pituuden vaikutus teholliseen alaan (Eklund 2011b, 10)	16
KUVA 14. Kuvaleike Wind Energy Solution verkkosivulta: WES50 -tuulivoimalan tuottokäyrä (Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon c)	17
KUVA 15. Kuvaleike Wind Energy Solution verkkosivulta: WES50 -tuulivoimalan energiantuotanto vuodessa eri tuulenopeuksilla (Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon b)	17
KUVA 16. Tuulivoiman tunnusluvut (Digma Avoin oppimisympäristö 2018b).....	18
KUVA 17. Turbulenssin vaikutus tuuleen (Small Wind Guidebook julkaisuaika tuntematon, 11)	19
KUVA 18. Tuuliruusu osoittaa vallitsevan tuulen suunnan (Hofmeyer 2018, 43).....	20
KUVA 19. E-farm Pro -ohjelman rakenne	25
KUVA 20. Kuvaleike E-farm Pro -laskentaohjelmasta (E-farm Pro 2023b)	25
KUVA 21. Kuvaleike tuuliruususta Ollilan tilan alueella (Suomen Tuuliatlas 2023)	26
KUVA 22. Kuvaleike tuulen nopeusprofiilista Ollilan tilan alueella (Suomen Tuuliatlas 2023)	26
KUVA 23. Kuvaleike vuoden tuotosta ja tuulennopeudesta Ollilan tilan alueella (Suomen Tuuliatlas 2023) ..	27
KUVA 24. Ollilan tilan ostettu sähkö kuukausittain vuosina 2019–2022	28

KUVA 25. Ollilan tilalta myyty aurinkosähkö kuukausittain vuosina 2020–2022	28
KUVA 26. Ollilan tilan aurinkosähkön tuotanto kuukausittain vuosina 2020–2022	28
KUVA 27. Heinäkuun 2022 ja tammikuun 2023 ostosähkön kulutusprofiili Ollilan tilalla	29
KUVA 28. Kuukausittainen tuotanto ja tuulienopeus (Tuuliatlas).....	30
KUVA 29. Roottorin halkaisijan vaikutus sähköntuotantoon (tuulimyllyn korkeus vakio 48 m)	32
KUVA 30. Maston korkeuden vaikutus sähköntuotantoon (roottorin halkaisija vakio 30 m)	33
KUVA 31. Maaston muodon vaikutus tuulivoimalan sähköntuotantoon	33
KUVA 32. Tuulivoimalan kaksi vaihtoehtoista sijoituspaikkaa (mukaillen Maanmittauslaitos)	35
KUVA 33. Havaintopisteiden maastoprofiilit ja korkeudet N2000-korkeusjärjestelmässä (mukaillen Maanmittauslaitos).....	36
KUVA 34. Maastotietojen ja tuuliruusun tietojen merkintä E-farm Pro -ohjelmaan (VE 1)	36
KUVA 35. Maastotietojen ja tuuliruusun tietojen merkintä E-farm Pro -ohjelmaan (VE 2)	37
KUVA 36. Maston korkeuden vaikutus sähköntuotantoon	38
KUVA 37. Roottorin halkaisijan vaikutus sähköntuotantoon	38
KUVA 38. Sähkön osto- ja myyntihinnan vaikutus takaisinmaksu-aikaan	39

1 JOHDANTO

Uusiutuva energia ja maatilayritysten energiaomavaraisuus ovat olleet viime aikoina puheenaiheina, koska energiakustannukset ovat kasvaneet huomattavasti, ja maailmassa on energiakriisi Ukrainan sodan seurauksena. Monet maatilayritykset miettivätkin ratkaisuja energiakustannusten alentamiseksi. Tuulivoima on vaihtoehto vähentää yritysten sähkökustannuksia, ja se voi lisäksi olla lisätulon lähde kannattavuusongelmien kanssa painivalle maataloudelle. Tuulivoima on myös ilmastoystävällistä ja tukee siten Suomen hiilineutraalisuustavoitetta. Samoin tuulivoimalla pystytään alentamaan maidon hiilijalanjälkeä. Tällä hetkellä Suomessa tuulivoimaloita on maatilayrityksissä vähän, eikä maatilojen tuulivoimaloista löydy paljонkaan kirjoitettua tietoa.

Opinnäytetyössä selvitetään energiaomavaraisuuden lisäämisen mahdollisuutta tuulivoimalla maatilayrityksessä. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Ollilan maidontuotantotila Sonkajärvellä. Yritys on ollut pitkään kiinnostunut energia-asioista. Biokaasulaitossuunnitelma tehtiin vuonna 2013, mutta Venäjän pakotteiden seurauksena aiheutunut maidon hinnan romahdus pisti toteutuksen jäihin. Samoihin aikoihin vuonna 2013 tilalla oli iso tulipalo, jossa tuhoutui muun muassa hakelämpökeskus. Uuteen hakelämpökeskukseen ei investoitu, vaan tilalle rakennettiin maalämpöjärjestelmä. Samoihin aikoihin tehtiin energiasuunnitelma, jossa selvitettiin yrityksen energiankäytön senhetkinen tilanne sekä pohdittiin jatkotoimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi sekä uusiutuvan energiantuotannon lisäämiseksi.

Tila haluaa lisätä energiaomavaraisuutta ja alentaa energiakustannuksia sekä mahdollisesti tuottaa sähköä myös myyntiin nykyistä enemmän. Näillä keinoilla voidaan parantaa kannattavuutta. Tilalla on vuonna 2020 investoitu 39 kilowattipiikin (kWp) aurinkovoimalaan, josta on vuosittain myyty sähköä noin 10 000 kWh. Tuulivoimalan hankinta parantaisi tilan energiaomavaraisuutta talvella, joka on vuodenajoista tuulisinta ja jolloin aurinkosähköjärjestelmän tuotto on olematonta. Tuulivoima ja aurinkosähkö yhdessä energiantuottajina tukisivat hyvin toisiaan.

Ollilan tilalla on ostettu sähköä vuosittain noin 100 000 kWh. Enimmillään ostettu sähkömäärä on ollut 140 000 kWh, mutta eri toimenpiteillä ja aurinkosähkön avulla ostosähkön määrää on saatu vähennettyä. Tulevaisuudessa on kuitenkin mahdollista, että tilan sähkönkulutus lisääntyy, kun hankitaan erilaisia sähkölaitteita tai -koneita. Tähän suuntaan pyritäänkin, mikäli on omaa sähköntuotantoa. Samalla saadaan vähennettyä fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja siten pienennettyä tilan hiilijalanjälkeä.

Opinnäytetyössä selvitetään, onko tuulivoima kannattava hankinta Ollilan maatilalle. Lisäksi on tarkoitus laskea, minkä tehoinen tuulivoimala on taloudellisesti järkevin vaihtoehto. Opinnäytetyössä pohditaan tuulivoimalan sijoituspaikkaa, johon tulee osaltaan vaikuttamaan myös tuulivoimalan koko. Työn tuloksena Ollilan maatilayritys voi tehdä päätöksen tuulivoimalan hankinnasta.

2 TUULIVOIMASTA JA TUULIVOIMALOISTA

2.1 Tuuli ja tuulivoima

Tuulen energia on lähtöisin auringon energiasta: muutama prosentti auringosta tulevasta energiasta muuttuu liike-energiaksi eli tuuleksi. Auringosta tulleesta energiasta melkein puolet on maassa ja merissä. Maapallon tämänhetkiseen energiankulutukseen verrattuna tuulen energiamäärä on noin 40-kertainen. (Suomen Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon c.)

Aurinko lämmittää maata epätasaisesti, jolloin syntyy lämpötila- ja ilmanpaine-eroja. Nämä erot pyrkivät tasoittumaan, ja sen seurauksena tuulee. Aurinko paistaa eniten päiväntasaajalle ja vähiten etelä- ja pohjoisnavalle. Tämä aiheuttaa ilman kiertoliikettä, koska lämmin ilma nousee ylös ja kylmä ilma painuu alas. Maapallon pyöriminen itsensä ja auringon ympäri aiheuttaa myös ilman kiertoliikettä. Maa- ja merialueiden muoto ja jakautuminen sekä ilmakehän alimman osan kitka vaikuttavat myös ilman kiertoliikkeeseen eli tuuleen. (Ilmatieteen laitos julkaisuaika tuntematon b.)

Tuulivoima on uusiutuvaa ja lähes päästötöntä energiaa, jota muutetaan tuulivoimaloiden ja generaattoreiden avulla sähköenergiaksi. Tuulivoimaa on hyödynnetty kautta aikojen esimerkiksi purjehveneissä ja vesipumpuissa. (Käpylehto julkaisuaika tuntematon.) Myös tuulimyllyillä on pitkät perinteet, ja vanhat tuulimyllyt ovat osa kulttuurimaisemaa (kuva 1). Tuulivoiman hyödyntäminen on viime aikoina lisääntynyt valtavasti. Lisäksi tuulivoimalat ovat kehittyneet teknologisesti, joten ne pystyvät ottamaan tuulesta entistä tehokkaammin energiaa talteen. (Horn 2017b.)



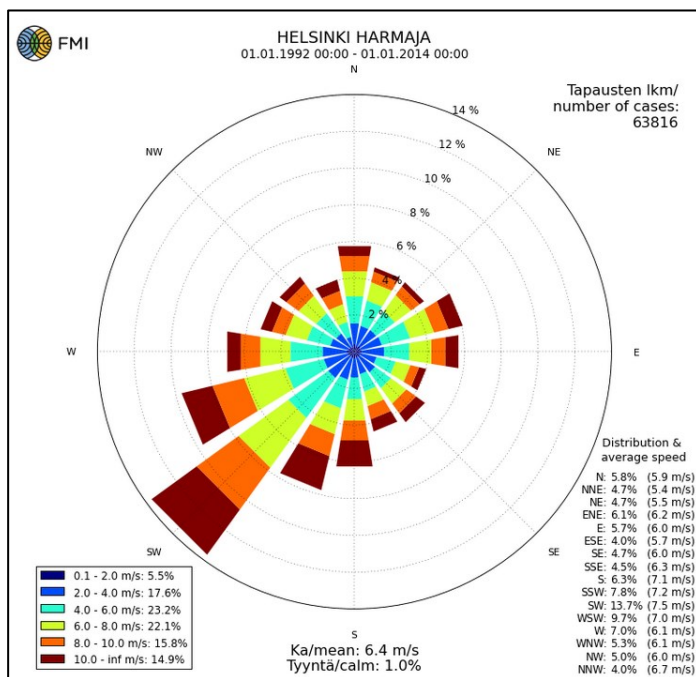
KUVA 1. Jalkamylly on keskiaikainen ja vanhin myllytyyppi (Horn 2017a).

Suomessa tuulisuus vaihtelee eri vuodenaikoina: talvikaudella tuulee selvästi enemmän kuin kesällä. Sen vuoksi tuulivoima tuottaa eniten talvella, jolloin myös sähköä kuluu eniten. Lokakuun ja maaliskuun välillä tuotetaan keskimäärin 60 % Suomen tuulivoimasta. Lisäksi kylmä ilma on lämmintä ilmaa tiheämpää ja siinä on enemmän tehoa. Tämä tarkoittaa sitä, että jos talvella tuulee esimerkiksi

5 m/s, tuulivoimala tuottaa enemmän energiaa kuin kesällä samalla tuulennopeudella. (Paalatie & Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2019.)

Suomen tuuliatlas on vuonna 2009 valmistunut tuulienergiakartasto. Sen avulla arvioidaan mahdollisuuksia tuottaa tuulisähköä. Tuuliatlas kuvaa pitkän ajan keskimääräisiä tuuliolosuhteita, ja sillä voidaan tarkastella tuulioloja Suomessa tai tietyillä rajatuilla alueilla. Suomen tuuliatlas on toteutettu tietokonemallinnuksella. Karttaliittymässä voi tarkastella Suomen tuuliolosuhteita eri korkeuksilta 50 metristä 400 metriin saakka. Se on oivallinen apuväline tarkastella tuulisuutta tuulivoimarakentamisen näkökulmasta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, Ilmatieteen laitos & Motiva 2010, 5–7.)

Tuuliruusu auttaa selvittämään, mistä suunnasta tyypillisesti tuulee ja kuinka kovaa (kuva 2). Tuulivoimalan paikan valinta on oleellinen asia, kun halutaan saada mahdollisimman tuottoisa tuulivoimala. Tuuliruusun avulla saadaan selville paikan tyypilliset tuuliolosuhteet. Siitä selviää eri tuulten voimakkuuksien ja suuntien prosentuaaliset jakaumat. Tuuliruusuja voidaan laskea eripituisille havaintojaksoille, kuten esimerkiksi kesä- tai talvikuukausille. (Ilmatieteen laitos julkaisuaika tuntematon c.)

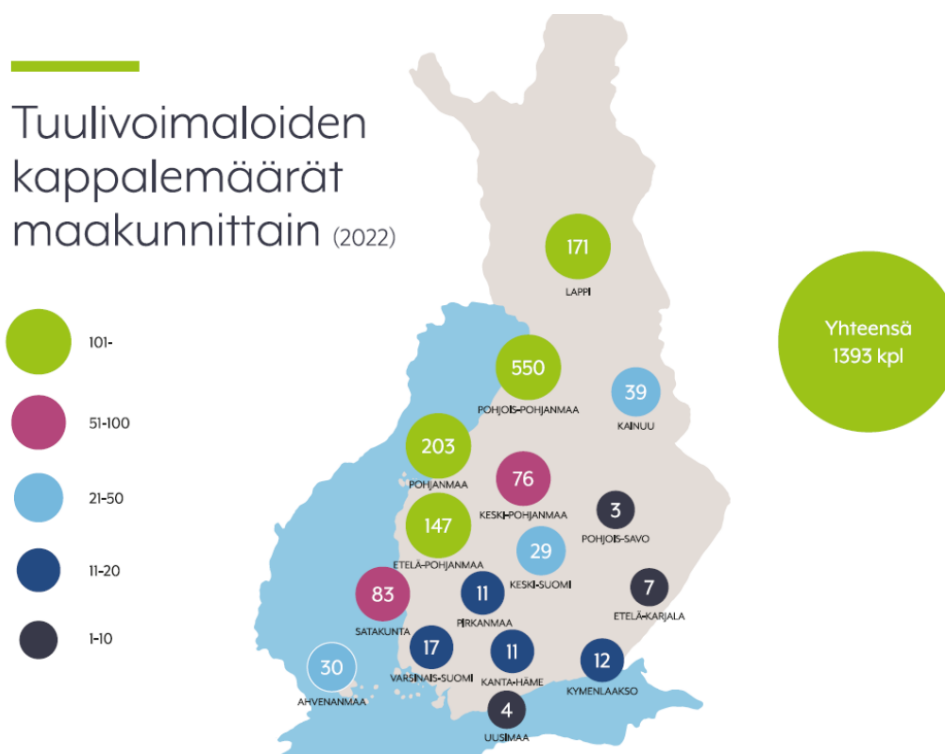


KUVA 2. Kuvaleike Ilmatieteen laitoksen verkkosivulta Tuuliruusu (Ilmatieteen laitos julkaisuaika tuntematon a)

2.2 Tuulivoiman nykytilanne Suomessa

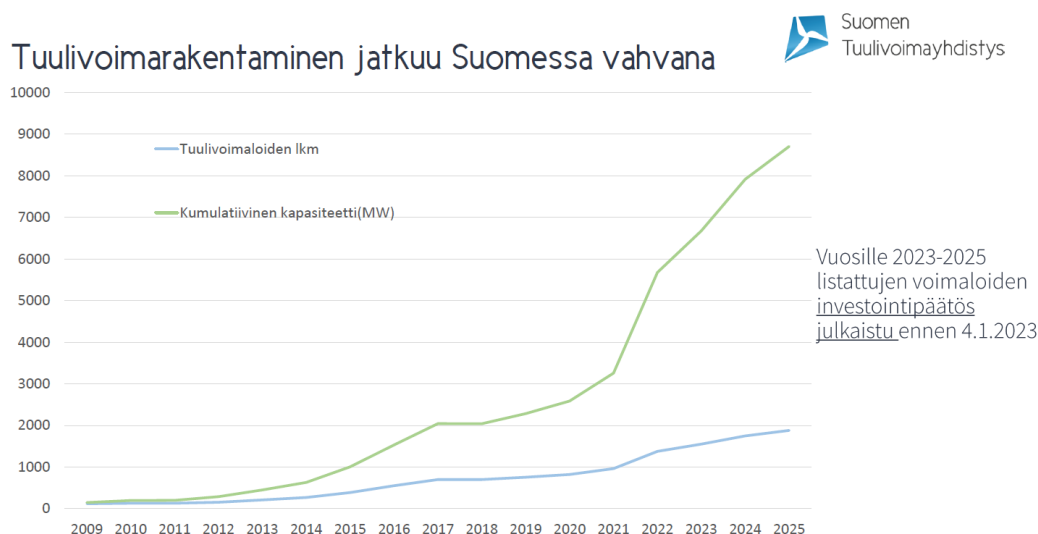
Suomessa on suotuisat tuuliolot tuulienergian tuottamiseen. Eniten tuulee merialueella, ja vuotuinen tuulen keskinopeus merellä noin 100 metrin korkeudella vaihtelee 7,5–10 m/s. Lapin tuntureilla tuulen nopeus on keskimäärin 6,5–8 m/s. Sisämaassa mäki-alueilla 100 metrin korkeudella tuuli puhaltaa keskimäärin 6,5–7,5 m/s. Suomessa tuulisuus hyvillä sijoituspaikoilla on selvästi parempi kuin esimerkiksi Saksassa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023, 53.)

Pohjois-Savossa on vuonna 2022 ollut käytössä kolme teollisen kokoluokan tuulivoimalaa, kun taas esimerkiksi Pohjois-Pohjanmaalla tuulivoimaloita on jo 550 kappaletta. Tuulivoimaloiden kappalemäärät Suomessa eri alueilla vuonna 2022 on esitetty kuvassa 3. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2023, 16.)



KUVA 3. Suomessa olevat tuulivoimalat maakunnittain vuonna 2022 (Suomen Tuulivoimayhdistys 2023a, 16)

Suomen tuulivoimatuotanto ja kasvuennuste on esitetty kuvassa 4, josta voidaan havaita, että tuulivoimatuotannon kasvu on ollut hyvin voimakasta viimeisen kymmenen vuoden aikana. Suomen Tuulivoimayhdistyksen sivuilla esillä olevan Excel-taulukon mukaan maaseutuyrityksissä on tuulivoimaloita noin kymmenkunta (Suomen Tuulivoimayhdistys 2023b).



KUVA 4. Tuulivoimaloiden määrän ja kapasiteetin kasvu Suomessa (Suomen Tuulivoimayhdistys 2023c, 20)

Sähköntuotantovaihtoehtojen taloudellista kannattavuutta ovat vertailleet Vakkilainen ja Kivistö vuonna 2017. He ovat koostaneet taulukkoon 1 perusvoimalaitosten suorituskyky- ja kustannustiedot 3/2017 hintatasossa. Taulukossa 2 on voimalaitosten sähköntuotantokustannukset ilman päästökauppaa. Korkona on käytetty 5 %. Tarkastelussa johtopäätökseksi saatiin, että tutkituista vaihtoehdoista maatuulivoimala tuottaa sähköä edullisimmin. (Vakkilainen & Kivistö 2017, 3, 24.)

TAULUKKO 1. Perusvoimalaitosten suorituskyky- ja kustannustiedot 3/2017 hintatasossa (Vakkilainen & Kivistö 2017, 9)

	Ydin	Kaasu	Hiili	Turve	Puu	Aurinko	Tuuli
Sähköteho [MW]	1650	850	500	150	150	10*	50
Vuosihyötysuhde [%]	37.0	58.3	37.0	40.0	40.0	100*	100*
Investointikustannus [milj.€]	5950	837	1350	295	310	1	68
Ominaisinvestointi [€/kW]	3606	985	2700	1967	2067	1080	1360
Polttoaineen hinta [€/MWh]	2.1	28.0	12.5	13.4	20.4	0.0	0.0
Polttoainekustannus [€/MWh]	5.68	48.03	33.78	33.50	51.00	0.00	0.00
Käyttö ja kunnossapito-kustannukset [€/MWh]	10.41	7.03	16.62	10.49	6.89	14.85	7.70
Muuttuvat k&k-kust. osuus [%]	50	65	70	50	40	20	40
Taloudellinen elinikä [a]	40	25	25	25	25	20	25
Reaalikorko [%]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Annuiteettitekijä [%]	5.83	7.10	7.10	7.10	7.10	8.02	7.10
Päästöoikeuden hinta [€/t CO ₂]	15	15	15	15	15	15	15
Huipunkäyttöaika [h/a]	8000	8000	8000	8000	8000	982	2860
Käyttökerroin [%]	92.6	92.6	92.6	92.6	92.6	11.4	33.1

TAULUKKO 2. Voimalaitosten sähköntuotantokustannukset (€/MWh) (Vakkilainen & Kivistö 2017, 12)

Kustannuskomponentti	Ydin	Kaasu	Hiili*	Turve	Puu	Aurinko	Tuuli
Pääomakustannukset	26.27	8.73	23.95	17.44	18.33	84.71	33.74
Käyttö ja kunnossapito	10.41	7.03	16.62	10.49	6.89	14.85	7.70
Polttoaine	5.68	48.03	33.78	33.50	51.00	0.00	0.00
Yhteensä	42.36	63.79	74.35	61.43	76.22	99.56	41.44

2.3 Tuulivoimalatyypit

Tuulivoimalat jaetaan teollisen kokoluokan tuulivoimaloihin sekä pientuulivoimaloihin. Motivan määritelmän mukaan pientuulivoimalaksi luetaan voimala, jonka roottorin pyyhkäisyypinta-ala on alle 200 neliometriä (m²), eli käytännössä alle 50 kW:n nimellistehoiset voimalat. Pientuulivoimaloita hankitaan muun muassa maatalouteen, vapaa-ajan asunnoille ja purjeveneisiin. (Motiva 2022b.)

Tuulivoimaloita on rakenteeltaan monenlaisia. Niitä on vaak akselisiä ja pysty akselisiä, ja lapoja voi olla 1–3 tai sitten useampilapaisia tuulivoimaloita. Yleisimmin teolliset tuulivoimalat ovat vaak akselisiä ja 3-lapaisia (kuva 5). Kesämökkien pientuulivoimaloissa on yleensä 2 tai 3 lapaa. Pysty akselisiä

voimaloita voi nähdä kaupunkiympäristöissä talojen katoilla tai telemastoissa. (Suomen Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon e.)



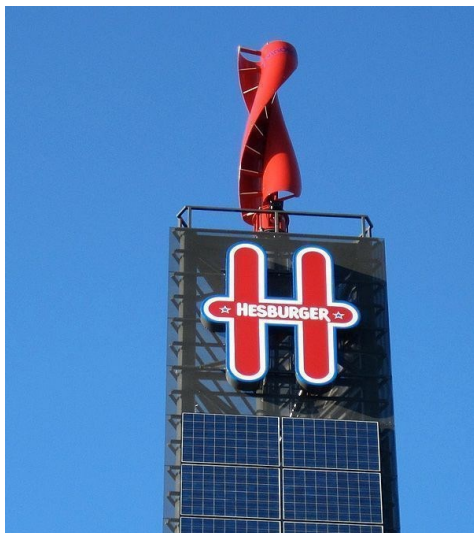
KUVA 5. Vaaka-akselisia tuulivoimaloita maatilalla Ruotsissa (Tuovinen 2019)

Vaaka-akselisessa voimalassa roottori kääntyy moottorikäyttöisesti tuulta kohden. Pienissä kilowattiluokan tuulivoimaloissa roottoria ohjaa pyrstö (kuva 6) tai poikittainen kääntöpotkuri, joka toimii tuulen tullessa sivusta. (Suomen Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon e.)

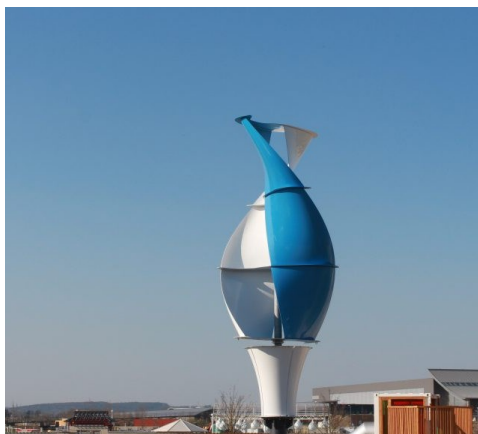


KUVA 6. Vaaka-akselinen pientuulivoimala (Bergey Windpower julkaisuaika tuntematon)

Pystyakselisen tuulivoimalan roottoreita ovat esimerkiksi Windside (kuva 7), Savonius (kuva 8) ja Darrieus (kuva 9). Pystyakselinen voimala ei tarvitse erillistä moottoria tai pyrstöä tuulen suunnan seuraamiseksi. Se toimii aina samalla tavalla riippumatta tuulen suunnasta. (Suomen Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon a.) Pystyakselisia tuulivoimaloita kehitetään nykyisin vain pieniin kokoluokkiin. Savonius- ja Darrieus-voimaloita on ollut käytössä jo noin 100 vuotta. Windside-roottori on lähtöisin Savoniuksen kehittämästä roottorista. Pystyakseliset voimalat ovat hiljaisia ja käynnistyvät hyvinkin pienellä tuulennopeudella. (Digma avoin oppimisympäristö 2018a.)



KUVA 7. Windside-tuuliturbiini ravintolan mainostornissa (Oy Windside Production Ltd 2022)



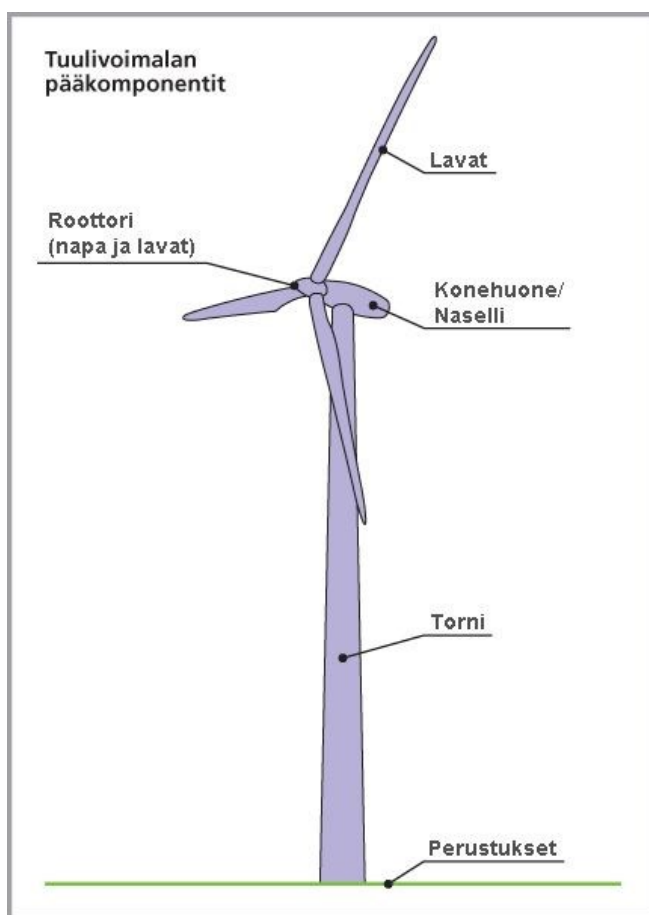
KUVA 8. Savonius-tyyppinen tuulivoimala (Luvside julkaisuaika tuntematon)



KUVA 9. Darrieus-tuuliturbiini (Matysik 2011)

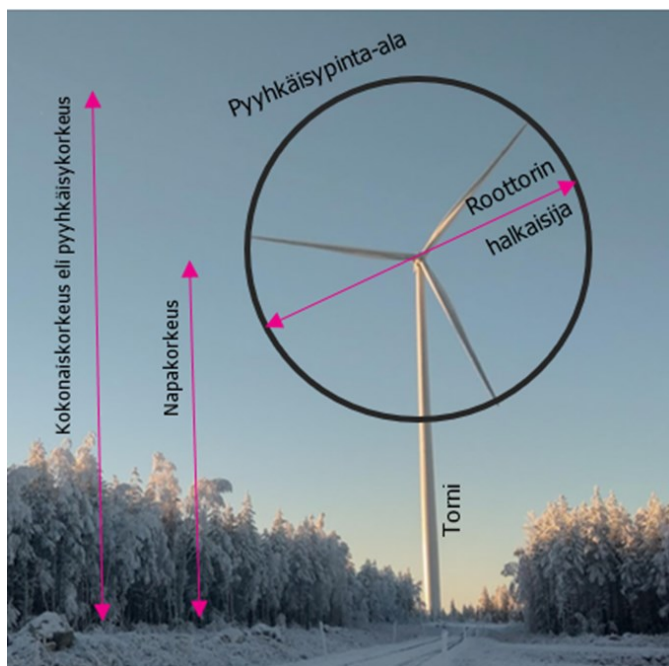
2.4 Vaaka-akselisen tuulivoimalan rakenne

Tuulivoimalan pääkomponentit ovat lavat, konehuone, muuntaja, torni ja perustukset (kuva 10). Roottori voi olla yhteydessä generaattoriin joko suoraan (suoravetoinen turbiini) tai vaihteiston kautta (vaihdelaatikko). Vaihteisto nopeuttaa pyörimistä, mikä mahdollistaa rakenteellisesti entistä pienemmän generaattorin. (WinWind julkaisuaika tuntematon.) Generaattori ja vaihteisto ovat konehuoneessa. Teollisen kokoluokan tuulivoimaloiden korkeus on noin 50–180 m. Viime vuosina tuulivoimaloiden koko ja sen myötä teho ovat kasvaneet huomattavasti. Tällä hetkellä suunnitellaan tuulivoimaloita, joiden napakorkeus on jo yli 200 m ja pyyhkäisykorkeus jopa 350 m. Niissä roottorin halkaisija voi olla jopa 150 m. Tuulivoimaloiden tornit eli mastot ovat pääosin putkimaisia terästornejia. Tornit on kiinnitetty yleensä betonista tai teräksestä valmistettuihin perustuksiin. (Motiva 2022c.)



KUVA 10. Kuvaleike Motivan Tuulivoimateknologia-verkkosivulta (Motiva 2022a)

Tuulivoimalan kokoa voidaan kuvata nimellistehon ja vuosituoton lisäksi roottorin halkaisijalla, napakorkeudella tai kokonaiskorkeudella (kuva 11). Mitä suurempi on roottorin pyyhkäisyalue, sitä suurempi on voimalan tuotto. Tuotto kasvaa myös napakorkeuden kasvaessa, koska korkeammalla tuulee enemmän. (Suomen Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon e.)

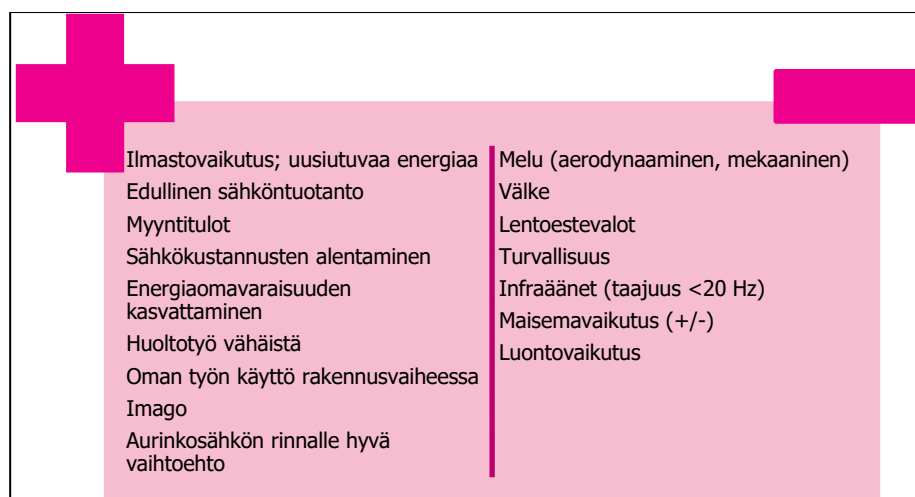


KUVA 11. Tuulivoimalasanastoa (Tuovinen 2022)

Voimaloiden tekninen käyttöikä on noin 25–30 vuotta (Motiva 2021b). Tuulivoimaloita on huollettava, ja niihin on tehtävä kunnossapitotöitä käyttöaikana. Perustoimenpiteitä ovat pulttien kiristys ja nippojen rasvaus. Voimalan osia joudutaan myös vaihtamaan ja korjaamaan. Elinkaaren lopussa oleva voimala puretaan ja tuulivoimalan arvokkaita raaka-aineita sisältävät osat kierrätetään. Lisäksi toimintakuntoisia osia myydään eteenpäin. Tuulivoimaloiden lapojen kierrätys on hankalaa niiden sisältämän lasikuitu- ja epoksimateriaalien vuoksi. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus julkaisu-aika tuntematon, 2–5.)

2.5 Tuulivoimaloiden hyödyt ja haitat

Tuulivoimalat herättävät paljon keskustelua, ja niille löytyy sekä kannattajia että vastustajia. Kuvaan 12 on koottu pääasialliset hyödyt ja haitat, jotka liittyvät tuulivoimaloihin. Hyötyjä ja haittoja on pohdittu yhden maatilakokoluokan tuulivoimalan näkökulmasta.



KUVA 12. Tuulivoimalan plussat ja miinukset

2.6 Tuulivoimalan tuotantoon vaikuttavat tekijät

Lapojen korkeudella vallitseva tuuli vaikuttaa tuulivoimalan tuottamaan energiaan: mitä korkeammalla ollaan, sitä enemmän tuulee ja sitä tasaisemmat ovat tuuliolot. Teknologian kehittyessä tuulivoimaloiden tornit on saatu korkeammiksi, ja näin on pystytty kasvattamaan tuulivoiman tuotantoa. Voimaloiden hyötysuhde on myös parantunut aerodynamiikan kehittymisen myötä. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus julkaisuaika tuntematon, 4.)

Tuulivoimalan masto kannattaa siis tehdä mahdollisimman korkeaksi, koska korkealla tuulee enemmän ja tasaisemmin kuin matalalla. Tuulivoimalan toimintateho (P) voidaan määrittellä matemaattisesti kaavan 1 mukaan:

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

jossa ρ = ilman tiheys, $\frac{kg}{m^3}$

C_p = tehokerroin

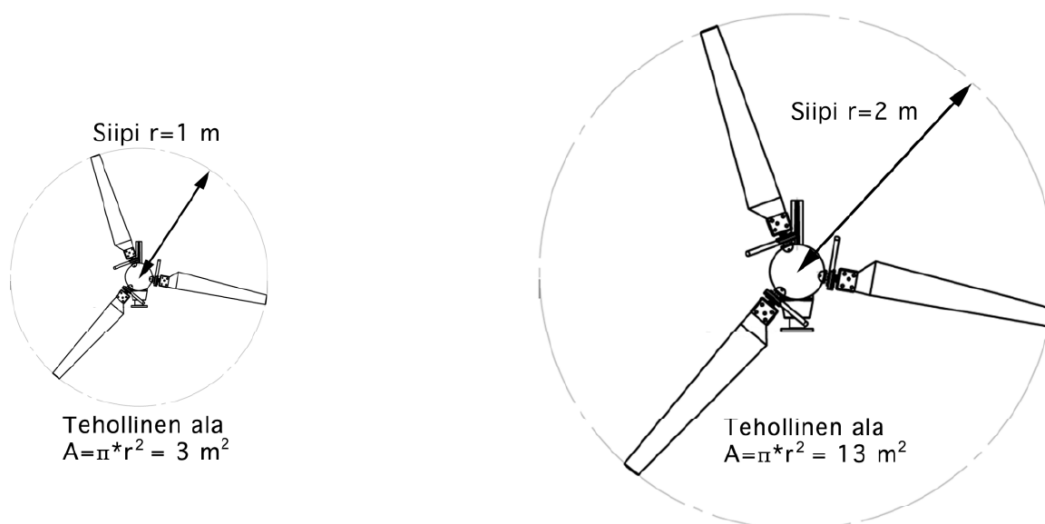
R = lavan pituus, m

$A = \pi \cdot R^2$ eli pyyhkäisyypinta-ala

v = tuulen nopeus, $\frac{m}{s}$

Kaavasta voi todeta, että tuulesta saatavan energian määrä kasvaa tuulen nopeuden kolmannessa potenssissa. Käytännössä siis kun tuulen nopeus kaksinkertaistuu, siitä saatava energian määrä kasvaa 8-kertaiseksi.

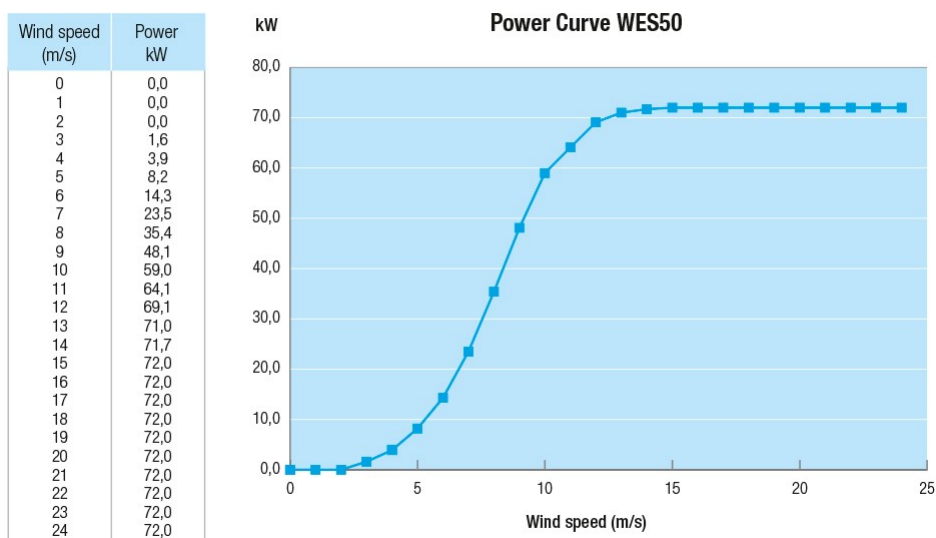
Tehoon vaikuttaa myös lapojen pituus: mitä suurempi on lapojen pyyhkäisyypinta-ala, sitä enemmän tulee tehoa. Esimerkiksi lapojen pituuden kasvaessa metristä kahteen metriin, tehollinen ala lisääntyy yli nelinkertaiseksi (kuva 13).



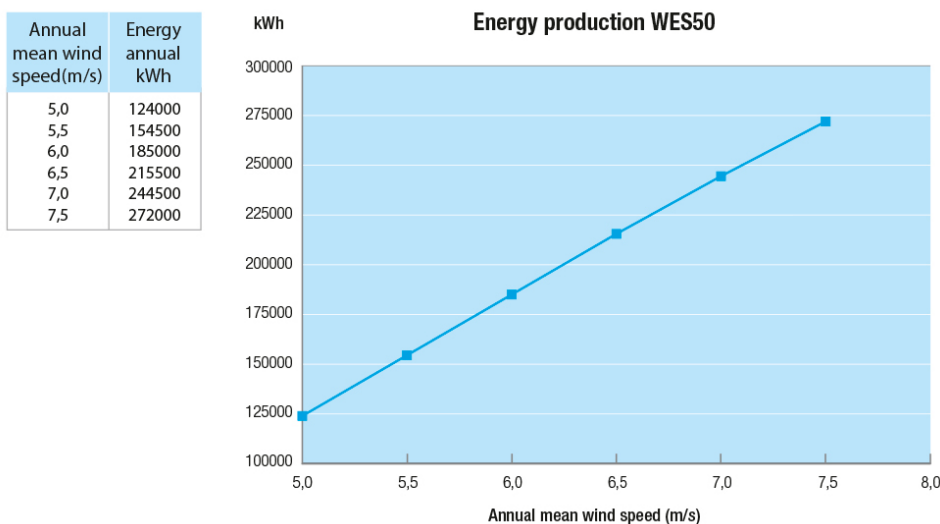
KUVA 13. Lapojen pituuden vaikutus teholliseen alaan (Eklund 2011b, 10)

Tuulivoimalan sähköntuottokyky erilaisissa tuuliolosuhteissa kuvataan valmistajan ilmoittamalla tuottokäyrällä. Tuottokäyrästä voi nähdä, miten tuulennopeus vaikuttaa voimalan sähköntuottoon. Tuottokäyrästä kannattaa tarkastella sitä, missä tuulennopeudessa voimala käynnistyy ja miten voimala tuottaa yleisimmillä 4–6 m/s tuulennopeuksilla. Voimalan nimellistehon voi ilmoittaa matalan tai korkean tuulennopeuden mukaan, ja sen voi selvittää tuottokäyrästä. Tuulivoimalan nimellisteho (esimerkiksi kW tai MW) ilmoitetaan voimalaa myyessä, ja ostajan kannattaa tutustua myös voimalan tuottokäyrään. (Eklund 2011a, 8.)

WES50-tuulivoimalan tuottokäyrä on esitetty kuvassa 14 ja voimalan energiantuotanto vuodessa eri keskituulennopeuksilla kuvassa 15. WES50 on tehokas ja luotettava kaksisiipinen 72 kW -tehoisen tuulivoimala, jonka roottorin halkaisija on 20 metriä (Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon a).



KUVA 14. Kuvaleike Wind Energy Solution verkkosivulta: WES50 -tuulivoimalan tuottokäyrä (Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon c)



KUVA 15. Kuvaleike Wind Energy Solution verkkosivulta: WES50 -tuulivoimalan energiantuotanto vuodessa eri tuulennopeuksilla (Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon b)

2.7 Tuulivoimalan tunnusluvut

Tuulivoimalan tuottamaa sähköenergiaa voi kuvata joko kapasiteettikertoimella tai huipunkäyttöajalla. Kapasiteettikerroin kertoo, kuinka paljon sähköä tuulivoimala on tuottanut tietyssä aikana suhteessa siihen, että se olisi koko ajan toiminut nimellistehollaan. Suomessa kapasiteettikerroin oli vuonna 2018 keskimäärin 33 %. (Suomen Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon d.)

Huipunkäyttöajalla tarkoitetaan sitä laskennallista tuntimäärää, jonka tuulivoimalan pitäisi toimia nimellistehollaan tuottaakseen saman energian, jonka se todellisuudessa vuodessa tuottaa. Huipunkäyttöaika ilmoitetaan tunneissa. Teknologian kehittyminen, aiempaa korkeammat mastot ja pidemmät lavat ovat kasvattaneet voimakkaasti tuulivoimaloiden huipunkäyttöaikaa viime vuosina. Suomessa hyvätuulisella paikalla maatuulivoimalan huipunkäyttöaika on noin 3 000–4 000 tuntia. (Suomen Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon f.) Esimerkiksi voimalan vuosituotanto on 300 000 kWh, jos 100 kW:n voimalan huipunkäyttöaika on 3 000 h. Kuvassa 16 ovat esimerkit kapasiteettikertoimen ja huipunkäyttöajan laskemisesta.



KUVA 16. Tuulivoiman tunnusluvut (Digma Avoin oppimisympäristö 2018b)

Saksalaisen fyysikon Albert Betzin mukaan tuulivoimalan teoreettinen hyötysuhde on enintään 59,3 %. Tällä tarkoitetaan sitä, että teoriassa voidaan hyödyntää enintään 59,3 % ilmasta, joka kulkee roottorin läpi. Tuulen nopeus on pienempi roottorin takana kuin edessä, eli tuulen kulkiessa roottorin läpi tapahtuu häviötä. Häviöt johtuvat muun muassa lapatyypistä, roottorin pyörimisnopeudesta ja virtauksen turbulenssista. (Korpela 2016, 42–43.) Jos hyötysuhde olisi 100 %, roottorin takana ei tulisi yhtään. Vuonna 2019 keskimääräinen hyötysuhde Suomeen rakennetuilla tuulivoimaloilla oli 33 prosenttia (Lukkari 2020).

Tuulivoimalat ovat hyvin käyttövarmoja toimivuudeltaan. Käyttövarmuuteen vaikuttavat viasta johtuvat seisokkiajat, eivätkä tuulesta johtuvat seisonta-ajat, sillä ne ovat normaaleja tuulivoimaloille. Käyttövarmuudet vaihtelevat eri valmistajien voimaloissa 85:n ja 100 prosentin välillä. (Leppämäki 2010, 24.) Käyttövarmuus paranee tuulivoimatekniikan kehittyessä.

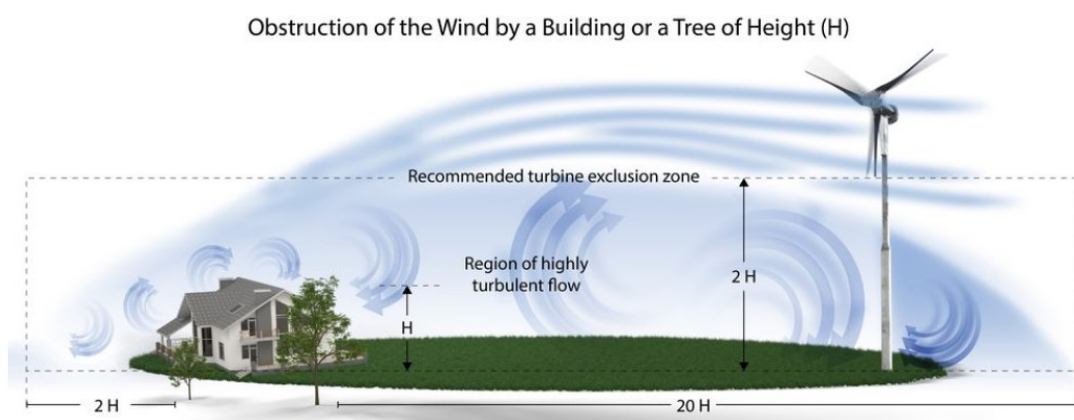
3 TUULIVOIMALAN HANKINTAPROSESSI

3.1 Paikan valinta

Tuulivoimalan tuotanto on riippuvainen tuulesta, joten asennuspaikalla on erittäin suuri merkitys. Ympäristöllä, maaston muodolla ja lähistöllä sijaitsevilla esteillä puolestaan on iso vaikutus tuuliolosuhteisiin. Valitulla sijoitusalueella kannattaa panostaa tuuliolosuhteitaan parhaan mahdollisen paikan selvittämiseen. Tuulivoimalan paikka kannattaa valita siten, että vallitsevassa tuulensuunnassa on paljon avointa, esteetöntä aluetta, kuten peltoa tai järveä, jolla tuuli voi kiihdyttää vauhtiaan. (Eklund 2011a, 5.)

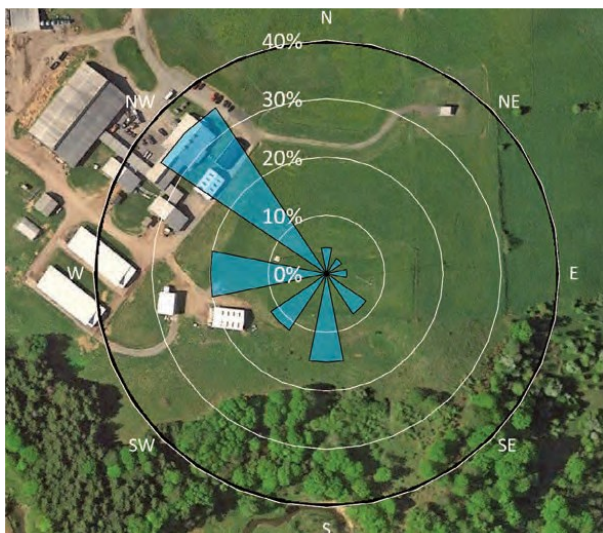
Sijoituspaikan valintaa tehdessä kannattaa käyttää apuna Ilmatieteen laitoksen Tuuliatlasta. Sen huono puoli tosin on, että tuulitietoja saa vasta 50 metristä ylöspäin. On myös mahdollista tehdä tuulimittauksia paikan päällä, mutta niiden tekemiseen kannattaa käyttää aikaa vähintään vuosi.

Parhaimpia sijoituspaikkoja ovat vesistöjen laidat ja peltoaukeat sekä mäkien huiput. Tuulen ominaisuus on, että se kerää nopeutta noustessaan mäen päälle. Turbulenssia eli pyörteisyyttä aiheuttavat esteet. Kannattaa välttää sellaista paikkaa, jossa on lähellä esimerkiksi puita ja rakennuksia. Turbulenssi heikentää tuulen tehoa ja rasittaa voimalaa, mikä puolestaan lyhentää voimalan käyttöikää. Kuvassa 17 on esitetty turbulenssin vaikutusta tuuleen. Tuulivoimala ei tuota riittävästi huonossa sijoituspaikassa. (Eklund 2011a, 5.)



KUVA 17. Turbulenssin vaikutus tuuleen (Small Wind Guidebook julkaisuaika tuntematon, 11)

Paikan valinnassa kannattaa hyödyntää tuuliruusua. Siitä selviää vallitsevan tuulen suunta. Kuvassa 18 on havainnollistettu tuuliruusu ilmakuvaan. Kuvasta voi päätellä, että vallitseva tuulen suunta on luode ja sieltä päin tuulee yli 30 %.



KUVA 18. Tuuliruusu osoittaa vallitsevan tuulen suunnan (Hofmeyer 2018, 43)

Pienelläkin tuulennopeuden lisäyksellä on suuri vaikutus energian tuottoon. Erittäin tärkeää on valita paikallisesti paras ja tuulisin paikka. Tuulivoimalan voi myös sijoittaa satojen metrien päähän sähkön käyttöpaikasta. Tämä johtuu siitä, ettei huomioonotettavia siirtohäviöitä synny voimalan korkean generaattorijännitteen takia. (Finnwind julkaisuaika tuntematon.)

Muita tärkeitä huomioitavia asioita voimalan sijoituspaikalle ovat muun muassa seuraavat asiat:

- maakaapelin reitti käyttökohteeseen
- lähiasutuksen etäisyys (melu, välke, turvallisuus)
- esteetön pääsy paikalle rakentamista, asennusta ja huoltoa ajatellen
- maaperän vaikutus perustuskustannuksiin (Finnwind julkaisuaika tuntematon).

3.2 Maston valinta

Maston eli tornin valintaan vaikuttaa käytettävissä olevan asennusalueen koko. Eri mastoilla on erilaiset vaatimukset asennuspaikalta. Jos pientuulivoimalan masto on saranoitu, on selvitettävä, mahtuuko masto kääntymään vai pystytetäänkö se nosturin avulla. Jos masto on saranoitu, on huomioitava myös huollon vaatima tila, kun masto käännetään alas huoltoa varten. Isommat mastot pystytetään nosturin avulla, joten asennuspaikalla on oltava riittävästi tilaa ja kantavuutta nosturiautolle. (Eklund 2011a, 16.)

Tuulivoimala asennetaan mastoon ja turbulenssia vältetään siten, että masto ulottuu useita metrejä puuston yläpuolelle. Maston perustyyppisiä on kolme:

- **Harustettu masto** on putki tai ristikkorakenne, joka on tuettu harusvaijereilla pystyyn. Harustettu masto on edullisin ratkaisu pientuulivoimalalle. Harusvaijerien vaatima tila on huomioitava asennuspaikalla. Esimerkiksi pellolla harusvaijerit vievät tilaa viljelyltä.
- **Itsestään seisova putkimasto** kootaan useista osista ja se kapenee ylöspäin. Masto vaatii valetun perustuksen tai valmisperustuksen, joka tuodaan paikalle nosturilla.
- **Ristikkomasto** vaatii vahvan perustuksen. Se on harukseton, itseseisova, luja masto. Ristikkomasto on kevyempi ja edullisempi vaihtoehto kuin putkimasto. (Eklund 2011a, 6–16.)

3.3 Tuuliturbiinin valinta

On tärkeää tutustua perusteellisesti eri valmistajien tuuliturbiineihin ja niiden tehokäyriin. Sisämaahan kannattaa hankkia tuulivoimala, joka mahdollisimman alhaisella tuulen nopeudella tuottaa energiaa nimellistehonsa verran. Lapojen pyyhkäisyypinta-ala on tuotantoon vaikuttava merkittävin tekninen ominaisuus. (Käpylehto julkaisuaika tuntematon.) Tärkeää on laskea kannattavuus erilaisilla voimavaihtoehtoilla huomioiden todellinen syntyvä tuotanto. Lisäksi on hyvä huomioida, millä tuulen nopeudella voimalan sähköntuotanto alkaa eli tuulivoimala käynnistyy. Tuuliturbiinin tehon valintaan vaikuttaa se, halutaanko tuottaa sähköä vain omaan käyttöön vai onko tarkoitus myös myydä verkkoon. Turbiinin valinnassa kannattaa myös huomioida laatu sekä hankinta- ja käyttökustannukset.

Tuulivoimalan valintaa kannattaa harkita tarkoin. Ennen voimalan hankintaa on suositeltavaa käydä tutustumassa voimaloihin. Etenkin myyjältä kannattaa kysyä tutustumiskohteista. Takuun pituus ja huollon toimivuus on tärkeä varmistaa maahantuojalta. Tuulivoimalan tulee täyttää tekniset ja turvallisuuden edellyttämät vaatimukset ja sen on oltava CE-merkitty. Tuulivoimala on myös huollettava säännöllisesti. Tyypillisesti vuoden tai kahden välein tehtäviä huoltotoimenpiteitä ovat nippojen rasvaus ja pulttien tiukkuuden tarkistus sekä siipien puhdistus. (Eklund 2011a, 16.)

3.4 Luvat, lausunnot ja verkkoon liittyminen

Ennen tuulivoimalan rakentamista tulee selvittää lupien ja lausuntojen tarpeet Puolustusvoimilta, Fintrafficilta, Tracifomilta, ELY-keskukselta sekä kunnalta. Lisäksi maakaapelin kaivaminen sekä rakennuslupa saattavat vaatia naapurin suostumuksen. Lupien ja lausuntojen tarpeeseen vaikuttavat tuulivoimalan sijainti ja korkeus. Lisäksi on huomioitava Verohallinnon vaatimukset sähköntuottajalle.

Sonkajärven rakennusjärjestyksessä määritellään toimenpiteiden luvan- ja ilmoituksenvaraisuus. Tuulivoimalan korkeus määritetään mittaamalla se maanpinnasta lavan lakikorkeuteen. Mikäli tuulivoimalan korkeus on alle 12 m, riittää pelkkä ilmoitus kuntaan. Mikäli korkeus on 12–50 m, täytyy hakea toimenpidelupa. Korkeuden ylittäessä 50 metriä on haettava rakennuslupa. Naapurien kuuleminen on suotavaa jo hankkeen suunnitteluvaiheessa, vaikkei lupahakemus sitä edellyttäisi. (Sonkajärven kunta 2019, 7–8.) Usein pientuulivoimala tarvitsee vain rakennus- tai toimenpideluvan (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022).

Mikäli tuulivoimala ylittää 50 metrin korkeuden, pitää tuulivoimalan sijoituspaikasta aina pyytää erillinen lausunto Puolustusvoimilta, koska tuulivoimalat voivat heikentää lakisäätetyn aluevalvontatehtävän suorittamista (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022). Lausuntopyyntö voi toimittaa Pääesikunnalle sähköpostitse (Puolustusvoimat julkaisuaika tuntematon). Liitteessä 1 on lausuntopyyntölomake.

Lentoesteluvan tarpeellisuuden määrittää ilmailulain pykälä 158. Luvan tarpeellisuuteen vaikuttavat esimerkiksi voimalan korkeus ja etäisyys lentoasemasta. Lentoestelupa haetaan Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilta. Sen liitteenä tulee olla Fintraffic Lennonvarmistus Oy:n lentoestelausunto. Lausunto- ja lupahakemukseen tarvitaan kohteen tarkat sijaintitiedot sekä voimalan ja maanpinnan korkeus. (Fintraffic julkaisuaika tuntematon.)

Paikallisen verkkoyhtiön kanssa on aina tehtävä erillinen sopimus, mikäli tuulivoimala liitetään sähköverkkoon. Verkkoyhtiön kanssa on hyvä keskustella verkkoon liittymisestä jo ennen tuulivoimalan lopullista hankintapäätöstä ja varmistaa, että hankittava laitteisto täyttää verkkoon liitännän vaatimat tekniset vaatimukset. (Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon f.) Sähkøyhtiön kanssa on myös tehtävä sopimus sähkömyynnistä. Sähkøyhtiöt ovat kiinnostuneita ostamaan yli jäävän sähkön, vaikkei niillä ole ostovelvoitetta. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022.)

Jos tuulivoimala on nimellisteholtaan yli 100 kVA, omistajien tulee rekisteröityä sähköverovelvolliseksi Verohallinnolle. Rekisteröitymisen voi tehdä OmaVerossa ja se on tehtävä ennen käyttöönottoa. Jos nimellisteho on yli 100 kVA ja vuosituotanto alle 800 000 kWh, sähköverovelvollinen tekee koko vuodelta yhden veroilmoituksen tuottamastaan sähkön määrästä. (Verohallinto 2022.)

3.5 Tuet ja avustukset

Maaseudun kehittämistuet uudistuvat vuonna 2023. Uudistusten lisäksi moni asia pysyy kuitenkin samana. Ympäristö- ja ilmastoystävällisiä hankkeita painotetaan kaikissa tuissa jatkossakin. Tuulivoimalaan on mahdollista saada avustusta. Avustuksen suuruuteen vaikuttaa se, tuotetaanko energiaa pelkästään omaan käyttöön vai myös myyntiin ja onko voimala uusi vai käytetty. Energiainvestoinneissa avustuksen määrä on 50 % hyväksyttävistä yksikkökustannuksista, kun on kyse maatalouden investoinnista. Energiainvestoinnin on kohdistuttava uusiutuvaan energiaan, joten tuulivoimala on tuettava investointi. (Ruokavirasto 2023a.)

Maatalouden investointeja koskevia asetuksia on hyväksytty 29.3.2023, ja ne astuivat voimaan 31.3.2023 (maa- ja metsätalousministeriö 2023). Investointitukien ensimmäinen tukijakso on 3.4.2023–10.5.2023, ja tukien haku avautui 21.4.2023 (Ruokavirasto 2023a). Maatalouden investointien hyväksyttävät yksikkökustannukset löytyvät asetuksesta 608/2023. Tuulivoimainvestoinneissa tuetaan alle 100 kW:n tehoisia voimaloita. Tuki on 2 500 €/kW, ja sen saa uudelle tuulivoimalalle. (Suomen säädöskokoelma 608/2023b, 17.) Yli 100 kW:n tuulivoimaloihin on myös mahdollista saada tukea, mutta tällöin on osoitettava kustannusten kohtuullisuus esimerkiksi tarjousten perusteella. Lisäksi yli 100 kW:n ylittävän tehon yksikkökustannus määritetään saatujen tietojen perusteella. (Suomen säädöskokoelma 265/2023a, 12.)

Näin ollen esimerkiksi 100 kW tuulivoimalan hyväksytty yksikkökustannus on 250 000 € ja sille saa avustusta 50 %. Todellinen investointikustannus 100 kW:n voimalalle selviää kuitenkin vasta tarjouksien saamisen jälkeen. Yleensä yksikkökustannukset eivät ole suoraan verrannolliset toteutuneisiin kustannuksiin, vaan ne ovat todellisia kustannuksia pienemmät.

Energiainvestoinneissa käytetty tuulivoimala ja käytetyt laitteet eivät ole tuettavia investointeja. Investointiin liittyvät uudet osat, pohjatyöt sekä asennustyö ovat kuitenkin tukikelpoisia (Ikäheimo 2023.) Maaseuturahoituksen kautta on mahdollista saada energiayrittäjyyteen liittyviin hankkeisiin avustusta joko Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskuksesta (ELY-keskus) tai alueen Leader-ryhmästä. (Ruokavirasto 2023b.) ELY-keskuksen maaseudun yritystuissa on kuitenkin rajattu pois uudella ohjelmakaudella aurinko- ja tuulivoiman tukeminen (Keski-Suomen maaseutu 2023).

Maaseudun kehittämistukiin liittyvät asiat on viime vuosina hoidettu lähes kokonaan sähköisesti. Tällä hetkellä noin 95 % hakemuksista tehdään verkossa. Vuodesta 2023 lähtien maaseudun kehittämistuet haetaan pääosin sähköisesti eli tukia ei voi enää hakea paperilomakkeilla. Maaseudun kehittämistukien asiointipalvelu Hyrrä uudistuu kokonaisuudessaan vuonna 2023. (Ruokavirasto 2023b.)

3.6 Investoinnin kustannukset

Tuulivoimalan kokonaiskustannukset koostuvat monesti tekijästä. Yksi suurimmista kustannuseristä on itse tuulivoimala. Alle 50 kW:n tuulivoimala todennäköisesti olisi uusi, mutta isomman kokoluokan voimala hankittaisiin käytettynä. Suomeen tuodaan käytettyjä tuulivoimaloita ulkomailta. Tällöin tuulivoimalan rahdin osuus näyttelee hyvin suurta osuutta kustannuksista. Samoin pystytyskustannukset ovat yksi merkittävimmistä kustannuseristä. (Ravinteet ja energia käyttöön 2021.)

Tuulivoimalahankkeen kokonaiskustannuksiin vaikuttavat sijoituspaikan infrastruktuuri. Rakennuspaikalle on rakennettava tie ja sen on oltava riittävän kantava painaville tuulivoimalan osille. Lisäksi rakennuspaikan olosuhteet vaikuttavat perustuskustannuksiin. Kantavalle maaperälle rakentaminen on edullisempaa ja myös helpompaa kuin esimerkiksi savi- tai turvemaalle. (Motiva 2021a.) Mikäli tuulivoimala sijoitetaan etäämmälle sähkökeskuksesta, joutuu tuulivoimalan ja sähköverkkoon liityntäpisteiden välillä kaivamaan sähkökaapeli. Siitä aiheutuu myös kustannuksia.

Pienempiä kustannuksia aiheutuu myös lupien ja lausuntojen hankkimisesta. Valmiista tuulivoimalasta maksetaan muun muassa vakuutusmaksua ja kiinteistövero. Lisäksi huolto aiheuttaa vähäisiä kustannuksia. Perushuoltotoimenpiteitä ovat laakerien rasvaamiset ja pulttien kiristykset. Mahdollisen vaihdelaatikon öljyt vaihdetaan noin viiden vuoden välein.

4 TYÖN TOTEUTUS

4.1 Tavoitteet, tarkoitus ja tilaesittely

Opinnäytetyö on kehittämistyö. Työn tavoite ja tarkoitus on saada selville, kannattaako tuulivoimalan hankinta Ollilan maatilalle. Lisäksi selvitetään, mikä kokoinen tuulivoimala on kannattavin ja järkevin vaihtoehto. Tuulivoimalan sijoituspaikkoja tarkastellaan Tuuliatlasta hyödyntämällä, ilma-kuvia tarkastelemalla ja laskentaohjelman avulla.

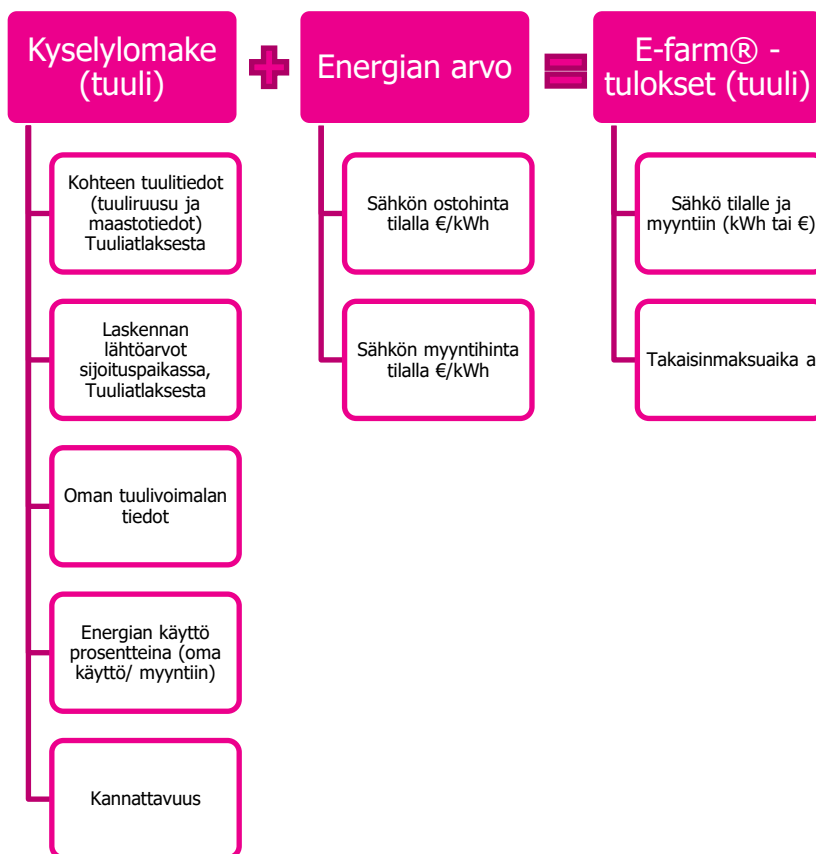
Ollilan maatila on maidontuotantotila Sonkajärvellä. Viljelyksessä on noin 160 hehtaaria peltoa ja eläimiä lypsyrobotinavetassa on noin 150. Lypsyrobottilalla sähkön kulutus on melko tasaista vuorokauden ympäri. Tilalla työskentelee yrittäjien lisäksi kesäaikaan muutama tilan ulkopuolinen henkilö peltotöissä. Osa töistä teetetään urakoitsijoilla.

Maatilalla ollaan kiinnostuneita uusiutuvasta energiasta. Tällä hetkellä sähköä tuotetaan 39 kWp:n aurinkopaneelijärjestelmällä ja lämmityksestä huolehtii 28 kW:n maalämpöjärjestelmä. Järjestelmien toimintavarmuus on ollut hyvä ja huollon tarve vähäinen, ja niitä ominaisuuksia yritys arvostaa. Sähkön omavaraisuuden lisäämiseksi ja energiakustannusten alentamisen vuoksi maatilalla suunnitellaan tuulivoimalan hankintaa.

Työn toteutuksen aikana tutustutaan muutamaamaan tuulivoimalaan, jotta saadaan käytännön näkemyksiä ja kokemuksia tuulivoimaloista. Tutustumiskohteina ovat 20 kW voimala Pohjois-Karjalassa sekä 600 kW voimala Etelä-Pohjanmaalla. Kohteiden voimalat ovat tehoiltaan varsin erikokoiset, joten vierailuista saadaan näkemystä erikokoisista tuulivoimaloista opinnäytetyöhön liittyen.

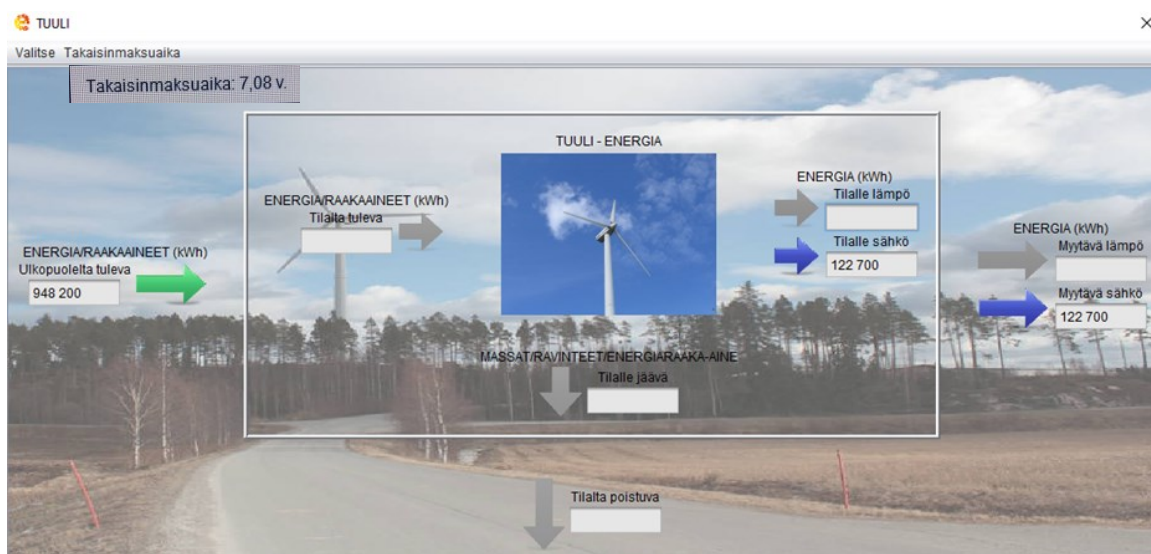
4.2 Laskentaohjelman esittely ja käyttäminen

Tuulivoimalan hankinnan kannattavuutta selvitettiin Envitecpolis Oy:n ja Savon Siemen Oy:n kehittämällä E-farm Pro -ohjelmalla. Ohjelmistolla voidaan laskea uusiutuvien energiamuotojen kuten aurin-
gön, tuulen, maalämmön, biokaasun, peltoenergian, turpeen ja biodieselin, tuotantoa ja takaisinmaksuaikaa. Ohjelma on puolueeton työkalu eikä se edusta ketään laitevalmistajaa. Tuulen osalta laskentamenetelmä perustuu Tommi Ollikaisen laatimaan menetelmään, ja se pohjautuu Tuuliatlaksen lähtöarvoihin. (E-farm 2023, 1,14.) Opinnäytetyössä laskettiin tuulienergian tuotantopotentiaaleja sekä kannattavuuksia. Kuvassa 19 esitetty kaavio havainnollistaa ohjelman rakennetta.



KUVA 19. E-farm Pro -ohjelman rakenne

Kun ohjelmaan on syötetty sijaintipaikkaan, tuulivoimalaan ja energian hintaan liittyvät tiedot, saadaan tulokset kyseisen tuulivoimalan tuotannosta sekä takaisinmaksuajasta. Ohjelman näkymä on tällöin kuvan 20 mukainen.

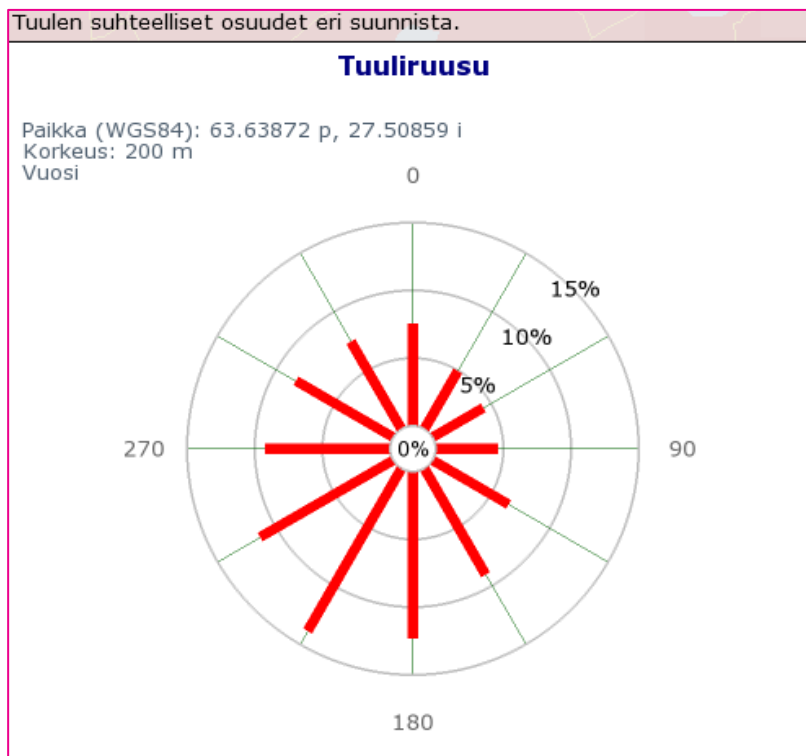


KUVA 20. Kuvaleike E-farm Pro -laskentaohjelmasta (E-farm Pro 2023b)

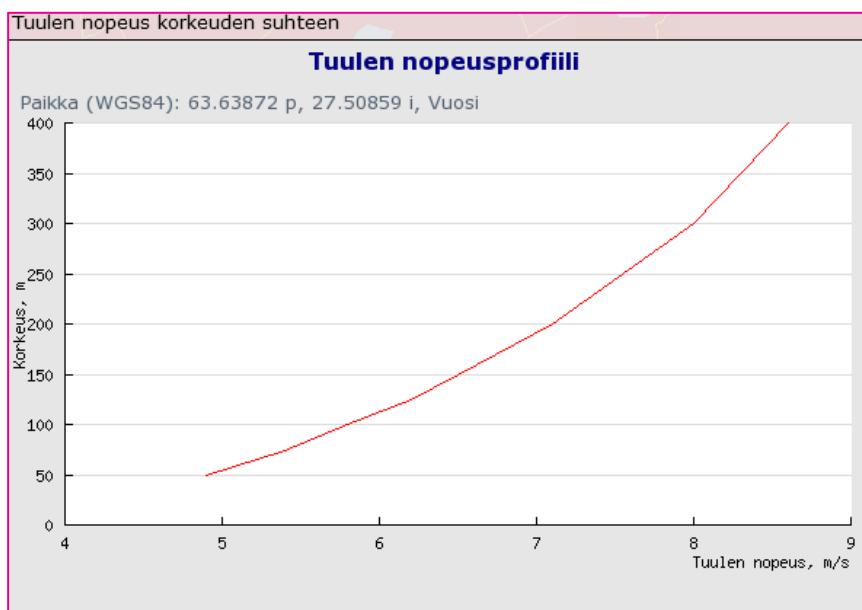
4.3 Lähtötiedot

4.3.1 Tuuliatlas

Laskenta aloitettiin syöttämällä E-farm Pro -ohjelmaan lähtötietoja, joista osa saatiin Tuuliatlaksesta. Tuuliatlaksesta on oletuksena ja vertailukohteena 3 MW:n tuulivoimalan tiedot 200 metrin korkeudessa. Ollilan tilalle Tuuliatlas antaa kuvien 21–23 mukaisen tuuliruusun, tuuliprofiilin, vuoden tuoton ja tuulennopeuden.



KUVA 21. Kuvaleike tuuliruususta Ollilan tilan alueella (Suomen Tuuliatlas 2023)



KUVA 22. Kuvaleike tuulen nopeusprofiilista Ollilan tilan alueella (Suomen Tuuliatlas 2023)

Tason nimi: Vuoden tuotto 200m				
Solun koko: 2500m				
tuloksia: 1				
id	MWh	lat	lon	Kohdist
34179	8059	63.63872	27.50859	
Tason nimi: Vuoden tuulennopeus 200m				
Solun koko: 2500m				
tuloksia: 1				
id	m/s	lat	lon	Kohdist
34179	7.1	63.63872	27.50859	

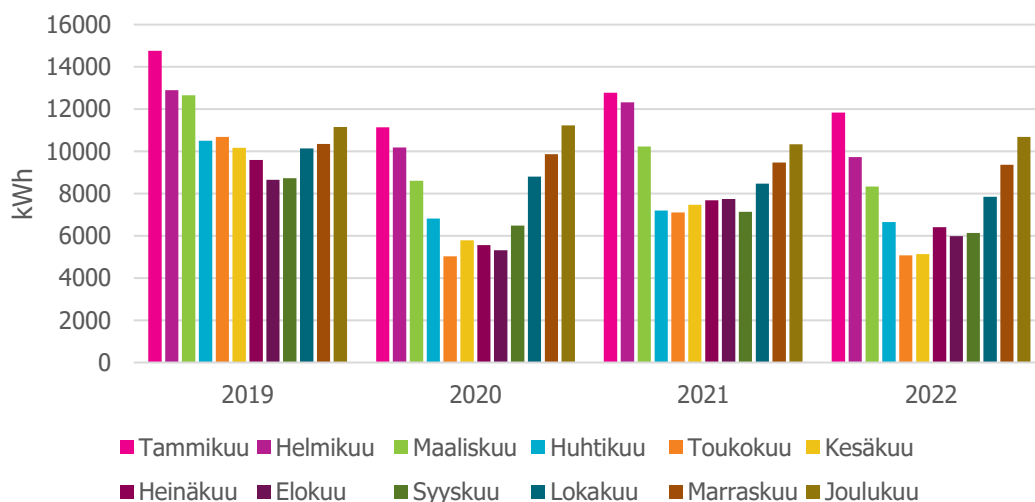
KUVA 23. Kuvaleike vuoden tuotosta ja tuulennopeudesta Ollilan tilan alueella (Suomen Tuuliatlas 2023)

Tuuliruuususta voidaan nähdä, että vallitseva tuulen suunta on etelä-lounas. Keskituulennopeus 200 metrin korkeudella on 7,1 m/s. Vuoden tuotto 3 MW tuulivoimalalla on 8 059 MWh. Nämä arvot syötetään E-farm Pro -ohjelman lähtötietoihin.

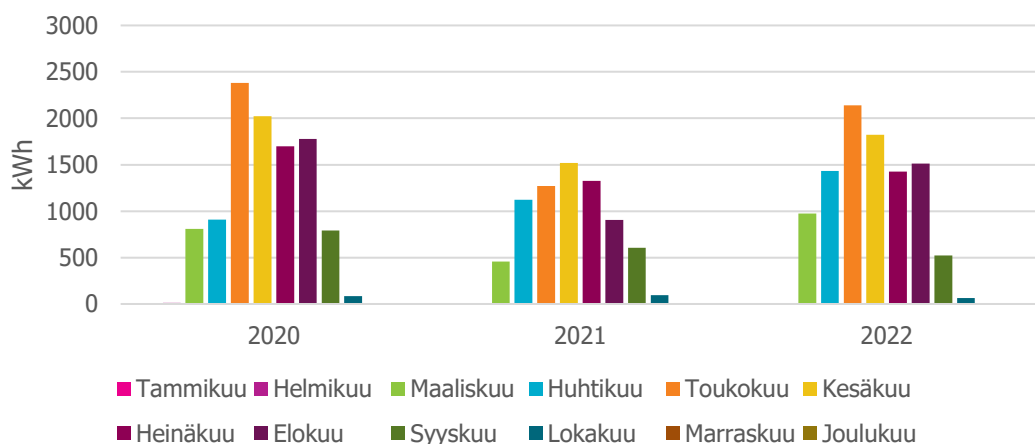
4.3.2 Tilan tietoja

Tilan sähkönkulutus- ja sähköntuotantotietoja kerättiin sähköyhtiön energiasovelluksesta. Lisäksi aurinkosähköntuotantotietoja saatiin sen omasta tuotannonseurantaohjelmasta. Aluksi koottiin lähtötiedot tilan sähkönkulutuksesta ja -tuotannosta sekä kustannuksista viimeisimpien vuosien ajalta. Näin saatiin tietoon tarkkoja kulutuksia eri vuoden ja vuorokauden aikoina.

Kuvassa 24 on vuosien 2020–2022 aikana tilalle ostettu sähkö ja kuvassa 25 tilalta verkkoon myyty aurinkosähkö. Eniten sähköä ostettiin lokakuun ja maaliskuun välisenä aikana eli talvikautena. Eniten sähköä tuotettiin myyntiin toukokuun ja kesäkuun aikana. Heinäkuussa tuotantoa vähentää yleensä aurinkopaneelien liiallinen kuumuus. Keskimäärin myyntiin meni vuodessa noin 10 000 kWh.

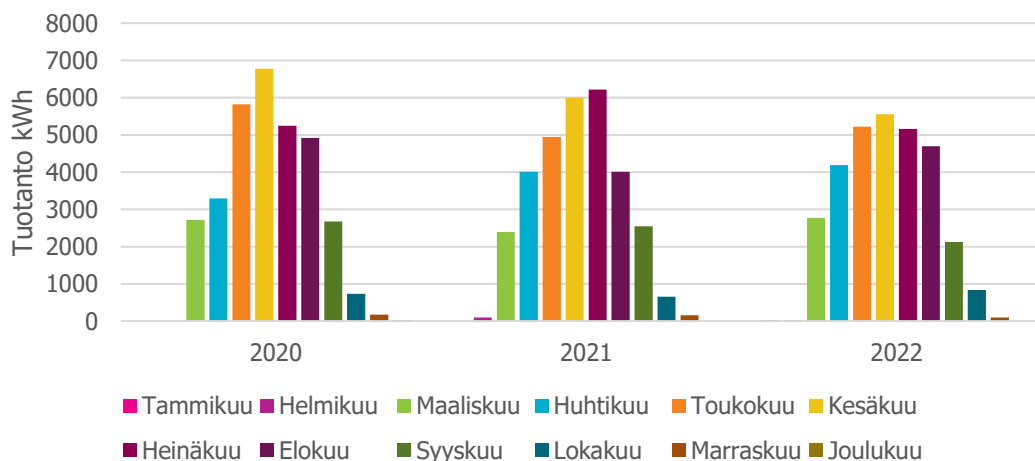


KUVA 24. Ollilan tilan ostettu sähkö kuukausittain vuosina 2019–2022



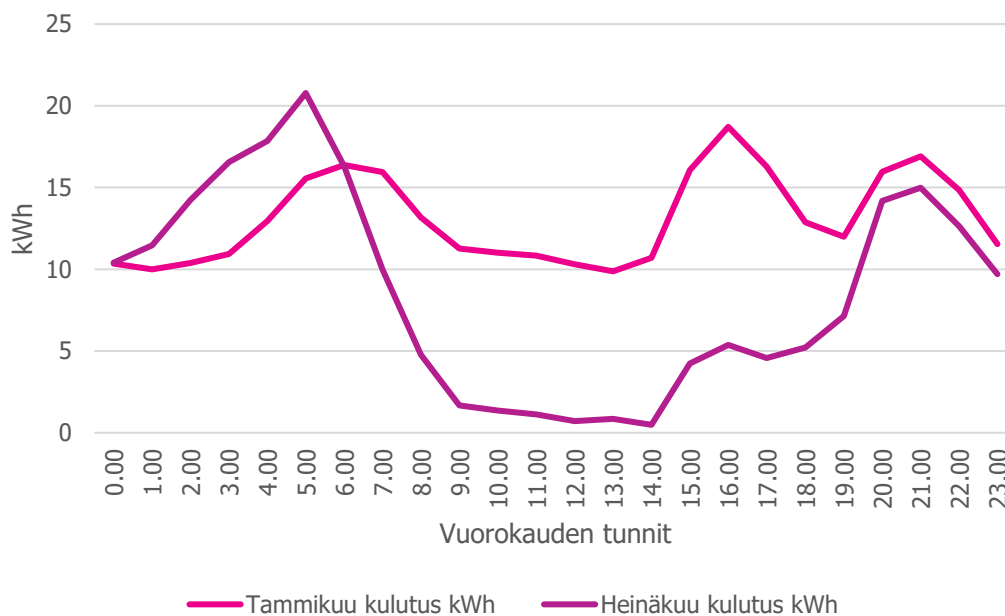
KUVA 25. Ollilan tilalta myyty aurinkosähkö kuukausittain vuosina 2020–2022

Tilan aurinkosähköstä kaikki ei mene siis omaan käyttöön. Suurin osa aurinkosähköstä tuotettiin maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana. Aurinkosähkön tuotantomäärä on kuvan 26 suuruinen.



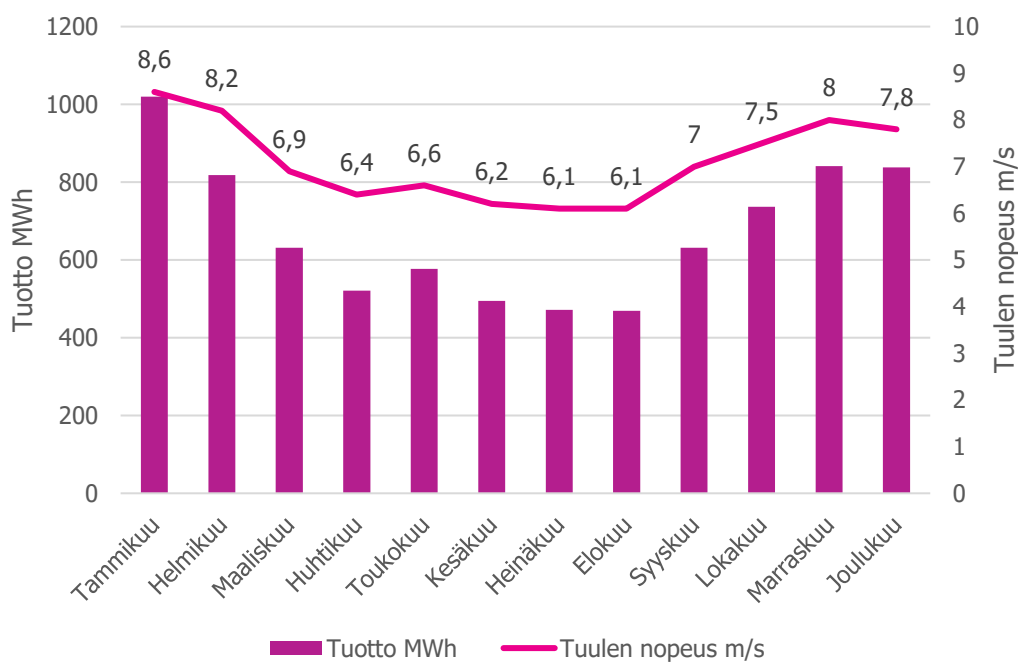
KUVA 26. Ollilan tilan aurinkosähkön tuotanto kuukausittain vuosina 2020–2022

Kuvaan 27 on merkitty Ollilan tilan heinäkuun 2022 ja tammikuun 2023 keskimääräiset tuntikulutukset, joista on vähennetty aurinkovoimalan tuottama sähkö. Suurin kulutushuippu oli tammikuussa klo 16–17: noin 19 kWh. Heinäkuussa vastaavasti suurin kulutushuippu oli klo 5–6: noin 21 kWh. Käyrästä voidaan todeta muun muassa, että heinäkuussa klo 9–14 ostosähköä on tarvittu hyvin vähän. Lähes kaikki aurinkosähköntuotanto on mennyt tällöin omaan käyttöön.



KUVA 27. Heinäkuun 2022 ja tammikuun 2023 ostosähkön kulutusprofiili Ollilan tilalla

Tietojen perusteella Ollilan tilalla ostosähkön määrä on vuodessa keskimäärin yli 100 000 kWh. Kesällä aurinkosähköntuotanto vähentää ostosähkön määrää. Muina kuukausina ostosähkön tarve on yli 10 000 kWh kuukaudessa. Koska tuulivoimala tuottaa eniten talvella, sillä saadaan vähennettyä ostosähkön osuutta etenkin talvikuukausien aikana. Tämä todennettiin myös Tuuliatlaksista saatavista kuukausittaisista tuulennopeuksista ja tuotoista 200 metrin korkeudella 3 MW:n voimalalla Ollilan tilan alueella (kuva 28). Kuva osoittaa, että talvella tuulivoimala tuottaa eniten.



KUVA 28. Kuukausittainen tuotanto ja tuulennopeus (Tuuliatlas)

4.4 Opinnäytetyöhön liittyvät eettiset ja luotettavuuskysymykset

Opinnäytetyön tekemisessä on toimittava ammattikorkeakoulujen eettisten suositusten ja ohjeiden mukaisesti. Hyvää tutkimustapaa ja lainsäädäntöä on noudatettava tieteellisessä kirjoittamisessa. Kun käytetään tausta-aineistona toisen omistamia aineistoja, menetelmiä tai tuloksia, mainitaan niiden alkuperä, tekijät ja lähteet. (Arene 2019.)

Koska opinnäytetyö on julkinen asiakirja, huomioitiin toimeksiantajaan liittyviä tietoja siten, ettei niistä ole haittaa toimeksiantajalle. Toimeksiantajan kanssa sovittiin, mitä tietoja voidaan julkisessa työssä kertoa. Opinnäytetyössä ei julkaista ammatti- ja liikesalaisuuksiin kuuluvia tietoja. Työn luotettavuutta lisää se, että käytössä olivat todelliset lähtötiedot tilalta. Epävarmuutta laskelmiin aiheuttivat tarjouksien puute ja epävarmuus mahdollisista investointituista.

Opinnäytetyön luotettavuuteen vaikuttaa lähteiden käyttäminen ja lähdeviittaukset. On tärkeä käyttää työssä myös lähdekritiikkiä. Tuulivoimaan liittyen on hyvin paljon julkaisuja sekä puolesta että vastaan, joten lähdekritiikki ja tekstin kriittinen lukeminen on tarpeen. Vaikka opinnäytetyöntekijä on itse pääosin tuulivoimamyönteinen, tarkoituksena oli tehdä työ neutraalilla asenteella ja huomioida myös tuulivoiman haittapuolet. Työn tekemisen yhteydessä tutustuttiin sekä kotimaiseen että ulkomaiseen aineistoon mahdollisimman laadukkaana ja monipuolisen tiedon saamiseksi. Kuvien käyttämiseen opinnäytetyössä on lupa ja niiden alkuperäiset julkaisijat ilmoitetaan.

5 TULOKSET

5.1 Voimalan tehon valinta

Aluksi tarkoitus oli selvittää, minkä kokoluokan tuulivoimala kannattaa hankkia. Sen selvittämiseksi tehtiin laskelmia E-farm Pro -ohjelmalla. Laskelmiin valittiin kolmen eri teholuokan tuulivoimalat sekä kolme eri sähkön osto- ja myyntihintaa. Tuuliturbiinien korkeudet ja halkaisijat on otettu olemassa olevista kyseisen teholuokan tuulivoimaloista. Investointikustannukset ovat arvioituja kustannuksia, ja niitä on selvitetty webinaareista sekä haastattelemalla käytettyjen tuulivoimaloiden myyjää.

Ensimmäinen vaihtoehto on alle 50 m korkea pientuulivoimala, jonka lupaprosessi on helppo. Sen tuotannosta lähes kaikki menee omaan käyttöön. Arvioitiin, että 10 % tuotannosta myydään, koska tuulisina päivinä on ylituotantoa. Toinen omalle tilakoolle sopiva vaihtoehto on tuulivoimala tehoaan 220 kW, jolloin myytävää sähköä on noin 25 %. Voimala olisi käytetty, koska hintaero kyseisessä kokoluokassa on suuri uuden ja käytetyn välillä. Kolmas vaihtoehto on reilusti tarvetta isompi voimala, josta sähköä myydään verkkoon noin 50 %. Tässäkin vaihtoehdossa voimala olisi käytetty. Omaan käyttöön menevän sähkön osuus on kaikissa kokoluokissa arvio. Taulukossa 3 on esitetty kolmen vaihtoehtoisen tuulivoimalan tiedot, joista sitten on valittu herkkyytarkasteluihin kannattavin vaihtoehto.

Asetuksessa on määritelty, että alle 100 kW:n uuteen järjestelmään saa 50 %:n avustuksen. Lisäksi hyväksyty yksikkökustannus on 2 500 €/kW, eli 50 kW:n tuulivoimalassa hyväksyty kustannus on enintään 125 000 €, joten avustuksen määrä on enintään 62 500 €. Jos todellinen investointikustannus on 170 000 €, avustusprosentiksi tulee 37 %.

Iso voimala on järkevintä hankkia käytettynä, koska uusien hinta on moninkertainen. Käytettyyn voimalaan ei saa avustusta, mutta voimalan perustuksiin, pystytykseen ja mahdollisiin uusiin osiin avustusta voi saada. Avustusosuuden on arvioitu näin ollen olevan noin 10 % kokonaiskustannuksista.

TAULUKKO 3. Laskelmissa käytettyjen tuulivoimaloiden lähtötiedot

Tuulivoimala kW	Investointikustannus €	Avustus %	Tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija m	Sähkön tuotanto kWh	Omaan käyttöön sähköstä kWh (%)	Myyntiin sähköstä kWh (%)
50 (uusi)	170 000	37	36/16	48 400	43 600 (90)	4 800 (10)
220 (käytetty)	180 000	10	40/25	126 000	94 500 (75)	31 500 (25)
300 (käytetty)	200 000	10	48/30	201 800	100 900 (50)	100 900 (50)

Laskelmien tulokset osoittavat, että kannattavin vaihtoehto on 300 kW:n käytetty tuulivoimala. Siinä takaisinmaksuaika on vielä siedettävä, vaikka sähkön hinta on alhainen. Laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Tuulivoimalavaihtoehtojen takaisinmaksuajat eri sähkön hinnoilla

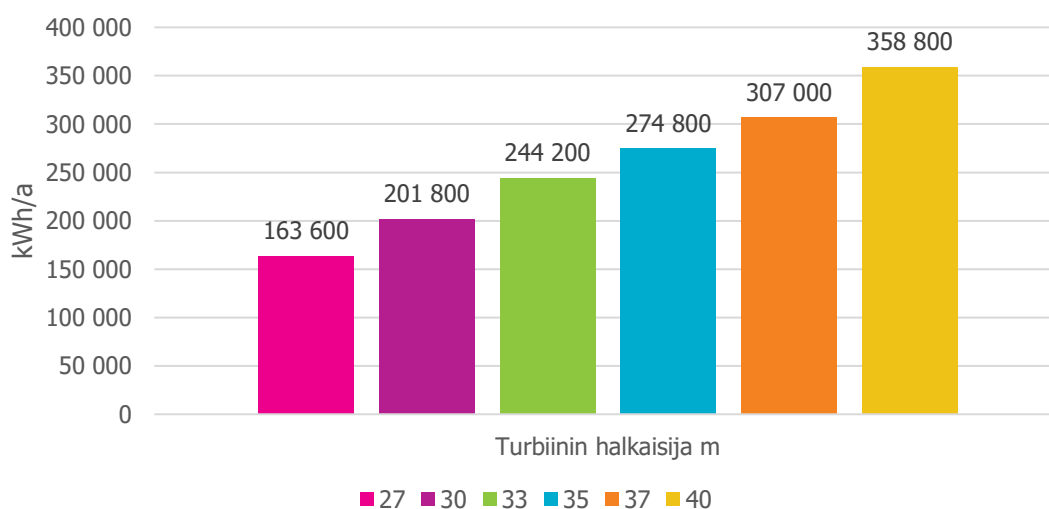
Tuulivoimala kW	Sähkön ostohinta €	Sähkön myyntihinta €	Takaisinmaksuaika a
50 uusi	0,20	0,15	12,5
	0,15	0,10	19,6
	0,08	0,05	Ei voi määrittää
220 käytetty	0,20	0,15	8,6
	0,15	0,10	12,9
	0,08	0,05	40,5
300 käytetty	0,20	0,15	6,0
	0,15	0,10	9,0
	0,08	0,05	23,0

Tuulivoimaloiden takaisinmaksuaikaan vaikuttaa paljon voimalan todellinen vuosituotto sekä sähkön hinta. Matalalla sähkön hinnalla ohjelma ei laskenut edes takaisinmaksuaikaa pienimmälle 50 kW:n tehoiselle voimalalle. Takaisinmaksuajoissa on isot vaihtelut. Isoimmassa kokoluokassa jokaisessa vaihtoehdossa takaisinmaksuaika on lyhin.

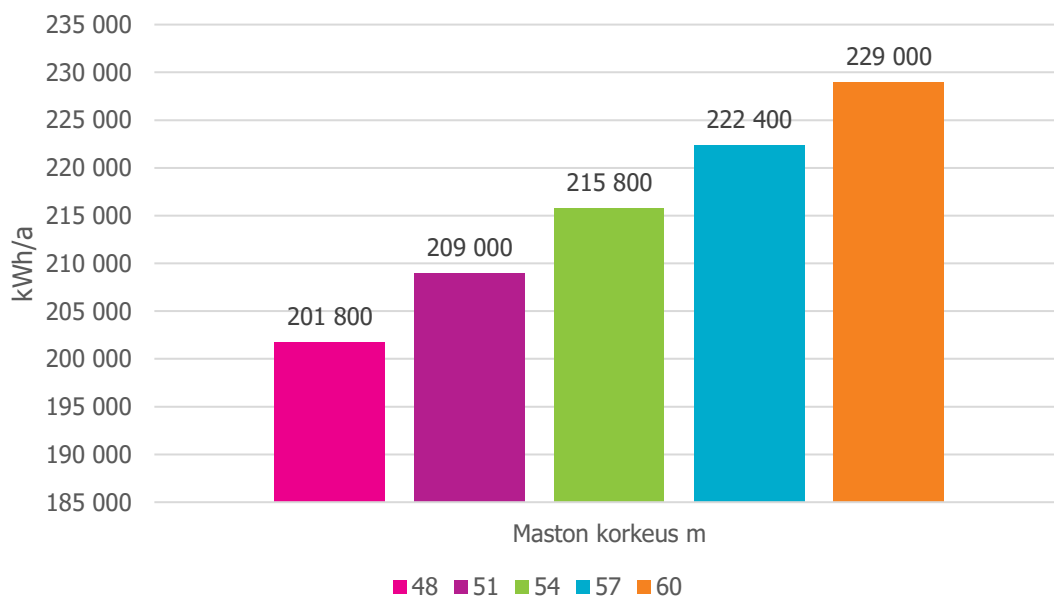
5.2 Herkkyysanalyysit

Ohjelman avulla lasketaan alustavia energiantuottoja sekä määritetään tuotannon kannattavuus takaisinmaksuaikamenetelmällä. Ohjelmalla tehdään herkkyysanalyyskejä, jolloin saadaan selville kriittisimpien muuttujien vaikutus tuotantoon ja kannattavuuteen. (E-farm Pro 2023, 3.) Opinnäytetyössä herkkyystarkasteluja tehtiin kahdella eri sijoituspaikalla, eri maston ja turbiinin mitoituksilla sekä useilla eri sähkön hinnoilla ja investointikustannuksilla. Näillä pyrittiin selvittämään tekijöitä, joilla on eniten merkitystä tuulivoimalan hankintaan liittyen.

E-farm Pro -ohjelmalla testattiin, miten roottorin halkaisija ja maston korkeus vaikuttavat sähköntuotantoon (kuva 29 ja kuva 30). Laskelmia tehtiin eri arvoilla, jotta nähtiin niiden vaikutus tuloksiin. Muut lähtöarvot laskelmissa olivat samat. Laskelmat havainnollistavat, millainen vaikutus roottorin halkaisijalla ja maston korkeudella on sähköntuotantoon. Kun roottorin halkaisijaa kasvatetaan noin kolmella metrillä, energiantuotanto lisääntyy 10–20 %. Maston korkeutta lisäämällä energiantuotannon kasvu on noin 1 % / 1 m.

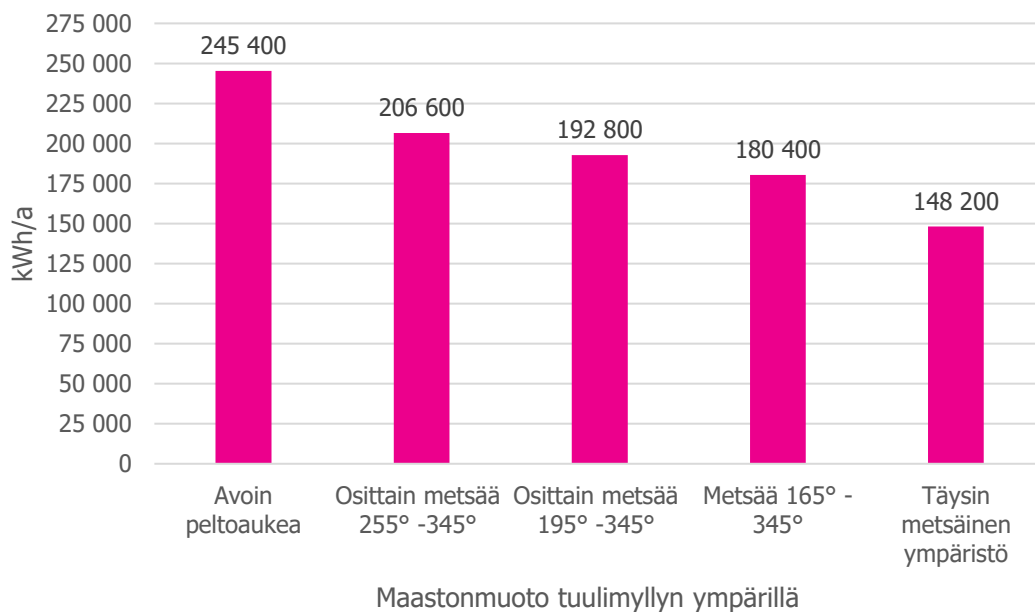


KUVA 29. Roottorin halkaisijan vaikutus sähköntuotantoon (tuulimyllyn korkeus vakio 48 m)



KUVA 30. Maston korkeuden vaikutus sähköntuotantoon (roottorin halkaisija vakio 30 m)

Ohjelmalla testattiin myös sijaintipaikan ja sen maastonmuodon vaikutusta tuotantoon (kuva 31). Esimerkissä on kyseessä 300 kW:n tuulivoimala, jonka roottorin halkaisija 30 m ja maston korkeus 48 m. Tästä huomataan, että sijaintipaikalla on erittäin suuri merkitys tuotantoon. Täysin metsäisellä alueella olevan voimalan tuotanto voi olla noin 100 000 kWh vähemmän vuodessa.



KUVA 31. Maaston muodon vaikutus tuulivoimalan sähköntuotantoon

5.2.1 Vakiotiedot laskelmissa

Tarkempiin herkkyystarkasteluihin valittiin 300 kW:n voimala, jonka korkeus on 48 m ja roottorin halkaisija 30 m. Pyyhkäisyypinta-ala on 707 m². Energian käyttö on jaettu osuuksiin 50 %/ 50 % oman käytön ja myynnin osalta. Lisäksi vakioarvoja ovat seuraavat:

- Laskennan lähtöarvot Tuuliatlaksesta
 - Tuulen nopeus 200 m:n korkeudella 7,1 m/s
 - Vuosituotto (3 MW:n voimala) 8 059 MWh/a
- Siipien hyötysuhde 33 %
- Tuulivoimalan käyttövarmuus 98 %
- Tuulivoimalan sähköinen hyötysuhde 80 %
- Investointituki 10 %
- Pääoman korko 4 %
- Huolto- ja ylläpitokustannukset 1 000 €/v

Seuraavat arvot ovat laskelmissa, mikäli ne eivät ole herkkyystarkastelun kohteena:

- Investointikustannus 200 000 €
- Sähkön ostohinta 0,15 €/kWh ja sähkön myyntihinta 0,10 €/kWh

5.2.2 Sijainnin vaikutus tuotantoon

Ohjelmaan määriteltiin tuuliruusun tiedot, jotka saatiin Tuuliatlaksesta. Lisäksi oli määriteltävä voimalan paikka, jotta ohjelmaan pystyttiin syöttämään maastotiedot suunnitellun tuulivoimalan paikan ympäriltä 200 metrin säteellä. Kuvassa 32 on kaksi eri vaihtoehtoista sijoituspaikkaa voimalalle (vaihtoehto 1 = VE 1 ja vaihtoehto 2 = VE 2).

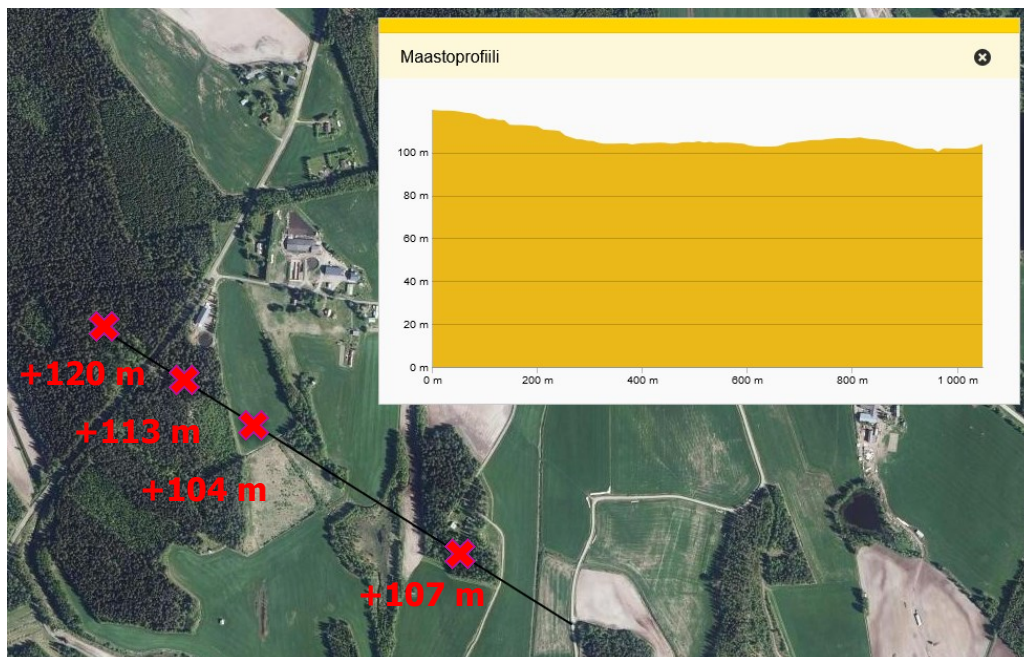


KUVA 32. Tuulivoimalan kaksi vaihtoehtoista sijoituspaikkaa (mukaien Maanmittauslaitos)

Vaihtoehto 1 sijaitsee mäen päällä metsän ympäröimänä. Metsä hakataan pois omalta maalta, mutta naapurikiinteistöjen metsät jäävät edelleen vaikuttamaan tuulisuuteen ilmansuuntien lounas-pohjoisen välillä. Tässä vaihtoehdossa tien läheisyys ja siten kulkuyhteys on erittäin hyvä. Sähkökaapelin liityntäpiste on kohtalaisen matkan päässä. Lisäksi maaperä on kantavaa.

Vaihtoehto 2 sijaitsee myös hieman ympäristöään korkeammassa paikassa. Metsä hakataan pois ympäriltä, mutta naapurikiinteistön metsää jää koillinen-pohjoinen-suuntaan. Muutoin sijainti on isojen peltoaukeiden reunalla. Perustuskustannukset tällä paikalla tulevat olemaan suuremmat kuin VE 1:ssä, koska maaperän kantavuus ei ole niin hyvä. Sähkökaapelin veto on täältä huomattavasti pidempi ja hankalampi toteuttaa kuin VE 1:ssä. Lisäksi on huomioitava, että talviaikaan tien auraus aiheuttaa lisätyötä.

Kuvassa 33 on sijoituspaikkojen halki piirretyn viivan maastoprofiili. Molemmat kuvat on otettu näytökuvina Maanmittauslaitoksen Paikkatietoikkuna -verkkopalvelusta. Paikan valintaan vaikuttivat maaston muoto, teiden läheisyys, rakennuspaikan kantavuus, etäisyys asuintaloista ja sähköverkon liittymispaikan läheisyys.



KUVA 33. Havaintopisteiden maastoprofiilit ja korkeudet N2000-korkeusjärjestelmässä (mukaillen Maanmittauslaitos)

E-farm Pro -ohjelmalla määriteltiin maksimaalinen tuulienergiapotentiaali molemmissa sijaintipaikoissa käyttäen Tuuliatlaksesta saatavia tietoja. Kyselylomakkeeseen merkittiin eri ilmansuunnista esiintyvän tuulen prosenttiosuudet. Lisäksi merkittiin kyseisen tuulensuunnan maastonmuoto. (E-farm Pro 2023, 19–23) Tiedot on merkitty ohjelmaan kuvan 34 ja kuvan 35 mukaisesti. Tiedoissa on huomioitu, että metsiä hakataan tuulivoimalan ympäriltä.

Kohteen tuulitiedot

OMAN TUULIVOIMALAN MAASTOTIEDOT

	Tuulen esiintyvyys (%)	Maaston muoto
POHJOINEN (345°-15°)	7	Pellot
(15°-45°)	5	Pellot
(45°-75°)	4	Pellot
ITÄ (75°-105°)	5	Pellot
(105°-135°)	7	Pellot
(135°-165°)	9	Pellot
ETELÄ (165°-195°)	13	Niukkakasvustoiset kangasmaat
(195°-225°)	14	Niukkakasvustoiset kangasmaat
(225°-255°)	12	Täysikasvuinen havumetsä
LÄNSI (255°-285°)	9	Täysikasvuinen havumetsä
(285°-315°)	8	Täysikasvuinen havumetsä
(315°-345°)	7	Niukkakasvustoiset kangasmaat

100%

OK

KUVA 34. Maastotietojen ja tuulirusun tietojen merkintä E-farm Pro -ohjelmaan (VE 1)

Kohteen tuulitiedot

OMAN TUULIVOIMALAN MAASTOTIEDOT

Tuulen esiintyvyys (%) Maaston muoto

POHJOINEN (345°-15°)	7	Täysikasvuinen havumetsä
(15°-45°)	5	Täysikasvuinen havumetsä
(45°-75°)	4	Pellot
ITÄ (75°-105°)	5	Pellot
(105°-135°)	7	Pellot
(135°-165°)	9	Pellot
ETELÄ (165°-195°)	13	Pellot
(195°-225°)	14	Pellot
(225°-255°)	12	Pellot
LÄNSI (255°-285°)	9	Pellot
(285°-315°)	8	Pellot
(315°-345°)	7	Niukkakasvustoiset kangasmaat

100% OK

KUVA 35. Maastotietojen ja tuuliruusun tietojen merkintä E-farm Pro -ohjelmaan (VE 2)

Tuulimyllylle laskettiin kahden eri sijaintivaihtoehdon, VE 1 ja VE 2, tuotanto ja takaisinmaksuaika (taulukko 4). VE 2:ssa tuulivoimala on avonaisemmassa paikassa, ja siksi laskettu tuotanto on suurempi.

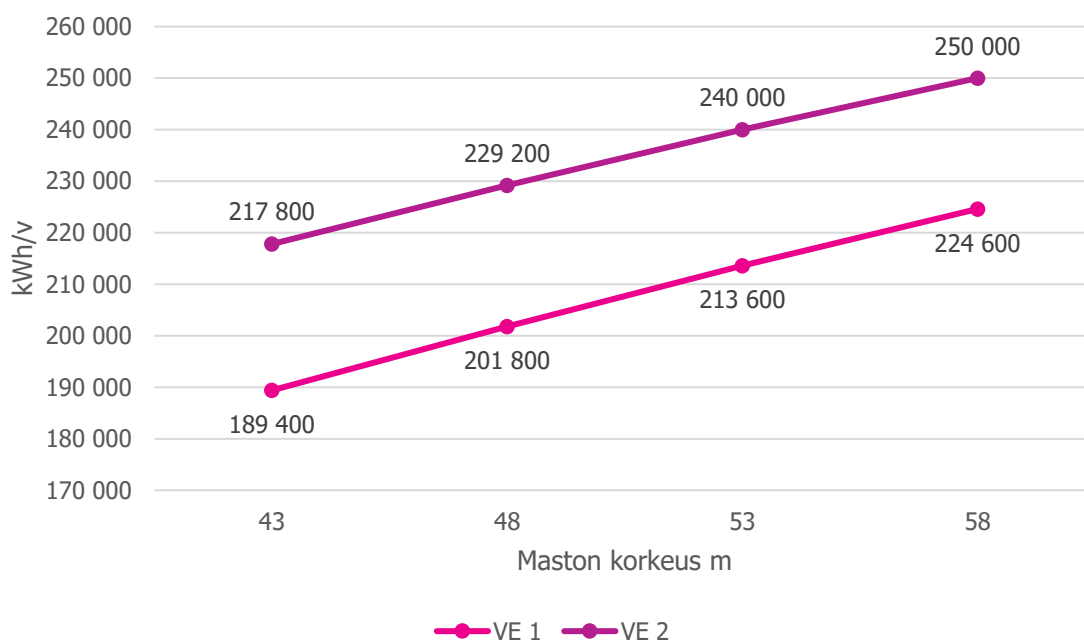
TAULUKKO 4. Sähköntuotanto kahdessa eri sijoituspaikassa (VE 1 ja VE 2)

Tuulivoimala 300 kW				
Sijainti	Maston korkeus	Roottorin halkaisija	Tuotanto kWh	Takaisinmaksuaika v
VE 1	48	30	201 800	9,0
VE 2	48	30	229 600	7,7

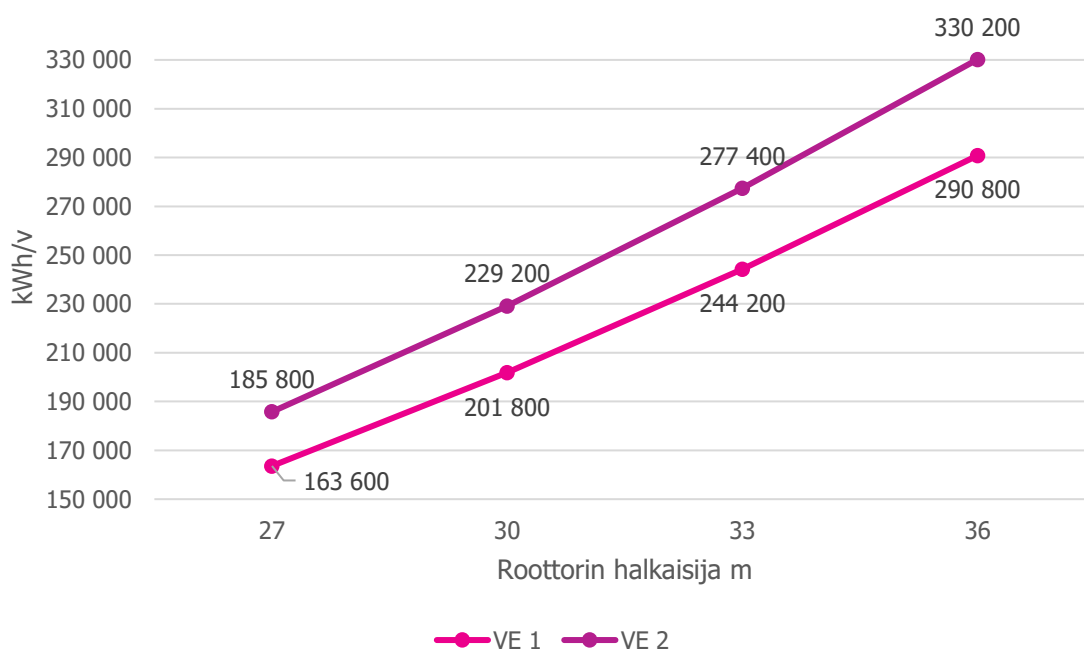
Liitteessä 2 on esimerkkiraportti, jonka E-farm Pro -ohjelma muodostaa aiemmin mainittujen vaihtotietojen perusteella. Sijaintivaihtoehtona siinä on VE 1.

5.2.3 Maston korkeuden ja roottorin halkaisijan vaikutus tuotantoon (VE 1 ja VE 2)

Maston korkeudella ja roottorin halkaisijalla on suuri merkitys sähköntuotantoon. Kuvissa 36 ja 37 on esitetty vaihtoehtojen VE 1 ja VE 2 tuotantomäärät maston eri korkeuksilla ja erilaisilla roottorin halkaisijoilla. Tuulimylly on 300 kW ja roottorin halkaisija 30 m. Maston korkeuden kasvaessa 10 m tuotanto lisääntyy noin 10 %. Roottorin halkaisijan kasvaessa vaikutus tuotantoon on suurempi kuin maston korkeuden kasvaessa. Halkaisijan kasvaessa 3 metriä tuotanto lisääntyy 20 %.



KUVA 36. Maston korkeuden vaikutus sähköntuotantoon



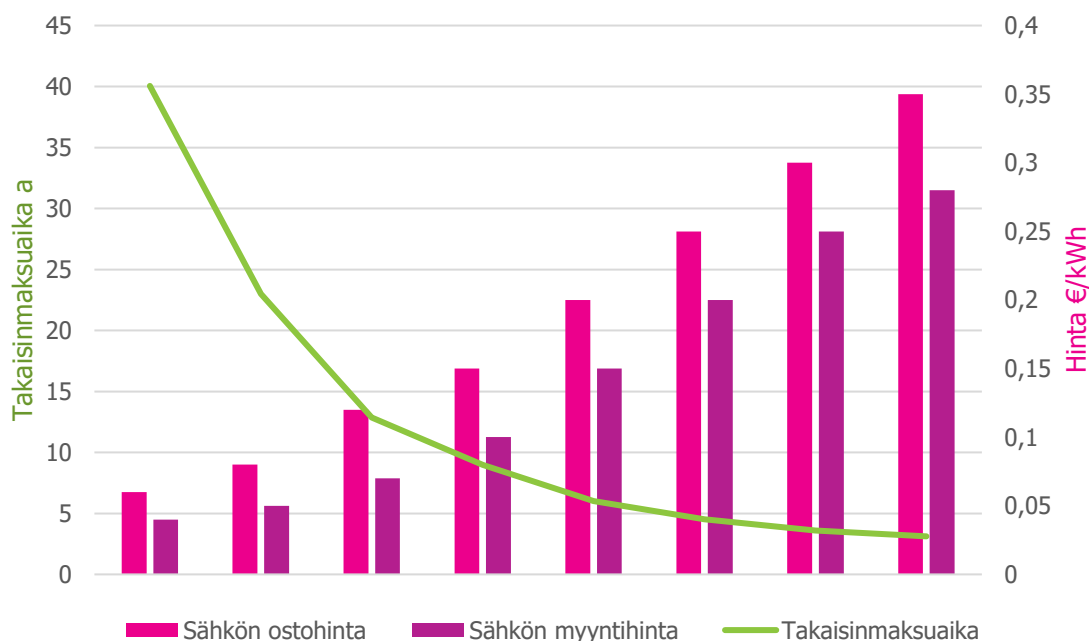
KUVA 37. Roottorin halkaisijan vaikutus sähköntuotantoon

5.2.4 Sähkön hinnan vaikutus takaisinmaksu-aikaan (VE 1 ja VE 2)

E-farm Pro -ohjelmalla tehtiin myös herkkyyssanalyyskejä, joiden avulla selvitettiin epävarmuustekijöiden, kuten sähkön hinnan ja sähkön tuotantomäärän vaikutusta takaisinmaksu-aikaan.

Mitä enemmän tuulimylly tuottaa sähköä, sitä parempi on kannattavuus. Kuvassa 38 on esitetty sähkön osto- ja myyntihinnan vaikutus takaisinmaksu-aikaan, kun tuotantomäärä pysyy vakiona

(200 000 kWh/a). Sähkön osto- ja myyntihinnat ovat arvioita ja tuloksilla havainnollistetaan, miten suuri vaikutus niillä on kannattavuuteen.



KUVA 38. Sähkön osto- ja myyntihinnan vaikutus takaisinmaksu-aikaan

Kuvasta 38 voidaan päätellä, että mitä korkeampi on sähkön hinta, sitä nopeammin investointi maksaakaan itsensä takaisin. Yksi kuvaajan taitekohta muodostuu kohtaan, jossa takaisinmaksuaika on noin 13 vuotta ja sähkönostohinta 12 senttiä/kWh ja myyntihinta 7 senttiä/kWh. Tätä alhaisemmilla sähkönhinnoilla takaisinmaksuaika kasvaa jyrkästi, eli tällöin investointia on harkittava tarkkaan.

5.2.5 Investointikustannuksen vaikutus takaisinmaksu-aikaan (VE 1 ja VE 2)

Investointikustannuksista tehtiin herkkyyksianalyysi, koska tuulivoimaloista ei saatu yhtään tarjouksia useista pyynnöistä huolimatta. Lisäksi avustusten määrä ja saatavuus ovat epävarmoja. Tämä tarkastelu havainnollisti, minkälainen merkitys kustannuksilla on takaisinmaksu-aikaan.

Oletuksena on, että tuulivoimala on 300 kW, maston korkeus 48 m ja roottorin halkaisija 30 m. Sähkön ostohinta on 15 senttiä/kWh ja myyntihinta 10 senttiä/kWh. Korkoprosentti on 4 %. Huolto- ja ylläpitokustannukset ovat 1 000 €/a. Taulukossa 5 on esitetty investointikustannusten vaikutus takaisinmaksu-aikaan vaihtoehdoilla 1 ja 2.

TAULUKKO 5. Investointikustannuksen vaikutus takaisinmaksu-aikaan

Investointikustannus €	VE 1 201 600 kWh/a	VE 2 229 600 kWh/a
160 000	7,8	6,7
180 000	9,0	7,7
200 000	10,2	8,7
220 000	11,5	9,8
240 000	12,9	10,9
260 000	14,3	12,0
300 000	17,4	14,5

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskelmien perusteella on selvää, että kolmen eri teholuokan voimaloista suurin voimala on kannattavin. Tämä pohjautuu siihen, että voimaloiden hankintahinta ei poikkea toisistaan kovin paljon ja isommassa voimalassa tuotto on merkittävästi suurempi. Vaikka hinnat ovat osittain arvioita, herkkyytarkastelu investointikustannuksen osalta osoittaa takaisinmaksuajan olevan järkevä eri hintasoilla. Laskelmissa ei myöskään ole huomioitu oman työn osuutta, jolla saadaan kustannuksia alemaksi. Toki omalle työllekin on laskettava arvo. Isomman kuin 300 kW:n voimalan hankinta aiheuttaa joitakin lisäinvestointeja, kuten esimerkiksi oman muuntamon. Tämän vuoksi isompia voimaloita ei otettu mukaan laskelmiin.

Kuten teoriaosuudessa todettiin, sijainnilla on erittäin tärkeä merkitys tuotantoon ja siten kannattavuuteen. Mitä aukeampi sijainti ja mitä vähemmän turbulenssia aiheuttavia kohteita on lähistöllä, sitä suurempi on tuotanto. Näin ollen paikan valinta on tärkein kriteeri.

Tuulimyllyn maston korkeus lisääminen vaikuttaa tuotantoon noin +1 % per metri. Laskelmat myös osoittivat toteen teorian, että roottorin halkaisijalla on valtava merkitys energiantuotantoon. Halkaisijan kasvaessa 30 metristä 33 metriin eli lapojen pyyhkäisyypinta-alan kasvaessa noin 150 m² tuotanto lisääntyy 20 %. On siis tärkeää perehtyä hankittavan tuulivoimalan teknisiin tietoihin. Tuotantomäärään on merkitystä silläkin, missä tuulennopeudessa voimala käynnistyy. Kun tuulimyllyn käynnistysnopeus on alhainen, tuottaa se sähköä pienilläkin tuulennopeuksilla.

Sähkön osto- ja myyntihinta vaikuttavat merkittävästi takaisinmaksu-aikaan. Näitä hintoja on hyvin vaikea ennakoita. Herkkyytarkastelussa voi kuitenkin nähdä jonkinlaisena kriittisenä pisteenä ostohintaa 0,12 €/kWh ja myyntihintaa 0,7 €/kWh. Hintojen ollessa tuota korkeammat, investointi maksaa itsensä takaisin nopeammin, tai jos hinnat ovat matalammat, takaisinmaksu-aika kasvaa merkittävän jyrkästi. Sähkön hinta onkin yksi suurimmista epävarmuustekijöistä. Maailmantilanteen muutokset ovat osoittaneet, että energiakriisi voi tulla yllättäen. Toisaalta Suomessa sähköhinnan vaihtelun uskotaan tasaantuvan Olkiluoto 3:n toiminnan vakiinnuttua.

Herkkyytarkasteluja tehtiin niillä tekijöillä, joilla on suurin vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Näin yrittäjä voi helpommin nähdä eri tekijöiden vaikutukset ja arvioida riskitekijää. E-farm Pro -ohjelmalla on helppo tehdä monia herkkyytarkasteluja sen jälkeen, kun investoinnin tiedot ovat tarkentuneet.

Suuri riski on siinä, mikä on todellinen tuulivoimalan tuotanto. Laskelmat osoittavat, että se vaikuttaa eniten kannattavuuteen. Lisäksi tuotantoon vaikuttavat monet tekijät tuulivoimalan teknisten ominaisuuksien ja sijainnin lisäksi. Ohjelmistolla pystyi testaamaan eri tekijöiden vaikutusta tuotantomääriin.

Kahden vaihtoehtoisen sijainnin välillä ei tullut esille merkittäviä eroja. Tuotantomäärä laskelmissa ei eroa paljon. Ero mahtuu virhemarginaaliin, mikä aiheutuu laskelmissa käytettävistä arvoista. Toki sijaintia arvioidessa on tärkeä huomioida myös naapurit. Lisäksi suositellaan tuulivoimaloihin perehtyneen asiantuntijan käyntiä tilalla ja kuunnella hänen mielipidettään sijaintipaikkaa koskien.

Tietyt asiat ovat selkeitä ennen tuulivoimalainvestointia, kun taas osa tiedetään vasta voimalan ollessa käytössä. Kun hankintapäätös tehdään, tiedossa on melko tarkasti muun muassa investointikustannukset, avustukset, huolto- ja ylläpitokulut ja rahoituskulut. Todellinen tuotanto selviää kuitenkin vasta, kun voimala on ollut käytössä. Tällöin voi vasta todeta, onko sijainti ollut oikea. Kannattaa siis vaikuttaa mahdollisimman paljon ennen rakentamista niihin tekijöihin, jotka mahdollistavat kyseisen kokoluokan voimalan mahdollisimman suuren tuotannon.

Laskelmien analysoinneissa on huomioitava epäluotettavuustekijöitä. Virheiden mahdollisuuksia on muun muassa seuraavissa kohdissa:

- sijainti (maaston muoto) → vaikuttaa tuotantomäärään
- oman käytön osuus sähköstä → selviää, kun voimala on käytössä
- tuulivoimalan ominaisuudet ja hinta → selviävät, kun tarjous on saatu
- investointituki → tuulivoimalan tuen määrä

Opinnäytetyön perusteella voi todeta, että laskennassa käytetyillä tiedoilla 300 kW:n käytetyn voimalan hankinta on kannattavaa. Kaikki laskelmat pitää päivittää oikeilla ajantasaisilla tiedoilla, kun ne ovat saatavilla, jolloin voi tehdä lopullisen päätöksen investoinnista.

7 POHDINTA

Opinnäytetyössä perehdyin maatilakokoluokan tuulivoimaloihin. Selvitin tuulivoimaloihin liittyviä käytännön asioita, hyötyjä ja haittoja. Pohdin opinnäytetyössä, onko tuulivoimalan hankinta maatilalle järkevä investointi. Opinnäytetyössä kokosin entuudestani tietämäni asiat sekä hankin uutta tietoa teoriasta ja käytännöstä.

Tuulivoimalan valinta kannattaa lopullisesti tehdä vasta, kun tarkat voimalan tiedot ja saatavat avustukset ovat selvillä. Tällöin voi ohjelmistolla laskea tarkemmat tulokset takaisinmaksuajasta. Tässä työssä käytettävissä ei ollut oikeita tarjouksia tuulivoimaloista, joten laskelmissa on olemassa virhemarginaaleja. Tarjouksien saaminen on haasteellista, koska markkinat ovat pienet ja myyjiä on vähän Suomessa. Sain kohtuullisen tarkkoja hintoja käytetyistä ja uusista voimaloista webinaareja kuuntelemalla ja tutustumalla tuulivoimalavalmistajien kotisivuihin. Opinnäytetyön luotettavuutta parantaisi oikeiden tarjousten saaminen laskelmiin. Lisäksi todellista sähköntuotantomäärää voi vain arvioida ja totuus selviää vasta käytön myötä.

Tarkat laskelmat kannattaisi tehdä myös uudesta 100 kW voimalasta, koska sille saa täyden 50 % avustuksen. Laskelman tekemiseksi on oltava tarjous voimalasta, jotta tulos olisi mahdollisimman luotettava. Tässä työssä osoittautuivat isommat voimalat selkeästi kannattavimmiksi kuin pieni 50 kW:n voimala, vaikka se saisi 50 %:n avustuksen.

Luottamustehtävissä joudun usein tekemisiin tuulivoimapuistoihin liittyen, koska Pohjois-Savon alueella on suunnitteilla tuulivoimaloita useisiin paikkoihin. Luottamustehtävissä olen saanut perehtyä ison kokoluokan voimaloihin, mutta siitä on ollut apua myös tämän opinnäytetyön tekemisessä. Isoissa tuulivoimalahankkeissa vaikutukset ovat suuremmat, koska tuulivoimaloita tulee useita ja niiden teho on yli kymmenkertainen jopa kaksikymmenkertainen.

Tuulivoimalan suunnittelussa sijoituspaikassa on mahdollista myös tehdä tuulimittauksia. Tuulimittauksella saisi tarkemmat tiedot kohteen tuuliolosuhteista. Tätä mittausta en kuitenkaan pidä välttämättömänä yhden pienen voimalan hankkeessa, sillä Tuuliatlas antaa riittävällä tarkkuudella tietoja alueen tuulisuudesta. Tämä kokemus kerrottiin myös tuulivoimalavierailukohteessa, jossa oli tehty tuulimittaukset huomaten jälkikäteen, että Tuuliatlaksen tiedot olisivat olleet riittävän tarkat.

Tuulivoimalavierailut olivat hyvin antoisia ja niitä kannattaa tehdä mahdollisimman monta. Vierailuilla sai käytännön kokemusta ja tietoa voimaloiden huolto- ja käyttökustannuksista sekä tuotannosta. Esimerkiksi vajaan kymmenen vuoden käyttökokemuksen perusteella sanottiin, että vuosituotanto on lähes vakio. Vierailut antoivat varmuutta siihen, että tuulivoimala on hyvin varteenotettava investointikohde maatilalle.

Tuulivoimaloiden käyttöiän arvioidaan uusilla voimaloilla olevan 25–30 vuotta. Mikäli hankitaan käytetty voimala, sen ei kannata olla yli 10 vuotta vanhempi. Tällöin käyttöaikaa on vielä jäljellä takaisinmaksuajan jälkeenkkin.

Maatilan energiaomavaraisuus lisääntyy, mikäli tuulivoimala hankitaan. Omavaraisuus lisääntyy etenkin talvikaudella, koska talvella tuulee eniten. Kaikkea sähköä ei pysty kuitenkaan käyttämään,

koska harvoin kulutus ja tuotanto ovat yhtä suuret. Maatilan energiaomavaraisuuden voi myös laskea ja olisi mielenkiintoista selvittää, onko maatilan mahdollista päästä kokonaan omavaraiseksi sähkön osalta ja mitä investointeja se vaatisi. Mahdollisesti tulevaisuudessa akkuteknologian kehittyessä sähkön varastoiminen voi olla kannattavaa ja silloin sähkön osalta energiaomavaraisuudessa voisi päästä lähes 100 %:iin.

Tuulivoimalainvestoinneissa tulee hyvin usein esille tunteet. Vaikka olisi kyse yhdestä pientuulivoimalasta, voi se monelle merkitä maiseman pilalle menemistä ja pelkoa asumismukavuuden menetyksestä tai asunnon arvon laskusta. Jatkoa ajatellen voisi selvittää, mitä mieltä tuulivoiman vastustajat ovat maatilakokoluokan tuulivoimaloista. Koetaanko ne negatiivisena vai ovatko ne kenties osoitus, että maatilalla pyritään kohti ilmastoystävällisempää ja energiaomavaraista yrittämistä.

Opinnäytetyöni suurin ja tärkein merkitys on, että tulosten perusteella toimeksiantaja tekee päätöksen mahdollisesta tuulivoimalan hankinnasta. Se antaa osviittaa siitä, minkä tehoinen voimala kannattaa hankkia sekä antaa näkökulmia sijaintipaikan valintaan. Opinnäytetyö auttaa myös toisia tuulivoimalaa harkitsevia maatiloja perehtymään huomioitaviin asioihin tuulivoimalan hankintaan liittyen. Mielestäni työ antaa toimeksiantajalle ja muillekin maatilakokoluokan tuulivoimalaa suunnitteleville hyvin monia näkemyksiä, joita pitää huomioida investointipäätöstä tehdessä.

LÄHTEET

- Arene ry 2019. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. Pdf-tiedosto. <https://www.arene.fi/wp-content/uploads/Raportit/2020/AMMATTIKORKEAKOULU-JEN%20OPINN%C3%84YTET%C3%96IDEN%20EETTISET%20SUOSITUK-SET%202020.pdf?t=1578480382>. Viitattu 9.2.2023.
- Bergey Windpower julkaisuaika tuntematon. Vaaka-akselinen pientuulivoimala. Valokuva. <http://www.bergey.com/products/grid-tied-turbines/excel-15/>. Viitattu 15.2.2023.
- Digma Avoin oppimisympäristö 2018a. Teollinen tuulivoima ja pientuulivoima. Video. YouTube-vi-deopalvelu, julkaistu 19.3.2018. https://www.youtube.com/watch?v=xR_gIwcVg8. Viitattu 22.2.2023.
- Digma Avoin oppimisympäristö 2018b. Tuulivoiman kustannukset. Video. YouTube-video, julkaistu 23.3.2018. Kuvaleike. <https://www.youtube.com/watch?v=Ox5aUeGcbm0>. Viitattu 22.2.2023.
- E-farm 2023a. E-farm® Pro -ohjelman käyttöohjeet V 1.2. Pdf-tiedosto. Sonkajärvi: Merja Tuovisen kokoelmat.
- E-farm 2023b. Kuvaleike ohjelmistosta E-farm Pro. Viitattu 3.4.2023.
- Eklund, Esa 2011a. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. Tampereella tuulee -projekti. Pdf-tiedosto. https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf. Viitattu 8.2.2023.
- Eklund, Esa 2011b. Lapojen pituuden vaikutus teholliseen alaan. Kuva. https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf. Viitattu 8.2.2023.
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022. Uusiutuvan energian lupaneuvonta. Maatuulivoima. Verkkojulkaisu. Päivitetty 23.2.2022. <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/maatuulivoima>. Viitattu 15.2.2023.
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus julkaisuaika tuntematon. Tuulivoiman yleisopas. Pdf-julkaisu. https://www.motiva.fi/files/19414/Tuulivoiman_yleisopas.pdf. Viitattu 8.2.2023.
- Keski-Suomen Maaseutu 2023. Ideat itämään – Maaseuturahoituksen mahdollisuudet Keski-Suomessa 2023–2027. Keski-Suomen ELY-keskus ja Keski-Suomen Leader-ryhmät. Youtube-videopalvelu, julkaistu 5.4.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=PB0z6hfNJA>. Viitattu 8.5.2023.
- FinnWind julkaisuaika tuntematon. Tuulivoimahankkeen suunnittelu ja toteutus. Verkkojulkaisu. <https://finnwind.fi/tuulivoima/>. Viitattu 8.2.2023.
- Fintraffic julkaisuaika tuntematon. Näin pyydät Fintrafficilta lausuntoa lentoesteestä. Verkkojulkaisu. <https://www.fintraffic.fi/fi/ans/nain-pyydat-fintrafficilta-lausuntoa-lentoesteesta>. Viitattu 8.2.2023.
- Hofmeyer, Phil 2018. Lessons Learned from windlab. Home Power Magazine #186 Jul/Aug 2018. https://www.homepower.com/_files/ugd/d49ff9_9e11d97b77b7424dbd4a7df6487d5cb4.pdf. Viitattu 9.2.2023.
- Horn, Kirsti 2017a. Jalkamyly on keskiaikainen ja vanhin myllytyyppi. Valokuva 2.11.2017. Parainen. [https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Vanhat_tuulimylyt_osana_kulttuurimaisem\(42723\)](https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Vanhat_tuulimylyt_osana_kulttuurimaisem(42723)). Viitattu 13.2.2023.
- Horn, Kirsti 2017b. Vanhat tuulimylyt osana kulttuurimaisemaa – jäljellä olevien 650 myllyn säilyminen turvattava. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2.11.2017. [https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Vanhat_tuulimylyt_osana_kulttuurimaisem\(42723\)](https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Vanhat_tuulimylyt_osana_kulttuurimaisem(42723)). Viitattu 13.2.2023.

- Ikäheimo, Juha 2023. Tuulivoimalainvestointi. Yksityinen sähköpostiviesti 28.4.2023. Viestin saaja: Merja Tuovinen.
- Ilmatieteen laitos julkaisuaika tuntematon a. Kuvaleike. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuliruusut>. Viitattu 8.2.2023.
- Ilmatieteen laitos julkaisuaika tuntematon b. Tuuli ja myrskyt. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kysymyksiä-tuuli-ja-myrskyt#2>. Viitattu 8.2.2023.
- Ilmatieteen laitos julkaisuaika tuntematon c. Tuuliruusut. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuliruusut>. Viitattu 8.2.2023.
- Korpela, Aki 2016. Tuulivoiman perusteet. Tampere: AMK-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Käpylehto, Janne julkaisuaika tuntematon. Tuulivoimaa maataloille. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmastoviisas.fi/tietopaketti/tuulivoimaa-maataloille/>. Viitattu 8.2.2023.
- Leppämäki, Sami 2010. Suurtuulivoimalan tekniset valintakriteerit sisämaan tuulioloihin. Opinnäyte-työ. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010052810811>. Viitattu 24.3.2023.
- Lukkari, Esko 2020. Tuulivoimaloiden hyötysuhde nousee. Verkkojulkaisu. <https://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/teknologia/tuulivoimaloiden-hyotysuhde-nousee>. Viitattu 24.3.2023.
- Luvside julkaisuaika tuntematon. Savonius -tuuliturbiini. Valokuva, kuvauspäivä tuntematon. <https://www.luvside.de/en/3-0-savonius-wind-turbine/>. Viitattu 15.2.2023.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2023. Maatalouden investointeja koskevia asetuksia hyväksyttiin. Tiedote. Julkaistu 30.3.2023. <https://mmm.fi/-/maatalouden-investointeja-koskevia-asetuksia-hyvakysyt-tiin>. Viitattu 31.3.2023.
- Maanmittauslaitos. Karttapalvelu. Verkkopalvelu. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapalvelu/>. Viitattu 30.3.2023.
- Matysik, Silvio 2011. Dornier Darrieus 55 / Vertikalachser. Valokuva 7.11.2011. <https://en.wind-turbine-models.com/fotos/GVo9t35cj9l-dornier-darrieus-55-vertikalachser>. Viitattu 15.2.2023.
- Motiva 2021a. Voimalan sijoittaminen. Päivitetty 27.5.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/voimalan_sijoittaminen. Viitattu 20.2.2023.
- Motiva 2021b. Tuulivoimaloiden purkaminen ja kierrätys. Verkkojulkaisu. Päivitetty 29.7.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimaloiden_purkaminen_ja_kier-ratys. Viitattu 13.2.2023.
- Motiva 2022a. Kuvaleike. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia. Viitattu 8.2.2023.
- Motiva 2022b. Pientuulivoima. Päivitetty 7.3.2022. www.motiva.fi/pientuulivoima. Viitattu 15.2.2023.
- Motiva 2022c. Tuulivoimateknologia. Verkkojulkaisu. Päivitetty 27.4.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia. Viitattu 8.2.2023.
- Oy Windside Production Ltd 2022. Oy Windside Production Ltd, Tuulienergiaa ravintolaan. Valokuva. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/palvelut/greenenergycases/oy_windside_production ltd_tuulienergiaa_ravintolaan.31.html. Viitattu 15.2.2023.
- Paalatie, Heidi & Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2019. 100 tarinaa tuulivoimasta. Verkkojulkaisu. Julkaistu 21.2.2019. <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/osa-4-talvella-tuulee.html?p29=22>. Viitattu 8.2.2023.

- Puolustusvoimat julkaisuaika tuntematon. Tuulivoimalahankkeet. Verkkojulkaisu. <https://puolustusvoimat.fi/tuulivoimalahankkeet>. Viitattu 14.2.2023.
- Ravinteet ja energia käyttöön 2021. Pientuulivoimawebinaari. Maaseudun energiayrittäjyys –koordinaatiohanke, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK -ry, Lähienergialiitto ja Suomen Tuulivoimayhdistys. YouTube-videopalvelu, julkaistu 26.1.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ExWMtccic5g&t=5015s>. Viitattu 20.2.2023.
- Ruokavirasto 2023a. Maatalouden investointituet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 28.3.2023. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/investoinnit/maatalouden-investointituet/#3.-maatilojen-energiainvestoinnit>. Viitattu 31.3.2023.
- Ruokavirasto 2023b. Muutoksia ja pysyvyyttä maaseudun kehittämistuissa vuonna 2023. Verkkojulkaisu. Päivitetty 31.1.2023. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/tuet-uudistuvat/maaseudun-kehittaminen/>. Viitattu 8.2.2023.
- Sonkajärven kunta 2019. Rakennusjärjestys. Pdf-dokumentti. <https://www.sonkajarvi.fi/media/kuvat/tekninen/Rakennusj%C3%A4rjestys%201.1.2020.pdf>. Viitattu 8.2.2023.
- Suomen säädöskokoelma 2023a. 265/2023 Valtioneuvoston asetus maatalouden rakennetuesta. Julkaistu 6.3.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2023/sk20230265.pdf>. Viitattu 8.5.2023.
- Suomen säädöskokoelma 2023b. 608/2023 Maa- ja metsätalousministeriön asetus. Julkaistu 31.3.2023. <https://www.edilex.fi/saadokokoelma/20230608.pdf>. Viitattu 1.4.2023.
- Suomen Tuuliatlas 2023. <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/>. Viitattu 31.3.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2023a. Tuulivoimaloiden kappalemäärät maakunnittain (2022). Kuva. https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot_2022-1.pdf. Viitattu 14.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2023b. Toiminnassa olevat & puretut voimalat. Excel-taulukko. https://tuulivoimayhdistys.fi/media/julkaisuun_tuulivoima_vuositilastot_2022.xlsx. Viitattu 8.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2023c. Tuulivoimaloiden määrän ja kapasiteetin kasvu Suomessa. Kuva. https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot_2022-1.pdf. Viitattu 14.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry julkaisuaika tuntematon a. Eri voimalatyyppejä. Verkkojulkaisu. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/eri-voimalatyyppaja>. Viitattu 8.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry julkaisuaika tuntematon b. Luvat ja verkkoon liittyminen. Verkkojulkaisu. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/pientuulivoima/luvat-ja-verkkoonliittyminen>. Viitattu 9.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry julkaisuaika tuntematon c. Mitä tuuli on? Verkkojulkaisu. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/mita-tuuli-on-2/mita-tuuli-on>. Viitattu 8.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry julkaisuaika tuntematon d. Tuulivoimaloiden rakenne. Verkkojulkaisu. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>. Viitattu 22.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry julkaisuaika tuntematon e. Tuulivoimatekniikka. Verkkojulkaisu. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimatekniikka-2>. Viitattu 13.2.2023.
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry julkaisuaika tuntematon f. Usein kysytyt kysymykset. Tuulivoimalat. Verkkojulkaisu. <https://tuulivoimayhdistys.fi/ukk/tuulivoimalat-2#tuulivoimaloiden-purku-ja-kierratys#paljon-tuulivoimalat-tuottavat-sahkoa-ja-mita-tarκοittaa-huipunkayttoaika>. Viitattu 8.2.2023.

Tuovinen, Merja 2019. Vaaka-akselisia tuulivoimaloita maatalan yhteydessä. Valokuva. 23.1.2019. Sonkajärvi: Merja Tuovisen kokoelmat.

Tuovinen, Merja 2022. Tuulivoimasanastoa. Valokuva. 23.11.2022. Sonkajärvi: Merja Tuovisen kokoelmat.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2023. TEM Toimialaraportit 2023:1. Uusiutuva energia – kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Pdf-tiedosto. Julkaistu 23.1.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-625-3>. Viitattu 8.2.2023.

Työ- ja elinkeinoministeriö, Ilmatieteen laitos & Motiva Oy 2010. Suomen tuuliatlas. Yhteenvetoreportti. Pdf-tiedosto. Julkaistu 28.6.2010. https://expo.fmi.fi/aqes/public/Tuuliatlas_yhteenvetoreportti.pdf. Viitattu 8.2.2023.

Vakkilainen, Esa & Kivistö, Aija 2017. Sähkön tuotantokustannusvertailu. Tutkimusraportit – Research reports 66. LUT Scientific and Expertise Publications. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/143861/S%c3%a4hk%c3%b6n%20tuotantokustannusvertailu_ok.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 14.2.2023.

Verohallinto 2022. Energiaverotus. Verkkojulkaisu. Päivitetty 13.6.2022. <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus3/>. Viitattu 9.2.2023.

Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon a. WES50. Verkkojulkaisu. <https://windenergysolutions.nl/wes/windturbine-wes-50/>. Viitattu 8.2.2023.

Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon b. <https://windenergysolutions.nl/wes/windturbine-wes-50/>. Viitattu 8.2.2023.

Wind Energy Solutions julkaisuaika tuntematon c. <https://windenergysolutions.nl/wes/windturbine-wes-50/>. Viitattu 8.2.2023.

WINDEXchange julkaisuaika tuntematon. Small Wind Guidebook. Pdf-tiedosto. <https://windexchange.energy.gov/small-wind-guidebook.pdf>. Viitattu 23.2.2023.

WinWind julkaisuaika tuntematon. Miten tuulivoimalat toimii? <https://www.winwind.fi/miten-tuulivoimalat-toimii/>. Viitattu 15.2.2023.

LIITE 1: LAUSUNTOPYYNTÖ TUULIVOIMAHANKKEESTA



Pääesikunta
Operatiivinen osasto
PL 919
00131 Helsinki

Lausuntopyyntö tuulivoimalahankkeesta

hankkeen peruuntuminen (aikaisemman lausunnon kumoaminen)
 ei julkinen
 vaikutusselvityspyyntö
 voimaloiden korotus
 voimaloiden paikanvaihto
 voimaloiden lukumäärän muutos

Hakija

Nimi
Osoite
Yhteyshenkilö
Puhelin
Sähköposti

Rakentaja (, jos tiedossa)

Nimi
Osoite
Yhteyshenkilö
Puhelin
Sähköposti

Rakennuspaikka

Kohteen nimi
Kunta
Puolustusvoimien aikaisemmat lausunnot hankkeesta (lausunnon diaarinumero ja lausuntovuosi)

Rakennuspaikan keskipiste

ETRS-TM 35/FIN	
N/iat	
E/ion	
ETRS89 maantiet.koordinaatti , WGS84	
N/iat	
E/ion	

Mastojen koordinaatit, maanpinnan korkeus ja max korkeus, korkeusasema N2000 (m)

	ETRS-TM 35/FIN		ETRS89 maantiet.koordinaatti, WGS84		Maanpinnan korkeus (m)	Max korkeus (m)
	N/iat	E/ion	N/iat	E/ion		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Liitteet kunnan yleiskartta, hankkeen keskipiste merkittynä maastokartta (1:50 000) mastojen sijoitus ja numerointi

kartat toimitetaan postitse lisäksi toimitetaan lisämateriaali:

Tarvitavat lisä tiedot

LIITE 2: E-FARM PRO -RAPORTTI



Tuotantomuoto: Tuuli

Laatinut: Merja Tuovinen

Yritys:

Date: 30-03-2023

Tuulen nopeus 200m korkeudella: 7.1 m/s

Tuotto 3MW WinWind: 8059 MWh/m2/a

Tuulimyllyn tiedot

Tuuliturbiinin korkeus	48,0 m
Tuuliturbiinin siipien halkaisija	30,0 m
Siipien hyötysuhde	33,0 %
Tuulivoimalan käyttövarmuus	98,0 %
Sähkönen hyötysuhde	80,0 %

Kohteen tuulitiedot

	Tuulen esiintyvyys (%)	Rosoisuusarvo
POHJOINEN (345°-15°)	7%	0.03
(15°-45°)	5%	0.03
(45°-75°)	4%	0.03
ITÄ (75°-105°)	5%	0.03
(105°-135°)	7%	0.03
(135°-165°)	9%	0.03
ETELA (165°-195°)	13%	0.2
(195°-225°)	14%	0.2
(225°-255°)	12%	1.5
LÄNSI (255°-285°)	9%	1.5
(285°-315°)	8%	1.5
(315°-345°)	7%	0.2

Energian käyttö ja hinnat

	%	kWh	€/kWh
Lämpö kohteessa	0	0	0,018
Lämpö myynti	0	0	0,069
Sähkö kohteessa	50	100 900	0,15
Sähkö myynti	50	100 900	0,1

Tulot

	kWh/v	€/v
Lämpö tilalle	0	0
Lämpö kohteesta myyntiin	0	0
Sähkö tilalle	100 900	15 140
Sähkö kohteesta myyntiin	100 900	10 090

Investointi

Investointi	200 000 €
Investointituki	10 %
Korko	4 %
Huolto	500 €/v
Ylläpito	500 €/v

Takaisinmaksuaika: 8,99 v.

Kommentit:

Sijainti VE 1. 300 kW käytetty tuulivoimala. Avustus 10 %.

Päiväys ja allekirjoitus: