RAPORTTI

16X288380
18.9.2015

HELSINGIN KAUPUNGIN KAUPUNKISUUNNITTELUVIRASTO

Tuulivoimaloiden teknis-taloudellinen sijoituspaikkaselvitys

PÖYRY
Engineering balanced sustainability™

Kannessa Helsingin Viikissä Viherkeskus Gardenian pihassa sijaitseva pientuulivoimala. (Kuva: Iida Sointu / Pöyry)

Pohjakartta-aineisto © Maanmittauslaitos, Lupanro 48/MML/15

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Esipuhe

Tämän selvityksen tarkoitus on luoda teknis-taloudellisesta näkökulmasta periaatteet tuulivoiman sijoittamiselle Helsingin eri alueilla, ja näiden periaatteiden pohjalta tarkastella tuulivoimarakentamisen mahdollisuuksia Helsingissä. Selvitys on laadittu Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston toimesta ja siitä on vastannut Pöyry Finland Oy.

Yhteystiedot

Karoliina Joensuu
Pöyry Finland Oy
PL 4 (Jaakonkatu 3)
01621 Vantaa
Kotipaikka Vantaa
Y-tunnus 0625905-6
Puh. 010 3311
Faksi 010 33 21845
www.poyry.fi

Pöyry Finland Oy

Copyright © Pöyry Finland Oy

Yhteenveto

Selvitystyössä tarkastellaan erikokoisen tuulivoimatuotannon teknis-taloudellisia sijoittamisperiaatteita ja -mahdollisuuksia Helsingin alueella. Selvitystyö on tehty käynnissä olevan yleiskaavaprosessin rinnalla.

Tuulivoimalat tuottavat tuulen liike-energiasta uusiutuvaa sähköenergiaa. Voimaloita on monessa eri kokoluokassa muutaman sadan watin pientuulivoimaloista useiden megawattien teollisiin voimaloihin. Tuulivoimatuotannon kannattavuuteen vaikuttaa moni seikka, joista yksi tärkein on hyvät tuuliolosuhteet. Otollisia tuuliolosuhteita käytetäänkin tässä selvityksessä tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä mahdollisten eri kokoluokan tuulivoiman sijoituspaikkojen taloudellista kannattavuutta arvioitaessa. Muut hankkeiden kannattavuuteen vaikuttavat tekijät riippuvat muun muassa teknisistä ratkaisuista, kuten valittavasta voimalasta, ja kunkin paikan tarkemmista rakentamisen kustannuksista. Nämä selviävät mahdollisessa tarkemmassa jatkosuunnittelussa.

Aurinkovoima on tuulen lisäksi toinen tapa tuottaa uusiutuvaa energiaa myös kaupunkiolosuhteissa. Molempia tuotantotapoja voidaan käyttää teollisessa tuotannossa sekä toisaalta pientuotannossa kotitalouksien ja yritysten omakäyttöön. Aurinkovoimatuotannon vaatima pinta-ala vaikuttaa kuitenkin sen käyttömahdollisuuksiin erityisesti teollisessa kokoluokassa. Toisaalta se sopii pienemmässä mittakaavassa hyvin talojen katoille asennettavaksi.

Teollisen kokoluokan tuulivoimatuotantoa tuetaan tällä hetkellä syöttötariffijärjestelmällä. Nykyisen järjestelmän päättymisen jälkeisestä tukimenettelystä tai tuen tasosta ei ole tällä hetkellä tietoa.

Tuulivoimarakentamista ohjataan Helsingissä kaavoituksella, kaupungin rakennusjärjestyksellä sekä rakennus- ja toimenpidelupamenettelyillä. Helsingissä sijaitsee tällä hetkellä vain muutamia pientuulivoimaloita.

Helsingin kaupungin alueen teknis-taloudellista soveltuvuutta tuulivoimatuotantoon tarkastellaan kuuden eri aluevyöhykkeen kautta: meri, saaristo, rantavyöhyke ja sisälahdet, ydinkeskusta, muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet ja muut sisämaan alueet. Merellä tarkastelu on jaettu varsinaiseen merialueeseen ja toisaalta ulkosaaristoon, sillä maalle ja merelle rakentaminen eroavat merkittävästi toisistaan. Kullekin alueelle esitetään periaatteita ja mahdollisuuksia tuulivoimatuotannon sijoittamiseksi, huomioiden kolme tuulivoimaloiden kokoluokkaa: pientuulivoima, keskikokoinen kokoluokka (50–350 kW) sekä teollinen kokoluokka.

Taulukko. Yhteenveto tuulivoima sijoittamisperiaatteista ja -mahdollisuuksista Helsingissä tarkastelluilla aluevyöhykkeillä.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
	Meri, vesialue	
Pientuulivoima (alle 50 kW)	[kokoluokka ei sovellu merialueelle]	
Keskikokoinen (50–350 kW)	[kokoluokka ei sovellu merialueelle]	

Copyright © Pöyry Finland Oy

Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Tuulivoimaloiden sijoittelussa tulee huomioida fyysisen ympäristön olosuhteet, verkkoonliityntämahdollisuudet sekä tuulivoimaloiden sijoittaminen suhteessa laivaväyliin.	Tämän hetkisellä sähkönhinnalla ja tukitasolla merituulivoimarakentaminen ei ole kannattavaa. Mikäli esimerkiksi tukitaso muuttuu, on Helsingin edustalle teknisesti mahdollista toteuttaa yhteensä jopa muutamien satojen megawattien tuulivoimalakokonaisuus.
Meri, ulkosaaristo		
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Mahdollisia sijoituspaikkoja käytännössä kaikilla ulkosaariston saarilla.
Keskikokoinen (50–350 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Mahdollisia sijoituspaikkoja erityisesti Isosaaren alueella ja Rysäkarilla.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Virkistyskäytössä olevat isommat saaret, joilla ei ole lomaasutusta. Rakennettavaan kokonaistehoon vaikuttavat käytettävissä oleva pinta-ala sekä sähköverkkoliitännän rajoitukset.	Isosaaren alueella mahdollisuus 1 – 3 voimalan sijoittamiseen.
Saaristoalue		
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Mahdollisia sijoituspaikkoja useilla saarilla esimerkiksi Helsingin Itäisessä saaristossa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Esimerkiksi Satamasaaren, Louesaaren, Pikku Niinisaaren, Malkasaaren ja Iso Iiluodon alueilla kulutus voi mahdollistaa yksittäisten voimaloiden sijoittamisen saarten omaan käyttöön.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Virkistyskäytössä olevat isommat saaret, joilla ei ole lomaasutusta. Rakennettavaan kokonaistehoon vaikuttavat käytettävissä oleva pinta-ala sekä sähköverkkoliitännän rajoitukset.	Ei mahdollisia sijoituspaikkoja.
Rantavyöhyke ja sisälahdet		
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Useita teknisesti mahdollisia paikkoja: voimalat tulee mitoittaa ja sijoittaa sopivasti muuhun maankäyttöön, erityisesti asutukseen, nähden.	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Keskikokoinen (50–350 kW)	Voimalat tulee mitoittaa ja sijoittaa sopivasti muuhun maankäyttöön, erityisesti asutukseen, nähden.	Muutama tai yksittäinen voimala mahdollinen Uutelaan tai Tahvonlahdenniemelle.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Sijoitus valmiiksi rakennetuille teollisuus- ja satama-alueille.	Korkeintaan muutama voimala Vuosaaren satama-alueelle.
Ydinkeskusta		
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Kiinteistöjen yhteydessä tai esim. valaistuksen ja valotaulujen yhteydessä.	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista ydinkeskustan alueella]	
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista ydinkeskustan alueella]	
Muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet		
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Teknisesti mahdollista. Kiinteistöjen yhteydessä tai esim. valaistuksen ja valotaulujen yhteydessä. Pienessä koossa myös maantasossa riittävä etäisyys kiinteistörajoihin ja rakennuksiin huomioiden	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista alueella]	
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista alueella]	
Muut sisämaan alueet		
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Teknisesti mahdollista. Kiinteistöjen yhteydessä tai esim. valaistuksen ja valotaulujen yhteydessä. Myös maantasossa riittävä etäisyys kiinteistörajoihin ja rakennuksiin huomioiden.	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	Muu maankäyttö huomioiden; väljät teollisuus-, metsä- ja maatalousalueet.	Yksittäisiä voimaloita mahdollista sijoittaa maatalousalueille tai Vuosaarenhuipulle.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Muu maankäyttö huomioiden, erityisesti ympäristöään korkeammat alueet.	Vuosaarenhuipulle voi olla mahdollista rakentaa yksittäinen voimala, mikäli alueen rakennettavuus sallii.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tuulivoimatuotannon toteutettavuus Helsingissä riippuu mahdollisuuksista sovittaa sitä muihin maankäyttömuotoihin sekä rakentamista koskevista sääntelyistä. Kannattavuuden kannalta ratkaisevaa on arvioinnissa käytettävä sähkönhinta ja tuulivoimatuotannon tuki. Helsingissä on joitakin teknis-taloudellisesta

Copyright © Pöyry Finland Oy

näkökulmasta mahdollisia teollisen kokoluokan voimaloiden sijaintipaikkoja sekä laajempia mahdollisia merituulivoimatuotannon sijaintialueita. Yksittäisten sijaintipaikkojen ja -alueiden toteutettavuutta tulisi kuitenkin tarkastella tarkemmin unohtamatta ympäristövaikutusten arviointia. Sama tarkemman tarkastelun tarve koskee myös selvityksessä todettuja keskikokoiselle tuulivoimatuotannolle soveltuvia paikkoja. Pientuulivoiman rakentaminen voi Helsingissä olla kannattavaa sähkön jakeluverkon ulkopuolella olevilla saarilla ja muissa kohteissa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Sisältö

Esipuhe
Yhteenveto

1 SELVITYKSEN TAVOITE JA RAJAUKSET ... 9

2 TAUSTATIETOA TUULIVOIMASTA ... 9

2.1 Tekniset lähtökohdat ... 9
2.1.1 Tuulivoimalat ... 9
2.1.1.1 Tuulivoimateknologia ... 10
2.1.1.2 Pientuulivoima ... 14
2.1.2 Verkkoliityntä ... 15
2.1.3 Muu infrastruktuuri ... 18
2.2 Taloudelliset lähtökohdat ... 18
2.2.1 Tuulisuus ... 18
2.2.1.1 Tuulen käyttäytyminen ... 18
2.2.1.2 Tuulisuus Suomessa ja Helsingissä ... 20
2.2.1.3 Tuulen suhde tuotantoon ... 20
2.2.1.4 Epävarmuutta aiheuttava sää ... 21
2.2.2 Tuulivoimatuotannon tukeminen ... 22
2.2.3 Voimalakoon merkitys ... 22

3 TUULIVOIMA SUOMESSA ... 24

3.1 Tuulipuistot ja tuulivoimatuotanto ... 24
3.1.1 Suomi ... 24
3.1.1.1 Poliittiset tavoitteet ... 24
3.1.1.2 Tuulivoimakapasiteetti ja -tuotanto ... 24
3.1.2 Tuulivoima Uudellamaalla ... 26
3.1.3 Tuulivoima Helsingissä ... 27
3.2 Tuulivoimaa koskeva lainsäädäntö ... 28
3.2.1 Syöttötariffi ... 28
3.2.1.1 Nykytilanne ... 28
3.2.1.2 Syöttötariffijärjestelmän tulevaisuus ... 30
3.2.2 Ympäristövaikutusten arviointimenettely ... 30
3.2.3 Maankäyttö- ja rakennuslaki ... 31
3.2.3.1 Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ... 31
3.2.3.2 Maakuntakaava ... 31
3.2.3.3 Yleis- ja asemakaava ... 32
3.2.3.4 Rakennuslupa ja toimenpidelupa ... 32
3.2.4 Pientuulivoiman sähköverovelvollisuus ... 33
3.3 Tuulivoimatuotannon suunnittelun ohjaus Helsingin alueella ... 33
3.3.1 Maakuntakaava ... 33
3.3.2 Helsingin kaupungin rakennusjärjestys ... 34

4 TUULI- JA AURINKOVOIMATUOTANNON SUHDE ... 34

5 LÄHTÖAINEISTO ALUEIDEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTIIN ... 35

5.1 Tuulisuus ... 35

Copyright © Pöyry Finland Oy

5.1.1 Tuulisuusarvioissa käytetty laskentamenetelmä ... 35
5.1.2 Tuuliatlastiedostot ... 35
5.1.3 Rosoisuuskartta ... 36
5.1.4 Resurssikartat ... 36
5.1.5 Epävarmuudet mallinnuksessa ... 39
5.2 Sähköverkko ... 40
5.3 Maankäyttö ... 41
5.4 Luonnonsuojelualueet ... 42
5.5 Syvyysaineisto ... 43
5.6 Merenpohjan laatu ... 44
5.7 Lentoesterajoitukset ... 45
5.8 Puolustusvoimien varaukset ... 47
5.9 Yleisistä liikenneväylistä johtuvat rajoitteet ... 48

6 ALUEVYÖHYKKEIDEN MÄÄRITTELYN PERUSTEET ... 49

6.1 Meri ja ulkosaaristo ... 50
6.2 Saaristo ... 50
6.3 Rantavyöhyke ja sisälahdet ... 50
6.4 Helsingin ydinkeskusta ... 50
6.5 Muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet ... 51
6.6 Muut sisämaan alueet ... 51

7 ALUEVYÖHYKKEIDEN SOVELTUVUUS TUULIVOIMATUOTANTOON ... 51

7.1 Meri ja ulkosaaristo ... 51
7.1.1 Vesialueet ... 51
7.1.1.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet ... 51
7.1.1.2 Voimalakoot ja -määrät ... 52
7.1.2 Ulkosaaristo ... 55
7.1.2.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet ... 55
7.1.2.2 Voimalakoot ja -määrät ... 56
7.2 Saaristo ... 58
7.2.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet ... 58
7.2.2 Voimalakoot ja -määrät ... 58
7.3 Rantavyöhyke ja sisälahdet ... 59
7.3.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet ... 59
7.3.2 Voimalakoot ja -määrät ... 60
7.4 Helsingin ydinkeskusta ... 62
7.4.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet ... 62
7.4.2 Voimalakoot ja -määrät ... 62
7.5 Muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet ... 63
7.5.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet ... 63
7.5.2 Voimalakoot ja -määrät ... 63
7.6 Muut sisämaan alueet ... 64
7.6.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet ... 64
7.6.2 Voimalakoot ja -määrät ... 66

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET ... 67

Liitteet:
LIITE A Yhteenvetokartta

Copyright © Pöyry Finland Oy

KÄYTETYT LYHENTEET

Raportissa on käytetty seuraavia lyhenteitä:

LYHENNE	SELITYS
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
V	Voltti, jännitteen yksikkö (1 kV = 1000 V)
VA	Volttiampeeri, tehon yksikkö. Koko teho (näennäisteho). (1 MVA = 1 000 kVA = 1 000 000 VA)
W	Watti, tehon yksikkö. Se tehon osa (pätöteho), jolla yleisesti ottaen voi tehdä työtä. (1 MW = 1 000 kW = 1 000 000 W)
Wh	Wattitunti, energian yksikkö. Vastaa watin tehoa tunnin ajan. (1 TWh = 1 000 000 MWh, 1 MWh = 1 000 kWh = 1 000 000 Wh)
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

Copyright © Pöyry Finland Oy

1 SELVITYKSEN TAVOITE JA RAJAUKSET

Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto laatii parhaillaan uutta yleiskaavaa Helsingin alueelle. Yleiskaavaprosessin aikana on herännyt kysymys siitä, voisiko Helsingissä olla tulevaisuudessa merkittävä määrä tuulivoimaa. Helsingin tavoite on tulla hiilineutraaliksi kaupungiksi vuoteen 2050 mennessä ja tuulivoiman lisääminen on yksi mahdollisuus tavoitteen saavuttamisessa.

Kaavaprosessin rinnalla kaupunkisuunnitteluvirasto selvittää tuulivoiman sijoittamisperiaatteita Helsingin alueella. Tämä selvitys on osa tätä työtä ja keskittyy nimenomaan teknis-taloudelliseen näkökulmaan: missä Helsingin kaupungin alueella on teknis-taloudellisesta näkökulmasta tuulivoimantuotannolle sopivia alueita.

Selvityksen keskeisimpänä kysymyksenä on se, kuinka suuria ja monia tuulivoimaloita eri osiin Helsinkiä on teknis-taloudellisesti kannattavaa rakentaa. Helsingin kaupungin aluetta tarkastellaan jakamalla se tuulivoimatuotannon kannalta erilaisiin aluevyöhykkeisiin, joille kullekin esitetään periaatteita ja mahdollisuuksia tuulivoimatuotannon sijoittamiseksi.

Selvityksessä käsitellään tuulivoimaa laajasti, pientuulivoimasta teollisen kokoluokan tuulivoimaloihin, kuitenkin huomioiden se, että tuulivoiman tulisi olla toteuttajalleen taloudellisesti kannattavaa. Selvityksessä pitäydytään teknis-taloudellisessa näkökulmassa. Tuulivoiman ympäristövaikutuksia ja sosiaalista hyväksyttävyyttä tarkastellaan muissa yleiskaavaprosessin rinnalla laadittavissa selvityksissä ja tarkasteluissa. Jotta selvityksen tulokset olisivat kuitenkin riittävän realistisia, otetaan työssä huomioon joitain keskeisimpiä ympäristöstä johtuvia rajoitteita. Työssä huomioidut tiedot ja lähtöaineisto on kuvattu raportissa. Selvityksen tarkastelun aikajänne on noin 10–15 vuotta selvityksen laatimisvuodesta 2015 eteenpäin.

Selvityksessä luodaan myös laaja katsaus tuulivoimatuotantoon yleisesti. Erityisesti kuvataan tuulivoimatuotannon teknisiä ja taloudellisia lähtökohtia, mutta myös tuulivoimatuotannon tämänhetkinen tilanne Suomessa ja keskeisin tuulivoimaa koskeva lainsäädäntö. Työhön sisältyy myös lyhyt pohdinta tuuli- ja aurinkovoimatuotannon sijoittamismahdollisuuksien eroista.

2 TAUSTATIETOA TUULIVOIMASTA

2.1 Tekniset lähtökohdat

2.1.1 Tuulivoimalat

Tuulivoimala tuottaa tuulen liike-energiasta uusiutuvaa sähköenergiaa. Tuuli pyörittää voimalan roottoria, josta pyörimisenergia muuttuu generaattorin kautta sähköksi. Sähkö siirretään akkuun tai sähköverkkoon laajempaa jakelua varten. Tuulivoimalan energiantuotanto on riippuvainen vallitsevista tuuliolosuhteista ja vaihtelee näin ollen olosuhteista riippuen. Pääsääntöisesti talvi on tuuliolosuhteiden suhteen paras vuodenaika Suomessa.

Tuulivoimala voi olla joko vaaka- tai pystyakselinen. Teollisen kokoluokan tuulivoimalat ovat pääsääntöisesti vaaka-akselisia ja kolmilapaisia. Tuulivoimaloita on kuitenkin valmistettu yksilapaisista myös yli kolmilapaisiin. Pystyakselisia voimaloita käytetään lähinnä pientuotannossa. Niissä on tyypillisesti kaksi pystyä spiraalinmuotoista siipeä, jotka tuulen virtauksesta pyörittävät roottoria.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Vaaka-akselinen tuulivoimala sijaitsee maston (pieni voimala) tai tyypillisesti tornin päässä. Korkeutta maanpinnasta roottorin keskipisteeseen eli napaan kutsutaan voimalan napakorkeudeksi. Tuulennopeus kasvaa korkeuden kasvaessa, minkä vuoksi tuulivoimaloiden roottorit pyritään sijoittamaan korkealle. Toinen voimaloiden olennainen mitta on roottorin halkaisija, joka kertoo roottorin pyörimisalueen koon. Roottorin ja konehuoneen sekä tornin lisäksi olennaisia tuulivoimalan osia ovat perustus ja sähköverkkoon- tai kulutuspisteeseen liitäntä.

Tässä työssä tuulivoimalat jaetaan kolmeen luokkaan tuulivoimaloiden koon perusteella. Pientuulivoimalat ovat nimellisteholtaan alle 50 kW. Kokoskaala on suuri alkaen hyvin pienistä rakennusten yhteyteen liitettävistä tuulivoimaloista. Vaaka-akselisten, noin 50 kW voimaloiden napakorkeus on tyypillisesti noin 25 metriä ja roottorin halkaisija noin 10 metriä. Tämän kokoluokan pienimpiä tuulivoimaloita voidaan sijoittaa korkeammalle maanpinnasta sijoittamalla ne rakennuksen katolle tai maston yhteyteen. Pientuulivoimaa käytetään tyypillisesti yksittäisten yritysten, kotitalouksien tai vielä pienempien kulutusyksiköiden (esim. valaistus) tarpeisiin.

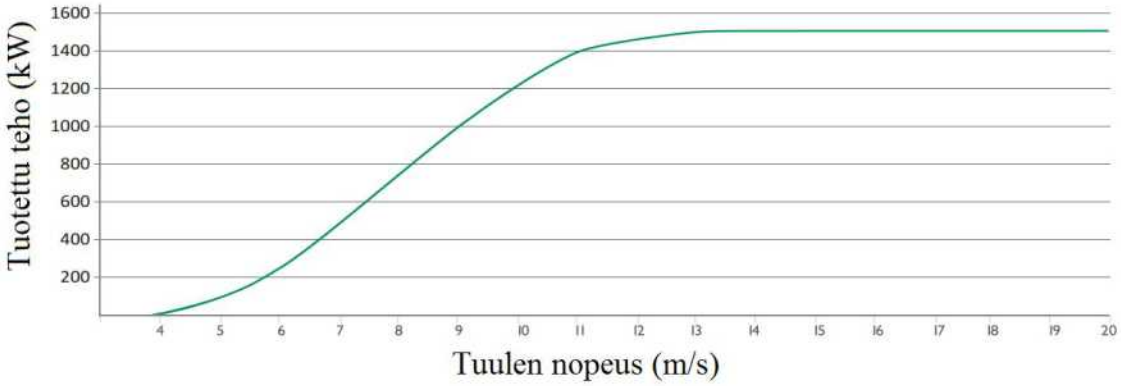
Tässä työssä nimellisteholtaan 50–350 kW tuulivoimaloita käsitellään keskikokoisena kokoluokkana. Niiden napakorkeudet vaihtelevat noin 25 metristä 60 metriin. Roottorinhalkaisijoiden vaihteluväli taas on noin 10–35 m. Tämän kokoluokan voimalat ovat selvästi pienempiä kuin tämän päivän teollisen kokoluokan voimalat ja siksi niiden sijoittamismahdollisuudet ovat erilaiset. Tällaisen kokoluokan voimaloita voidaan käyttää esimerkiksi maatilojen sähkönkulutustarpeeseen.

Teollisen kokoluokan tuulivoimaloina käsitellään tässä selvityksessä voimaloita, jotka ovat nimellisteholtaan yli 350 kW. Niiden napakorkeudet ulottuvat 60 metristä 145 metriin. Roottorin halkaisija voi olla jopa 140 m. Teollisen kokoluokan tuulipuistoissa käytettävät voimalat ovat tänä päivänä nimellisteholtaan noin 2,5–5 MW; merellä jopa suurempia. Tätä pienempiä uusia teollisen kokoluokan voimaloita rakennetaan nykyään varsin vähän. Ne edustavat pääosin vanhaa teknologiaa teknologian kehityttyä viime vuosina yhä suurempiin kokoluokkiin.

2.1.1.1 Tuulivoimateknologia

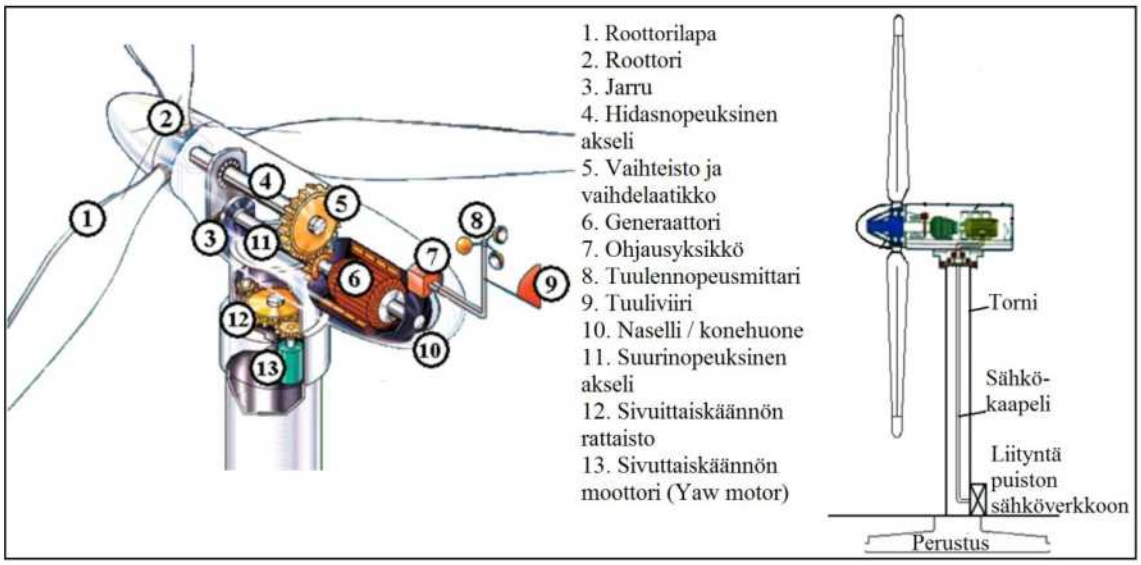
Lavan pyöriessä voimala hyödyntää tuulen kineettistä energiaa koko pyyhkäisypintaalalta. Vaaka-akseliset voimalat pitää ohjata tuulen suuntaa kohti, mikä tapahtuu joko moottorilla tai joissain pienen kokoluokan voimaloissa tuuliviirillä. Oheisessa kuvassa (Kuva 2-1) on esimerkki 1,5 MW tehoisen tuulivoimalan tehokäyrästä. Tehokäyrä kertoo kuinka paljon voimala tuottaa tehoa tietyllä tuulen nopeudella.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-1. Suzlonin valmistaman 1,5 MW tuulivoimalan tehokäyrä. (Muokattu lähteestä *Suzlon Group 2015*)

Vaaka-akselisen tuulivoimalan pääkomponentteja ovat roottori, konehuone eli naselli, torni ja perustukset. Roottori koostuu pyörivistä lavoista ja navasta. Konehuone sisältää esimerkiksi generaattorin, joka muuntaa roottorin liike-energian eli pyörimisenergian sähköenergiaksi. Usein roottorin ja generaattorin välissä on vaihteisto, jotta roottorin pyörimisnopeus saadaan muunnettua generaattorille sopivammaksi nopeudeksi. Tuulivoimalat voivat olla myös suoravetoisia eli toimia ilman vaihteistoa. Oheisessa kuvassa (Kuva 2-2) on esitetty vaaka-akselisen ja kolmilapaisen voimalan pääkomponentit.



Kuva 2-2. Vaaka-akselisen tuulivoimalan pääkomponentit. *(Niemi 2014,* muokattu *Chia Chen Ciang et al 2008* mukaan*)*

Lapojen siipiprofiili on suunniteltu nosteen synnyttämiseksi. Juuri lapoihin kohdistuva noste saa aikaan roottorin pyörimisen. Lavat voi olla valmistettu esimerkiksi komposiittista, puusta tai lasikuidusta. Moderneissa teollisissa voimaloissa lapamateriaali on lasikuitu. Lavat on kiinnitetty roottorin napaan.

Naselli sisältää suurimman osan voimalan komponenteista ja se on voitu valmistaa esimerkiksi lasikuidusta ja metallista. Vaihdelaatikollisissa voimaloissa nasellin sisällä on akseli, joka siirtää roottorin pyörimisenergian vaihdelaatikon kautta generaattorille. Ohjausyksikkö valvoo ja ohjaa voimalan toimintaa. Ohjausyksikkö ohjaa sivuttaiskääntöjärjestelmää, jotta voimala suuntautuu tuulen suuntaisesti.

Teollisen kokoluokan tuulivoimaloiden tornit valmistetaan joko kokonaan teräsrakenteisina, betonin ja teräksen yhdistelmänä (hybriditornit) tai kokonaan betonista. Lisäksi on

Copyright © Pöyry Finland Oy

mahdollista käyttää teräsristikkorakenteista tornia. Tyypillisesti yli 100 metriä korkeat tornit ovat hybriditorneja tai terästorneja.

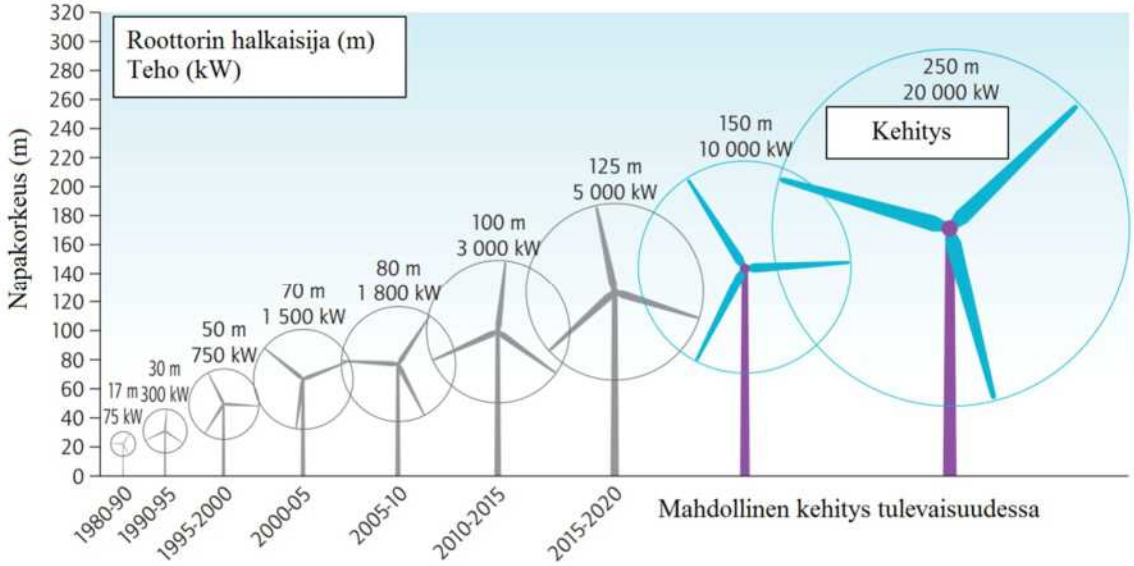
Voimalan perustustapa riippuu pääasiallisesti maaperästä ja tornin tyypistä. Maanvaraan rakentaminen on yksi yleisimmistä perustusten valmistamistavoista. Perustus voidaan rakentaa maanvaraan silloin, kun maaperä on tarpeeksi kantava. Raudoitettu betonilaattarakenne toimii maanvaraisena perustuksena, jonka koko määräytyy voimalan mallin ja maan kantavuuden mukaan. Maahan upotetun laatan paksuus voi olla joitakin metrejä ja kokonaisleveys 15–25 metriä. Kuvassa 2-3 on esimerkki maanvaraisen perustuksen rakentamisesta. Toinen yleisimmistä tavoista rakentaa tuulivoimalan perustukset on paalutus. Perustukset rakennetaan paalujen päälle silloin, kun maan kantavuus on liian heikko muille perustustavoille. Näiden paalujen varassa oleva perustus valmistetaan teräsbetonista. Perustus voidaan myös ankkuroida kallioon silloin, kun kallio on tarpeeksi lähellä maanpintaa. *(Pöyry Finland Oy 2014)*

Kuva 2-3. Maanvaraisen perustuksen raudoitus ennen betonin valamista. *(Kuva: Mira Hulkkonen / Pöyry)*

Tuulivoimalan energiantuotantoon vaikuttavat roottorin pyyhkäisypinta-ala, voimalan korkeus, voimalan sijainnin tuuliolosuhteet ja voimalan suorituskyky. Yleisesti ottaen energiantuotanto lisääntyy, kun roottorin pyyhkäisypinta-ala tai voimalan korkeus kasvaa. Tuulivoimaloiden koko onkin kasvanut tekniikan kehittyessä. Esimerkiksi Suomeen nykyään rakennettavat teollisen kokoluokan voimalat ovat usein lähellä tämänhetkisiä maksimidimensioita. Korkeilla torneilla roottori saadaan metsän latvuston yläpuolelle ja toisaalta suuret roottorihalkaisijat ja pyyhkäisypinta-alat sopivat Suomen suhteellisen alhaisille tuulennopeuksille.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 2-4) esitetään tuulivoimaloiden kokojen kehitys 80-luvulta lähtien ja tuulivoimaloiden mahdollinen kehitys tulevaisuudessa. *(International Energy Agency 2013)*. Taulukossa 2-1 on esitetty esimerkkejä teollisen kokoluokan tuulivoimaloista. Suurimpia tuulivoimaloiden valmistajia maailmassa ovat Vestas, Goldwind, Enercon, Siemens, Suzlon, General Electric, Gamesa, United Power, Ming Yang ja Nordex *(Energy Digital Staff 2015)*.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-4. Tuulivoimaloiden kasvukehitys. (Muokattu lähteestä *European Wind Energy Association 2009)*

Taulukko 2-1. Esimerkkejä tällä hetkellä valmistettavista teollisen kokoluokan tuulivoimaloista. *(Alstom 2014; Enercon GmbH 2015; Gamesa 2010; Lagerwey 2013; Mervento Oy 2015; Nordex SE 2013; Siemens AG 2015; STX Windpower B.V. 2015; Suzlon Group 2014; Vestas 2014)*

Voimalavalmistaja	Pienin nimellisteho (MW)	Suurin nimellisteho (MW)
Vestas	2,0	3,45
Enercon	0,8	7,58
Siemens	2,3	7,0
Suzlon	0,6	2,1
Gamesa	2,0	5,0
Nordex	2,4	3,3
Alstom	2,7	6,0
STX Windpower	1,5	2,0
Lagerwey	1,5	4,0
Mervento	3,6	3,6

Esimerkkejä markkinoilla olevista keskikokoluokan tuulivoimaloista on esitetty taulukossa 2-2.

Taulukko 2-2. Esimerkkejä keskikokoisista tuulivoimaloista ja niiden tehoista. Alleviivattuna voimalat, joita jälleenmyydään tai on asennettuna Suomessa. *(Aeolos Wind Energy Ltd 2015; Aeronautica Windpower LLC 2015a; Aeronautica Windpower LLC 2015b; C & F Green Energy 2014; Endurance Wind Power Inc. 2015; TTgreen Oy 2015a; XZERES Wind Corp. 2015)*

Copyright © Pöyry Finland Oy

Voimalavalmistaja	Pienin nimellisteho (kW)	Suurin nimellisteho (kW)
Hummer	0,5	100,0
XZERES	2,1	51,0
Aeolos	0,5	60,0
C & F Green Energy	11,0	100,0
Aeronautica	250,0	750,0
Endurance	50,0	225,0

2.1.1.2 Pientuulivoima

Tuulivoimalaa voidaan kutsua pientuulivoimalaksi, kun lapojen pyyhkäisypinta-ala on alle 200 m^2, joka vastaa noin kahdeksan metrin lavan pituutta. Tämän kokoisten voimaloiden nimellisteho jää alle 50 kW. Niiden maston korkeudet vaihtelevat tyypillisesti välillä 5–30 m. Pientuulivoimaa voidaan asentaa esimerkiksi maatalous-, kotitalous-, kesämökki- ja purjevenekäyttöä varten. Pientuulivoiman tuottamalla energialla voi varata akkuja ja lämmittää sekä käyttövettä että lämmitysjärjestelmän vettä. Lisäksi pientuulivoimalla tuotettu sähkö voidaan käyttää kotitaloudessa tai ohjata sähköverkkoon. Pientuulivoimaloihin sisältyvät myös pienet rakennusten tai esimerkiksi mastojen yhteyteen rakennettavat voimalat, jotka voivat olla myös pystyakselisia.

Noin 15 kW voimalan vuosituotanto voi hyvissä olosuhteissa olla samaa luokkaa kuin sähkölämmitteisen omakotitalon. Alle 2000 W (2kW) laitteet soveltuvat esimerkiksi kesämökin valaistuksen ja elektroniikan tarpeisiin. Omakotitalokäytössä noin 2 kW tuulivoimala voi hyvä tuulisella paikalla tuottaa jopa puolet omakotitalon valaistukseen ja laitteisiin kuluvasta sähköstä, lämmitystä lukuun ottamatta (*Suomen Tuulivoimayhdistys 2015*).

Tyypilliset kesämökille asennettavat laitteet ovat muutaman sadan watin tehoisia laitteita, eli niiden roottorin halkaisija on noin 2 metrin luokkaa. Verkkoon liitettyjen tai lämmityskäytössä olevien voimaloiden teho on tyypillisesti yli 2 kW ja roottorin halkaisija 4 metristä ylöspäin. (*Suomen Tuulivoimayhdistys 2015*)

Esimerkkejä markkinoilla olevien pientuulivoimaloiden kokoluokista on esitetty taulukossa 2-3. Pystyakselisten tuulivoimaloiden valmistajia on vähemmän ja näistä esimerkkinä mainittakoon suomalainen Oy Windside Production Ltd, joka valmistaa erikokoisia pientuotantoon tarkoitettuja voimaloita. Pystyakselisten voimaloiden äänitaso on pienempi kuin vaaka-akselisten, minkä vuoksi ne soveltuvat joissain tapauksissa vaaka-akselisia paremmin sijoitettaviksi esimerkiksi asutuksen läheisyyteen.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 2-3. Esimerkkejä tällä hetkellä markkinoilla olevista vaaka-akselisista pientuulivoimaloista. Alleviivattuna voimalat, joita jälleenmyydään tai on asennettuna Suomessa. ***(Aeolos Wind Energy Ltd 2015; Bergey WindPower Co. 2012a; Bergey WindPower Co. 2012b; C & F Green Energy 2014; Evance Ltd 2015; EXMORK New Energy Company 2014; Finnwind Oy 2015; Lely Aircon B.V. 2015; Sonkyo Energy USA 2011; TTgreen Oy 2015a; XZERES Wind Corp. 2015)***

Voimalavalmistaja	Pienin nimellisteho (kW)	Suurin nimellisteho (kW)
Finnwind	4,0	4,0
Windspot	1,5	7,5
Hummer	0,5	100,0
EXMORK	0,3	20,0
XZERES	2,1	51,0
Aeolos	0,5	60,0
C & F Green Energy	11,0	100,0
Evance	5,0	15,0
Lely Aircon	9,8	29,8
Bergey	1,0	10,0

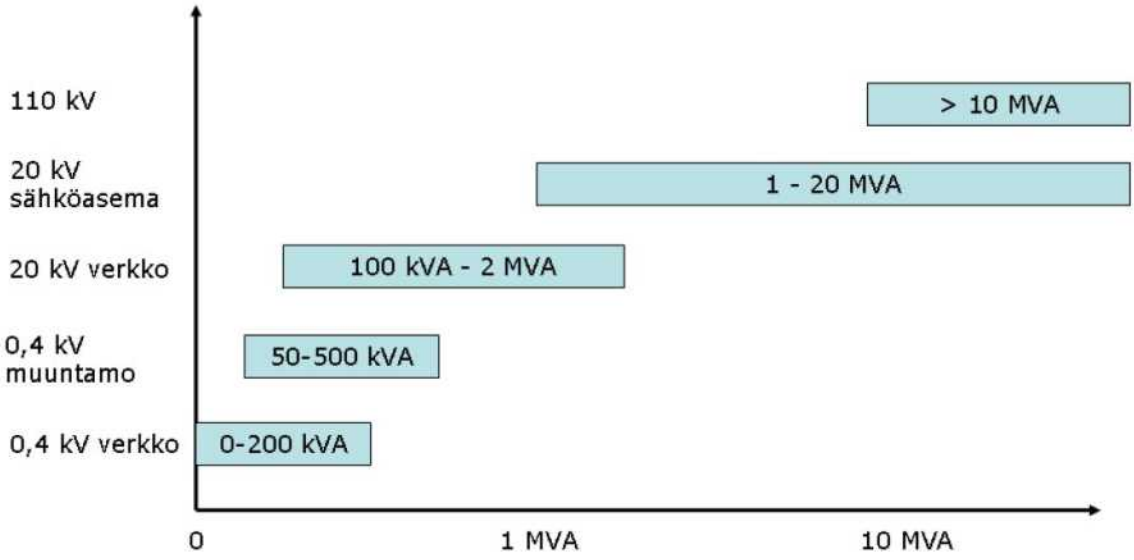
2.1.2 Verkkoliityntä

Suomen sähkövoimajärjestelmä koostuu sähkön siirto- ja jakeluverkoista, joiden avulla voimalaitoksissa tuotettu sähkö saadaan siirrettyä kuluttajille. Sähkön siirto eri alueiden sekä Suomen naapurivaltioiden verkkojen välillä tapahtuu kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n hallinnoimassa 400 kV:n, 220 kV:n ja 110 kV:n jännitteillä toimivassa kantaverkossa, josta sähkö edelleen johdetaan paikallisiin 110 kV:n alueverkkoihin. Sähkönjakelu kuluttajille on tyypillisesti toteutettu paikallisten 20 kV:n ja 10 kV:n keskijännitejakeluverkkojen kautta, joista sähkö muunnetaan edelleen erillisissä 20/0,4 kV:n ja 10/0,4 kV:n kiinteistö- ja puistomuuntamoissa 400 voltin pienjännitteelle. Tyypillisesti rakennusten ja kiinteistöjen sisäinen sähkönjakelu on liitetty pienjännitteiseen sähkönjakeluverkkoon, mutta isompaa kulutusta liitetään myös keski- ja suurjänniteverkkoihin.

Tuulivoimaloiden verkkoliityntätapa riippuu tuulivoimalan teholuokasta. Tyypillisesti pienempijännitteisemmät verkon osat ovat sähköisesti heikkoja (pieni oikosulkutehotaso), jolloin niihin ei voida liittää paljoa tuotantoa vaikuttamatta liittymisverkon sähkön laatuun niin, että se pysyisi sallituissa rajoissa. Lisäksi tuotannon liittäminen ei saa johtaa verkon komponenttien mitoitusvirta-arvojen ylittymiseen (käyttö- ja vikavirtatasot), mikä rajoittaa tuotannon lisäämistä erityisesti pienjänniteverkkoihin.

Energiateollisuus ry on antanut ohjeelliset tuotannon liittämisrajat eri jänniteportaisiin, joita voidaan pitää suuntaa-antavina tehorajoina eri verkon osiin liittymiselle (Kuva 2-5). Verkko-osan todellinen liittymistehokapasiteetti on kuitenkin tapauskohtainen ja se on aina varmistettava verkonhaltijalta.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-5. Energiateollisuus ry:n julkaisemat ohjeelliset tuotannon liittämisrajat jakeluverkon eri jänniteportaisiin (*Energiateollisuus ry 2011a*). 10 kV:n keskijänniteverkon liittymiskapasiteetti on tyypillisesti samaa kokoluokkaa 20 kV:n keskijänniteverkon kanssa. Yli 200-250 MW:n tuulipuistot liitetään pääsääntöisesti kantaverkon 400 kV:n kytkinlaitokseen (*Fingrid Oyj 2015*).

Pienjännitteiseen sähköverkkoon (normaalisti 400 V) voidaan yleensä liittää vain pieniä, maksimissaan muutaman sadan kVA:n tuotantolaitoksia. Tällöin liittymisteho riippuu siitä, liitetäänkö tuotanto suoraan 400 voltin muuntamoon (oikosulkuteholtaan jäykempi verkon piste) vai kiinteistön sisäiseen sähköverkkoon. Keskijänniteverkko (tyypillisesti 10–20 kV) on mitoitettu pienjänniteverkkoa suuremmalle teholle ja sillä on suurempi oikosulkutehotaso, joten siihen voidaan liittää pienjänniteverkkoa suurempia tuotantolaitoksia heikentämättä sähkön laatua. Tyypillisesti keskijännitesähköasemat (110/10 kV:n ja 110/20 kV:n muuntoasemat) ovat melko vahvoja verkon pisteitä, ja niihin voidaan liittää jopa yli 10 MVA:n[1] tuotantotehoja omalla keskijännitekojeistolla liityttäessä. Toisinaan keskijänniteverkkoon on myös mahdollista liittää tuotantoa kauemmaksi sähköasemista, mutta tällöin liitettävä tehomäärä on tyypillisesti pienempi (100 kVA–2 MVA).

Liitettäessä tuulivoimaa keskijänniteverkkoon tarvitaan lisäksi muuntaja, joka muuntaa tuulivoimalan pienjännitteisen generaattorijännitteen keskijännitteiseksi. Megawattiluokan teollisissa tuulivoimaloissa on tyypillisesti mukana tällaiset *turbiinimuuntajat* sekä keskijännitteiset *rengassyöttökojeistot*. Tuulivoimaloiden rengassyöttökojeistojen avulla voidaan tuulivoimaloita yhdistää keskijännitemaakaapeleilla kaapelointiryhmiksi, jolloin useamman tuulivoimalan tuotanto voidaan siirtää liittymispisteeseen (esimerkiksi jakeluverkon 110/20 kV:n muuntoasemaan) yhteisen keskijännitemaakaapelin kautta. Yhdellä keskijännitekaapelilla siirrettävän tehon määrä riippuu käytettävästä kaapelityypistä, asennustavasta sekä käytettävästä jännitetasosta. Käytettävien tuulivoimaloiden tehosta riippuen yhteen kaapelointiryhmään voidaan tyypillisesti liittää 2–6 megawattiluokan teollista tuulivoimalaa.

Teollisen luokan tuulivoimaloita voidaan lisäksi rakentaa isommiksi tuulipuistoiksi, joiden kokonaisliityntäteho voi olla muutamasta kymmenestä megawatista aina satoihin megawatteihin. Yli 10–20 MVA:n tuulipuistot joudutaan yleensä liittämään suurjännitteiseen sähköverkkoon (110 kV, jos kokonaisteho on pienempi kuin 200–250 MW tai

[1] Watti (W) on tehon yksikkö, joka edustaa tehon sitä osaa (pätöteho), jolla yleisesti ottaen voi tehdä työtä. Volttiampeeri (VA) on tehon yksikkö, joka taas kuvaa koko tehoa (näennäisteho).

Copyright © Pöyry Finland Oy

400 kV, jos kokonaisteho on vähintään 200–250 MW), sillä suurinta osaa keskijännitejakeluverkosta ei ole mitoitettu vastaanottamaan näin suurta tuotantotehoa. Tässä tapauksessa tuulipuistolla on tyypillisesti oma muuntoasemansa (Kuva 2-6), jossa kootaan yhteen eri kaapelointiryhmiltä verkkoon syötettävä sähköenergia sekä muunnetaan jännitetaso keskijännitteisestä (yleensä 10–33 kV) suurjännitteiseksi (110–400 kV). Suurjännitettä käytettäessä voidaan siirtää suurempia tehoja yhdessä virtapiirissä. Onkin yleensä kustannustehokkaampaa siirtää sähköenergia tuulipuiston sähköasemalta liittymispisteeseen suurjännitteisenä, jos tuulipuiston ja liittymispisteen välillä on pidempi matka. On kuitenkin huomioitavaa, että suurjännitteiset sähköverkkokomponentit ovat investointikustannuksiltaan keskijännitekomponentteja kalliimpia, minkä takia pienempien tuotantomäärien siirtäminen suurjännitteisenä ei aina ole taloudellista.

Kuva 2-6. Tyypillinen noin 34 MW:n tuulipuistoa varten rakennettu kahden päämuuntajan muuntoasema, jossa tuulivoimaloiden tuottama sähköenergia muunnetaan keskijännitteisestä 110 kV:n suurjännitteelle. Tuulivoimalat on liitetty keskijännitemaakaapelein sähköaseman keskijännitekojeistoon, joka sijaitsee kuvan oikeassa reunassa näkyvässä rakennuksessa. Liittymispisteenä toimii tässä tapauksessa 110 kV:n ilmajohto. *(Kuva: Petri Niemi / Pöyry)*

Pienjänniteverkkoon liitettävät tuulivoimalaitokset ovat käytännössä aina alle 500 kVA:n voimaloita, joihin sovelletaan Energiateollisuus ry:n "*Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon*" -ohjetta (*Energiateollisuus ry 2011b*) sekä Energiateollisuus ry:n suosittelemia sähköntuotannon liittymisehtoja (TLE 2014, *Energiateollisuus ry 2014*). *Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon* -ohjeen mukaan enintään 3x63 A pääsulakkeilla varustettuun kulutuspaikkaan liitettäessä tuulivoimalaitos ei tarvitse erillistä mittausta, vaan riittää, että käyttöpaikkaan on asennettu mittari, joka pystyy mittaamaan sähköverkosta otettua ja sähköverkkoon syötettyä energiaa. 3x63 A verkkoon liitettävän tuotantolaitoksen teho on maksimissaan noin 43 kVA. Energiateollisuus ry:n ohjeiden mukaan tätä suurempaan käyttöpaikkaan asennettuun tuotantolaitokseen tulee asentaa erillinen mittaus. Energiateollisuus ry:n ohje määrittää lisäksi useita sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä, jotka alle 500 kVA:n tuotantolaitoksen tulee täyttää. Energiateollisuus ry on lisäksi teettänyt erilliset ohjeet maksimissaan 3x16 A sulakkeilla varustettuun kulutuspaikkaan liitettävälle tuotannolle (*Energiateollisuus ry*

Copyright © Pöyry Finland Oy

2009) (kolmeen vaiheeseen kytkettynä maksimissaan noin 11 kVA:n tuotantolaitos, jonka pääasiallisena tarkoituksena on kompensoida liittämispaikan omaa sähkönkulutusta).

Yli 500 kVA:n tuulivoimaloiden ja tuulipuistojen verkkoliityntävaatimuksia määriteltäessä sovelletaan kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2013 –dokumenttia (*Fingrid Oyj 2013*). VJV2013:ssa määritellyt voimalaitosten verkkoliityntävaatimukset koskevat voimalaitoksen toimintaa erilaisilla jännitteillä ja taajuuksilla, taajuuden ja pätötehon säätöä, loistehokapasiteettia, jännitteen ja loistehon säätöä sekä käyttöönottokokeita ja vaadittuja Fingridille toimitettavia mallinnuksia ja laskelmia voimalaitokseen liittyen.

Helsingin alueella sähköverkko koostuu useammasta eri jännitetasosta, joten verkkoliitynnän kannalta Helsingissä voi olla mahdollisuuksia usean eri kokoluokan tuulivoimatuotannon liittämiseen.

2.1.3 Muu infrastruktuuri

Itse tuulivoimalan, sen perustuksen ja sähköverkkoliitynnän lisäksi suuret voimalat voivat tarvita muuta infrastruktuuria. Voimalat tarvitsevat tieyhteyden ja voimalasta riippuen riittävän kokoisen asennusalueena käytettävän tasaisen alueen. Useista voimaloista koostuvissa tuulipuistoissa voidaan alueelle lisäksi rakentaa valvonta- ja ohjausjärjestelmää sekä kunnossapitoa varten tarvittavia rakennuksia.

2.2 Taloudelliset lähtökohdat

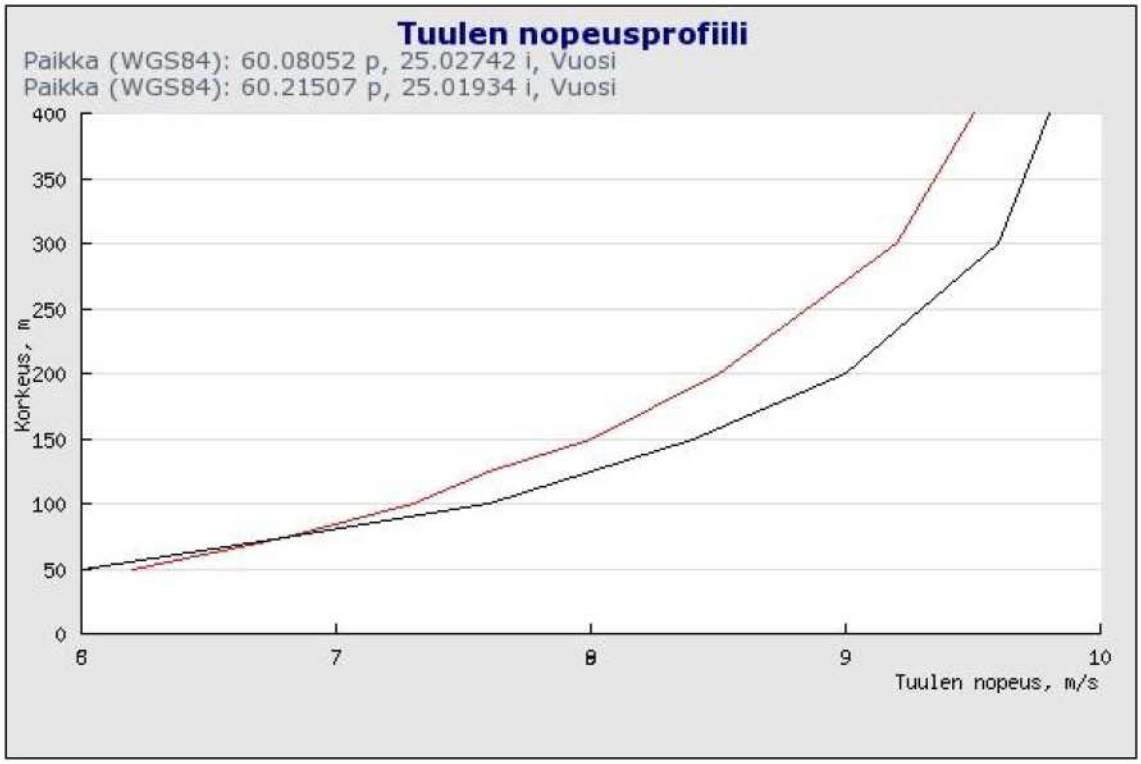
2.2.1 Tuulisuus

2.2.1.1 Tuulen käyttäytyminen

Vapaassa ilmakehässä tuulennopeus määrittyy pitkälti paine-erojen mukaan, mutta sen alapuolella olevassa, maanpinnan läheisessä rajakerroksessa pinnan topografialla on merkittävä vaikutus tuuliolosuhteisiin. Etenkin ilmakehän rajakerroksen[2] alimmassa kerroksessa tuulisuutta arvioidaan logaritmisella pystyprofiililla. Tämä tarkoittaa, että tuulennopeus kasvaa logaritmisesti korkeuden kasvaessa. Profiilin muotoon vaikuttaa ilmakerroksen stabiilisuus[3] sekä pinnan muoto. Suuri rosoisuus eli karkeat pinnanmuodot, esimerkiksi metsän reunat tai kaupunkialueet, nostavat pinnan kitkakerrointa, jolloin tuulennopeus pienenee pintaa kohden nopeammin kuin tasaisella pinnalla (eli metsä hidastaa tuulennopeutta). Merialueilla sama tuulennopeus saavutetaan siis matalammalla korkeudella kuin maalla. Tultaessa mereltä maalle rosoisuus muuttuu huomattavasti, ja muutos profiilissa on nähtävissä jo rannikolla. Tuuliatlaksen antamat pystyprofiilit kahdelle pisteelle mereltä ja maalta on esitetty kuvassa 2-7.

[2] Rajakerros on ilmakehän alin kerros, jossa maanpinta vaikuttaa tuulen käyttäytymiseen
[3] Stabiilisuus kuvaa ilmakerroksen herkkyyttä sekoittumiselle

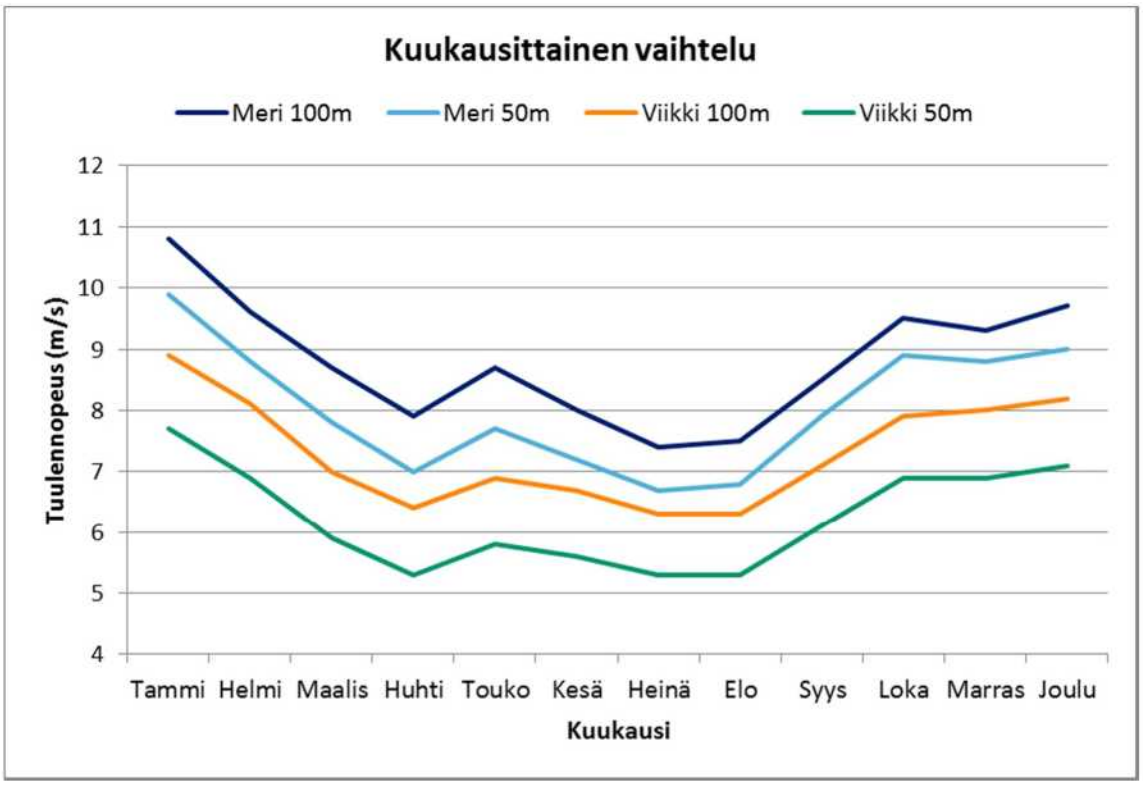
Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-7. Tuulen nopeusprofiili. Punainen viiva kuvaa profiilia maalla, musta merellä. Merellä tietty tuulennopeus saavutetaan alemmassa korkeudessa maanpinnasta kuin maalla. *(Suomen tuuliatlas, 2009)*

Tuulisuudessa on myös ajallista vaihtelua. Suomessa tuulee keskimäärin enemmän talvikuukausina kuin kesäkuukausina. Kuvassa 2-8 on esitetty tuulennopeuden kuukausittainen vaihtelu meri- ja maa-alueella Helsingissä. Vuodenajalla on lisäksi vaikutus pystyprofiiliin sekä stabiilisuuden että rosoisuuden kautta: esimerkiksi talvella rosoisuuteen vesipinnoilla vaikuttaa jääpeite, kesällä aallonkorkeus. Tuulisuus vaihtelee myös vuorokauden aikana. Yleisesti tuulennopeudet ovat jokseenkin korkeampia yöaikaan.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-8. Tuulennopeuden kuukausittainen vaihtelu meri- ja maa-alueella Helsingissä (Viikki). Talvikuukaudet ovat Suomessa kovatuulisempia kuin kesäkuukaudet. *(Suomen tuuliatlas, 2009)*

2.2.1.2 Tuulisuus Suomessa ja Helsingissä

Suomessa tuulisuuteen vaikuttaa maan sijainti keskileveysasteilla Euraasian mantereen rannikkovyöhykkeellä. Sään määrittää ensisijaisesti Atlantilta saapuvat matalapaineet ja niiden mukana liikkuvat säärintamat. Tyypillisesti vapaassa ilmakehässä keskimääräinen tuulennopeus on Suomen alueella noin kilometrin korkeudella 9–9,5 m/s (*Suomen tuuliatlas, 2009*), mutta ilmakehän alimmassa kerroksessa erityisesti sisämaassa keskimääräinen tuulennopeus on huomattavasti pienempi. Vallitseva suuntasektori on etelälänsi, eli lounaistuulet ovat Suomessa yleisimpiä.

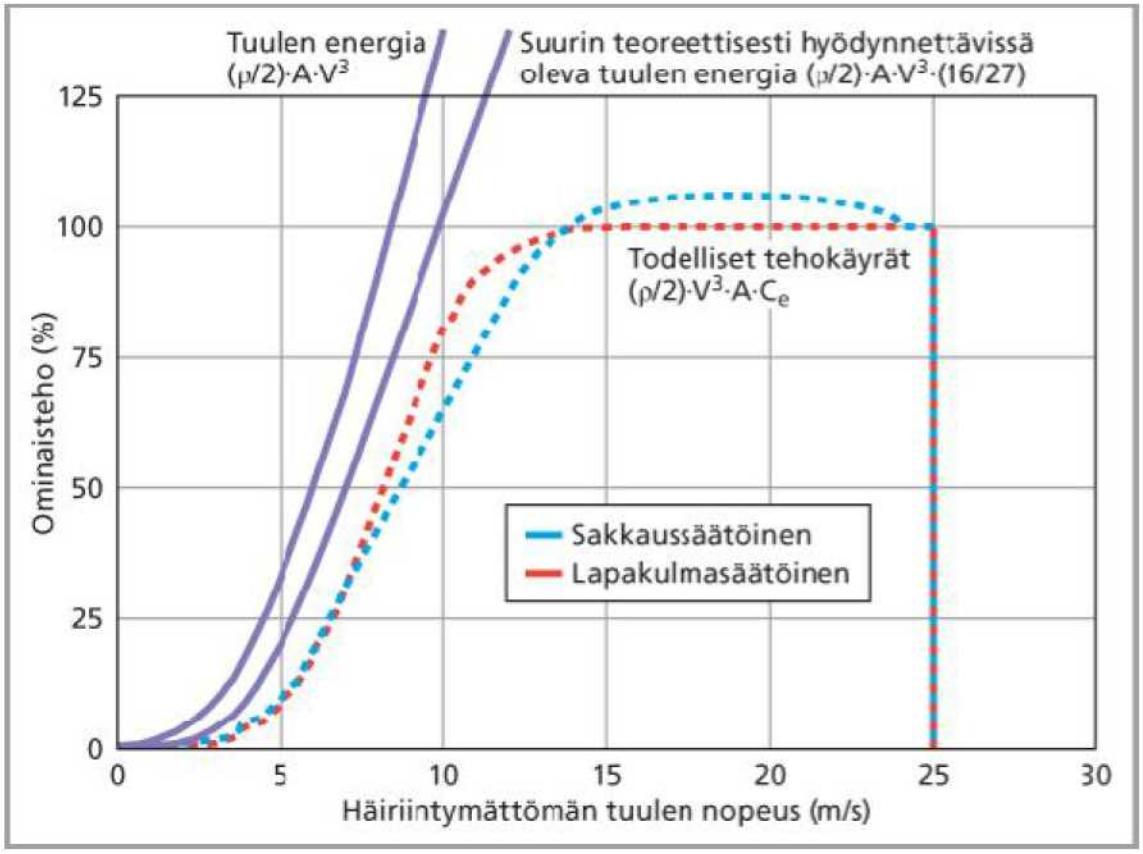
Helsingin tuulisuuteen vaikuttaa merkittävästi kaupungin sijainti maan etelärannikolla Suomenlahden rannalla. Merellä ja rannikolla tuulennopeudet ovat ympäristön pienen rosoisuuden ansiosta suurempia kuin sisämaassa. Tuuleen vaikuttavat myös alueelliset ilmiöt, kuten tuulen kanavoituminen Suomenlahdella, sekä mantereen ja meren lämpötilaerojen aiheuttamat virtaukset.

2.2.1.3 Tuulen suhde tuotantoon

Tuulivoimalan lapojen pyyhkäisyalueella vallitsevalla tuulen nopeudella on suuri vaikutus voimalan tuottamaan energiaan. Tuulen nopeuden teho on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin, joten nopeuden kaksinkertaistuessa tuulen liike-energia nelinkertaistuu ja teho kahdeksankertaistuu. Voimalan roottori pystyy hyödyntämään tuulen energiasta vain osan, mitä kuvaa voimalan tehokäyrä. Tehokäyrä on voimalakohtainen. Energian tuottoon vaikuttaa myös tuulennopeusalue, jolla voimala toimii, tyypillisesti 3–25 m/s. Pienemmillä tuulilla voimala ei tuota energiaa, kun taas suuremmilla nopeuksilla voimala turvallisuussyistä pysäytetään. Tyypilliselle sakkaussäätöiselle

Copyright © Pöyry Finland Oy

(passiivinen) ja lapakulmasäätöiselle (aktiivinen) voimalalle laskettu tehokäyrä on esitetty kuvassa 2-9.



Kuva 2-9. Tyypilliselle tuulivoimalalle laskettu tehokäyrä. ***(Suomen tuuliatlas, 2009)***

Tuulen nopeuden suuren merkityksen takia voimalan sijoitus tuuliselle paikalle on olennaista. Tuulisuus nousee korkeuden kasvaessa maanpinnasta, joten myös voimalan korkeutta kasvattamalla päästään parempiin tuuliolosuhteisiin. Tuuliresurssi onkin eräs merkittävimpiä tuulivoimatuotannon kannattavuuteen vaikuttavista seikoista.

2.2.1.4 Epävarmuutta aiheuttava sää

Tuulivoimalan sijainnin ja tyypin suunnittelussa on sään ja tuulen ääriarvot otettava huomioon. Tuulivoimaloita suunniteltaessa rakenteellisista syistä huomioitava maksimituuli on 50 vuoden aikana saavutettava suurin 10 minuutin keskituuli. Maksimituulen laskentaan on olemassa useita malleihin tai havaintoihin perustuvia menetelmiä. ERA-40 aineiston perusteella edellä määritelty maksimituuli Helsingin alueella 100 m korkeudella on 25–30 m/s ja 10 m korkeudella 18–25 m/s *(Suomen tuuliatlas, 2009)*. Maksimituulet ovat suurimmat merellä.

Turbulenssi, eli tuulen nopea, epäsäännöllinen vaihtelu, vaikuttaa etenkin tuulivoimalan kuormitukseen ja siten turbiinityypin valintaan. Turbulenssin intensiteetti vähenee etäisyyden kasvaessa maanpinnasta. Merellä turbulenssi on keskimääräisesti vähäisempää kuin mantereella, mutta erityisesti rannikolla turbulenssi vaihtelee huomattavasti tuulen suunnan mukaan: mantereelta päin tuullessa turbulenssi on kovempaa kuin tasaisemmalta mereltä päin tuullessa.

Lämpötila vaihtelee vuosittain Suomessa lähes +30 asteesta -40 asteeseen. Lisäksi erityisesti yli 100 m korkeuksilla esiintyy jäätämistä. Jäätäviin olosuhteisiin on pohjoi-

Copyright © Pöyry Finland Oy

simmilla hankkeilla varauduttava voimaloiden jäänestolaitteistolla tuotantotappioiden minimoimiseksi.

2.2.2 Tuulivoimatuotannon tukeminen

Keskeisin ilmastopolitiikan ohjauskeino EU:n tasolla on energiantuotannon ja energiaintensiivisen teollisuuden kasvihuonekaasujen päästökauppa. EU:n päästökauppajärjestelmä kattaa suurten teollisuus- ja energiantuotantolaitosten hiilidioksidipäästöt. Järjestelmä perustuu ajatukseen siitä, että kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään siellä, missä se on edullisinta. Päästökaupan piiriin kuuluva laitos tarvitsee päästöoikeuksia, joiden nojalla sillä on oikeus päästää kasvihuonekaasuja ilmakehään. Tarvittavien oikeuksien määrä on suhteessa kasvihuonekaasupäästöihin. Päästöoikeuksia voi ostaa ja myydä vapaasti koko EU:n laajuisilla markkinoilla ja niiden hinta muodostuu markkinoilla kuten muidenkin hyödykkeiden.

Yltääkseen uusiutuvia energiantuotantomuotoja koskeviin tavoitteisiinsa moni EU-maa, mukaan lukien Suomi, tukee lisäksi uusiutuvaa energiantuotantoa. Uusiutuvan energian käytön katsotaan lisäksi edistävän työllisyys- ja aluepoliittisia tavoitteita ja lisäävän huoltovarmuutta (*Työ- ja elinkeinoministeriö 2015b*).

Uusiutuvaa energiantuotantoa voidaan tukea monin erilaisin tavoin: investointi-, vero- tai tutkimus- ja kehitystuilla, syöttötariffijärjestelmällä eri muodoissaan tai uusiutuvan energian velvoitejärjestelmällä, johon esimerkiksi Ruotsin ja Norjan vihreiden sertifikaattien järjestelmä pohjautuu. Myös erilaisia tarjouskilpailumenettelyitä käytetään uusiutuvan energian hankkeiden toteuttamiseksi. (*Ollikka 2013*)

Suomessa tuli vuonna 2011 voimaan laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta (1396/2010), jolla säädetään syöttötariffijärjestelmästä, johon voidaan hyväksyä säädetyt edellytykset täyttävät tuulivoimalat, biokaasuvoimalat, metsähakevoimalat ja puupolttoainevoimalat. Syöttötariffijärjestelmää käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.2.1.

Syöttötariffijärjestelmän ohella keskeinen uusiutuvan energian tukimuoto Suomessa on investointeihin myönnettävä energiatuki. Energiatuen tavoite on erityisesti edistää uuden energiateknologian käyttöönottoa ja markkinoille saattamista. Tuulivoiman osalta tuetaan vain hankkeita, jotka eivät täytä syöttötariffijärjestelmään hyväksymisen edellytyksiä. Käytännössä energiatukea on myönnetty pientuulivoimahankkeille (*Motiva 2015a*).

2.2.3 Voimalakoon merkitys

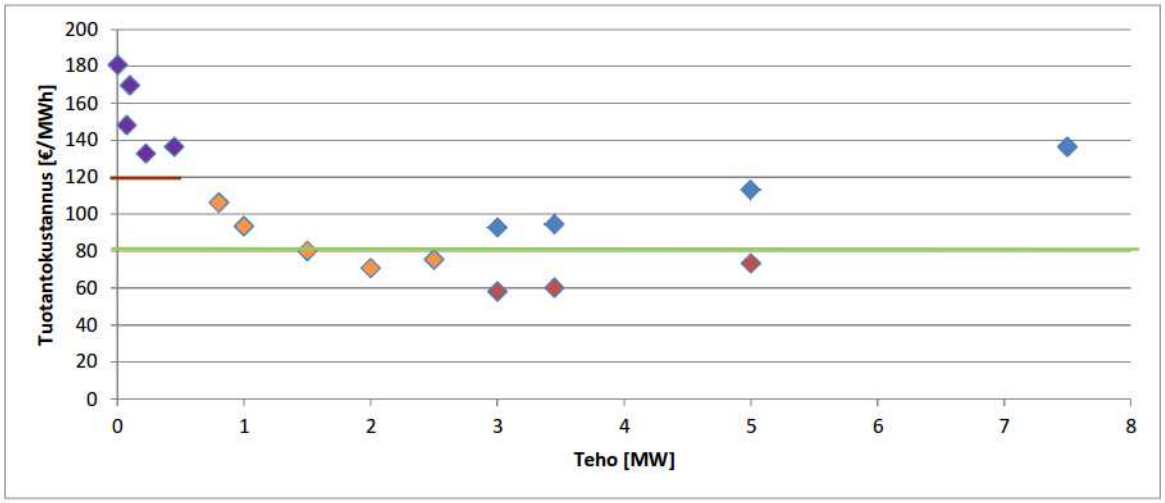
Voimalakoon merkitystä tuulivoimatuotannon kannattavuuteen voidaan tarkastella kahdella eri tasolla: toisaalta eroina eri kokoluokan tuulivoimaloiden välillä, toisaalta teollisen kokoluokan tuulivoimaloiden koon kasvun kautta.

Kuten aiemmin kappaleessa 2.1.1.1 kuvattiin, on teollisen kokoluokan voimaloiden kasvu ollut viime vuosina merkittävää. Niin voimaloiden napakorkeudet kuin roottoreiden halkaisijat ovat kasvaneet. Korkeammalla napakorkeudella päästään korkeammalle tuulennopeuden tasolle ja suuren roottorihalkaisijan ansioista voimala pystyy muuntamaan enemmän tuulen kineettistä energiaa sähköenergiaksi. Suomen kaltaisissa olosuhteissa koon kasvu on merkinnyt sitä, että tuulivoimaloiden roottorit sijoittuvat metsärajan yläpuolelle parempiin tuuliolosuhteisiin. Isommat roottorikoot myös soveltuvat hyvin Suomen kaltaisille matalille tuulennopeuksille.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kuvassa 2-10 on havainnollistettu sähkön tuotantokustannusta eri voimalakokoluokilla. Arviot investointi-, käyttö- ja kunnossapitokustannuksista perustuvat konsultin arvioon[4]. Karkeissa tuotantolaskelmissa käytetyt tuulennopeusarvot perustuvat maatuulivoiman osalta Tuuliatlaksen Viikkiin antamiin nopeusarvoihin. Punaisella pisteellä kuvatuille teollisen kokoluokan voimaloille on käytetty tuulennopeutta korkeudella 150 m maanpinnasta (8 m/s), oransseille korkeudella 100 m (7,3 m/s) ja violeteille pien- ja keskikoon tuulivoimaloille korkeudella 50 m (6,2 m/s). Sinisellä merkityille teollisen koon voimaloille on oletuksena käytetty arviota investointikustannuksesta merelle. Merituulivoimarakentamisen oletetaan olevan noin kaksi kertaa kalliimpaa kuin maalle rakentamisen[5]. Yleisesti ottaen merelle rakennettavat voimalat ovat teholtaan suuria. Näille voimaloille on käytetty tuulennopeusarviona 8,8 m/s. Syöttötariffin tämän hetkinen taso, 83,5 €/MWh, on merkitty kuvaan vihreällä viivalla.

Kuvaan 2-10 on ruskealla viivalla merkitty sähkönkokonaishintataso 120 €/MWh[6]. Tätä voi käyttää vertailukohtana arvioitaessa omaan käyttöön, kuten kotitalouksiin, rakennetun pientuulivoimatuotannon kannattavuutta. Kuvasta voidaan näin havaita pien- sekä pienemmän keskikokoluokan tuulivoimatuotannon heikko kannattavuus. Tämän kokoinen tuulivoimatuotanto onkin toteuttajalleen kannattavaa paikoissa, joissa sähkön vaihtoehtoiskustannus on korkea. Käytännössä tällaisia paikkoja esimerkiksi Helsingin alueella ovat saaret, joihin sähkönjakeluverkko ei ulotu, tai esimerkiksi veneiden kaltaiset liikkuvat sähkönkulutuspisteet.



Kuva 2-10. Tuulivoiman suuntaa antavia tuotantokustannuksia eri teholuokan voimaloille. Kuvaan on koottu esimerkkejä eri kokoluokan voimaloista. Syöttötariffin tämän hetkinen taso 83,5 €/MWh on merkitty kuvaan vihreällä viivalla. Tulevan tuotantotuen tasosta ei ole tietoa.

Kuva 2-10 myös havainnollistaa merituulivoiman kannattavuutta koskevaa haastetta huomioiden sen kustannusrakenteen ja nykyisen tukitason Suomessa. Suomen Hyötytuuli Oy:n Porin Tahkoluodon hankkeelle myönnettiin 2014 loppuvuodesta 20 miljoonan euron investointituki (*Työ- ja elinkeinoministeriö 2014*). Myönnetyllä tuella on tarkoitus kattaa maatuulivoimaan nähden ylimääräiset kustannukset ja mahdollistaa näin hankkeen toteutus.

[4] Todelliset investointi- sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat aina hankekohtaisia ja tarkentuvat hankkeen suunnittelun ja hankintojen myötä. Käytetyt luvut ovat konsultin arvioita keskimääräisistä kustannuksista.
[5] Todellinen investointikustannus on aina hankekohtainen ja selviää suunnittelun edetessä. Merkittävimmät erot kustannuksissa maatuulivoimaan nähden syntyvät tyypillisesti meriperustuksista ja sähkönsiirtoyhteydestä. Myös käyttö- ja kunnossapitokustannus merituulivoimassa on korkeampi. Sitä ei ole huomioitu kuvaajassa, minkä vuoksi kuvaajan kustannuksia tuleekin merituulivoiman osalta pitää vain suuntaa antavana.
[6] Sähkönkokonaishinta-arvion lähteenä on käytetty Energiaviraston tilastointia (2015)

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kuvasta 2-10 voidaan toisaalta myös havaita se, kuinka tällä hetkellä Suomeen rakennettavat noin 3–4 MW voimalat ovat kustannustehokkuudeltaan edullisimpia. Suuren, yli 7 MW, kokoluokan pääasiallinen käyttötarkoitus on merellä hyvin kovatuulisilla alueilla.

3 TUULIVOIMA SUOMESSA

3.1 Tuulipuistot ja tuulivoimatuotanto

3.1.1 Suomi

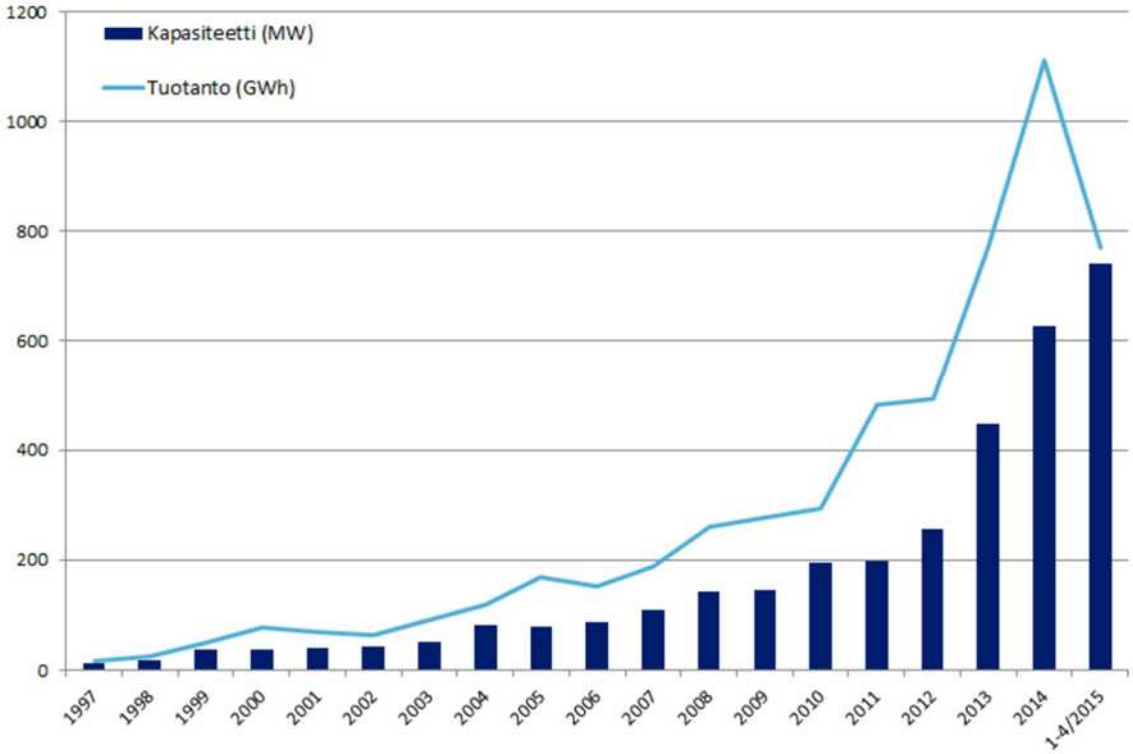
3.1.1.1 Poliittiset tavoitteet

Euroopan unionin päätökset ohjaavat Suomen energiapolitiikkaa. Euroopan unioni on asettanut tuotettua energiaa koskevan tavoitteen, jonka mukaan uusiutuvan energiatuotannon osuus kokonaistuotannosta vuonna 2020 on 20 %. Suomen osuus tästä tavoitteesta on tuottaa uusiutuvalla energialla 38 % energian loppukulutuksesta vuonna 2020. Vuonna 2013 päivitetyn kansallisen energia- ja ilmastostrategian *(Työ- ja elinkeinoministeriö 2013)* mukaan Suomessa tuulivoimalla tuotetun sähköenergian tavoite vuodelle 2025 on 9 terawattituntia (TWh) tuotettua sähköenergiaa. Aiempi tavoite vuodelle 2020 on tuottaa sähköä tuulivoimalla 6 TWh, mikä vastaa noin 2000 megawattia (MW) asennettua tehoa. *(Työ- ja elinkeinoministeriö 2008)*. Vuoden 2008 ilmasto- ja energiastrategiassa määriteltiin myös tavoite energiaomavaraisuuden turvaamisesta, jonka saavuttamista edistää sekä hajautettu että pienimuotoinen sähköntuotanto.

3.1.1.2 Tuulivoimakapasiteetti ja -tuotanto

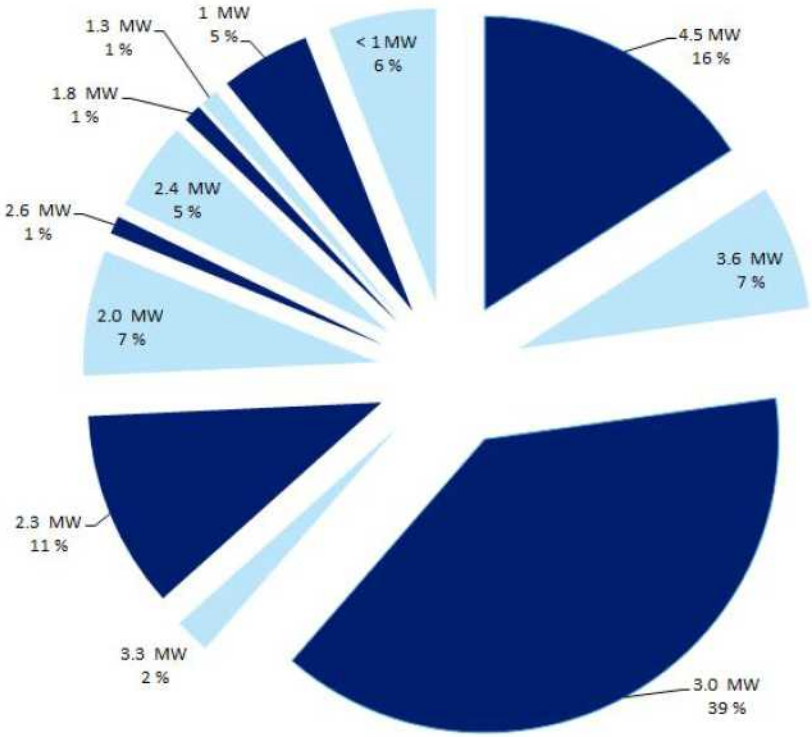
Vuonna 2014 Suomessa tuotettiin sähköä tuulivoimalla 1,1 TWh, joka vastaa noin 1,3 % sähkön kokonaiskulutuksesta. 1,1 TWh riittää kattamaan noin 500 000 kerrostalokaksion vuotuisen sähkönkulutuksen. Tuulivoiman rakentaminen on kasvanut Suomessa vahvasti viime vuosien aikana. Esimerkiksi vuonna 2014 tuulivoimalla tuotetun sähkön määrä kasvoi noin 43 % vuodesta 2013. *(Suomen tuulivoimayhdistys ry 2015b)* Suomen tuulivoimalla tuotetun sähkön ja tuulivoimakapasiteetin kehitys on esitetty kuvassa 3-1.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 3-1. Suomen toiminnassa olevien tuulivoimaloiden kapasitetti ja vuosituotanto. *(*Muokattu lähteestä *VTT 2015; Energiateollisuus; Ilmatieteenlaitos; tiedot tuottajilta)*

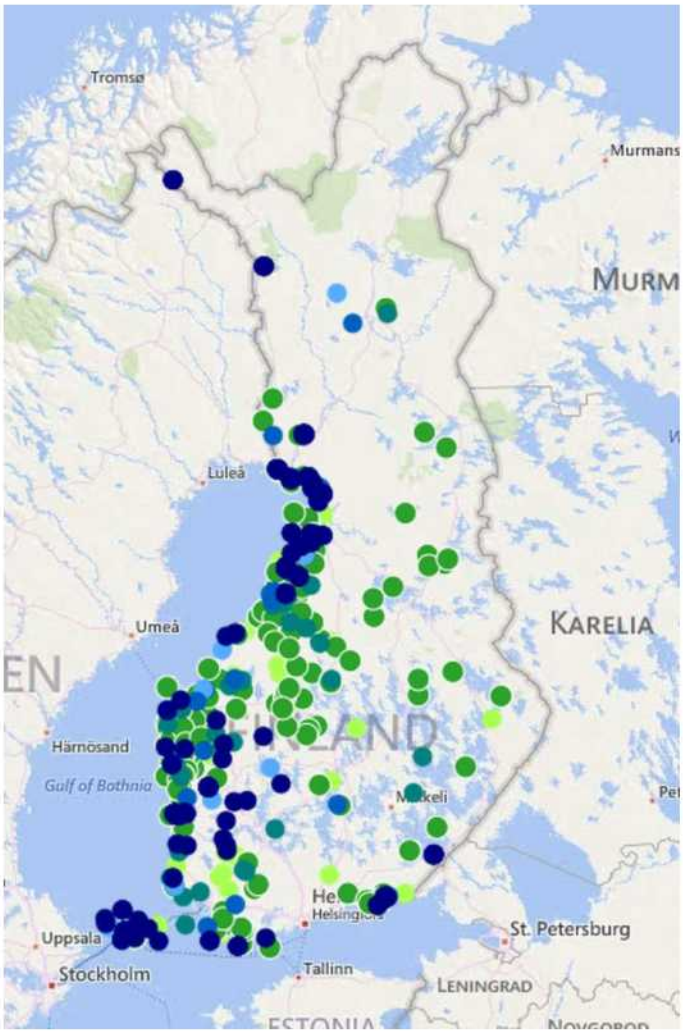
Suomessa asennettujen tuulivoimaloiden koko on ollut kasvussa. Vuoden 2013 loppuun mennessä asennettujen tuulivoimaloiden keskiteho oli 2,1 MW, kun taas esimerkiksi vuonna 1991 asennettu keskiteho oli vain 170 kW. Eri voimalakokojen osuudet kokonaiskapasiteetista on havainnollistettu kuvassa 3-2. Kaikki pientuulivoimalat ja käytettynä hankitut voimalat eivät sisälly tilastoihin. *(Turkia & Holttinen 2011)*



Kuva 3-2. Suomessa olevien tuulivoimaloiden koot vuoden 2013 lopussa. *(*Muokattu lähteestä *VTT 2014)*

Copyright © Pöyry Finland Oy

Suomen tuulivoimakapasiteetti vuoden 2014 lopussa oli 627 MW, yhteensä 260 tuulivoimalaa. Suunnitteilla olevien tuulivoimahankkeiden kokonaisteho on huhtikuussa 2015 yli 11 000 megawattia tehoa, joista merelle on suunniteltu noin 2 200 megawattia. Suunnitteilla oleva kokonaiskapasiteetti on hankekehityksen eri vaiheissa, joten lopullinen toteutettavissa oleva potentiaali on esitettyä jonkin verran pienempi. Tämänhetkinen tuotanto Suomessa on painottunut rannikon läheisyyteen, mitä on havainnollistettu kuvassa 3-3. *(Suomen tuulivoimayhdistys ry 2015a)*



Kuva 3-3. Suomen rakennetut, rakenteilla olevat ja suunnitteilla olevat tuulipuistohankkeet. Tummansiniset pisteet kuvaavat toiminnassa olevia tuulivoimalaitoksia ja vaaleamman siniset pisteet kuvaavat rakenteila olevia tuulivoimahankkeita. Vihreät pisteet edustavat suunnitteluvaiheessa olevia hankkeita. *(Suomen tuulivoimayhdistys ry 2015a)*

3.1.2 Tuulivoima Uudellamaalla

Uudellamaalla on toiminnassa viisi teollisen kokoluokan tuulivoimalaa ja hankkeita on kehitteillä sekä maalla että merellä. Inkoossa on toiminnassa yksi kahden megawatin tuulivoimala ja Hangossa yksi kahdeksan megawatin tuulipuisto *(Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2015a)*. Hangon tuulipuistolle suunniteltiin laajennusta, mutta laajennuksen kehitys lopetettiin *(Hangon kaupunki & Oy Wixplan Ab 2014)*. Raaseporiin on suunniteltu kahta hanketta, mutta kumpaakaan ei tällä hetkellä kehitetä aktiivisesti *(Ilmatar Windpower Oyj 2014b; Ilmatar Windpower Oyj 2014c)*. Inkoon ja Raaseporin kuntien alueella kehitetään merituulivoimahanketta, jonka suunnitelma käsittää tällä hetkellä noin 60 voimalaa. Hanke on läpikäynyt YVA-menettelyn ja sijoittuu osaksi

Copyright © Pöyry Finland Oy

voimassa olevan maakuntakaavan mukaiselle tuulivoima-alueelle *(Suomen Merituuli Oy 2010; Suomen Merituuli Oy 2015)*. Loviisaan on suunnitteilla ainakin yksi tuulipuisto, joka koostuisi yhdeksästä voimalasta *(Ilmatar Windpower Oyj 2014a)*. Mäntsälään on suunniteltu yhden tuulivoimalan rakentamista *(Ramboll Finland Oy & Mäntsälän Sähkö Oy 2015)*.

3.1.3 Tuulivoima Helsingissä

Helsingin kaupungin alueella on ennen tätä selvitystäkin tutkittu mahdollisuuksia tuulivoiman käytölle. Uudenmaan tuulivoimaselvitys koskee koko Uudenmaan aluetta ja se on tehty Uudenmaan 4. vaihemaakuntakaavan valmistelua varten *(Uudenmaan liitto 2013)*. Vuonna 2011 julkaistiin Etelä-Suomen yhteistoiminta-alueen tuulivoimaselvitys 2010, jossa yhtenä tutkittuna alueena on Uusimaa *(Uudenmaan liitto 2011)*. Helsingin merialueita tarkasteleva Tuulivoimaloiden teknistaloudellinen sijoituspaikkaselvitys valmistui vuonna 2000 *(Electrowatt-Ekono Oy 2000)*. Lisäksi vuonna 2003 valmistui voimassa olevaa maakuntakaavaa varten tehty tuulivoimaselvitys, joka tarkastelee Uudenmaan merituulivoima-alueita *(Uudenmaan liitto 2003)*.

Helsingin kaupungin alueella on tällä hetkellä rakennettuna vain pientuulivoimalaitoksia *(Gardenia-Helsinki Oy 2015; Helsingin kaupunki 2015a; Suomen tuulivoimayhdistys ry 2015a; Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2009)*.

Viherkeskus Gardenian pihassa on pientuulivoimala, jonka nimellisteho on 1,8 kW[7] ja huipputeho 2,4 kW. Voimalan roottorin halkaisija 3,7 metriä. Voimalan tuottama sähkö käytetään Gardenian omassa kulutuksessa. Keskimääräinen vuosituotto on ollut 760 kWh vuosien 2008–2014 aikana. Tämä vastaa noin puolta pienen kerrostaloasunnon vuosittaisesta sähkönkulutuksesta. Voimala oli vikaantunut muutamia kuukausia vuosina 2009 ja 2010, mikä laskee keskimääräistä vuosituottoa. *(Gardenia-Helsinki Oy 2015)*

Linnanmäen huvipuistossa on kaksi tuulivoimalaa, jotka on rahoitettu Helsingin Energian Ympäristöpennisähkötilin lahjoituksella. Voimalat sijaitsevat vuoristoradan päällä (*Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2009)*. Harakan luontokeskuksessa on neljän kilowatin tuulivoimala (*Hänninen 2015)*. Stadin ilmasto -internetsivujen mukaan voimala tuottaa vuodessa noin 5,5 MWh sähköä luontokeskuksen omaan käyttöön *(Helsingin kaupunki 2015a)*.

Lisäksi energiayhtiö St1 avasi vuonna 2008 Helsingin Vallilaan jakeluaseman, jonka katolle asennettiin kaksi pientuulivoimalaa kompensoimaan jakeluaseman sähkönkulutusta. Näiden pientuulivoimaloiden sekä katolle asennettujen aurinkopaneelien yhteistuotannoksi arvioitiin noin 12 MWh vuodessa *(St1 2008)*. St1:llä on pientuotantoa myös Helsingin Herttoniemessä. Ympäristötalon katolla on neljä pystyakselista tuulivoimalaa *(Helsingin kaupunki 2015b)*. Niillä tuotettua sähköä on ollut tarkoitus hyödyntää ympäristötalon turvavalaistuksessa ja niiden sähköntuotanto onkin pienimuotoista *(Forsman, J. 2012)*.

[7] Pientuulivoimaloiden nimellisteho ilmoitetaan tyypillisesti tuulennopeudelle noin 12 m/s.

Copyright © Pöyry Finland Oy

3.2 Tuulivoimaa koskeva lainsäädäntö

3.2.1 Syöttötariffi

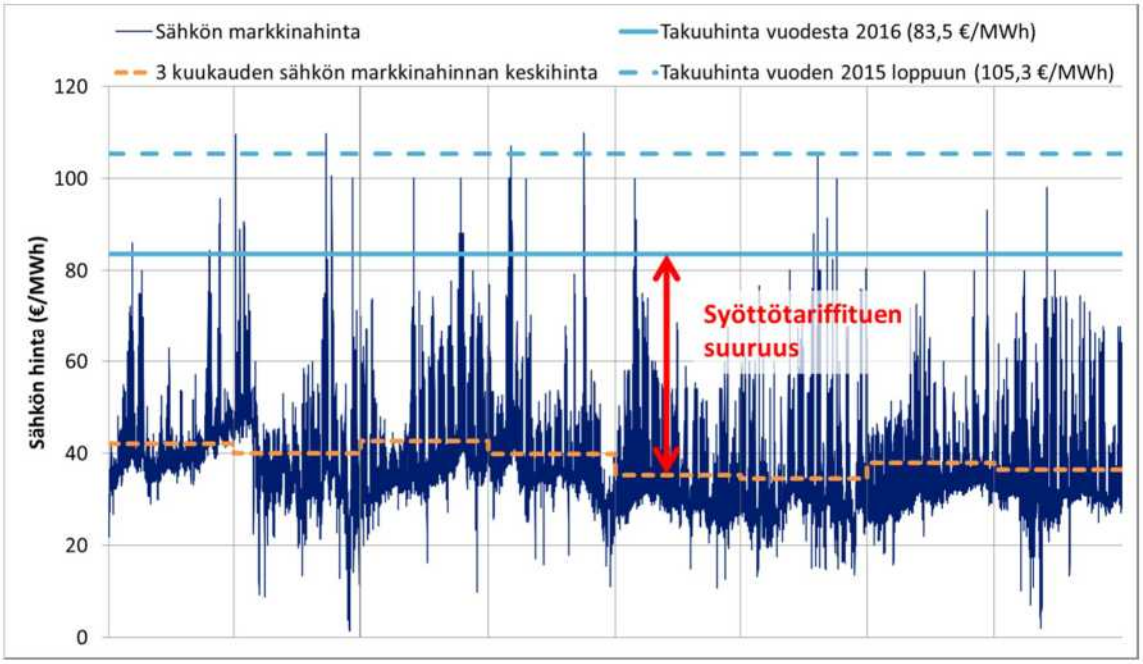
- Tuulivoimasähköntuottajan on mahdollista saada takuuhinta tuottamastaan sähköstä. Takuuhinta on 83,5 €/MWh vuodesta 2016 eteenpäin (105,3 €/MWh vuoden 2015 loppuun).
- Valtion maksaman syöttötariffin suuruus on takuuhinnan ja sähkön markkinahinnan erotus.
- Syöttötariffitukea voi saada enintään 12 vuotta ja tuen piiriin hyväksytään korkeintaan 2500 MVA:n edestä tuulivoimaloita.

3.2.1.1 Nykytilanne

Suomessa on laissa *(1396/2010)* säädetty tukijärjestelmä uusiutuvalla energialla tuotetulle sähkölle syöttötariffin muodossa. Tukijärjestelmän tarkoituksena on esimerkiksi sähkön tuotannon omavaraisuuden kasvattaminen ja uusiutuvan energian kilpailukyvyn kasvattaminen suhteessa muihin energiamuotoihin. Tukijärjestelmässä on mukana energianlähteistä tuulivoima, biokaasu ja puupolttoaine. Tuulivoimalan tukijärjestelmään hyväksymiseksi tulee täyttää seuraavat ehdot: tuulivoimala ja sen osat ovat uusia, tuulivoimalan koko on yli 0,5 megavolttiampeeria (MVA) sekä tuulivoimala ei saa olla mukana jo muissa valtion tukijärjestelmissä. Muiden valtiontukia saavien tuulivoimaloiden kohdalla on kuitenkin poikkeus, koska merituulivoiman kokeiluhankkeelle voidaan maksaa sekä syöttötariffia että investointitukea. Syöttötariffijärjestelmään voidaan nykyisen lainsäädännön voimassa ollessa hyväksyä tuulivoimaa yhteensä maksimissaan 2500 MVA.

Lain *(1396/2010)* mukaan sähköntuottajalle, jonka voimalaitos on hyväksytty syöttötariffijärjestelmään, maksetaan takuuhinnan ja tuulivoimalan sijaintia vastaavan sähkömarkkinahinnan kolmen kuukauden keskiarvon erotus. Sähkön takuu- eli tavoitehinta on 83,5 €/MWh. Vuoden 2015 loppuun asti tavoitehinta on 105,3 €/MWh. Korotettua tavoitehintaa on saanut maksimissaan kolmen vuoden ajan. Sähkömarkkinahinnan kolmen kuukauden keskiarvon laskiessa alle 30 euroon, maksetaan syöttötariffina takuuhinnan ja 30 euron erotus megawattituntia kohden. Syöttötariffia maksetaan enintään 12 vuoden ajalta. Syöttötariffituen suuruuden määräytymistä on havainnollistettu kuvassa 3-4.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 3-4. Havainnollistus syöttötariffituen suuruuden määräytymisestä. Syöttötariffituen osuus tuulivoimasähköntuottajan saamasta takuuhinnasta on takuuhinnan ja sähkön markkinahinnan kolmen kuukauden keskiarvon erotus.

Jotta tuulivoimasähköntuottajalla olisi ennen hanketta koskevan investointipäätöksen tekoa varmuus hankkeensa pääsystä syöttötariffijärjestelmään, voi tuottaja hakea hankkeelleen ennakkotietoa sekä kiintiöpäätöstä. Ennakkopäätöksessä otetaan kantaa siihen, täyttääkö hanke tuotantotukilaissa säädetyt toiminnalliset ja taloudelliset edellytykset. Kiintiöpäätös taas toimii vahvistuksena sille, että hanke mahtuu syöttötariffijärjestelmässä määrättyyn kokonaiskapasiteettiin. Kiintiöpäätös on voimassa kaksi vuotta ja sitä voi hakea, kun tuulivoimaloita koskevat maankäyttö- ja rakennuslaissa (*132/1999*) tarkoitetut rakennusluvat tai toimenpideluvat ovat lainvoimaisia ja sähköverkonhaltijan kanssa on tehty sähkömarkkinalaissa tarkoitettu, tuulivoimalan liittämisen sähköverkkoon mahdollistava sopimus.

Toukokuun 2015 hallitusneuvotteluiden tuloksena julkaistiin hallitusohjelma (*Valtioneuvoston kanslia 2015*), jonka mukaan syöttötariffijärjestelmän tuulivoimakiintiötä rajoitetaan. Ohjelman mukaisesti hallitus antaa mahdollisimman pian esityksen syöttötariffijärjestelmän tuulivoimakiintiön rajoittamisesta 2500 MVA:sta noin 2000 MVA:han. Lyhyen aikavälin sisällä hallitusohjelman julkistamisesta Energiavirastoon jätettiin huomattava määrä tuulivoimahankkeiden kiintiöhakemuksia. 15.9.2015 tilanteen mukaan syöttötariffijärjestelmään hyväksyttyä toiminnassa olevaa tuulivoimatuotantokapasiteettia oli yhteensä 975 MVA, voimassa olevia kiintiöpäätöksiä 881 MVA, käsittelyssä olevia tariffin hyväksymispäätöksiä 34 MVA ja käsittelyssä olevia kiintiöhakemuksia 1467 MVA (*Energiavirasto 2015*). Siinä vaiheessa, kun voimassa olevia kiintiöpäätöksiä ja syöttötariffijärjestelmään hyväksyttyä tuulivoiman tuotantokapasiteettia on yhteensä 2500 MVA:n edestä, kiintiö on täynnä, eikä uusia kiintiöpäätöksiä myönnetä. Kiintiön täytyttyä kiintiön ulkopuolelle jäävät hakemukset hylätään.

Työ- ja elinkeinoministeriö lähetti 18.6.2015 lausunnolle luonnoksen hallituksen esityksestä syöttötariffijärjestelmää koskevan lain muuttamiseksi (*Työ- ja elinkeinoministeriö 2015*). Esityksessä ei ehdoteta muutoksia syöttötariffijärjestelmään hyväksyttävien tuulivoimaloiden 2500 megavolttiampeerin (MVA) kokonaiskapasiteettiin vaan sen mukaan tuulivoimalan hyväksyminen syöttötariffijärjestelmään edellyttäisi jatkossa voimassa olevaa kiintiöpäätöstä. Kiintiöpäätöksiä ei enää tehtäisi sen jälkeen, kun syöttöta-

Copyright © Pöyry Finland Oy

riffijärjestelmään hyväksyttyjen ja kiintiöpäätöksen saaneiden hankkeiden yhteenlaskettu nimellisteho ylittäisi ensimmäisen kerran 2500 MVA:n rajan. Tavoiteltuja säästöjä syntyy, kun kaikki kiintiöpäätöksen saaneet tuulivoimalat eivät toteudu kiintiöpäätökseen liittyvässä kahden vuoden määräajassa. Lisäksi säästöä syntyy siitä, että tuulivoimaloiden nimellistehot (MVA-tehot) poikkeavat oletettua enemmän voimaloiden sähköntuotantotehosta (MW-tehoista), jolloin tuulivoiman tosiasiallinen sähköntuotanto jää selvästi alle alun perin lasketun kuuden terawattitunnin vuosituotannon. Maksettavan tuotantotuen määrä perustuu tosiasialliseen sähkötuotantoon. Lakimuutoksen on tarkoitus tulla voimaan syksyn 2015 aikana.

3.2.1.2 Syöttötariffijärjestelmän tulevaisuus

Toukokuussa 2015 julkaistun hallitusohjelman mukaan hallitus selvittää vaalikauden aikana tuulivoiman edistämistä kustannustehokkaasti (*Valtioneuvoston kanslia 2015*). Yksi hallitusohjelman (*2015*) kärkihankkeista koskee hiiletöntä, puhdasta ja uusiutuvaa energiaa. Kärkihankkeen osalta todetaan, että päästöttömän, uusiutuvan energian käyttöä lisätään kestävästi siten, että sen osuus 2020-luvulla nousee yli 50 prosenttiin. Lisäksi todetaan, että ”uusiutuvan energian lisäämisen ja EU:n suuntaviivat täyttävä tuki perustetaan teknologianeutraalisuuteen ja taloudelliseen edullisuusjärjestykseen”. Syöttötariffijärjestelmää koskevan lain muutosta koskevassa tiedotteessaan Työ- ja elinkeinoministeriö (*2015*) on tarkentanut, että hallitusohjelman mukaisen uuden tukijärjestelmän valmistelu alkaa syksyllä 2015.

Käytännössä hallitusohjelman maininta uuden tukijärjestelmän teknologianeutraaliudesta tarkoittaa tuulivoimatuotannon kannalta sitä, että tuulivoima asetetaan rinnan muiden uusiutuvan energian tuotantomuotojen kanssa. Tukijärjestelmä on tarkoitus rakentaa niin, että tuotantomuodosta riippumatta uusiutuvan energianhankkeet toteutuvat ja saavat tukea edullisuusjärjestyksessään. Tukimuotoja on erilaisia (katso kappale 2.2.2), eikä tulevan tukijärjestelmän muodosta tai tuen tasosta vielä tällä hetkellä ole tietoa.

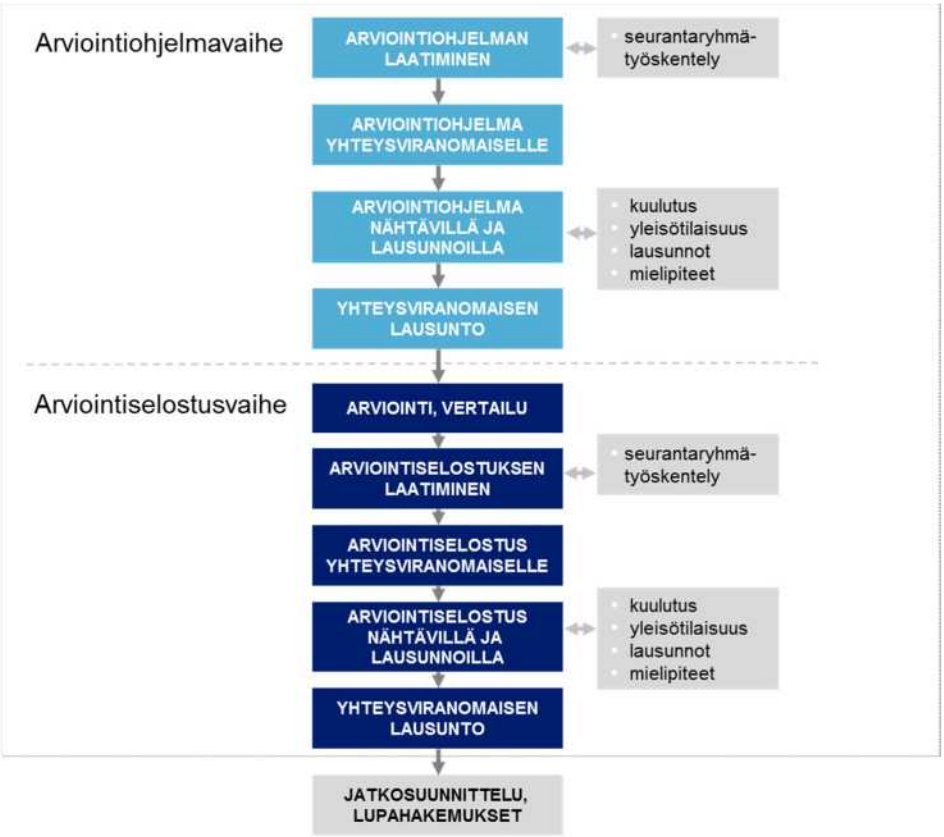
3.2.2 Ympäristövaikutusten arviointimenettely

Tuulivoimahankkeiden rakentamista koskee laki *(468/1994)* ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (YVA-menettely). Lain tarkoituksena on edistää hankkeiden suunnittelussa ja päätöksissä tehtävää ympäristövaikutusten arviointia. Lisäksi sen tavoitteena on hankkeen vahingollisten ympäristövaikutuksien ehkäiseminen tai vähentäminen sekä kansalaisten tiedonsaannin ja osallistumismahdollisuuksien edistäminen *(Ympäristöministeriö 2012)*. Valtioneuvoston asetuksen *(713/2006)* mukaan YVA-menettely täytyy suorittaa tuulivoimahankkeelle, jossa on vähintään kymmenen kappaletta voimaloita tai hankkeen voimaloiden yhteenlaskettu teho on vähintään 30 MW. ELY-keskus voi määrätä YVA-menettelyn suoritettavaksi edellä mainittua pienemmille hankkeille, jos niillä on todennäköisesti merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia *(Ympäristöministeriö 2012)*. Hankkeiden ympäristövaikutukset tulee selvittää YVA-menettelyn mukaisesti ennen tuulivoimaloiden rakentamista *(468/1994)*.

YVA-menettely alkaa, kun yhteysviranomaiselle jätetään arviointiohjelma (YVA-ohjelma). Tuulivoimaa koskevissa hankkeissa yhteysviranomainen on elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus), jonka toimialue vastaa hankealueen sijaintia. Arviointiselostus (YVA-selostus) laaditaan tehdyn YVA-ohjelman ja yhteysviranomaisen lausunnon perusteella. Selostuksessa selvitetään hankkeen mahdollisten vaihtoehtojen ympäristövaikutukset. YVA-menettely päättyy, kun yhteysviranomainen antaa lausuntonsa. Hankkeen toteuttamisen vaatimien lupien myöntämisessä tulee tarvittaessa

Copyright © Pöyry Finland Oy

tarkastella YVA-selostusta ja siitä yhteysviranomaisen antamaa lausuntoa. Arviointiohjelman ja arviointiselostuksen vaiheet on esitetty kaaviona kuvassa 3-5.



Kuva 3-5. Kaavio ympäristövaikutusten arviointimenettelyn vaiheista.

3.2.3 Maankäyttö- ja rakennuslaki

3.2.3.1 Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet

Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ovat osa maankäyttö- ja rakennuslain (*132/1999*) mukaista alueidenkäytön suunnittelujärjestelmää. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan tavoitteet on otettava huomioon ja niiden toteuttamista on edistettävä maakunnan suunnittelussa, kuntien kaavoituksessa ja valtion viranomaisten toiminnassa. Alueidenkäyttötavoitteissa todetaan erityisesti tuulivoimaa koskien, että tuulivoimarakentaminen tulisi tehdä usean voimalan kokonaisuuksissa. Lisäksi todetaan, että maakuntakaavoituksessa on osoitettava tuulivoiman hyödyntämiseen parhaiten soveltuvat alueet. Myös muut alueidenkäyttötavoitteet koskevat tuulivoimaa hankkeesta riippuen.

3.2.3.2 Maakuntakaava

Tuulivoimarakentamisen kokonaisuudesta maakunnassa määrää maakuntakaava. Tuulivoimaa käsittelevät maakuntakaavat ohjaavat seudullisesti merkittävää tuulivoimarakentamista valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden perusteella. Seudullisesti merkittävän tuulivoima-alueen koko on yleensä vähintään 8–10 voimalaa. Tämä koko kuitenkin vaihtelee maakunnittain. Seudullisesti merkittävän kokoinen tuulivoimahanke tulee aina rakentaa maakuntakaavassa osoitetulle tuulivoima-alueelle, jos maakuntakaavassa osoitetaan seudullisesti merkittäviä tuulivoima-alueita. Lisäksi maakuntakaavoissa voidaan antaa tuulivoima-alueiden suunnittelua varten erilaisia rajoituksia ja suojelumääräyksiä, kuten voimalan korkeusrajoitus tai alueen ympäristöön liittyvä suojelumääräys. Maa-

Copyright © Pöyry Finland Oy

kuntakaavaan nähden tuulivoima-alue tarkentuu yleiskaavassa ja asemakaavassa, koska maakuntakaava toimii yleiskaavan ja asemakaavan suunnittelun ohjeena. Yleiskaavassa ja asemakaavassa osoitetut tuulivoima-alueet saavat erota maakuntakaavassa osoitetuista tuulivoima-alueista, kunhan yleiskaava ja asemaakaava eivät ole maakuntakaavan kanssa ristiriidassa. (*Ympäristöministeriö 2012*)

3.2.3.3 Yleis- ja asemakaava

Yleiskaava on yleispiirteinen maankäytön suunnitelma, jolla ohjataan yhdyskunnan eri toimintojen sijoittumista kunnassa. Yleiskaava voidaan myös laatia osayleiskaavana, jolloin se koskee kunnan tiettyä osaa. Yleiskaava ohjaa asemakaavoitusta.

Maankäyttö- ja rakennuslakia muutettiin 2011 niin, että tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavalla yleiskaavalla voidaan tietyin edellytyksin suunnitella tuulivoimarakentamista siten, että rakennusluvat tuulivoimaloille voidaan myöntää suoraan sen nojalla. Asemakaavoitus ei näissä tapauksissa ole tarpeen. Muutoksen jälkeen Suomessa on myönnetty useimmille teollisen kokoluokan tuulipuistohankkeille rakennusluvat yleiskaavan perusteella.

Edellytyksenä tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavan yleiskaavan laatimiselle on, ettei alueella ole sellaista maankäyttöä, jonka yhteensovittaminen tuulivoimarakentamisen kanssa vaatisi asemakaavoitusta. Tuulivoimarakentamista suoraan ohjaava yleiskaava soveltuu siten tuulivoimarakentamisen ohjaukseen vesialueilla ja sellaisilla maa-alueilla, jotka sijaitsevat riittävän etäällä taajama-asutuksesta ja muusta siihen rinnasteisesta tai muita erityispiirteitä omaavasta maankäytöstä. Tuulivoimarakentamista suoraan ohjaavassa yleiskaavassa tulee yksilöidä riittävällä tarkkuudella voimaloiden sijainti, jotta rakennusluvat voidaan myöntää sen perusteella. Kaavamääräykseen voidaan ottaa myös tuulivoimaloiden sijoittelua koskevia periaatteita ja siinä määritellään tuulivoimalan suurin sallittu kokonaiskorkeus. *(Ympäristöministeriö 2012)*

Asemakaavaa tarvitaan, kun tuulivoimarakentamisen ja muun maankäytön yhteensovittaminen sitä edellyttää. Rakennusta ei saa rakentaa vastoin asemakaavaa. Silloin, kun rakennusluvan myöntäminen perustuu suoraan asemakaavaan, on kaavassa osoitettava tuulivoimaloille rakennusala ja annettava tuulivoimaloiden ulottuvuutta koskevia määräyksiä sekä esitettävä tuulivoimaloiden vaatimat teknisen huollon ja sähkönsiirron järjestelyt. *(Ympäristöministeriö 2012)*

Jos tuulivoimahanke sijoittuu suunnittelutarvealueelle, hankkeen toteuttaminen edellyttää sen laadusta ja sijaintipaikasta riippuen joko asemakaavaa tai suunnittelutarveratkaisua.

3.2.3.4 Rakennuslupa ja toimenpidelupa

Tuulivoimalan rakentamiseen tarvitaan maankäyttö- ja rakennuslain *(132/1999)* mukaisesti joko rakennuslupa tai toimenpidelupa. Käytännössä tuulivoimaloiden rakentaminen vaatii etupäässä rakennuslupaa. Toimenpideluvalla on mahdollista toteuttaa lähinnä pientuulivoimaloita, jotka on tarkoitettu yksityiseen kotikäyttöön.

Sekä rakennuslupaa että toimenpidelupaa haetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta. Lupahakemukseen on liitettävä selvitys siitä, että hakija hallitsee rakennuspaikkaa sekä rakennuksen pääpiirustukset. Hakemukseen tulee liittää myös selvitys hankkeen vaikutuksista maisemaan ja naapureihin. Jos tuulivoimahankkeeseen on sovellettu YVA-menettelyä, tulee lupahakemukseen liittää arviointiselostus ja yhteysviranomaisen siitä antama lausunto. Vastaavasti hakemukseen voidaan liittää myös esimerkiksi len-

Copyright © Pöyry Finland Oy

toestelupa, jos sellainen on jo tuulivoimalalle myönnetty. Rakennuslupahakemuksen käsittelyn yhteydessä hankkeesta kuullaan naapureita ja siitä tiedotetaan myös rakennuspaikalla.

Asemakaava-alueella rakennuspaikan soveltuminen osoitettuun tarkoitukseensa on lähtökohtaisesti ratkaistu kaavassa. Rakennusluvan myöntämisen ehtona on, että tuulivoimala on asemakaavan mukainen. Rakennusluvan ja toimenpideluvan myöntämisen tulee perustua pelkästään lupaedellytysten täyttymiseen, eikä hankkeen tarkoituksenmukaisuutta voida ottaa harkinnassa huomioon.

3.2.4 Pientuulivoiman sähköverovelvollisuus

Uuden lakimuutoksen *(501/2015)* myötä kaikki nimellisteholtaan alle 100 kVA voimalaitokset ovat vapautettu kaikesta sähköverovelvollisuudesta. Omaa käyttöä varten tuotettu sähkö on verovapaata voimalan nimellistehon ollessa yli 100 kVA ja vuosituotannon jäädessä alle 800 000 kWh:iin. Laki *(501/2015)* astui voimaan 1.5.2015, jonka jälkeen vuonna 2015 tämä 800 000 kWh tuotantoraja koskee vain siirtymäajanjaksoa 1.5.–31.12.2015. Edellinen tehoraja verovapautukselle oli 50 kVA, joka on siis vanhentunut eikä ole enää voimassa. *(501/2015; Motiva 2012; Suomen tulli 2015)* Lisäksi kotitalousvähennystä voi saada pientuulivoimalan rakentamiselle (*Verohallinto 2014)*.

3.3 Tuulivoimatuotannon suunnittelun ohjaus Helsingin alueella

3.3.1 Maakuntakaava

Uudellamaalla valmistellaan parhaillaan uutta vaihemaakuntakaavaa. Uudenmaan nykyisissä maakuntakaavoissa on osoitettu merialueita tuulivoimalle. Voimassa olevassa Uudenmaan maakuntakaavassa on yksi merituulivoima-alue, joka sijaitsee Inkoon ja Raaseporin kuntien rajalla. Entisen Itä-Uudenmaan maakunnan[8] maakuntakaavassa tuulivoimalle on kaavoitettu kolme aluetta. *(Uudenmaan liitto 2014a)*. Entisen Itä-Uudenmaan alueella sijaitsevat tuulivoima-alueet ovat liian pieniä täyttääkseen valmisteilla olevan vaihemaakuntakaavan kokovaatimuksia.

Käynnissä oleva uuden vaihemaakuntakaavan suunnittelu pohjautuu sekä lainvoimaisiin maakuntakaavoihin että Uusimaa-ohjelman visioon ja kehittämistavoitteisiin. Tuulivoiman kehittäminen on linjassa Uusimaa-ohjelman kanssa, sillä ohjelman tavoitteisiin kuuluu maakunnan hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. Valmisteilla olevassa vaihemaakuntakaavassa tuulivoimalle osoitetut alueet pohjautuvat Uudenmaan tuulivoimaselvitykseen, jossa on selvitetty tuulivoimalle potentiaalisia alueita.

Uudenmaan tuulivoimaselvitys tehtiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä osassa tuulivoimalle sopivat alueet kartoitettiin paikkatietojen avulla. Tuulivoimalle sopimattomat alueet, kuten maakuntakaavan virkistysalueet ja merikotkien pesäalueet, rajattiin pois. Lisäksi esimerkiksi rakennuksille, teille, rautateille ja sähkövoimalinjoille asetettiin suojavyöhyke, jonka sisälle tuulivoimarakentaminen ei sovellu. Toisessa osassa kartoitettuja alueita, jotka löytyivät ensimmäisessä osassa, tutkittiin tarkemmin. Kolmannessa osassa alueita tarkasteltiin yksityiskohtaisesti. Esimerkiksi tuulivoimahankkeen mahdollinen kustannus, maisemavaikutus, vaikutus kulttuuriperintöön, luontovaikutus, meluhaitta ja suhde yhdyskuntarakenteeseen olivat kolmannen osan tarkastelun kohteita. Kolmannessa vaiheessa tarkasteltiin kahdeksaa aluetta, joista viisi aluetta esitetään vaihemaakuntakaavaluonnoksessa.

[8] Maakuntaliitoksen vuoksi Itä-Uudenmaan maakunta on ollut osa Uudenmaan maakuntaa vuodesta 2011 lähtien.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Valmisteilla olevassa vaihemaakuntakaavassa seudullisesti merkittävän tuulivoima-alueen koko on vähintään 10 voimalaa. Vaihemaakuntakaavan mukaan tuulivoima-alue ei tarvitse olla osoitettuna, jos tuulivoimahanke koostuu enintään yhdeksästä voimalasta. *(Uudenmaan liitto 2014a; Uudenmaan liitto 2015b)*

3.3.2 Helsingin kaupungin rakennusjärjestys

Helsingissä rakennettaessa pitää toimia Helsingin kaupungin rakennusjärjestyksen mukaan. Rakentamisen tulee perustua yleiskaavaan, asemakaavaan ja rakennusjärjestyksen rakentamistapaohjeisiin. Tuulivoimalat edellyttävät joko toimenpide- tai rakennuslupaa. Voimalan ja hankkeen koko sekä sijainti vaikuttavat tarvittavaan lupaan ja lupamenettely onkin aina tapauskohtainen. Rakennusluvan tarpeelle ei siis ole määritelty kokorajaa vaan tarpeen taustalla ovat turvallisuuteen, terveellisyyteen, maisemaan, viihtyisyyteen tai muihin ympäristönäkökulmiin liittyvät syyt (*Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto 2014*).

Helsingin kaupungin rakennusjärjestyksessä *(Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto 2015)* on määrätty, että mastoja vastaavat tekniset pylväät on sijoitettava niin, etteivät ne riko tarpeettomasti maisemaa eivätkä aiheuta haittaa naapureille. Rakennusjärjestyksen mukaan tuulivoimalan etäisyyden tontin rajasta tulee olla vähintään sen kokonaiskorkeuden mukainen. Rakentaminen tätä lähemmäs edellyttää naapuritontin omistajan suostumusta.

Helsingin rakennusvalvonnan kaupunkikuvaneuvottelukunta ja teknillinen neuvottelukunta ovat vuonna 2008 linjanneet tuulivoimaloiden sijoittamista muutaman konkreettisen pientuulivoimahankkeen osalta (*Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto 2008a ja 2008b*). Linjauksen mukaan periaatteena on, että voimalat tulisi sijoittaa esim. teollisuus- tai liikennealueille, joissa on muutenkin melua ja liikettä. Lupatarkastelussa on kaupunkikuvallisen ja maisemallisen tarkastelun ohella tärkeää tarkastella myös mm. laitteiden tuottamaa ääntä.

4 TUULI- JA AURINKOVOIMATUOTANNON SUHDE

Tuuli- ja aurinkovoima ovat kaksi erilaista tapaa tuottaa uusiutuvaa energiaa. Molempia tuotantotapoja voidaan käyttää teollisessa tuotannossa sekä toisaalta pientuotannossa kotitalouksien ja yritysten omakäyttöön. Aurinkovoiman osalta erityisesti jälkimmäinen käyttötapa korostuu. Usein aurinko- ja tuulivoimaa myös hyödynnetään yhdessä pientuotantomittakaavassa.

Aurinkopaneelit ja tuulivoimalat ovat dimensioiltaan hyvin erilaiset. Esimerkiksi 30 kW tuotantoteho tarkoittaa noin 200 m^2 pinta-alaa aurinkopaneeleita tai toisaalta tuulivoimalaa, jonka napakorkeus on noin 15 m ja roottorin halkaisija noin 10 m. Aurinkovoimatuotannon vaatima pinta-ala vaikuttaa sen käyttömahdollisuuksiin teollisessa kokoluokassa. Megawattiluokan aurinkovoimatuotantoyksikkö vaatii huomattavan suuren pinta-alan, mikä rajoittaa sen sijoittamismahdollisuuksia. Toisaalta se sopii erinomaisen hyvin talojen katoille asennettavaksi, myös asuinalueilla, joilla tuulivoimaloiden sijoittaminen voi olla haasteellista niistä syntyvän äänen vuoksi. Aurinkovoimaan ei liity myöskään samanlaisia rajoituksia esimerkiksi suhteessa liikenneväyliin.

Tuulivoimaloiden pinta-alatarve on huomattavasti pienempi. Perustuksen lisäksi tarvitaan tasainen asennusalue, jota kuitenkin voidaan käyttää myös muihin tarkoituksiin tuulivoimaloiden käytön aikana. Tuulivoimalat eivät lähtökohtaisesti estä lähiympäristönsä virkistyskäyttöä. Esimerkiksi virkistysalueelle sijoitettuna tuulivoimaloilla voidaankin helpommin päästä merkittäviin tuotantokokoluokkiin kuin aurinkovoimalla.

Copyright © Pöyry Finland Oy

5 LÄHTÖAINEISTO ALUEIDEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTIIN

Tässä kappaleessa esitellään lähtöaineisto, jota on hyödynnetty aluevyöhykkeiden määrittelyssä sekä erityisesti tuulivoiman sijoitusperiaatteiden ja -mahdollisuuksien tarkastelussa kullakin aluevyöhykkeellä.

5.1 Tuulisuus

Tuuliolosuhteita käytetään tässä selvityksessä tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä mahdollisten tuulivoiman sijoituspaikkojen taloudellista kannattavuutta arvioitaessa. Muut hankkeiden kannattavuuteen vaikuttavat tekijät ovat ajasta tai teknisistä ratkaisuista riippuvaisia.

5.1.1 Tuulisuusarvioissa käytetty laskentamenetelmä

Tässä raportissa esitetyt tuulisuusarviot perustuvat Suomen tuuliatlaksen tuulisuusmallinnuksiin ja tuulienergialaskelmissa yleisesti käytettyyn WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) 11.1 -laskentaohjelmaan. Tuuliatlaksesta saaduista tilastollisista tuulisuuden pistearvoista on WAsP:illa laskettu Helsingin alueellinen tuulisuuskartta käyttäen hyväksi tietoja pinnanmuodoista ja rosoisuusarvoista.

Käytetty menetelmä tuottaa alueellisen keskituulen jakauman, joka ei suoraan ole verrannollinen tuulivoimalaitoksen energiantuotantoon. Laajalla alueella keskituuli on kuitenkin sopiva suure alustavaan tarkasteluun. Tarkempaa kuvausta ja laskelmia varten tarvitaan tuulimittauksia edustavalta sijainnilta mahdollisimman läheltä tarkasteltavaa tuulivoiman sijoitusaluetta.

5.1.2 Tuuliatlastiedostot

Suomen tuuliatlas on Ilmatieteen laitoksen (IL) ja Risø DTU:n (Danmarks Tekniske Universitet) toteuttama tuulienergiakartasto Suomen alueelle. Toisin kuin vuoden 1991 tuuliatlas, uusi, vuoden 2009 tuuliatlas perustuu IL:n AROME-sääennustusmallin simulaatioihin ja niistä WAsP:illa laskettuihin tuulen ilmastollisiin kuvauksiin. AROME:lla on simuloitu viimeisen 50 vuoden ajalta yhteensä 72 kuukauden säätilanteet, joista on edelleen laskettu tuulisuusarvot 2,5 x 2,5 neliökilometrin hilaruutuihin koko Suomen alueelle. Tarkemmalla 250 x 250 metrin hilaruuduilla on erikseen katettu tuulivoiman kannalta kiinnostavia alueita. Tuuliatlas edustaa aikavälin 1989–2007 tuulioloja. *(Suomen tuuliatlas 2009)*

Helsingin tuulisuusarvioita varten valittiin tuuliatlaksesta kaksi hilapistettä, toinen mereltä Isosaaren edustalta ja toinen mantereelta Viikistä. Molemmat pisteet ovat mahdollisimman keskellä tuuliresurssin mallinnettavaa aluetta, mutta edustavat eri tuulisuusolosuhteita. Pisteiden tuulisuusarvoille tehdyn herkkyysanalyysin perusteella lopullisiin tuulisuuskarttoihin valittiin käytettäväksi merellistä sijaintia, millä WAsP mallinsi kaikkiin testattuihin pisteisiin paremmat tulokset kuin mantereen sijainnista.

Copyright © Pöyry Finland Oy

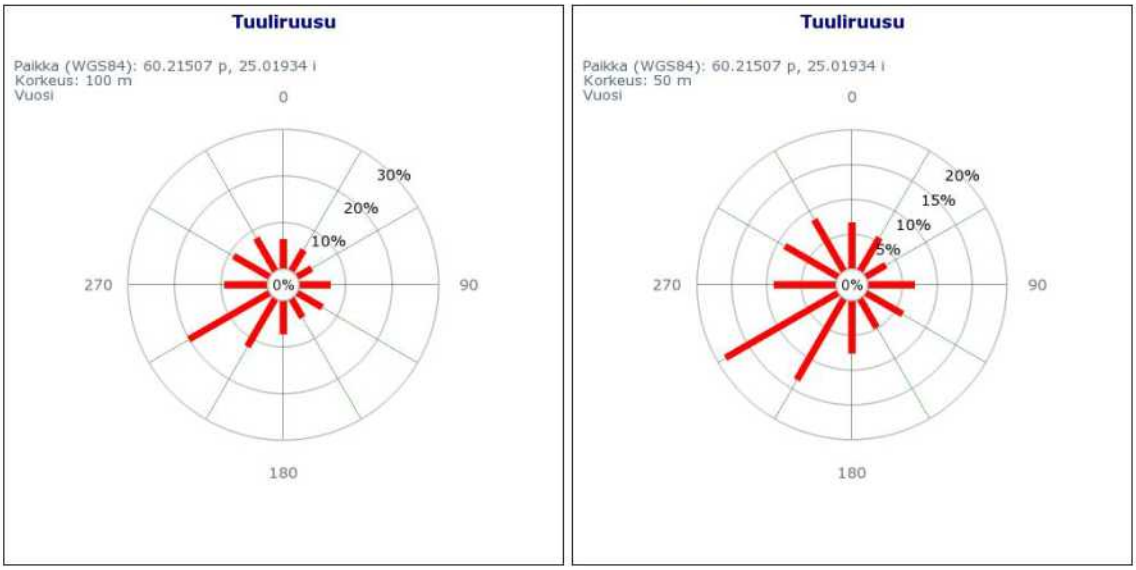
5.1.3 Rosoisuuskartta

WAsP käyttää tuuliatlaksen tietojen lisäksi korkeuskäyrä- ja rosoisuuskarttaa mallintaessaan alueellista tuulijakaumaa. Tässä työssä käytetty kartta ulottuu 10 km Helsingin maa- ja merialueiden ulkopuolelle ja on pinta-alaltaan noin 3000 km^2. Korkeuskäyrät alueelle on 2,5 m välein ja ne ovat Maanmittauslaitoksen tietokannasta. Karttaan lisättiin karkea arvio pinnan rosoisuuden vaihteluista käyttäen seuraavia rosoisuusparametrin arvoja:

Meri, vesistöt	0 m
Pellot, lentokentät	0,03 m
Suot, puistot	0,1 m
Tehdas/teollisuusalueet ja satamat	1 m
Metsät ja urbaanit alueet	1,5 m

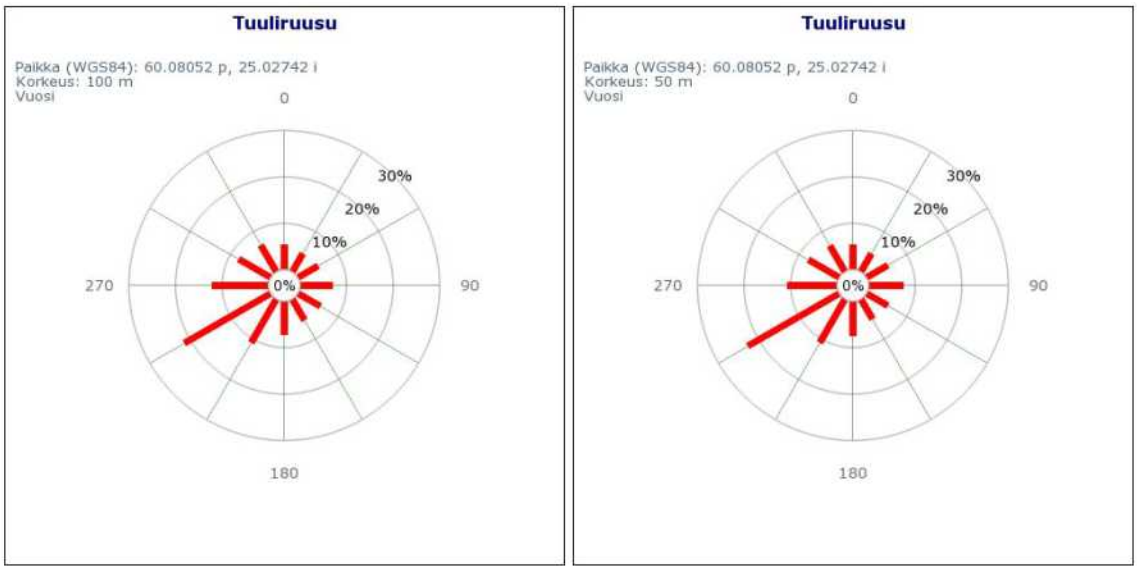
5.1.4 Resurssikartat

Tuuliruusut ovat tuuliatlaksesta samoista hilapisteistä kuin resurssikarttojen tuulisuustiedot. Kuvissa 5-1 ja 5-2 esitetyt tuuliruusut kuvaavat tuulen suuntajakaumaa, eli tuulensuuntien esiintymistiheyksiä näissä pisteissä ja kyseessä olevilla korkeuksilla. Molemmilla korkeuksilla ja sijainneilla tuulen etelä-länsi sektori on vallitseva, eli yleisimmin alueella tuulee lounaasta. Jakauma on 100 m korkeudella sekä 50 m korkeudella merellä pitkälti yhtenevä. 50 m korkeudella maalla jakaumassa on enemmän hajontaa, mutta lounaistuulet ovat myös tässä pisteessä yleisimpiä.



Kuva 5-1. Tuuliruusut Viikistä korkeuksilta 100 m ja 50 m *(Suomen tuuliatlas, 2009)*.

Copyright © Pöyry Finland Oy

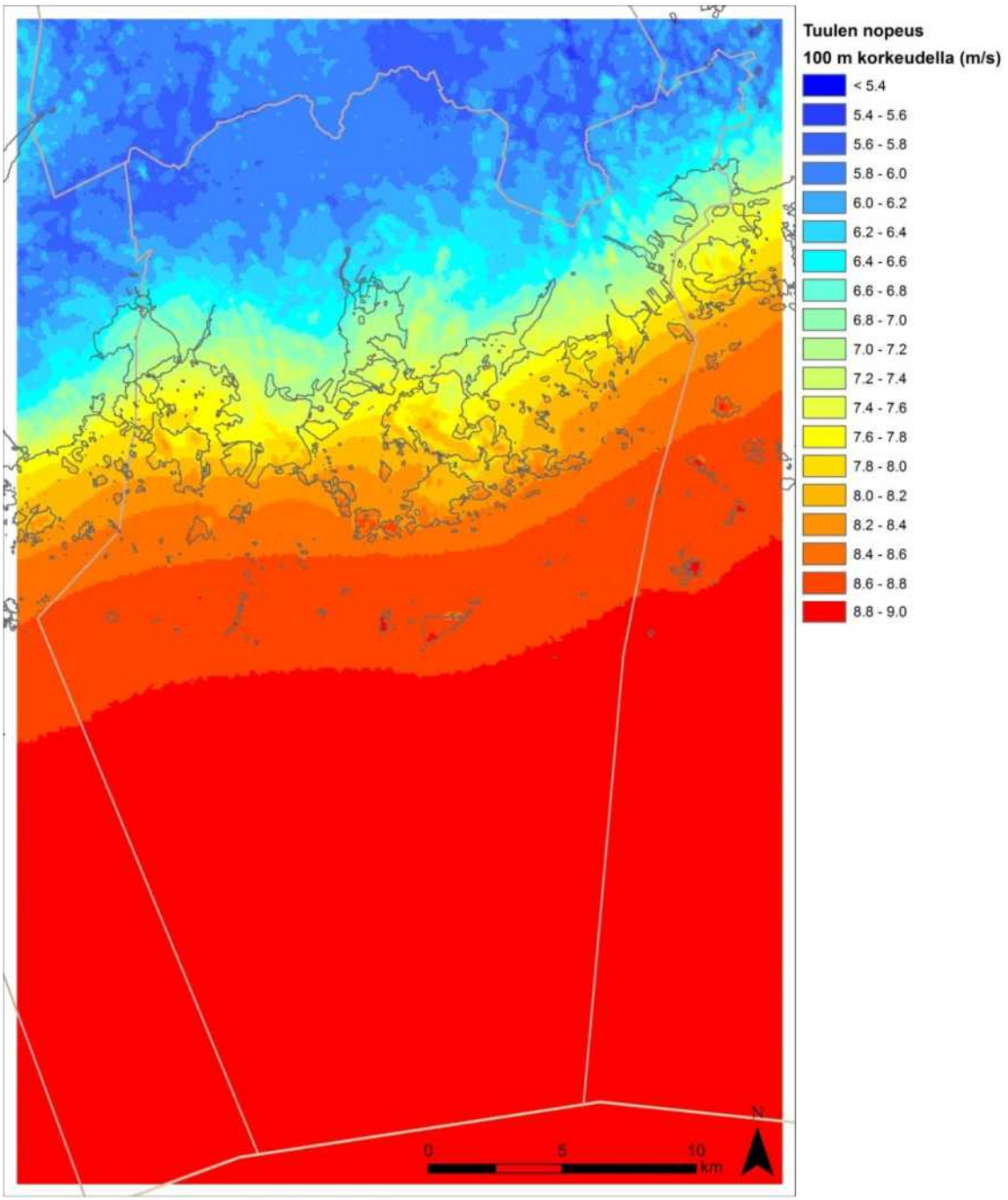


Kuva 5-2. Tuuliruusut mereltä korkeuksilta 100 m ja meri 50 m *(Suomen tuuliatlas, 2009)*.

Tuuliresurssikartat on mallinnettu 100 m resoluutiolla korkeuksille 50 m ja 100 m. Kartat on esitetty kuvissa 5-3 ja 5-4, sekä 50 m kartta liitteenä. Tuulisuus on kuvattu väriasteikolla 0,2 m/s välein.

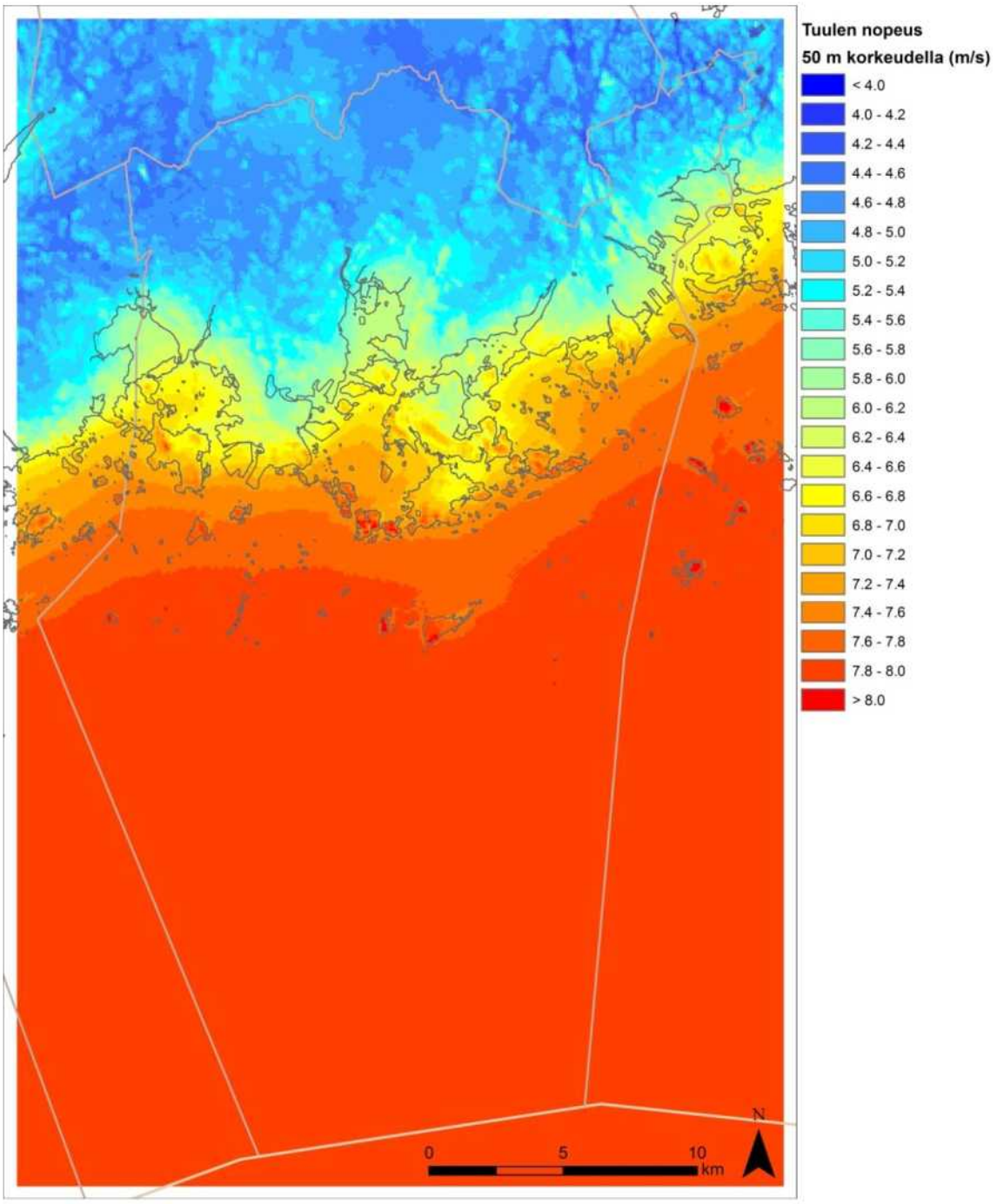
Keskituulennopeuden minimi- ja maksimiarvot Helsingin alueella ovat 50 m korkeudella 3,8 m/s ja 8,2 m/s ja 100 m korkeudella 5,3 m/s ja 8,9 m/s. Suurimmat tuulennopeudet havaitaan merellä ja nopeus pienenee siirryttäessä sisämaata kohti. Vaihtelu merialueella on pientä, kun taas sisämaassa nopeus mukailee pitkälti pinnan korkeusvaihteluita. Rannikolla saarten varjostus näkyy vähän pienempinä nopeuksina saarten koillispuolella eli vallitsevan tuulensuunnan suojanpuolella. 50 m korkeudella pinnan vaikutus on näkyvämpi kuin 100 m korkeudella, jossa vaihtelu on jokseenkin vähäisempää ja alueellinen jakauma karkeampi.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-3. Tuulen nopeus Helsingin kaupungin alueella korkeudella 100 m.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-4. Tuulen nopeus Helsingin kaupungin alueella korkeudella 50 m.

5.1.5 Epävarmuudet mallinnuksessa

Tavoitteena on ollut alustavasti mallintaa tuuliresurssi Helsingin alueelle edustaville korkeuksille. Mallinnuksessa on tehty oletuksia, joista aiheutuu epävarmuutta tuloksiin. Epävarmuutta seuraa myös käytetyistä ohjelmistoista sekä lähtötiedoista. Kunkin yksittäisen hankkeen kannattavuuden arvioinnissa tulisikin käyttää lähtötietoina mahdollisuuksien mukaan paikanpäällä tehtyjen mittausten tuloksia ja mallintaa resurssi tarvittavalle alueelle kyseisen hankkeen napakorkeudelle.

Tuuliresurssin mallinnus perustuu Tuuliatlaksen tuulisuustietoihin, eikä varsinaisiin tuulimittauksiin Helsingin alueella. Tuuliatlaksen tiedot taas ovat WAsP:lla ja AROME:lla mallinnettuja, ja tarkkuus vaihtelee osin paikasta ja vuodenajasta riippuen mittauksiin

Copyright © Pöyry Finland Oy

verrattuna. AROME:ssa hilaväli on 2,5 km, eikä se siten pysty kuvaamaan pienimmän mittakaavan ilmiöitä. Pinnan topografia on myös keskiarvostettu hilaruutuihin. Tuuliatlaksen arvoja on verrattu Ilmatieteen laitoksen mastojen tuulimittauksiin, ja atlaksen on havaittu yliarvioivan tuulennopeutta Helsingin rannikolla 0,2–0,3 m/s *(Suomen tuuliatlas, 2009)*.

WAsP ei ole dynaaminen malli siinä mielessä, että se ei kuvaa täsmällisesti virtausta rannikolla saarten ja muiden topografisten esteiden läheisyydessä. Ohjelmassa pinnan vaikutus tuulikenttään alkaa vasta kyseisen alueen reunalla, kun todellisuudessa alueen rosoisuus vaikuttaa jo huomattavasti sitä ennen. Esimerkiksi mereltä maalle siirryttäessä rannikon vaikutus tuulen pystyprofiiliin alkaa jo meren puolella, ja meren vaikutus jatkuu pidemmälle sisämaahan kuin WAsP olettaa. Tällöin sisämaassa rannikon läheisyydessä tuulennopeudet ovat todellisuudessa arvioitua vähän korkeammat, ja merellisellä rannikolla arvioitua pienemmät. Tuulen pystyprofiilin mallinnus on lähtökohtaisesti ohjelmalle Suomen alueella haastavaa johtuen saariston monimuotoisuudesta ja mantereen topografian vaihtelevuudesta. Vuodenajat aiheuttavat myös vaihtelua pinnan laatuun esimerkiksi lumi- ja jääpeitteen kautta. WAsP mallintaa tuulta Weibull-jakaumalla, eli ohjelma käsittelee tuulen nopeusjakaumaa tilastollisena kokonaisuutena, joka voi poiketa todellisesta tuulen jakaumasta.

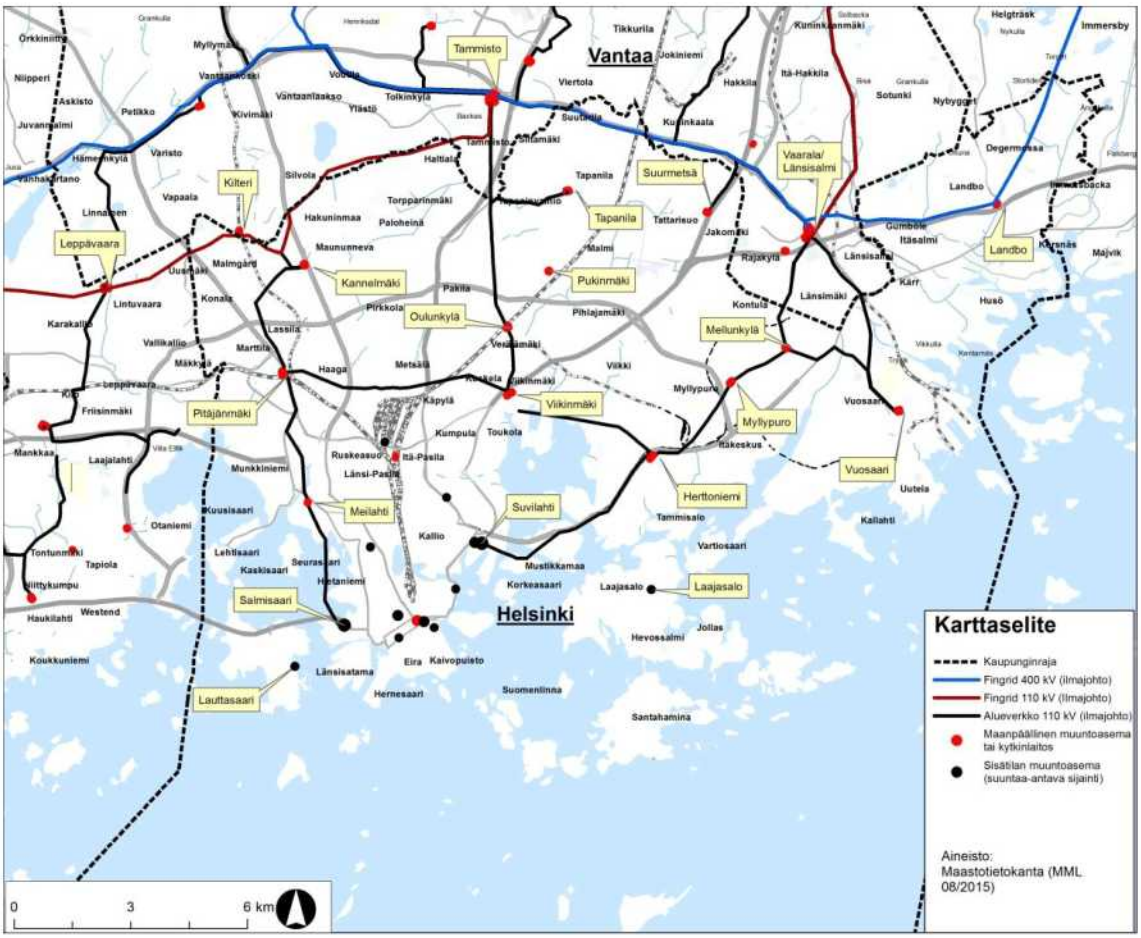
Mallinnuksessa käytetty rosoisuuskartta on tehty alustavaa mallinnusta varten. Rosoisuuskuvaus on karkea, ja erityisesti kaupunkialueiden kuvaus on yksinkertaistettu.

5.2 Sähköverkko

Helsingin alueella sähköverkko koostuu useammasta eri jännitetasosta. Helsingin sisäistä suurjännitteistä 110 kV:n alueverkkoa syötetään kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n omistuksessa olevan kantaverkon 400/110 kV:n kytkinlaitosten kautta (kuvassa 5-5). Helsingin alueella suurjännitteinen sähkönsiirto on pääasiassa toteutettu ilmajohdoin sekä keskusta-alueella 110 kV:n maakaapelein.

Helen Sähköverkko Oy:n omistamaan 110 kV:n alueverkkoon on liitetty useita 110/10 kV:n ja 110/20 kV:n muuntoasemia, jotka syöttävät omaa keskijännitteistä maakaapeliverkkoaan (10 kV kantakaupungin alueella ja 20 kV läntisissä ja pohjoisissa kaupunginosissa). Keskijännitteellä siirretty sähkö muunnetaan edelleen erillisissä 10/0,4 kV:n ja 20/0,4 kV:n kiinteistö- ja puistomuuntamoissa 400 voltin pienjännitteelle, johon rakennusten ja kiinteistöjen sisäinen sähkönjakelu on liitetty.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-5. Helsingin alueen suurjännitteinen sähköverkko sekä sen tärkeimmät muuntoasemat.

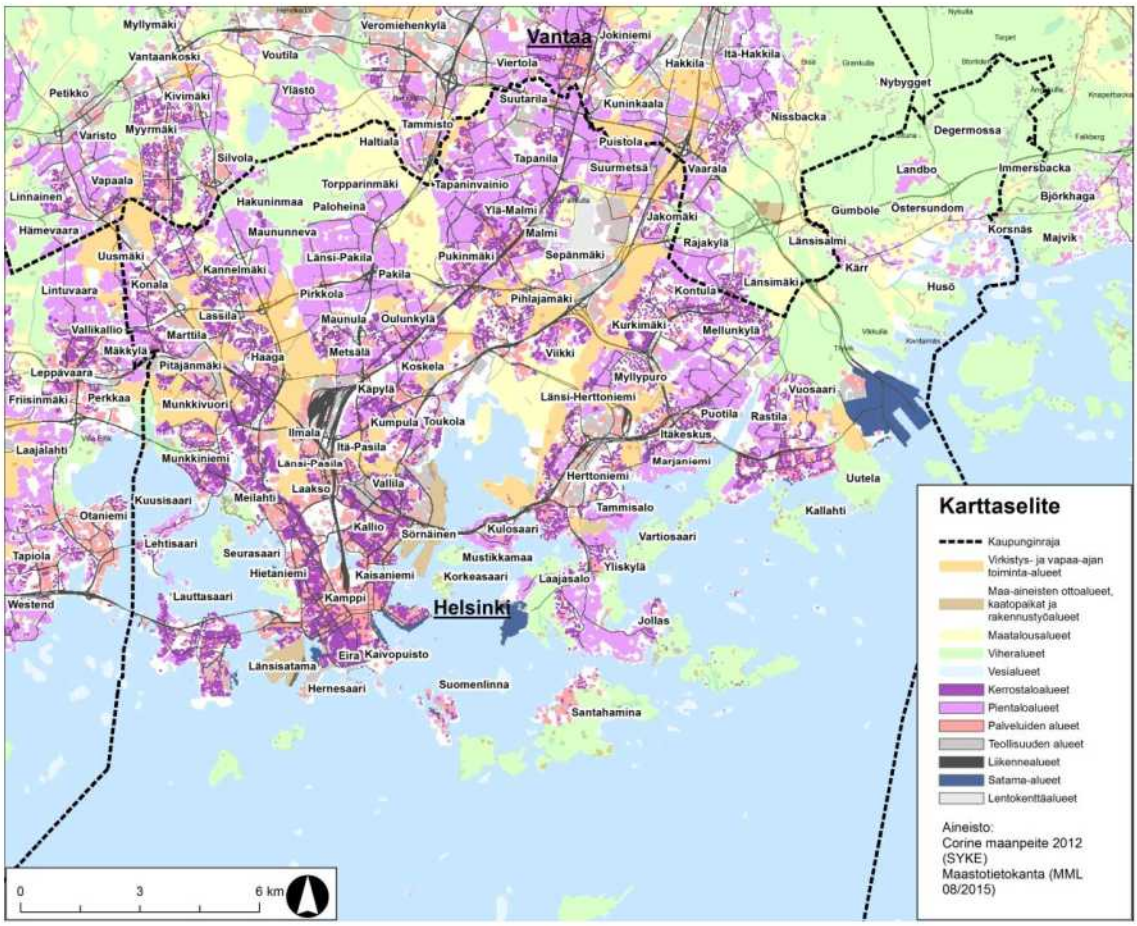
Helsingin alueella on osaa saaristoa lukuun ottamatta kattava sähkönjakeluverkko, ja lähtökohtaisesti keski- ja pienkoon tuulivoimalat ovat liitettävissä paikallisiin kiinteistömuuntamoihin tai lähialueen keskijänniteverkkoihin. Oletusarvoisesti teholuokaltaan noin 1–15 MW:n teollisen kokoluokan tuulivoimalaitokset on liitettävä 110/10 kV sekä 110/20 kV:n muuntoasemien keskijännitekojeistoihin, vaikkakin yksittäisiä voimaloita voidaan toisinaan liittää myös paikalliseen keskijänniteverkkoon.

Suuremman kokoluokan tuulipuistot (noin 15–100 MW) pitää tyypillisesti liittää 110 kV:n alueverkkoon oman muuntajakentän kautta. Tätä suuremmat tuulipuistot olisi todennäköisesti mahdollista liittää kantaverkkoyhtiö Fingridin Tammiston ja Länsisalmen 440/110 kV:n kytkinasemiin.

5.3 Maankäyttö

Helsingin kaupungin alue voidaan luokitella ja jakaa erilaisiin alueisiin niiden ensisijaisen tai taloudellisesti merkittävimmän maankäyttömuodon perusteella. Erilaisia käyttöluokkia ovat esimerkiksi teollisuuden ja palveluiden alueet sekä viheralueet. Ensisijainen maankäyttö ohjaa myös tuulivoimarakentamisen sijoittamista ja kokoluokkaa. Mahdollisen tuulivoimatuotannon kokoluokka tulee suhteuttaa kunkin alueen maankäyttöön. Kuvassa 5-6 on esitetty Helsingin maankäyttö perustuen Euroopan komission CORINE Land Cover -aineistoon (*European commission 2012*), jota on käytetty tässä työssä maankäytön tausta-aineistona.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-6. Helsingin maankäyttö Corine 2012 maankäyttöaineiston mukaan.

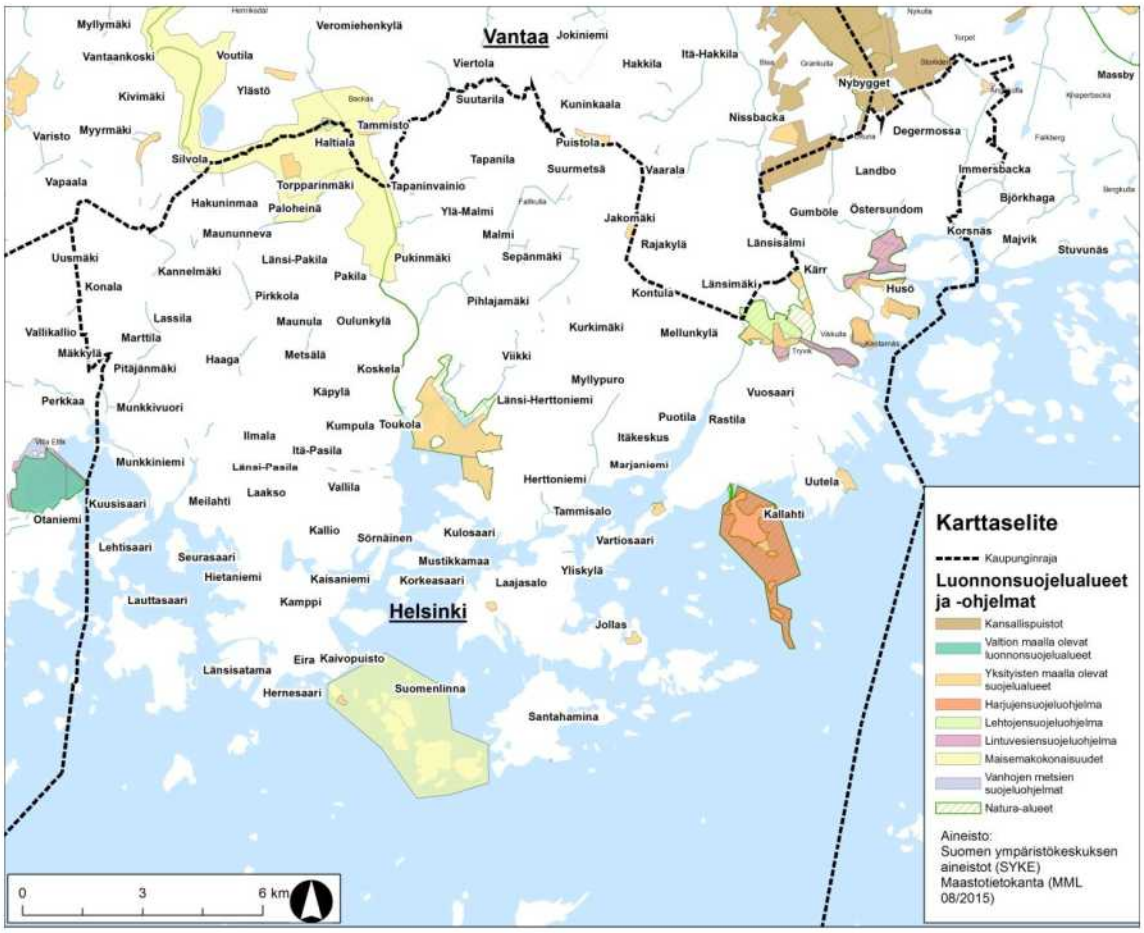
5.4 Luonnonsuojelualueet

Ympäristönäkökulmat kuuluvat tämän selvityksen teknis-taloudellisen näkökulman ulkopuolelle. Ei ole kuitenkaan mielekästä tarkastella mahdollisia sijoitusalueita jättäen ympäristöasiat täysin huomiotta. Erilaiset ympäristönäkökulmat ohjaavat ja rajaavat tuulivoiman rakentamista ja tarkemmin ne selvitetään ja huomioidaan yleensä isomman kokoluokan hankkeissa kaavoitus- ja YVA-menettelyn kautta. Näitä menettelyitä on käsitelty kappaleessa 3.2.

Alustavassa sijoituspaikkaselvityksessä on otettava huomioon erilaiset luonnonsuojelualueet ja -ohjelmat ja niiden rajaava vaikutus. Teollisen kokoluokan tuulivoiman rakentaminen luonnonsuojelulaissa (1096/1996) määritetyille luonnonsuojelualueille (luku 3) on kiellettyä. Pientuulivoiman rakentaminen on mahdollista, mikäli se palvelee alueella tapahtuvaa retkeily- tai tutkimustoimintaa. Luonnonsuojelulain luku 10 sisältää Euroopan unionin jäsenvaltioiden yhteistä Natura 2000 -verkostoa koskevat säännökset. Natura 2000 -verkostoa koskee lain määräämä heikentämiskielto (64 a §), jolloin Natura 2000 -alueelle tai sen läheisyyteen tuulivoimaa suunniteltaessa on arvioitava erikseen heikentääkö suunniteltu hanke alueen suojelun perusteena olevia luonnonarvoja merkittävästi. Tätä menettelyä kutsutaan Natura-arvionniksi ja paikallinen ELY-keskus antaa arvioinnista lausunnon.

Helsingin kaupungin alueella olevat luonnonsuojelualueet ja -ohjelmat on esitetty alla olevassa karttakuvassa 5-7.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-7. Helsingin kaupungin alueella sijaitsevat luonnonsuojelualueet ja -ohjelmat. Luonnonsuojelualueille teollisen tuulivoiman rakentaminen on kiellettyä ja Natura 2000 -alueilla rakentaminen on harkinnanvaraista; tuulivoima ei saa heikentää alueen suojeluperusteita merkittävästi.

5.5 Syvyysaineisto

Veden syvyys ohjaa merkittävästi merituulivoiman rakentamista. Syvyys vaikuttaa perustamistekniikkaan ja hankkeen kokonaiskustannuksiin.

Helsingin edustan merenpohjan pinnanmuodot ja veden syvyys vaihtelevat runsaasti. Pinnanvaihteluihin vaikutti noin 10 000 vuotta sitten vallinnut jääkausi, jolloin massiivinen jääkerros rouhi liikkuessaan kalliota muodostaen syvänteitä heikoimpiin vyöhykkeisiin. Helsingin merialueen vedensyvyys on esitetty kuvassa 5-8 perustuen Velmu syvyysmalliin (*Suomen ympäristökeskus 2015*).

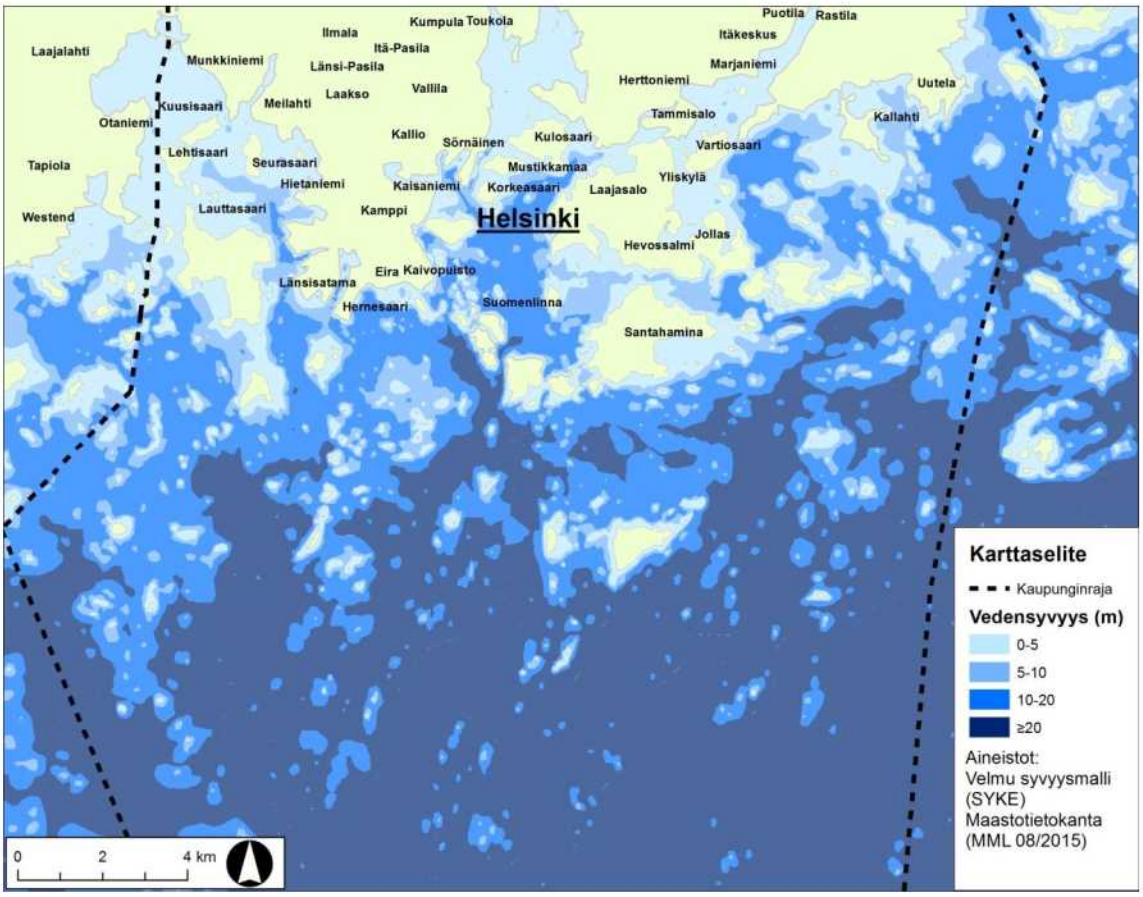
Veden syvyys vaikuttaa tuulivoiman sijoitusmahdollisuuksiin eri tavoin. Tuulivoimaloiden ja sähkökaapeleiden asennukseen käytettävä kalusto tarvitsee tietyn syvyyden liikkumisen mahdollistamiseksi eikä paksun pohjakerroksen ruoppaus ole kustannus- ja ympäristövaikutussyistä johtuen kannattavaa. Näin ollen alle kolmen metrin syvyisten vesialueiden toteutuskelpoisuus on todennäköisesti rakennustöiden kannalta heikko. (*wpd Finland Oy 2009*) Toisaalta toteuttamiskelpoiseen syvyyteen vaikuttavat myös perustamiskustannukset ja jääolosuhteet.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Helsingin merialueita tarkasteleva Tuulivoimaloiden teknistaloudellinen sijoituspaikkaselvitys valmistui vuonna 2000 *(Electrowatt-Ekono Oy 2000)*. Selvityksessä laitoskoosta riippuvat vedensyvyydet on määritetty seuraavasti:

- 1,5 MW voimaloilla suurin mahdollinen vedensyvyys on 10 metriä
- 2–2,5 MW voimaloilla suurin mahdollinen vedensyvyys on 15 metriä, ja
- 3–5 MW voimaloilla suurin mahdollinen vedensyvyys on 20 metriä.

Selvitys on tehty vuonna 2000 ja tuulivoimatekniikka on kehittynyt nopeasti tämän jälkeen. Tänä päivänä Suomessa kehitettävät kaupalliset voimalat ovat 3–5 MW:n kokoluokkaa silloisen 2–2,5 MW:n sijaan. Lisäksi tuulivoimateknologian kehittymisen myötä 20 metriä syvemmätkin alueet ovat nykyisin saavutettavissa, vaikkakaan ne eivät välttämättä ole kannattavia muuten kuin erittäin hyvätuulisilla alueilla.



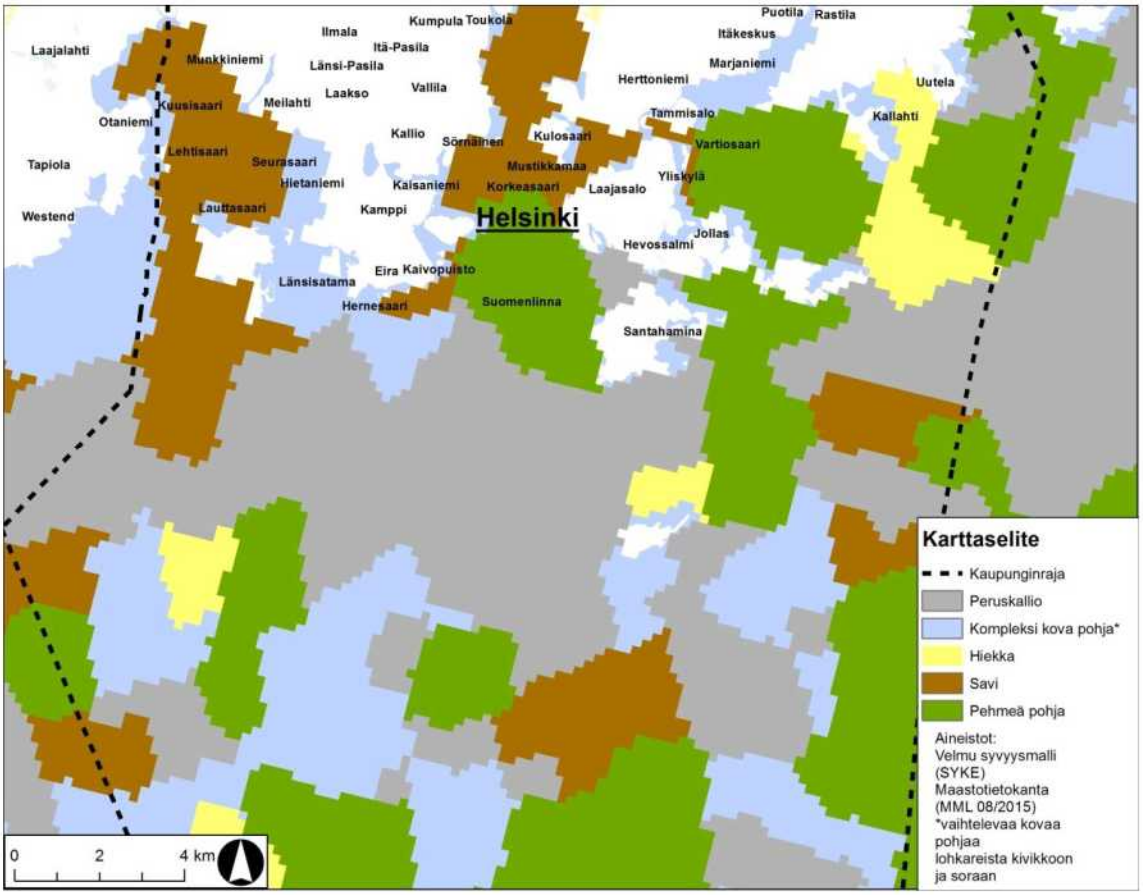
Kuva 5-8. Helsingin merialueiden vedensyvyys Suomen ympäristökeskuksen Velmu syvyysmallin mukaan.

5.6 Merenpohjan laatu

Syvyyden ohella myös merenpohjan laatu tulee ottaa huomioon merituulivoiman suunnittelussa pohjaolosuhteiden rajoittaessa mahdollisia perustamistapoja. Merirakenteiden perustamiseen ja pystyttämiseen parhaiten soveltuvia pohjatyyppejä ovat luja hiekka- tai sorapohja tai ehjä sileä peruskallio. Sileälle peruskalliolle rakennettaessa ainoa mahdollinen perustustyyppi on maavarainen eli kasuuniperustus. Hiekka- ja sorapohjilla myös paaluperustus on mahdollinen. Pohjan soveltuvuus on aina varmistettava tarkemmilla paikkakohtaisilla tutkimuksilla. (*wpd Finland Oy 2009*)

Copyright © Pöyry Finland Oy

Helsingin edustan merenpohjan sedimentit ovat myös osittain jääkauden seurausta. Kallioperän päällä on moreenia eri alueilla eri paksuisina, jopa 20 m:n, kerroksina. Moreenin päälle on saattanut kerrostua hiekka- ja sorakerrostumia sekä sekasedimenttikerroksia. Näiden päälle on edelleen kerrostunut savi- ja silttikerroksia, jotka ovat jopa parinkymmenen metrin paksuisia. Ylimpänä kerrostumana on liejusavea, erityisesti merenpohjan rauhallisissa altaissa. (*Helsingin satama 2012*).



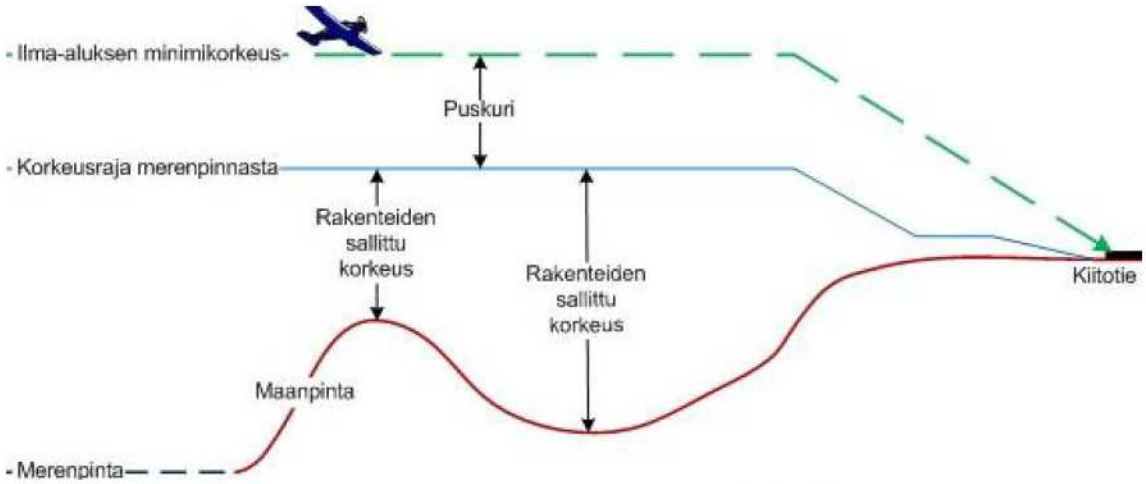
Kuva 5-9. Merenpohjanlaatu Helsingin edustalla jaettuna 5 eri kategoriaan (EU BALANCE project).

5.7 Lentoesterajoitukset

Ilmailulain (7.11.2014/864) 158§.ssä määritellään lentoesteluvan tarpeesta. Käytännössä lentoasemien lähellä yli 30 metriä korkeat rakennelmat ja kaikkialla Suomessa yli 60 korkeat rakennelmat vaativat lentoesteluvan. Luvan myöntää Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi) ja asiasta antaa lausunnon myös Finavia Oy.

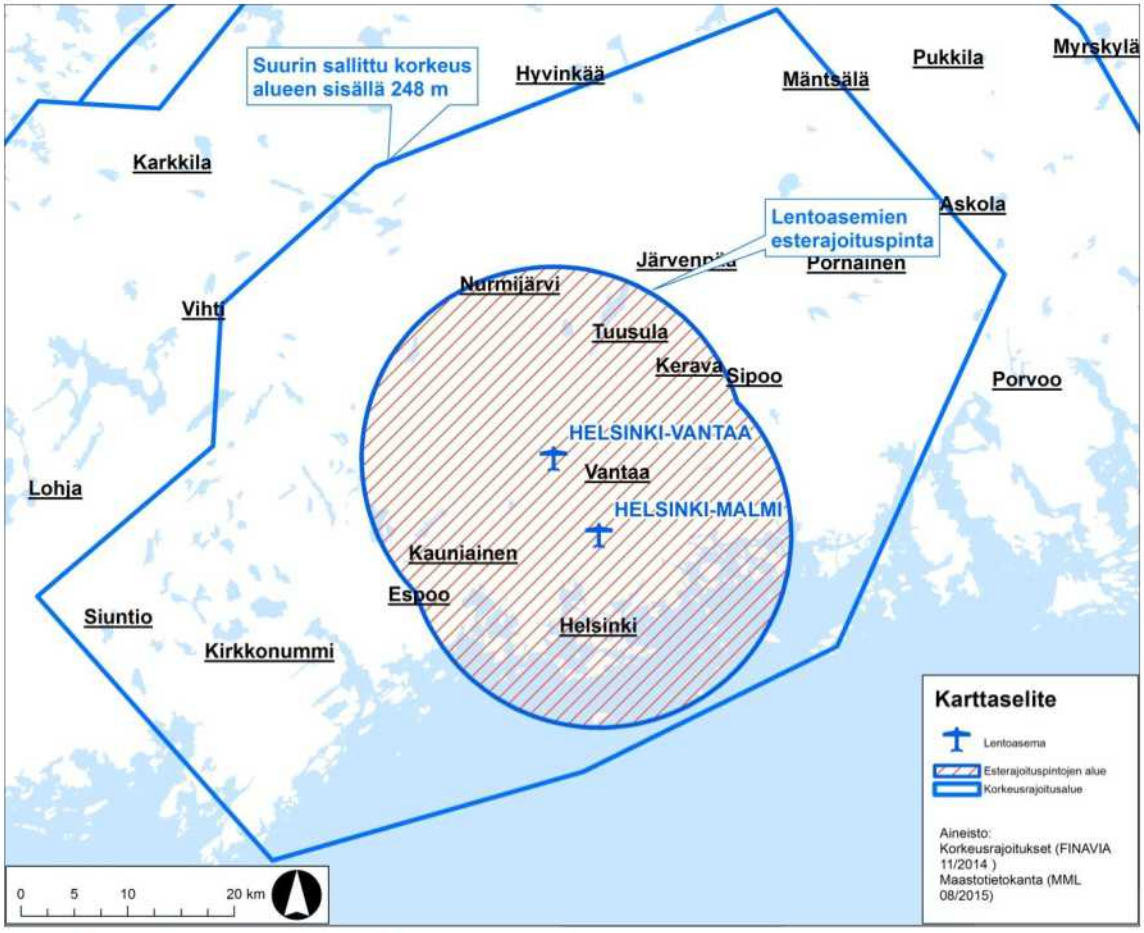
Lentokenttien ympärille on määritelty esterajoituspinnat, joita maassa olevat rakennelmat eivät saa läpäistä. Lentokenttien esterajoitusalueiden ulottuvuus riippuu lentokentän luokituksesta. Lentokentän eri osissa on myös erilaisia esterajoituspintoja riippuen siitä mistä suunnasta kentälle laskeudutaan ja kentältä noustaan. Estepintojen korkeudet on ilmoitettu metreinä merenpinnasta ja pintojen periaatetta on havainnollistettu kuvassa 5-10.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-10. Lentoesterajoituksen periaatepiirrustus (*FINAVIA 2015*). Sininen viiva kuvaa lentoestepintaa, joka on alimmillaan lähellä kiitotietä. Lentoestepinnan ja ilma-alusten minimilentokorkeuden väliin jää puskurivyöhyke. Lentoestepinnat ilmoitetaan korkeuksina merenpinnasta.

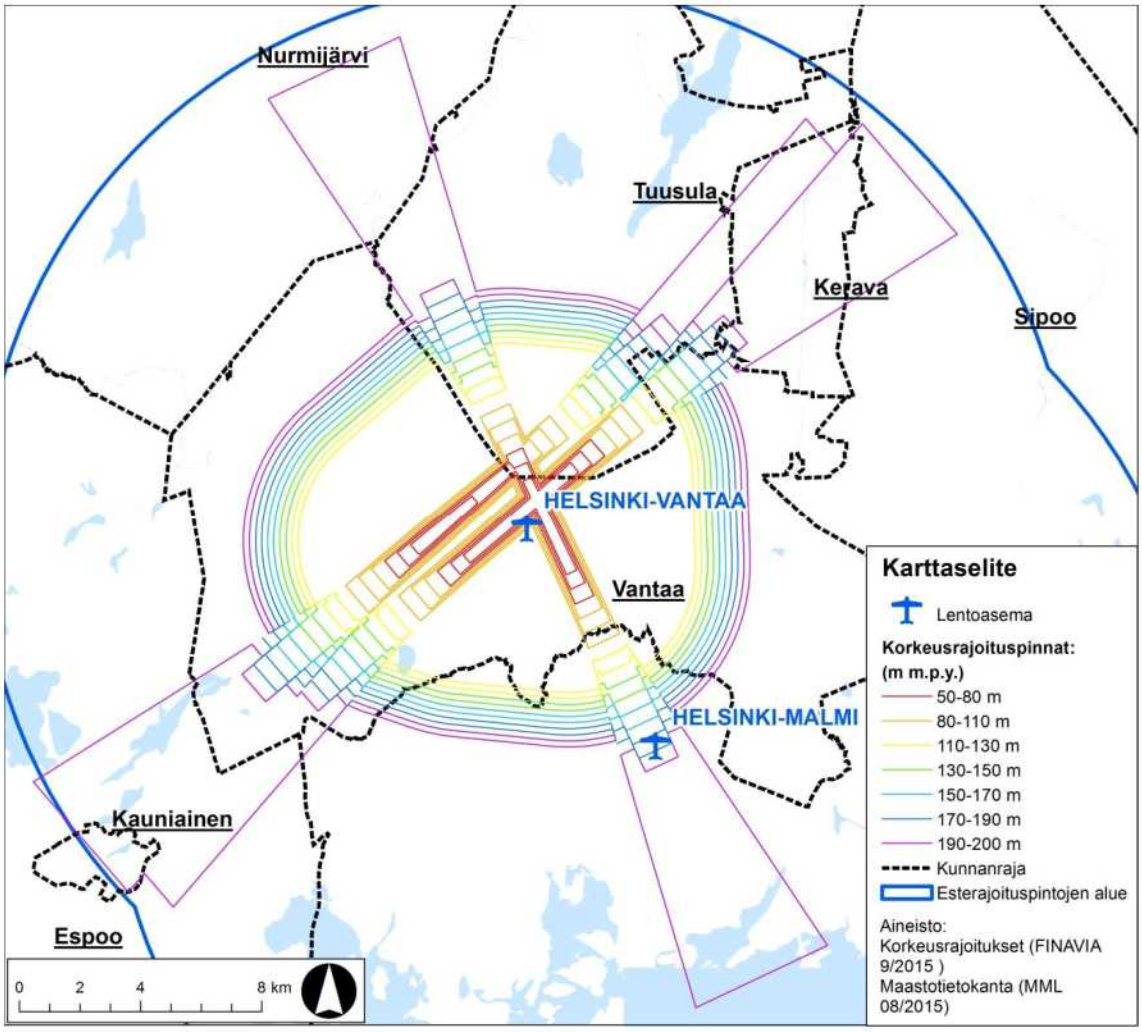
Helsingin kaupungin alueella sijaitsee yksi lentoasema, Helsinki-Malmin lentoasema. Malmin lentokenttäalue on kuitenkin Helsingin yleiskaavassa muuttumassa asuinvaltaiseksi alueeksi eikä siitä johtuvia lentoesterajoituspintoja ole enää tulevaisuudessa. Helsinki on kuitenkin Vantaalla sijaitsevan Helsinki-Vantaan lentoaseman vaikutuspiirissä. Tällä hetkellä näiden lentoasemien esterajoituspinta peittää koko Helsingin maa-alueen (Kuva 5-11).



Kuva 5-11. Lentokentät ja korkeusrajoitukset Helsingin alueella.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Helsinki-Vantaan lentoasemasta johtuvat lentoesterajoitukset on kuvattu kuvassa 5-12. Helsingin kaupungin alueelle ulottuvat lentoestepinnat ovat korkeuksilla 100–200 m merenpinnan yläpuolella. Rajoitukset koskevat lähinnä Helsingin pohjoisosaa ja kapeaa sektoria Helsinki-Vantaan lentokentästä kaakkoon. Ne tulee huomioida suunniteltaessa teollisen kokoluokan voimaloiden rakentamista Helsingin kaupungin maa-alueella sekä osittain merialueella.



Kuva 5-12. Helsinki-Vantaan lentoasemasta johtuvat lentoestepinnat. Pintarajoitukset on ilmoitettu korkeuksina merenpinnasta. Helsinki-Malmin lentokentän tarkkoja lentoestepintoja ei ole huomioitu, sillä lentokenttäalue on muuttumassa asuinalueeksi.

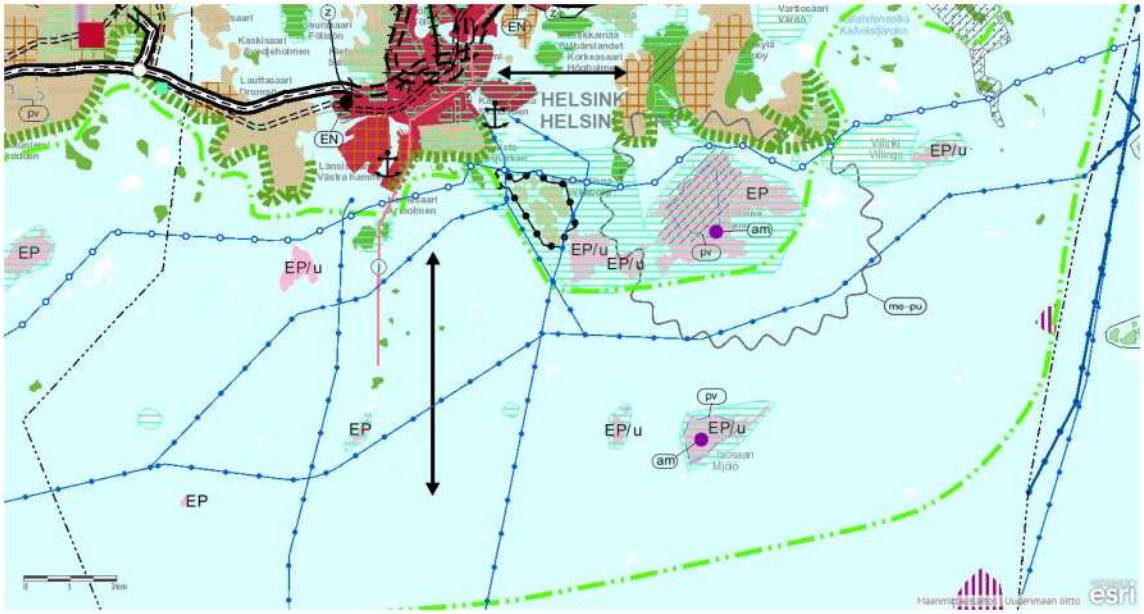
5.8 Puolustusvoimien varaukset

Helsingissä on useita Suomen Puolustusvoimien käytössä olevia alueita. Yhdistelmäkartta vahvistetuista Uudenmaan maakuntakaavoista on esitetty kuvassa 5-13. Valmisteilla olevaan Helsingin yleiskaavaan liittyvän lausunnon *(1. Logistiikkarykmentti 2015)* mukaan Puolustusvoimat varaavat seuraavat alueet käyttöönsä: Santahamina, Hintholma, Neitsytsaari, Hernesaari, Kuusiluoto, Viipurinkivi, Jänissaari, Haapasaaret, Punaluoto, Hietaluoto, Pitkäsaari, Lohikari, Virolaislahdenpalatsi, Lehmänsaari, Nuottasaari, Itä-Villinki, Melkki ja Suomenlinnan Pikku-Mustasaari. Helsingin edustalla on myös alueilta, joista Puolustusvoimat on luopunut. Näitä alueita ovat esimerkiksi Rysäkari, Vallisaari, Kuninkaansaari ja Isosaari.

Yksittäisen tuulivoimalan rakentaminen Helsingin kaupungin alueella ei vaadi Puolustusvoimien lausuntoa, jos voimala on alle 50 metriä kokonaiskorkeudeltaan eikä se si-

Copyright © Pöyry Finland Oy

joitu Puolustusvoimien alueelle. Yli 50 metriä korkeiden voimaloiden rakentaminen Helsingin kaupungin alueella vaatii luvan Pääesikunnalta.



Kuva 5-13. Puolustusvoimien alueet maakuntakaavassa. Kartassa esitettyihin alueisiin on kaavan julkaisemisen jälkeen tullut kuitenkin muutoksia ja joitakin lisämuutoksia on vielä odotettavissa, sillä Puolustusvoimat on ilmoittanut mahdollisesti varaavansa mm. Santahaminan itäpuoleisia saaria käyttöönsä sekä mahdollisesti luopuvansa muun muassa muutamien Suomenlinnan kaakkoispuolella sijaitsevien saarien varauksesta. (Uudenmaan liitto 2014b). Tällä hetkellä Puolustusvoimat on kuvan tilanteeseen nähden luopunut ainakin Rysäkarista, Vallisaaresta, Kuninkaansaaresta, Isosaaresta ja Kuivasaaresta.

5.9 Yleisistä liikenneväylistä johtuvat rajoitteet

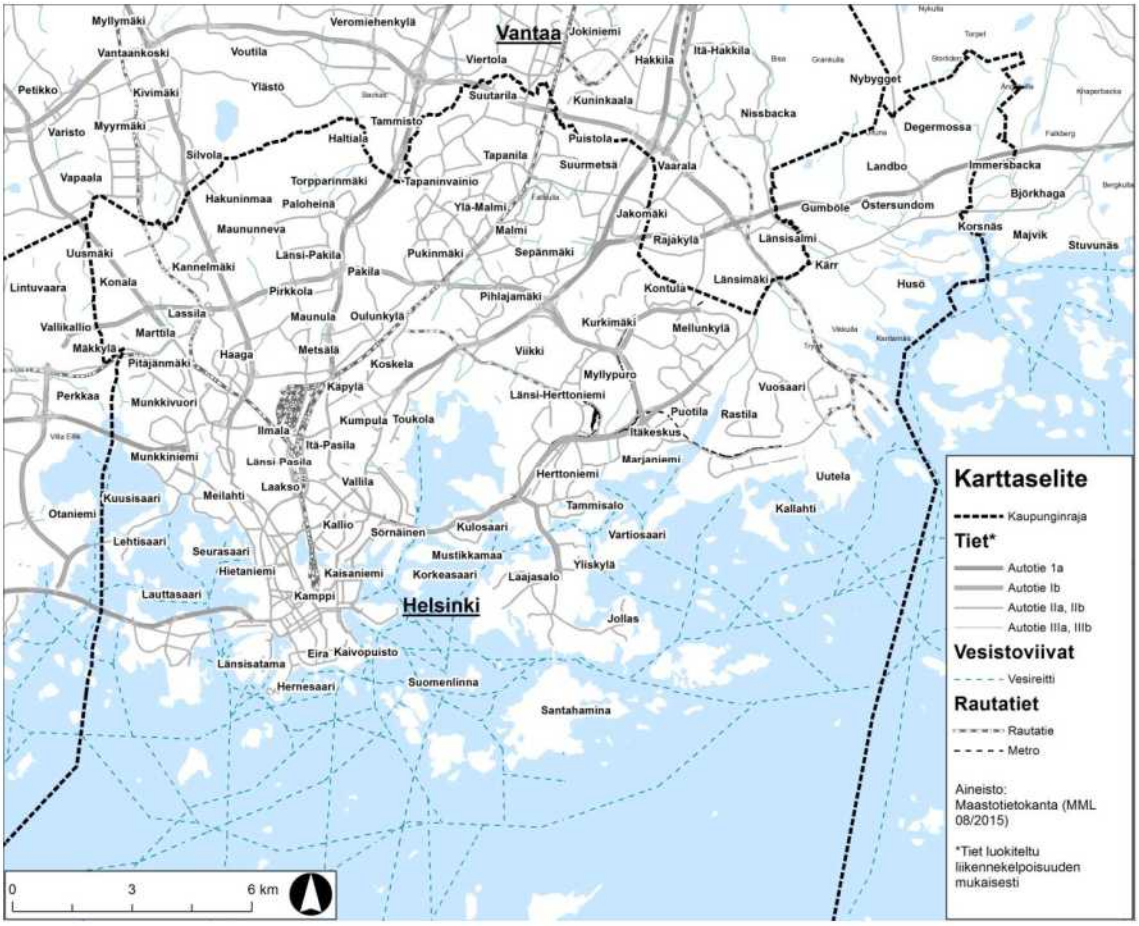
Tuulivoimalat eivät saa haitata liikennettä. Tuulivoimalan pyörivä roottori saattaa heikentää tienkäyttäjien huomiokykyä, mikä pitää ehkäistä sijoittamalla voimala tarpeeksi kauas tiealueesta. Roottorilavoista voi mahdollisesti irrota jäätä tai lavan osia, mistä aiheutuvia riskejä myös ehkäistään tarpeeksi suurella etäisyydellä tiealueesta.

Tiealueen ja tuulivoimalan vähimmäisetäisyys määräytyy tuulivoimalan korkeuden ja tien suoja-alueen perusteella. Tuulivoimala tulee sijoittaa tien suoja-alueen reunasta vähintään etäisyydelle, joka vastaa voimalan kokonaiskorkeutta. Tuulivoimalan kokonaiskorkeus lasketaan summaamalla tornin korkeus ja roottorilavan pituus yhteen. Tien ja tuulivoimalan välinen riittävä etäisyys ei ole kuitenkaan yksiselitteinen, koska vaadittuun etäisyyteen vaikuttaa usea asia, kuten esimerkiksi tien nopeusrajoitus ja liikenteen vilkkaus.

Satama-alueella tien ja tuulivoimalan vähimmäisetäisyys on tilanneriippuvainen, samoin kuin myös vesiliikenteen väylän ja tuulivoimalan välinen riittävä etäisyys. Voimaloita ei voi sijoittaa väyläalueelle tai erilliselle ankkurointialueelle. Rautatiealueella tuulivoimala tulee sijoittaa rautatien suoja-alueen reunasta voimalan kokonaiskorkeutta vastaavalle etäisyydelle. Lisäksi riskit on kartoitettava, jos tuulivoimala rakennetaan alle puolen kilometrin päähän ratapihasta tai asemasta *(Liikennevirasto 2012)*. Ratapihoja ei siis voida käyttää teollisen tai muuten merkittävän kokoluokan tuulivoimaloiden sijoittamiseen.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kuvassa 5-14 on esitetty Helsingin liikenneverkko mukaan lukien maalla tapahtuva tie- ja raideliikenne sekä vesireitit.



Kuva 5-14. Liikenneväylät Helsingissä.

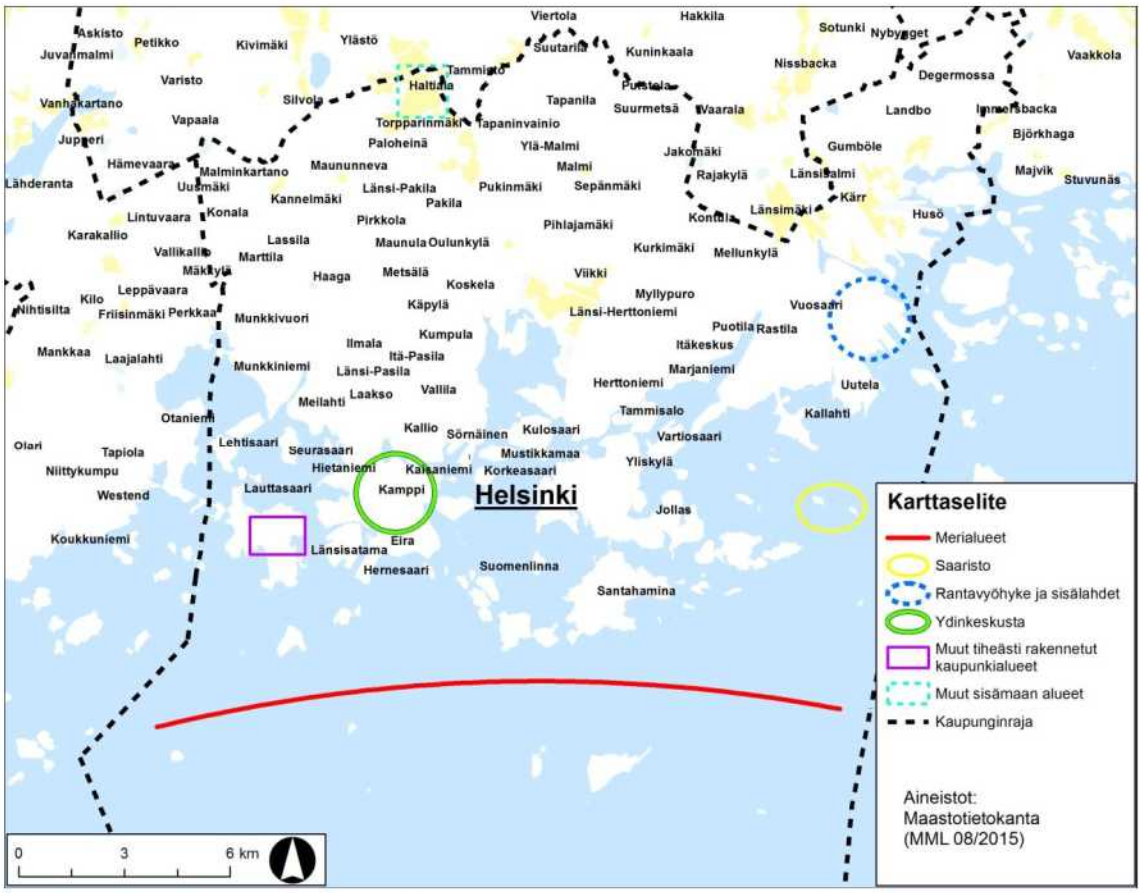
Tuulivoimalat tulee sijoittaa tarpeeksi etäälle Fingrid Oyj:n kantaverkosta, koska kantaverkossa tapahtuva sähkönsiirto ei saa häiriintyä tuulivoimaloiden toiminnasta. Tuulivoimalat eivät saa haitata kantaverkon huollon suorittamista. Lisäksi tuulivoimalat tai niiden mahdolliset häiriöt eivät saa haitata kantaverkon toimintaa. Tämän vuoksi kantaverkon alueen ulkoreunan ja tuulivoimalan etäisyys on asetettu vähintään puolitoistakertaiseksi tuulivoimalan kokonaiskorkeuteen nähden. *(Fingrid Oyj 2011)*

Myös muiden ilmajohtojen osalta tulee huomioida riittävä etäisyys voimalan ja johdon välillä, huomioiden muun muassa voimalan kokoluokka ja johdon jännitetaso.

6 ALUEVYÖHYKKEIDEN MÄÄRITTELYN PERUSTEET

Selvitystä varten Helsingin alue on jaettu kuuteen eri aluevyöhykkeeseen. Vyöhykejako perustuu sekä alueiden maankäyttöön että eroihin alueille soveltuvissa tuulivoiman sijoittamisperiaatteissa.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 6-1. Selvityksessä käytetty aluevyöhykejako; jokaisesta aluevyöhykkeestä on esitetty yksi konsultin valitsema esimerkki. Merialue on rajattu viitteellisellä viivalla, jonka eteläpuolella on tarkasteltu alue, ja muut vyöhykkeet on kuvattu esimerkkien avulla selkeän vyöhykerajan tarkentuessa jatkosuunnittelussa.

6.1 Meri ja ulkosaaristo

Merialueilla tarkoitetaan tässä selvityksessä Helsingin merialueita rajautuen aluevesirajaan etelässä. Tähän vyöhykkeeseen katsotaan sisältyvän myös ulkosaaristo. Vaikka vyöhykkeen vesialueet ja ulkosaaristo ovat rakentamisen kannalta hyvin erilaiset, yhdistää niitä kuitenkin erityisesti ympäröivä alueidenkäyttö, joka omalta osaltaan vaikuttaa tuulivoiman sijoittamismahdollisuuksiin merkittävästi.

6.2 Saaristo

Saaristoon kuuluvat tässä selvityksessä erikokoiset merelle ja rannikolle sijoittuvat saaret ja luodot lukuun ottamatta varsinaista ulkosaaristoa.

6.3 Rantavyöhyke ja sisälahdet

Rantavyöhyke ja sisälahdet käsittää rantaviivan merenranta-alueet sekä Helsingin edustan sisälahdet. Tähän alueeseen kuuluvat esimerkiksi teolliset satama-alueet kuten Vuosaaren satama ja toisaalta myös Laajalahden kaltaiset sisälahdet.

6.4 Helsingin ydinkeskusta

Tässä työssä Helsingin ydinkeskustalla tarkoitetaan Helsingin niemeä, joka myös alueena vastaa niin sanottua historiallista keskustaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

6.5 Muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet

Tässä työssä muihin tiheästi rakennettuihin kaupunkialueisiin lasketaan karttakuvan 5-6 kerrostalo- ja pientaloalueet. Esimerkkeinä alueista Kallio, Eira, Kannelmäki, Lauttasaari ja Aurinkolahti.

6.6 Muut sisämaan alueet

Muihin sisämaan alueisiin kuuluvat virkistys- ja vapaa-ajan toiminta-alueet, maatalousalueet, viheralueet sekä väljemmät teollisuuden ja palveluiden alueet. Esimerkiksi Haltialan alueella ja sen läheisyydessä on viheralueita ja maatalousalueita. Malminkartanossa on esimerkiksi täyttömäki, Malminkartanonhuippu, jonka ympärillä on metsää. Tattarisuo toimii esimerkkinä teollisuusalueesta. Alueita, joista löytyy esimerkiksi yritystoimintaa tai terveyspalveluita, voidaan pitää palveluiden alueina.

7 ALUEVYÖHYKKEIDEN SOVELTUVUUS TUULIVOIMATUOTANTOON

Tämän selvityksen tulokset ovat alustavia arvioita tuulivoiman sijoittamismahdollisuuksista. Tuulivoiman rakentaminen vaatii aina tarkempaa suunnittelua ja muun muassa paikalla suoritettavia tuulimittauksia kannattavuuden selvittämiseksi.

Sijoitusmahdollisuuksien taloudellisen kannattavuuden arvioinnissa on käytetty tämän hetkistä sähkönhinnan ja tuulivoimatuotannon tukitasoa. Näiden osalta johtopäätökset voivat muuttua tulevaisuudessa uusiutuvan energian tukijärjestelmien ja sähkönhinnan kehittyessä.

7.1 Meri ja ulkosaaristo

Helsingin edustan merialueet ja ulkosaariston saaret ovat tuuliolosuhteiltaan varsin otollisia tuulivoimatuotannolle, mutta myös paikoitellen intensiivisessä käytössä. Alueella on muun muassa Puolustusvoimien aluevarauksia, virkistyskäytössä olevia alueita ja luonnonsuojelualueita. Toisaalta merialueella ja ulkosaarilla ei ole mantereen ja saariston tapaan tiheää asutusta.

Vyöhykkeen vesialueille sijoitettavat voimalat ovat pääosin teollisen kokoluokan merituulivoimaloita. Merituulivoiman rakentaminen on maatuulivoimaa selvästi kalliimpaa (kuva 2-10), joten hyvien tuuliolosuhteiden lisäksi hankkeiden investointikustannusten on oltava riittävän edulliset. Kustannukset riippuvat muun muassa hankkeiden koosta, verkkoonliityntämahdollisuuksista ja voimaloiden perustamistavasta. Ulkosaariston saarille sijoitettavat voimalat ovat joko teollisen tai keskikokoluokan voimaloita.

Voimassa olevassa Uudenmaan maakuntakaavassa tai työn alla olevassa vaihemaakuntakaavassa Helsingin merialueille ei ole merkitty yhtään maakunnallisesti merkittävää tuulivoima-aluetta.

7.1.1 Vesialueet

7.1.1.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet

Merialueilla on maa-alueisiin verrattuna tiettyjä erityispiirteitä, jotka on otettava huomioon tuulivoimaa suunniteltaessa. Fyysisen ympäristön olosuhteet kuten syvyys, pohjanlaatu ja merijää tuovat omat haasteensa ja rajoitteensa. Helsingin merialue ei ole pohjaolosuhteiltaan tasaista vaan pohjan muodostavat syvänteet, lähelle pintaa nousevat matalikot sekä monet saaret. Pohjanlaatu vaihtelee myös suuresti lohkareisesta pohjasta pe-

Copyright © Pöyry Finland Oy

ruskallioon ja toisaalta tasaisiin mutapohjin erityisesti syvänteissä. Talvisin jääpeitteen laajuus vaihtelee ja epästabiili ahtojää liikkuu merivirtojen ja erityisesti tuulen mukana. Teknisesti nämä asiat on mahdollisia ottaa huomioon, mutta ne voivat vaikuttaa huomattavasti vesialueelle toteutettavien merituulivoimahankkeiden kannattavuuteen.

Pohjanlaadun osalta tulee kiinnittää erityistä huomiota rakennettavuuteen. Helsingin merialueella pohja on paikoin pehmeää tai savea, mikä lisää perustamisen kustannuksia ja tekee alueista rakennettavuuden kannalta vähemmän houkuttelevia. Merialueella on myös joitakin liian matalia alueita, joiden toteutuskelpoisuus on alhainen rakennustöiden vaatimukset huomioiden. Nämä ovat kuitenkin hyvin pienialaisia ja näin helposti vältettävissä. Tarkemmat pohjaolosuhteet ja rakennettavuus tulee aina selvittää erikseen hankekohtaisessa jatkosuunnittelussa.

Merituulivoiman suunnittelussa verkkoliityntäkustannus on teollisen maatuulivoiman tavoin kannattavuuden kannalta merkittävä tekijä, jolloin lähimmän verkkoliityntäpisteen sijainti on usein yksi ratkaisevista huomioon otettavista seikoista. Lisäksi tärkeää on rakennusvaiheeseen ja huoltoa varten tarkoitukseen sopivan sataman sijainti.

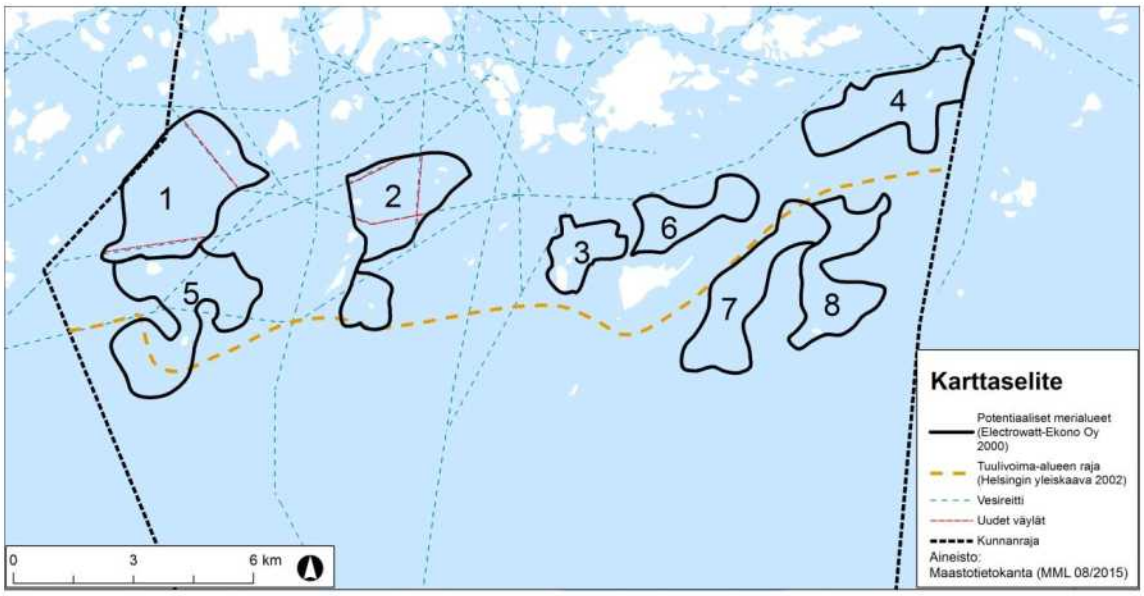
Jääolosuhteet ja niiden vaikutus voimaloiden rakentamiseen, rakenteisiin kohdistuviin vaatimuksiin ja huoltoon, sekä huollon järjestämiseen ja kustannuksiin, tulee selvittää hankekohtaisessa jatkosuunnittelussa.

Tuulivoimaloita ei saa sijoittaa väyläalueille ja riittävä etäisyys väyliin tulee selvittää tapauskohtaisesti.

7.1.1.2 Voimalakoot ja -määrät

Helsingin merialueita koskien on tehty Tuulivoimaloiden teknistaloudellinen sijoituspaikkaselvitys vuonna 2000 *(Electrowatt-Ekono Oy 2000)*. Selvityksessä määritettiin paikkatietoanalyysin perusteella kahdeksan potentiaalista tuulivoima-aluetta Helsingin merialueilta (Kuva 7-1). Alueet rajautuivat selvityksessä asetettujen ehtojen mukaisesti, joita olivat teknistaloudelliset edellytykset (tuuliolosuhteet, etäisyys sähköverkkoon, veden syvyys, liikkuvien jäiden maksimipaksuus) sekä aluekäytölliset kriteerit (alueiden omistus, Puolustusvoimien tarpeet, etäisyys asuinrakennuksiin ja muihin häiriytyviin toimintoihin kuten luonnonsuojelualueisiin ja laivaväyliin). Kaavoitustilanne otettiin huomioon yleiskaavatasolla.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 7-1. Potentiaaliset merialueet tuulivoimarakentamiselle Electrowatt-Econo Oy:n (*2000*) selvityksen mukaan. Karttaan on merkitty oranssilla Helsingin voimassaolevan yleiskaavan mukainen raja tuulivoima-alueelle. Lisäksi karttaan on merkitty tuulivoima-alueille sijoittuvat, vuoden 2000 jälkeen lisätyt laivaväylät.

Selvityksessä rajautuneet alueet on esitelty yhteenvetona taulukossa 7-1. Luvuissa on oletettu, että rakennettavat tuulivoimalat alueilla 1–4 olisivat 2–2,5 MW laitoksia ja alueilla 5–8 (pääosin) 3–5 MW laitoksia. On kuitenkin huomioitava, että tuulivoimatekniikka on kehittynyt vuodesta 2000 nopeasti ja kaikki nykyään rakennettavat teollisen koon tuulivoimalat ovat teholtaan jo 3–5 MW, merellä jopa yli 7 MW. Toisaalta voimalakokojen kasvettua niiden vaatimat etäisyydet ympäröiviin voimaloihin ovat kasvaneet. Näin ollen vuoden 2000 selvityksen mukaiset alueille sijoitettavat suurimmat mahdolliset tuotantotehot (tuulipuistojen maksimikapasiteetit) ovat edelleen hyvä lähtökohta hankkeiden mahdolliselle jatkosuunnittelulle.

Yllä esitetyt alueet sijoittuvat pääosin matalahkoille merialueille, joilla rakentaminen on helpompaa. Ne sijoittuvat pääosin kalliopohjille, osittain komplekseille koville pohjille sekä jonkin verran myös muille pohjatyypeille hiekalle, savelle ja pehmeälle pohjalle. Pohjanlaatu Suomen rannikolla on kuitenkin pienessä mittakaavassa erittäin vaihtelevaa ja lopullinen perustuskohtien pohjanlaatu on selvitettävä hankekohtaisissa jatkoselvityksissä.

Vuoden 2000 selvityksessä on otettu laivaväylät huomioon siten, että suurimmille väylille on määritetty ns. väyläalue niiltä osin kun tietoja on ollut saatavilla. Aiemmin selvitetyistä alueista neljän alueen läpi (alueet 1, 5, 2 ja 4) kulkee laivaväylä tai laivaväyliä, jotka saattavat rajoittaa voimaloiden sijoittelumahdollisuuksia, suurimmilla väylillä voimakkaastikin. Karttakuvassa 7-1 on tarkasteltu merituulivoima-alueita ja laivaväyliä. Vuoden 2000 jälkeen tulleet uudet väylät on merkitty karttaan punaisella katkoviivalla. Alueiden 1 ja 2 läpi kulkee nykyisin laivaväylät, joita ei ole aiemmassa selvityksessä otettu huomioon. Tuulivoimaloiden sijoittelua väyliin nähden on aiheellista tutkia tarkemmin mahdollisen hankesuunnittelun yhteydessä.

Hankkeiden mahdollisen jatkosuunnittelun yhteydessä tulee pyytää lausunto Puolustusvoimilta.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 7-1. Vuonna 2000 tehdyn sijoittuspaikkaselvityksen kahdeksan potentiaalista merituulivoima-aluetta. Karkea yhteenveto sijoituspaikkojen teknisesti mahdollisesta tuulivoimatuotantokapasiteetista (*Electrowatt-Ekono Oy 2000*). Esitetty keskituulennopeus perustuu tätä selvitystä varten tehtyyn tuuliresurssimallinnukseen (kappale 5.1).

Alueen nro	Alueen rajat tai kuvaus	Maksimikapasiteetti MW[9]	Tuulennopeus m/s (100 m korkeudella)
1	Rysäkari-Korkeakupu-Pihlaisto-Pitkäkari	48	8.6
2	Tammakari-Tiirakari-Taulukari-Laakapaasi	48	8.8
3	Kuivasaaren ympäistö	24	8.8
4	Matalakari-Mustakumpu-Tammaluoto	42	8.7
1-4 yht.		162	
5	Rysäkari-Louekari-Koirasaari	45–80	8.8
6	Isosaaren pohjoispuolen matalikot	36–60	8.7
7	Matalakarilta lounaaseen suuntautuva matalikkoketju	45–75	8.9
8	Matalakari-Länsitoukki	33–55	8.8
5-8 yht.		174–290	

Taulukossa 7-1 mainituilla tuulennopeuksilla 100 m korkeudella sähköntuotantokustannus merituulivoimalle on arviolta selvästi yli 100 €/MWh. Tämänhetkisellä sähkönhinnalla ja tuulivoimatuotannon tukitasolla hankkeiden toteuttaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Helsingin alueen merituulivoimahankkeiden huono kannattavuus ei johdu itse hankealueista vaan merituulivoiman yleisestä kannattavuudesta nykyiseen tukitasoon nähden.

[9] Maksimikapasiteetilla tarkoitetaan tuulivoimaloiden yhteenlaskettua maksimitehoa, joka alueelle on mahdollista rakentaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 7-2. Yhteenveto merituulivoiman mahdollisuuksista.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
Pientuulivoima (alle 50 kW)	[kokoluokka ei sovellu merialueelle]	
Keskikokoinen (50–350 kW)	[kokoluokka ei sovellu merialueelle]	
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Tuulivoimaloiden sijoittelussa tulee huomioida fyysisen ympäristön olosuhteet, verkkoonliityntämahdollisuudet sekä tuulivoimaloiden sijoittaminen suhteessa laivaväyliin.	Tämän hetkisellä sähkönhinnalla ja tukitasolla merituulivoimarakentaminen ei ole kannattavaa. Mikäli esimerkiksi tukitaso muuttuu, on Helsingin edustalle teknisesti mahdollista toteuttaa yhteensä jopa muutamien satojen megawattien tuulivoimalakokonaisuus.

7.1.2 Ulkosaaristo

7.1.2.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet

Ulkosaaristo on rakentamisen kannalta hyvin erilainen kuin vesialueet (maarakentaminen suhteessa merirakentamiseen). Alueita kuitenkin yhdistää samankaltainen ympäröivä alueidenkäyttö, joka vaikuttaa suuresti tuulivoiman sijoitusmahdollisuuksiin.

Yksittäisten saarten sopivuus tuulivoimatuotantoon sekä niille mahdollisesti soveltuva tuulivoiman kokoluokka riippuvat saarten muusta maankäytöstä, sähköntarpeesta sekä siitä, ulottuuko sähköverkko mantereelta saarelle nykyisellään. Mikäli sähköverkkoliityntämahdollisuutta ei tällä hetkellä ole, on epätodennäköistä, että tällaiselle saarelle kannattaisi rakentaa sellainen tuulivoimatuotantokokonaisuus, joka vaatisi oman verkkoliitynnän rakentamisen. Toisaalta tällaiset saaret ovat sopivia pienemmän kokoluokan (sähköntarpeesta riippuen) tuulivoimatuotannolle juuri sähköverkon puutteen vuoksi. Saarten jo olemassa olevia sähköverkkoyhteyksiä voidaan joissain määrin hyödyntää tuulivoimatuotannon liittämiseksi laajempaan sähköverkkoon. Liitettävää tehomäärää rajoittavat tietyt tekniset tekijät, kuten verkon komponenttien mitoitusarvot.

Ulkosaaristoon voivat soveltua kaikki kolme tässä selvityksessä tarkasteltua kokoluokkaa: pienet ja keskikokoiset voimalat, jotka tuottavat sähköä esimerkiksi yksittäisille loma-asunnoille tai virkistyskäyttösaarille sekä isomman teollisen kokoluokan tuulivoimalat, jotka sijoitettaisiin harvemmin asutetuille alueille.

Loma-asutusta ja virkistyskäyttöä palvelevia pieniä tai keskikokoisia voimaloita on todennäköisesti kannattavinta sijoittaa erityisesti saarille, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Tällaisia saaria ovat esimerkiksi Rysäkari ja Satamakari.

Teollisen kokoluokan voimaloiden mahdollisia sijoituspaikkoja voisivat olla esimerkiksi virkistyskäytössä olevat isommat saaret, joissa ei kuitenkaan ole loma-asutusta. Tällaisia saaria ovat esimerkiksi armeijan käytöstä vapautuneet Isosaari ja Kuivasaari. Saarille voisi sijoittaa joitakin teollisen kokoluokan voimaloita. Saaristossa teollisen kokoluokan voimaloiden sijoittamista rajoittavat muun muassa saarten muu alueidenkäyttö,

Copyright © Pöyry Finland Oy

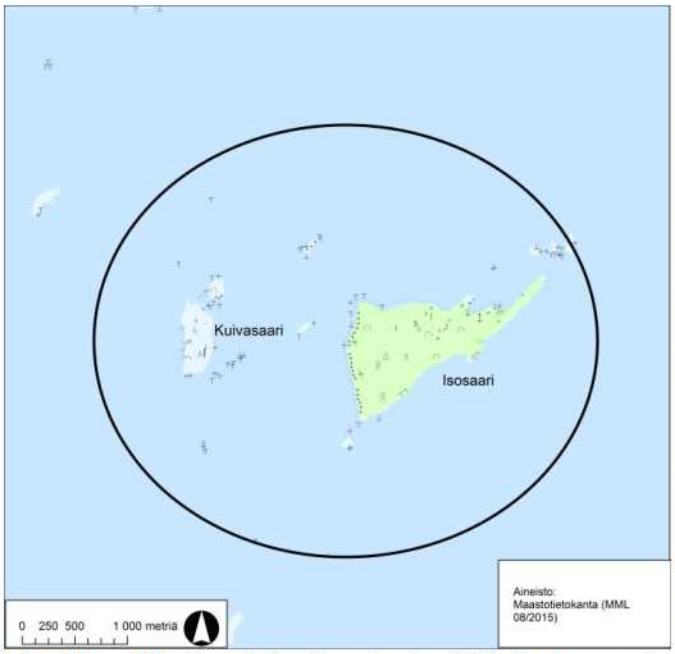
niiden koko (rajoittaa sijoitettavien tuulivoimaloiden määrää) sekä sähköverkon laajuus. Teollisen kokoluokan tuulivoimalat tarvitsevat taloudellisesti kannattavan verkkoliityntäpisteen. Kannattavuus on tapauskohtaista ja riippuu muun muassa lähimmän mahdollisen liityntäpisteen etäisyydestä sekä tuulivoimapuiston koosta.

7.1.2.2 Voimalakoot ja -määrät

Pientuulivoimatuotanto voi korkeasta tuotantokustannuksestaan (kuva 2-10) huolimatta olla kannattavaa ulkosaariston loma-asutuksen ja muun alueiden käytön yhteydessä, siellä, minne sähkönjakeluverkko ei ulotu. Mainittavia saaria ovat esimerkiksi Satamakari ja Pikku-satamakari. Pientuotannon kannattavuutta lisää ulkosaariston tyypillisesti hyvät tuuliolosuhteet. Mahdollisia sijoituspaikkoja on käytännössä kaikilla ulkosaariston saarilla. Tuulivoimaloiden teho tulee mitoittaa vastaamaan sähkön tarvetta.

Keskikokoluokan tuulivoimaloita on mahdollista sijoittaa erityisesti Isosaarelle (kuva 7-2) ja Rysäkarille (kuva 7-3). Sähköntarve tulisi saarilla tällöin olla sellainen, että se vastaisi keskikokoluokan tuulivoimalan tuotantoa. Myös tämän kokoluokan kannattavuutta lisää ulkosaariston tyypillisesti hyvät tuuliolosuhteet.

Isosaaren alueelle olisi mahdollista sijoittaa 1–3 teollisen kokoluokan voimalaa (kuva 7-2).



Isosaaren alue sijaitsee Helsingin itäisellä merialueella noin 4 kilometriä Santahaminasta etelään. Alueella sijaitsevia isompia saaria ovat Isosaari ja Kuivasaari, jotka ovat molemmat vapautuneet virkistyskäyttöön Puolustusvoimilta.

Isosaaren pinta-ala on noin 76 hehtaaria ja Kuivasaaren noin 20 hehtaaria. Saarille olisi mahdollista sijoittaa 1–3 teollisen kokoluokan voimalaa. Saaret soveltuvat myös keskikokoiseen tuulivoimatuotantoon.

Isosaari on yhdistetty ulkoiseen sähköverkkoon kahden 20 kV:n merikaapelin kautta. Oletusarvoisesti tällainen yhteys riittäisi muutamien teollisen kokoluokan tuulivoimaloiden sähkötehon siirtämiseen, mutta liitettävää tehomäärää voi rajoittaa Isosaaren sähköverkkoon liittyneen kulutuksen hyvän sähkönlaadun varmistaminen. Täten saaren olemassa olevaan sähköverkkoon voidaan todennäköisesti liittää vähintään pientuulivoimatuotantoa, mutta erityisesti useamman megawatin tuulivoimatuotannon liittäminen riippuu saareen liittyneestä kulutuksesta.

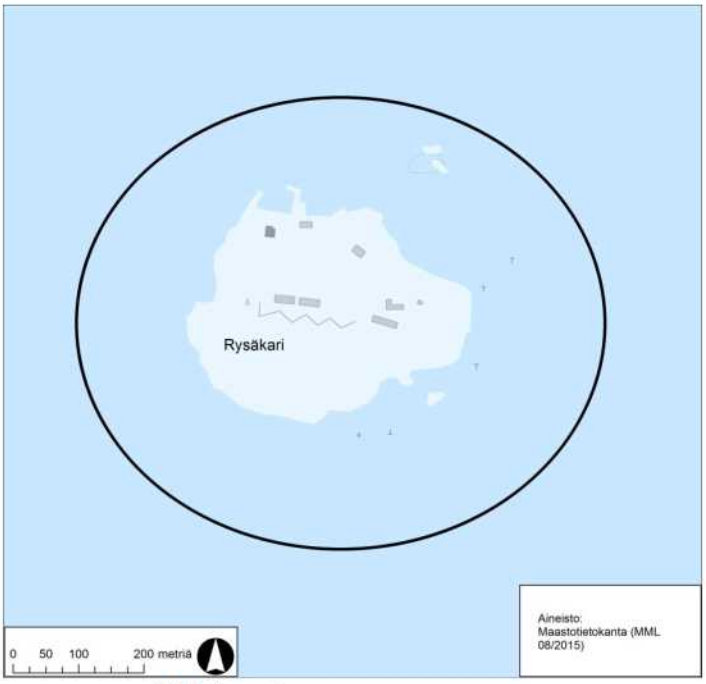
Mikäli teollisen tuotannon voimaloita ei voida liittää saaren olemassa olevaan sähköverkkoon, on tuulivoimalat liitettävä uudella meri- ja maakaapelilla sisämaan keskijänniteverkkoon. Yhtenä potentiaalisena liittymispisteenä voisi olla esimerkiksi Laajasalon sähköasemaan (n. 9 km:n kaapeliyhteys).

Alueen tuuliolosuhteet ovat hyvät, Isosaaren kohdalla 50 metrin korkeudella tuulennopeus on 7,8 m/a ja 100 metrin korkeudella 8,6 m/s.

Saaren liityntä mantereen sähköverkkoon tekee pientuulivoimasta kannattamatonta alueella. Sähköntuotanto omaan käyttöön keskikokoluokan voimaloilla olisi saarilla todennäköisesti kannattavaa tämän hetkisellä sähkönhinnalla. Teollisen kokoluokan tuulivoiman tuotantokustannus voisi arviolta jäädä selvästikin nykyisen syöttötariffitason alle, jolloin tämän kokoluokan tuotanto olisi kannattavaa.

Kuva 7-2. Isosaaren alueen potentiaalinen tuulivoima-alue.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Rysäkari sijaitsee Helsingin läntisellä merialueella noin 5 kilometriä Lauttasaaren kärjestä lounaaseen. Saari on vapautunut Puolustusvoimien käytöstä ja myyty Rysäkarin Linnake Oy:lle 2011. Saaren koko on noin 33 hehtaaria (*Rysäkarin Linnake Oy 2015*).

Saarta pyritään kehittämään ja uudisrakentamaan, mutta kaksi tätä merkittävästi rajoittavaa tekijää ovat sähkö ja satama. Sähkö tuotetaan tällä hetkellä dieselvoimalla ja pienellä määrällä aurinkovoimaa. (*Rysäkarin Linnake Oy 2015*)

Saarelle olisi mahdollista sijoittaa pieniä tai keskikokoisia tuulivoimaloita täydentämään nykyisiä sähköntuotantotapoja. Saarelle rakennettava tuulivoimatuotanto tulisi kooltaan mitoittaa vastaamaan saaren sähköntarvetta.

Alueen tuuliolosuhteet ovat hyvät, 50 metrin korkeudella arvioitu tuulennopeus on 8 m/s ja 100 metrin korkeudella 8,7 m/s.

Saaren sähköntarve ei todennäköisesti vastaa teollista kokoluokkaa. Keskikokoisen ja pientuulivoiman kannattavuus Rysäkarilla riippuu niiden vaihtoehtoiskustannuksesta. Tuuliolosuhteet saarella ovat hyvät, mikä kasvattaa kannattavuutta.

Kuva 7-3. Rysäkarin potentiaalinen tuulivoima-alue.

Teollisen kokoluokan ja keskikokoisten voimaloiden mahdollisen jatkosuunnittelun osana tulee muun vaikutusten arvioinnin yhteydessä pyytää lausunto Puolustusvoimilta, mikäli suunniteltujen voimaloiden kokonaiskorkeus on yli 50 m.

Taulukko 7-3. Yhteenveto ulkosaariston mahdollisuuksista tuulivoimalle.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Mahdollisia sijoituspaikkoja käytännössä kaikilla ulkosaariston saarilla.
Keskikokoinen (50–350 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Mahdollisia sijoituspaikkoja erityisesti Isosaaren alueella ja Rysäkarilla.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Virkistyskäytössä olevat isommat saaret, joilla ei ole loma-asutusta. Rakennettavaan kokonaistehoon vaikuttavat käytettävissä oleva pinta-ala sekä sähköverkkoliitännän rajoitukset	Isosaaren alueella mahdollisuus 1–3 voimalan sijoittamiseen.

Copyright © Pöyry Finland Oy

7.2 Saaristo

Saaristo on tuuliolosuhteiltaan pääosin otollinen tuulivoimantuotantoon. Tarkemmassa tarkastelussa yksittäisten alueiden sopivuus tuulivoimatuotantoon ja tuulivoiman kokoluokka riippuu muun muassa loma-asutuksen määrästä, suojelualueista ja verkkoliityntämahdollisuuksista.

7.2.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet

Saaristoon voivat soveltua kaikki kolme tässä selvityksessä tarkasteltua kokoluokkaa: pienet ja keskikokoiset voimalat, jotka tuottavat sähköä esimerkiksi yksittäisille loma-asunnoille tai virkistyskäyttösaarille, sekä isomman teollisen kokoluokan tuulivoimalat, jotka sijoitettaisiin harvemmin asutetuille alueille.

Loma-asutusta ja virkistyskäyttöä palvelevia pieniä tai keskikokoisia voimaloita on todennäköisesti kannattavinta sijoittaa erityisesti saarille, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Muun muassa Helsingin itäinen saaristo on vielä monilta osin sähköverkon ulkopuolella, ja tulee osittain edelleen olemaan nykyisten sähköverkon laajennussuunnitelmien toteuduttua.

Saaristossa teollisen kokoluokan voimaloiden sijoittamista rajoittavat muun muassa saarten muu alueiden käyttö, niiden koko (rajoittaa sijoitettavien tuulivoimaloiden määrää) sekä mahdollisuudet liittyä sähköverkkoon. Erityisen haasteellista Helsingin saaristossa teollisesta tuulivoimatuotannosta tekee saarten loma-asutus. Suuren kokoluokan tuulivoima on heikosti yhdistettävissä tällaiseen maankäyttöön muun muassa ääneen ja maiseman muutokseen liittyvistä syistä. Teollisen kokoluokan tuulivoimalat tarvitsevat verkkoliityntäpisteen, joka on taloudellisesti kannattava. Kannattavuus on tapauskohtaista ja riippuu muun muassa lähimmän mahdollisen liityntäpisteen etäisyydestä sekä tuulivoimapuiston koosta.

7.2.2 Voimalakoot ja -määrät

Pientuulivoimatuotanto voi korkeasta tuotantokustannuksestaan (kuva 2-10) huolimatta olla kannattavaa saariston loma-asutuksen ja muun alueiden käytön yhteydessä siellä, minne sähkönjakeluverkko ei ulotu. Esimerkiksi Helsingin itäisessä saaristossa on useita sähköverkon ulkopuolella olevia saaria, joilla on runsaasti loma-asutusta ja monin paikoin myös erityyppistä kurssi- ja virkistystoimintaa. Näistä mainittakoon Satamasaari, Louesaari, Pikku Niinisaari, Malkasaari ja Iso Iiluoto, joissa sähkönkäyttäjien määrä voi olla riittävän suuri myös keskikokoluokan tuulivoimatuotannolle. Rakennettavien tuulivoimaloiden teho tulee mitoittaa vastaamaan sähkön tarvetta. Tuulivoimaloiden vaikutukset saarten loma-asutukseen ja virkistyskäyttöön tulee arvioida tarkemmin mahdollisessa jatkosuunnittelussa. Voimaloiden vaikutusten arvioinnin yhteydessä tulee pyytää lausunto Puolustusvoimilta, mikäli suunniteltujen voimaloiden kokonaiskorkeus on yli 50 m.

Teollisen kokoluokan tuulivoiman sijoittaminen Helsingin saaristoon ei todennäköisesti ole mahdollista johtuen loma-asutuksesta sekä toisaalta riittävän laajojen mahdollisten sijaintipaikkojen puutteesta.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 7-4. Yhteenveto saaristoalueen mahdollisuuksista tuulivoimalle.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Mahdollisia sijoituspaikkoja useilla saarilla esimerkiksi Helsingin Itäisessä saaristossa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	Saaret, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Koon mitoitus kulutuksen mukaan.	Esimerkiksi Satamasaaren, Louesaaren, Pikku Niinisaaren, Malkasaaren ja Iso Iliuodon alueilla kulutus voi mahdollistaa yksittäisten voimaloiden sijoittamisen saarten omaan käyttöön.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Virkistyskäytössä olevat isommat saaret, joilla ei ole loma-asutusta. Rakennettavaan kokonaistehoon vaikuttavat käytettävissä oleva pinta-ala sekä sähköverkkoliitännän rajoitukset	Ei mahdollisia sijoituspaikkoja

7.3 Rantavyöhyke ja sisälahdet

Rantavyöhyke ja sisälahdet -vyöhyke sisältää joukon erilaisia alueita erilaisista teollisuusalueista ja isoista satamista rauhallisiin vehreisiin sisälahtiin. Vyöhykkeellä on hyvin monenlaista alueiden käyttöä, lähellä rantaa sijaitsevasta asutuksesta virkistys- ja viheralueisiin (kuva 5-6). Lisäksi tuuliolosuhteet vaihtelevat suuresti paikkakohtaisesti: vallitsevaan tuulensuuntaan ja merelle avoimet paikat ovat tuuliolosuhteiltaan huomattavasti suojaisia, avomerestä suojattuja rantoja ja lahtia parempia.

7.3.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet

Pientuulivoimalat ovat mahdollisia asutuilla ranta-alueilla ja sisälahdilla sekä luonnontilaisilla ranta-alueilla. Joidenkin kilowattien kokoisia pientuulivoimaloita on mahdollista sijoittaa tiheästikin rakennetuille alueille, kunhan ne ovat tarpeeksi etäällä asuinrakennuksista. Riittävä etäisyys asuinrakennuksesta on voimalakohtainen ja riippuu muun muassa voimalan tehosta ja fyysisestä koosta. Tulee myös huomioida, että Helsingin kaupungin rakennusjärjestyksen mukaan voimaloiden sijainnin sijaintikiinteistön rajasta on oltava vähintään voimalan kokonaiskorkeuden verran.

Virkistys- ja viheralueet ovat paikoin hyvin kapeita kaistaleita, joten nekin soveltuvat korkeintaan hyvin pienelle tuulivoimatuotannolle. Osa alueista on myös hyvin suojaisia, mikä vaikuttaa tuuliolosuhteisiin heikentäen tuulivoimatuotannon kannattavuutta. Esimerkiksi Rastilan uimarannalla tuulennopeus jää alle 6 m/s 50 m korkeudella ja Östersundomin rannikollakin alle 6,5 m/s vastaavalla korkeudella. Rannikolla kiinnostavia paikkoja keskikokoluokan tuulivoimatuotannolle ovatkin laajemmat asutuksesta vapaat alueet, jotka sijoittuvat vallitsevaan tuulensuuntaan nähden otollisesti. Esimerkiksi Tahvonlahdenniemen lounaispuolella Kruunuvuorenrannan läheisyydessä voi olla tällaisia yksittäisiä keskikokoiselle tuulivoimalalle sopivia paikkoja. Pääosin kuitenkin pien-

Copyright © Pöyry Finland Oy

tuulivoimaa suurempi tuotanto on vaikeasti yhteen sovittavissa muun maankäytön, pääosin asutuksen, kanssa.

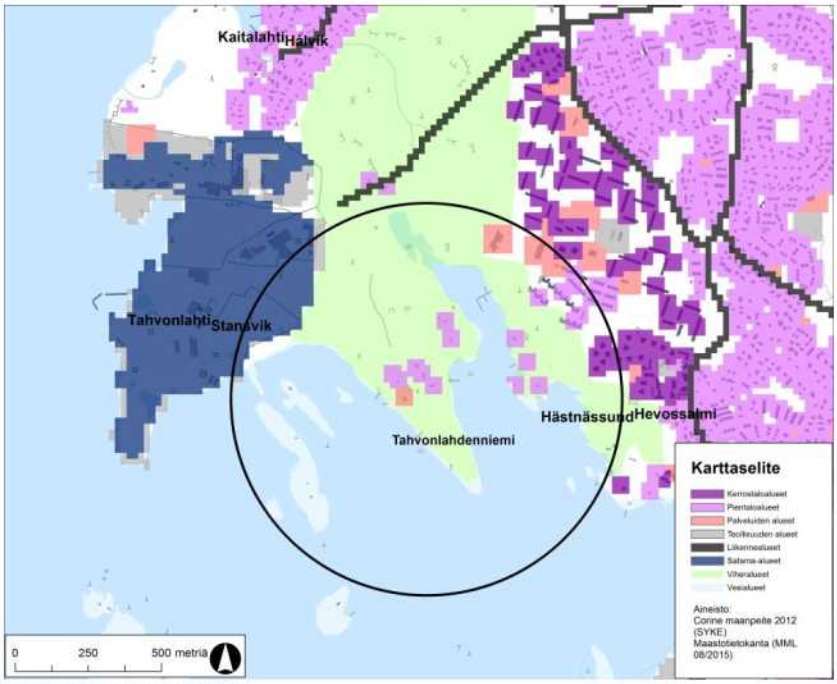
Teollisen kokoluokan tuulivoiman sijoittamismahdollisuudet rantavyöhykkeellä ja sisälahdissa kohdistuvat satama- ja teollisuusalueille: ne ovat jo valmiiksi rakennettuja ympäristöjä, jolloin tuulivoiman vaikutukset jäävät pienemmiksi.

Vuosaaren sataman kaltainen teollisuus- ja satama-alue on esimerkki tuulivoimalle sopivasta rakennetusta ympäristöistä. Sen osalta on huomioitava, että Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) 171§:n nojalla kunta tai ELY-keskus voi myöntää poikkeuksen MRL:n määräyksistä ja säädöksistä, jolloin tuulivoiman rakentamista varten aluetta ei tarvitse kaavoittaa uudestaan tuulivoimatuotantoon vaan rakennuslupa voidaan myöntää poikkeamismenettelyllä.

7.3.2 Voimalakoot ja -määrät

Rantavyöhyke ja sisälahdet ovat kauttaaltaan sähkönjakeluverkon piirissä, joten pientuulivoiman rakentaminen tällä aluevyöhykkeellä ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Mahdollinen yksittäinen keskikokoluokan voimala voisi sijoittua Kruunuvuorenrannan lähelle Tahvonlahdenniemelle (kuva 7-4). Myös Uutelan alueelle voisi voimaloiden tarkemmasta koosta riippuen olla mahdollista sijoittaa yksi tai muutama keskikokoluokan voimala (Kuva 7-5). Viereisen Kallahdenniemen soveltuvuutta rajoittavat suojelualueet sekä muu maankäyttö.



Tahvonlahdenniemi on Kruunuvuorenrannan itäpuolella sijaitseva virkistysalue, jolla sijaitsee myös Stansvikin kartano.

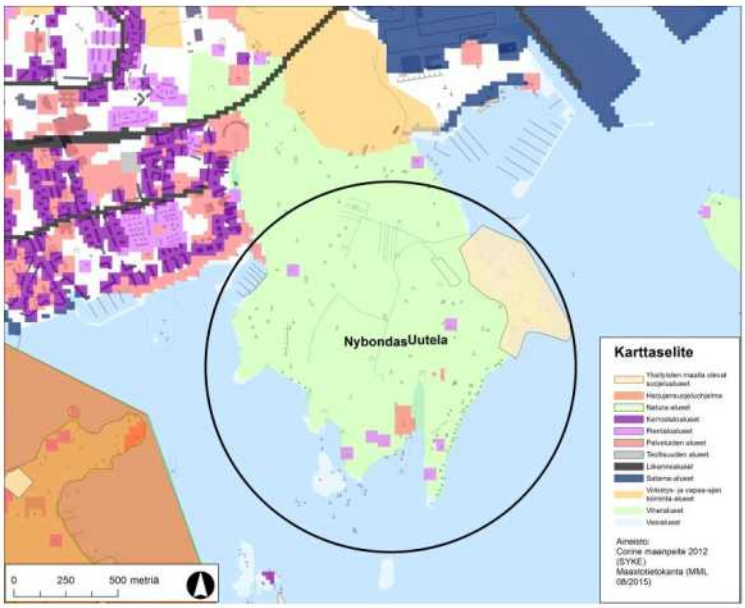
Alueelle voi olla mahdollista sijoittaa yksittäinen keskikokoluokan voimala. Tämän kokoinen voimala olisi mahdollista liittää esimerkiksi paikalliseen keskijänniteverkkoon tai läheiseen kiinteistömuuntamoon.

Alueen lounaisreunalla tuuliolosuhteet ovat kohtalaiset, 50 metrin korkeudella arvioitu tuulennopeus on 7 m/s.

Tuotantokustannus on arviolta yli 100 €/MWh, joten tuulivoimatuotanto alueella tämän päivän sähkönhinta ja tuotantotukitaso huomioiden ei ole kannattavaa. Alueen rakennusten omaan käyttöön tuotanto sen sijaan voi olla kannattavaa.

Kuva 7-4. Tahvonlahdenniemen potentiaalinen tuulivoima-alue.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Uutelan alue sijaitsee Vuosaaren kaakkoisnurkassa. Uutela koostuu pääosin viheralueista ja on suosittu ulkoilualue.

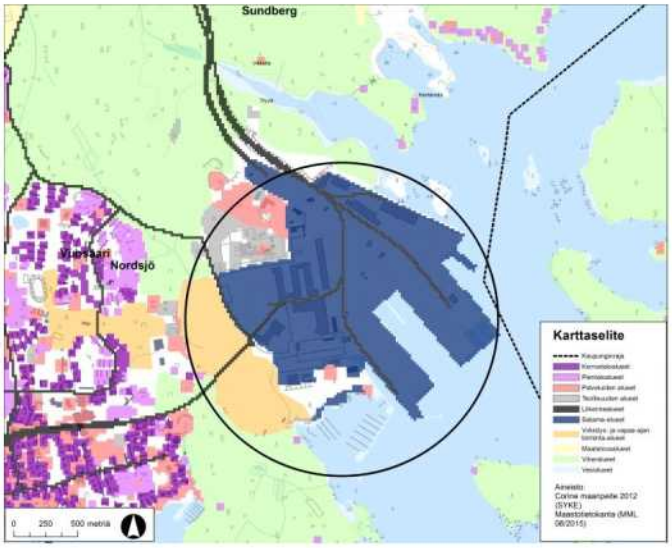
Alueelle voi olla mahdollista sijoittaa yksittäisiä keskikokoisia voimaloita. Keskikokoiset voimalat olisi mahdollista liittää tarkasta sijaintipaikasta riippuen esimerkiksi lähialueen kiinteistömuuntamoihin tai keskijänniteverkkoon uudella 1-2 km kaapeliyhteydellä.

Alueen tuuliolosuhteet ovat hyvät, alueen kärjessä 50 metrin korkeudella tuulennopeus on 7,3 m/s.

Tuotantokustannus keskikokoluokan tuulivoimalle on arviolta hieman alle 100 €/MWh, joten tuotanto alueella tämän päivän sähkönhinta ja tuotantotukitaso huomioiden ei ole kannattavaa. Alueen rakennusten omaan käyttöön tuotanto sen sijaan voi olla kannattavaa.

Kuva 7-5. Uutelan potentiaalinen tuulivoima-alue.

Vuosaaren satamassa tulisi tuulivoiman rakentamista selvittää yksityiskohtaisemmilla selvityksillä toteutuskelpoisuuden selvittämiseksi. Todennäköisesti Vuosaaren satama-alueelle voi rakentaa korkeintaan yksittäisiä teollisen kokoluokan voimaloita (kuva 7-6). Tuotantokustannus sataman alueella on arviolta jonkin verran yli nykyisen syöttötariffitason, joten tuulivoiman rakentaminen Vuosaareen ei välttämättä olisi tällä hetkellä taloudellisesti kannattavaa. Tulevaisuuden kannattavuus riippuu paitsi sähkönhinnasta ja tuulivoimatuotannon tukitasosta myös teknologian kehittymisestä.



Vuosaaren satama on teollisuus- ja satama-alue Itä-Helsingissä ja on jo rakennettuna teollisena ympäristönä maankäytöltään otollinen tuulivoimarakentamiselle.

Alueelle voi olla mahdollista sijoittaa yksittäisiä teollisen kokoluokan voimaloita. Vuosaaren satama sijaitsee Vuosaaren sähköaseman välittömässä läheisyydessä, ja yksittäiset voimalat voitaisiin liittää joko satama-alueen omaan keskijänniteverkkoon tai Vuosaaren sähköaseman keskijännitekojeistoon.

Alueen tuuliolosuhteet ovat kohtalaiset, 50 metrin korkeudella tuulennopeus on 6,1 m/s ja 100 metrin korkeudella 7,1 m/s.

Tuotantokustannus on arviolta jonkin verran yli nykyisen syöttötariffitason, joten tuulivoiman rakentaminen Vuosaareen ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavaa.

Kuva 7-6. Vuosaaren sataman potentiaalinen tuulivoima-alue.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Teollisen ja keskikokoluokan voimaloiden mahdollisen jatkosuunnittelun osana tulee muun vaikutusten arvioinnin yhteydessä pyytää lausunto Puolustusvoimilta, mikäli suunnitellun voimalan kokonaiskorkeus on yli 50 m.

Taulukko 7-5. Yhteenveto rantavyöhykkeen ja sisälahtien mahdollisuuksista tuulivoimalle.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Useita teknisesti mahdollisia paikkoja: voimalat tulee mitoittaa ja sijoittaa sopivasti muuhun maankäyttöön, erityisesti asutukseen, nähden.	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	Voimalat tulee mitoittaa ja sijoittaa sopivasti muuhun maankäyttöön, erityisesti asutukseen, nähden.	Muutama tai yksittäinen voimala mahdollinen Uutelaan tai Tahvonlahdenniemelle.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Sijoitus valmiiksi rakennetuille teollisuus- ja satama-alueille.	Korkeintaan muutama voimala Vuosaaren satama-alueelle.

7.4 Helsingin ydinkeskusta

Helsingin ydinkeskustan alueella merkittävin tuulivoiman sijoittamismahdollisuuksiin vaikuttava tekijä on sen yhteensovittaminen tiheän rakentamisen ja muun intensiivisen maankäytön kanssa.

7.4.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet

Ydinkeskustan kaltaisella tiheästi rakennetulla alueella tuulivoimatuotannon mahdollisuuksia rajoittavat paitsi muu alueiden käyttö myös muun muassa niistä syntyvä ääni. Näin ollen pientuulivoima on kokoluokaltaan ainoa mahdollinen ratkaisu.

Tiheästi rakennettu alue estää tuulen virtausta maanpinnan tasolla. Esimerkiksi rakennukset ja puistot, joissa on paljon puita ja pensaita, vaikuttavat ilmavirtaukseen. Lisäksi tuulennopeus kasvaa korkeuden kasvaessa. Näin ollen keskustan alueella sopivimmat sijoituspaikat pienvoimaloille ovatkin talojen katot.

Ydinkeskustan alueella on mahdollista hyödyntää tuulivoimaa paitsi kiinteistöjen yhteydessä, myös vielä pienemmässä mittakaavassa kuten puisto- ja katuvalaistuksessa tai valotaulujen tai -mainosten yhteydessä. Tässä tarkoituksessa, kuten myös kiinteistöjen yhteydessä, voidaan hyödyntää paitsi pieniä tyypillisemmän näköisiä vaaka-akselisia tuulivoimaloita myös pystyakselisia voimaloita. Alhaisemman äänitason vuoksi ne saattavat soveltua vaaka-akselisia paremmin tiheään rakennetulle alueelle.

7.4.2 Voimalakoot ja -määrät

Pientuulivoima on ainoa mahdollinen kokoluokka ydinkeskustan alueella. Keskustan alueella tuulennopeuden keskiarvo on noin 5,5 metriä sekunnissa 50 metrin korkeudella. Näissä olosuhteissa pientuulivoima ei ole toteuttajalleen taloudellisesti kannattavaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kannustin pientuulivoiman rakentamiseen ydinkeskustan alueella tulee muusta kuin taloudellisesta kannattavuudesta, esimerkiksi imagon luontiin liittyvistä syistä.

Taulukko 7-6. Yhteenveto ydinkeskustan mahdollisuuksista tuulivoimalle.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Kiinteistöjen yhteydessä tai esim. valaistuksen ja valotaulujen yhteydessä.	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista ydinkeskustan alueella]	
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista ydinkeskustan alueella]	

7.5 Muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet

Vaikka tällä aluevyöhykkeellä rakentaminen ei olekaan kaikkialla aivan yhtä tiivistä ja korkeaa kuin ydinkeskustassa, on vyöhyke tuulivoimarakentamisen kannalta hyvin samantyyppinen kuin ydinkeskusta. Mahdollinen käytettävä kokoluokka on myös läheisestä alueenkäytöstä riippuvainen.

7.5.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet

Tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla on pitkälti samat sijoitusperiaatteet kuin ydinkeskustan alueellakin. Teollisen tai keskikokoluokan tuulivoimarakentamisen yhteensovittaminen muun maankäytön kanssa ei ole mahdollista.

Talojen katot ovat pienvoimaloiden mahdollisia sijoituspaikkoja. Ydinkeskustaa hieman väljempi tyyli rakentaa mahdollistaa paikoin voimaloiden sijoittamisen myös maan tasalle, mutta tiheä rakentaminen kuitenkin rajoittaa merkittävästi voimaloiden kokoa. Voimaloiden on joka tapauksessa oltava riittävän etäällä asuinrakennuksista. Riittävä etäisyys on voimalakohtainen ja riippuu muun muassa voimalan tehosta ja fyysisestä koosta. Tulee myös huomioida, mitä Helsingin kaupungin rakennusjärjestys sanoo voimaloiden sijainnista suhteessa sijaintitontin rajaan: etäisyys on oltava vähintään voimalan kokonaiskorkeuden mukainen. Tuulivoimalat tulee myös pyrkiä sijoittamaan paikalle, jossa tuulen virtaus ei häiriinny ennen voimalaa.

Tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla on ydinkeskustan alueen tapaan mahdollista hyödyntää tuulivoimaa paitsi kiinteistöjen yhteydessä, myös vielä pienemmässä mittakaavassa kuten puisto- ja katuvalaistuksessa tai valotaulujen tai -mainosten yhteydessä. Tässä tarkoituksessa, kuten myös kiinteistöjen yhteydessä, voidaan hyödyntää paitsi pieniä tyypillisemmän näköisiä vaaka-akselisia tuulivoimaloita myös pystyakselisia voimaloita. Alhaisemman äänitason vuoksi ne saattavat soveltua vaaka-akselisia paremmin tiheään rakennetulle alueelle.

7.5.2 Voimalakoot ja -määrät

Teollisen tai keskikokoluokan tuulivoimatuotanto ei ole mahdollista Helsingin tiheään rakennetuilla kaupunkialueilla.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Esimerkiksi Lauttasaaressa tuulennopeuden keskiarvo on parhaimmillaan jopa 7,6 m/s 50 metrin korkeudella maanpinnasta. Korkeasta tuulennopeudesta huolimatta pientuulivoiman tuotantokustannus on arviolta selvästi yli tämän hetkisen sähkönhinnan eikä pientuulivoiman rakentaminen näin ole toteuttajalleen taloudellisesti kannattavaa. Matalammilla korkeuksilla keskituulennopeus on tässä mainittua alhaisempi ja kannattavuus vielä huonompaa.

Kannustin pientuulivoiman rakentamiseen tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla tulee muusta kuin taloudellisesta kannattavuudesta, esimerkiksi imagon luontiin liittyvistä syistä.

Taulukko 7-7. Yhteenveto muiden tiheästi rakennettujen kaupunkialueiden mahdollisuuksista tuulivoimalle.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Teknisesti mahdollista. Kiinteistöjen yhteydessä tai esim. valaistuksen ja valotaulujen yhteydessä. Pienessä koossa myös maantasossa riittävä etäisyys kiinteistörajoihin ja rakennuksiin huomioiden	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista alueella]	
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	[Kokoluokan rakentaminen ei ole mahdollista alueella]	

7.6 Muut sisämaan alueet

Helsingin alueella on monenlaista alueidenkäyttöä ja tiheästi rakennettujen alueiden ulkopuolella on myös huomattavasti väljempää. Siellä tulee kuitenkin huomioida muun muassa tuulivoimatuotannon yhteensovittaminen mahdollisten luonnonsuojelualueiden kanssa. Lukuun ottamatta ympäröivää maastoa korkeampia alueita ja kohtia, monilla sisämaan alueilla tuulennopeudet jäävät niin alhaisiksi, ettei tuulivoimatuotanto ole tällä hetkellä kannattavaa.

7.6.1 Sijoitusperiaatteet ja -mahdollisuudet

Teknisestä näkökulmasta pientuulivoiman sijoittamiselle on monia mahdollisuuksia muilla sisämaan alueilla. Haaste pientuulivoiman tuotannolle tällä alueella on erityisesti sen taloudellinen kannattavuus. Tulee myös huomioida mahdollisuus hyödyntää tuulivoimaa puisto- ja katuvalaistuksessa tai valotaulujen tai -mainosten yhteydessä. Tällaisia kohteita voisi olla väljemmillä sisämaa-alueilla paikoilla, joilla ei ole välittömässä läheisyydessä mahdollisuutta liittyä sähköverkkoon. Tässä tarkoituksessa voidaan hyödyntää paitsi pieniä tyypillisemmän näköisiä vaaka-akselisia tuulivoimaloita myös pystyakselisia voimaloita.

Teollisuusalueet sopivat alueidenkäytöltään erityisen hyvin yhteen tuulivoimatuotannon kanssa. Teollisuusalueilla on usein myös muita äänenlähteitä eikä niillä pääsääntöisesti ole kulttuuri- tai maisema-arvoja. Helsingin teollisuusalueet ovat kuitenkin varsin tiiviitä eivätkä maankäytännöllisesti mahdollista teollisen kokoluokan tuulivoimatuotantoa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Keskikokoluokan tuulivoimaloiden osalta sijoittamismahdollisuuksia rajoittaa paitsi heikko taloudellinen kannattavuus, myös se, ettei riittävän kokoisia alueita ole vapaana.

Helsingissä on maatalousalueita Tuomarinkartanon, Itä-Pakilan, Haltialan ja Viikinrannan alueilla ja niiden läheisyydessä. Maatalous, erityisesti peltoviljely, ja tuulivoimatuotanto sopivat alueidenkäytöllisesti yhteen. Tuulivoimalat eivät estä ympäröivän alueen käyttöä viljelyyn. Helsingin alueen pellot ovat kuitenkin varsin pienialaisia eivätkä mahdollista merkittävän kokoluokan teollista tuulivoimaa. Yksittäiset keskikokoiset voimalat voivat kuitenkin olla mahdollisia, mikäli lentoesterajoitukset tai ympäristövaikutukset eivät niitä estä. Erityisesti Viikin alueella luonnonsuojelualue voi rajoittaa keskikokoisenkin tuulivoimatuotannon sijoitusmahdollisuuksia.

Myös metsäalueet ovat tuulivoimatuotannon kannalta kiinnostavia, jos niillä ei ole asutusta. Huomattava osuus Helsingin metsistä on keskuspuiston alueella. Myös Kumpulasta, Käpylästä, Patolasta ja Itä-Helsingistä löytyy metsäalueita. Patolan metsäalueen läheisyydessä on lisäksi lumenkaatopaikka. Metsäisillä alueilla on tuulivoimatuotannon kannattavuuden kannalta kuitenkin oleellista rakentaa niin suuria napakorkeuksia ja voimaloita, että ne ulottuvat selvästi metsänrajan yläpuolelle, jossa tuulennopeudet ovat paremmat. Näin suuren kokoluokan tuulivoimaloiden rakentaminen Keskuspuiston kaltaiselle alueelle on todennäköisesti ympäristövaikutustensa puolesta haasteellista. Näillä metsäalueilla tulisi selvittää tarkemmin paitsi voimaloiden vaikutukset ympäristöön, myös lentoesterajoitusten mahdollinen vaikutus toteutettavuuteen.

Helsingin sisämaa-alueelta löytyy myös muutamia ympäristöään korkeampia paikkoja, jotka ovat tuulivoimatuotannon kannalta kiinnostavia. Näitä ovat erityisesti Malminkartanonhuippu sekä Vuosaarenhuippu. Molemmat alueet ovat täyttömäkiä. Ne ovat myös melko pieniä, mikä rajoittaa mahdollisen tuulivoimatuotannon laajuuden yksittäisiin voimaloihin. On myös huomioitava, että, jos täyttömaata ei ole suunniteltu rakentamista varten, sille ei lähtökohtaisesti voi rakentaa. Aluetta voidaan kuitenkin tutkia tarkemmin ja selvittää, voidaanko täyttömaamäki paalutusten avulla saada täyttämään tuulivoimalan perustusten vaatimukset. Vuosaarenhuipun aluetta ympäröivät teiden lisäksi myös rautatie, sähkövoimajohdot ja luonnonsuojelualue, joiden vaikutusta alueen käyttömahdollisuuksiin tulee selvittää jatkosuunnittelussa.

Porvoonväylän pohjoispuolella Östersundomin alueella on yleiskaavaehdotuksessa merkitty alue aurinkoenergialle *(Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2014).* Tämä alue on kapea ja se sijaitsee suurelta osin sähkövoimajohtojen alapuolella, joten tuulivoimarakentaminen ei ole mahdollista kyseiselle alueelle. Aurinkoenergialle ehdotetun alueen läntisemmän osan pohjoispuoli (Norrberget) voisi kuitenkin alueidenkäytön kannalta olla sopiva ainakin keskikokoiselle tuulivoimalle. Yleiskaavaehdotuksessa tälle alueelle on ehdotettu maa-aineksen ottopaikkaa ja mahdollinen paikka maanalaiselle jätevedenpuhdistamolle. Yhteensovittamismahdollisuuksia näiden suunniteltujen käyttömuotojen kanssa olisi selvitettävä jatkosuunnittelussa. Myös Puroniityn alueella on laajempi yhtenäinen virkistys- ja ulkoilualue, joka voisi alueidenkäytön puolesta mahdollisesti sopia keskikokoiselle tuulivoimatuotannolle. Puroniityn alueella on kuitenkin merkittäviä linnusto- ja muita luontoarvoja, joten vaikutuksia näihin olisi arvioitava tarkemmin jatkosuunnittelun aikana. Koko Östersundomin alueella tuulivoimarakentamista koskeva suurin haaste on kuitenkin alhaiset tuulennopeudet (kuvat 5-3 ja 5-4). Östersundomin alue sijaitsee katveessa alueella vallitsevaan tuulensuuntaan nähden ja tuulennopeudet jäävät alueella siksi alhaisiksi.

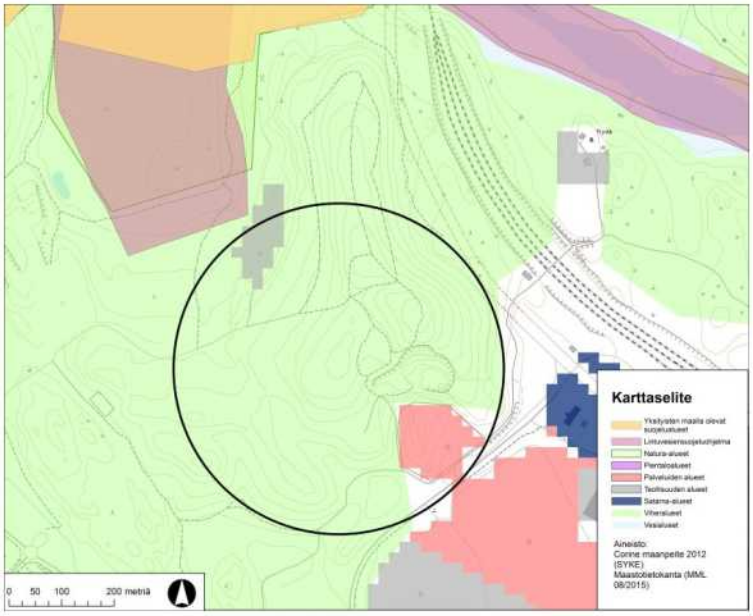
Copyright © Pöyry Finland Oy

7.6.2 Voimalakoot ja -määrät

Maatalousalueilla yksittäiset keskikokoiset voimalat voivat olla mahdollisia, mikäli lentoesterajoitukset tai ympäristövaikutukset eivät niitä estä. Niiden taloudellinen kannattavuus riippuu tarkemmasta tuulennopeudesta ja valittavasta teknologiasta. Esimerkiksi Viikin pelloille voisi olla mahdollista sijoittaa yksittäinen keskikokoluokan voimala. Kuitenkin tuuliolosuhteet ovat niin heikot, arviolta noin 6,2 m/s 50 m korkeudella, ettei tuulivoimatuotanto alueella olisi taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi kyseisen alueen osalta tulisi arvioida erityisesti tuulivoimatuotannon yhteensovittamista läheisen luonnonsuojelualueen kanssa.

Malminkartanonhuippu yltää noin 90 metrin korkeuteen merenpinnasta. Mallinnuksen mukainen keskituulennopeus alueella 100 m korkeudella maanpinnasta on noin 6,5 m/s. Teollisen tuulivoimatuotannon tuotantokustannus alueella on arvoilta nykyisen syöttötariffin tasoa. Huippu voi kuitenkin olla rakentamisen ja voimalan kuljettamisen kannalta haasteellinen, mikä laskee hankkeen toteuttamiskelpoisuutta. Huippua myös ympäröi tiivis maankäyttö. Näin ollen on tuskin mahdollista rakentaa alueelle teollisen kokoluokan tuulivoimala. Keskikokoluokan voimala ei myöskään olisi näissä tuuliolosuhteissa kannattava. Myös Kivikon korkeaa kohtaa ympäröi tiivis maankäyttö, ja tuulennopeus on mallinnuksen mukaan Malminkartanonhuippua alhaisempi.

Vuosaarenhuippu (kuva 7-7) yltää noin 65 metrin korkeudelle merenpinnasta. Mallinnuksen mukainen keskituulennopeus alueella 100 m korkeudella maanpinnasta on noin 7,5 m/s. Muutaman megawatin kokoluokkaa oleva yksittäinen voimala voi huipulla olla toteuttajalleen taloudellisesti kannattava, sillä tuotantokustannus voi jäädä nykyisen syöttötariffitason alapuolelle. Huipun rakennettavuus tulee kuitenkin selvittää tarkemmin. Myös lentoesterajoitusten vaikutukset sekä voimalan yhteensovittaminen muuhun läheiseen maankäyttöön tulee selvittää sekä pyytää lausunto Puolustusvoimilta.



Vuosaarenhuippu on maantäyttöalue Vuosaaressa. Vuosaarenhuipun läheisyydessä toimivat Vuosaaren teollisuus- ja satama-alueet, jotka sopivat maankäytöltään hyvin yhteen tuulivoimatuotannon kanssa.

Alueelle voi olla mahdollista sijoittaa yksittäinen teollisen kokoluokan voimala, mikäli alueen rakennettavuus sen sallii. Vuosaarenhuippu sijaitsee Vuosaaren sähköaseman välittömässä läheisyydessä, ja yksittäinen teollisen kokoluokan voimala voitaisiin liittää Vuosaaren sähköaseman keskijännitekojeistoon tai Vuosaaren satama-alueen keskijännite-verkkoon.

Alueen tuuliolosuhteet ovat hyvät, 50 metrin korkeudella tuulennopeus on 6,6 m/a ja 100 metrin korkeudella 7,5 m/s.

Tuotantokustannus jää arviolta nykyisen syöttötariffitason alle. Tuulivoimatuotannon toteuttaminen voi olla taloudellisesti kannattavaa.

Kuva 7-7. Vuosaarenhuipun potentiaalinen tuulivoima-alue.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Landbon länsipuolella mallinnuksen mukainen keskituulennopeus 100 metrin korkeudella on reilu kuusi metriä sekunnissa. Tällä tuulennopeudella teollisen tai keskikokoluokan tuulivoimatuotanto ei ole Porvoonväylän pohjoispuolisella Östersundomin alueella toteuttajalleen taloudellisesti kannattavaa.

Pientuulivoiman rakentaminen alueella ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Taulukko 7-8. Yhteenveto muiden sisämaan alueiden mahdollisuuksista tuulivoimalle.

Kokoluokka	Sijoittamisperiaatteet	Arvio voimalamäärästä
Pientuulivoima (alle 50 kW)	Teknisesti mahdollista. Kiinteistöjen yhteydessä tai esim. valaistuksen ja valotaulujen yhteydessä. Myös maantasossa riittävä etäisyys kiinteistörajoihin ja rakennuksiin huomioiden.	Ei ole alueella taloudellisesti kannattavaa.
Keskikokoinen (50–350 kW)	Muu maankäyttö huomioiden; väljät teollisuus-, metsä- ja maatalousalueet.	Yksittäisiä voimaloita mahdollista sijoittaa maatalousalueille tai Vuosaarenhuipulle.
Teollinen kokoluokka (yli 350 kW)	Muu maankäyttö huomioiden, erityisesti ympäristöään korkeammat alueet.	Vuosaarenhuipulle voi olla mahdollista rakentaa yksittäinen voimala, mikäli alueen rakennettavuus sallii.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Helsingin kaupungin alueen teknis-taloudellista soveltuvuutta tuulivoimatuotantoon tarkasteltiin kuuden eri aluevyöhykkeen kautta: meri, saaristo, rantavyöhyke ja sisälahdet, ydinkeskusta, muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet ja muut sisämaan alueet. Kullekin alueella esitettiin periaatteita ja mahdollisuuksia tuulivoimatuotannon sijoittamiseksi, huomioiden kolme tuulivoimaloiden kokoluokkaa: pientuulivoima, keskikokoinen kokoluokka (50–350kW) sekä teollinen kokoluokka.

Tuulivoiman sijoitusmahdollisuuksia koskevat arviot ovat alustavia. Tuulivoiman rakentaminen vaatii aina tarkempaa hankekohtaista suunnittelua ja muun muassa paikalla suoritettavia tuulimittauksia kannattavuuden selvittämiseksi. Erityisesti tulee huomioida, että tämän hetkiset johtopäätökset tuulivoimarakentamisen kannattavuudesta voivat muuttua tulevaisuudessa, mikäli sähkön hinta muuttuu merkittävästi tai politiikka muuttuu esimerkiksi voimakkaammin tuulivoimatuotantoa tukevaksi. Myös teknologia voi kehittyä paremmin kannattavaksi.

Helsingin edustan merialueet ja ulkosaariston saaret ovat tuuliolosuhteiltaan varsin otollisia tuulivoimatuotannolle. Merelle rakentaminen on kuitenkin huomattavasti kalliimpaa kuin maalle, mikä vaikuttaa alueella sijaitsevien mahdollisten hankkeiden taloudelliseen kannattavuuteen. Tämän hetkisellä sähkönhinnalla ja tuulivoimatuotannon tukitasolla merituulivoimarakentaminen ei ole Suomessa taloudellisesti kannattavaa. Helsingin merialueella on kuitenkin useita hankealueita, jotka todennäköisesti ovat teknisesti toteutettavissa. Näiden tarkempi tekninen toteutettavuus selviää mahdollisessa jatkosuunnittelussa. Ulkosaaristoon on mahdollista sijoittaa kaikkien kolmen kokoluokan tuulivoimatuotantoa. Pien- ja keskikokoiselle tuulivoimalle soveltuvia sijaintipaikkoja on saarissa, joille sähkönjakeluverkko ei ulotu. Esimerkki tällaisesta saaresta on Rysäkari. Näissä saarissa hyvät tuuliolosuhteet tekevät tuulivoimatuotannosta kannattavaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Teknistaloudellisen tarkastelun perusteella Isosaareen voisi olla mahdollista sijoittaa 1–3 teollisen kokoluokan tuulivoimalaa.

Saaristo on myös tuuliolosuhteiltaan pääosin otollinen tuulivoimantuotantoon ja sille voivat soveltua kaikki kolme tässä selvityksessä tarkasteltua kokoluokkaa. Teollisen kokoluokan tuulivoiman sijoittaminen saaristoon ei todennäköisesti ole mahdollista johtuen erityisesti loma-asutuksesta. Pientuulivoimatuotanto voi korkeasta tuotantokustannuksestaan huolimatta olla kannattavaa saariston loma-asutuksen yhteydessä siellä, minne sähkönjakeluverkko ei ulotu. Erityisesti Helsingin itäisessä saaristossa on tällaisia paikkoja. Muutamilla alueen isoimmilla saarilla on toimintaa niin paljon, että pienehkö keskiluokan tuulivoimatuotanto voi olla kannattavaa. Kulutuksen suuruus määrää soveltuvan tuulivoimatuotannon tehon.

Rantavyöhyke ja sisälahdet koostuvat joukosta maankäytöllisesti varsin erilaisia alueita. Pientuulivoiman rakentaminen ei ole kannattavaa, sillä rantavyöhyke ja sisälahdet ovat kauttaaltaan sähkönjakeluverkon piirissä. Mahdollinen yksittäinen keskikokoluokan voimala voisi sijoittua Kruunuvuorenrannan lähelle Tahvonlahdenniemelle. Voimala tulee tarkemmassa suunnittelussa mitoittaa niin, että se soveltuu lähialueen maankäytön läheisyyteen. Myös Uutelan alueelle voisi voimaloiden tarkemmasta koosta riippuen olla mahdollista sijoittaa yksi tai muutama keskikokoluokan voimala. Teollisen kokoluokan tuulivoiman sijoittamismahdollisuudet rantavyöhykkeellä ja sisälahdissa kohdistuvat satama- ja teollisuusalueille, lähinnä esimerkkinä esitetylle Vuosaaren satama-alueelle.

Helsingin ydinkeskustan alueella merkittävin tuulivoiman sijoittamismahdollisuuksiin vaikuttava tekijä on sen yhteensovittaminen tiheän rakentamisen ja muun intensiivisen alueiden käytön kanssa. Pientuulivoima onkin kokoluokaltaan ainoa mahdollinen ratkaisu. Se ei kuitenkaan ole toteuttajalleen taloudellisesti kannattavaa. Sitä voidaan silti toteuttaa esimerkiksi imagon luontiin liittyvistä syistä.

Muut tiheästi rakennetut kaupunkialueet ovat tuulivoimarakentamisen kannalta hyvin samantyyppisiä kuin ydinkeskusta. Teollisen tai keskikokoluokan tuulivoimarakentamisen yhteen sovittaminen muun maankäytön kanssa ei ole mahdollista eikä pientuulivoima ole nykyisellä sähkönhintatasolla ja teknologialla toteuttajalleen taloudellisesti kannattavaa.

Helsingin alueella on hyvin monenlaista maankäyttöä ja tiheästi rakennettujen alueiden ulkopuolella muilla sisämaan alueilla on myös huomattavasti väljempää maankäyttöä. Monilla sisämaan alueilla tuulennopeudet jäävät kuitenkin niin alhaisiksi, ettei tuulivoimatuotanto tämän päivän tilanteessa ole kannattavaa. Kuitenkin Vuosaarenhuipun kaltainen ympäristöään korkeammalle kohoava alue voi soveltua yksittäiselle teollisen kokoluokan voimalalle, mikäli täyttömäen rakennettavuus sen mahdollistaa. Maatalousalueilla yksittäiset keskikokoiset voimalat voivat olla mahdollisia, mutta niiden kannattavuutta heikentää tämän päivän hinta- ja tukitilanteessa huonot tuuliolosuhteet. Pientuulivoiman rakentaminen alueella ei ole taloudellisesti kannattavaa kattavan sähköverkon ja korkeiden tuotantokustannusten takia.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tuulivoimatuotannon toteutettavuus Helsingissä riippuu mahdollisuuksista sovittaa sitä muihin maankäyttömuotoihin sekä rakentamista koskevista sääntelyistä. Kannattavuuden kannalta ratkaisevaa on arvioinnissa käytettävä sähkönhinta ja tuulivoimatuotannon tuki. Helsingissä on joitakin teknis-taloudellisesta näkökulmasta mahdollisia teollisen kokoluokan voimaloiden sijaintipaikkoja sekä laajempia mahdollisia merituulivoimatuotannon sijaintialueita. Yksittäisten sijaintipaikkojen ja -alueiden toteutettavuutta tulisi kuitenkin tarkastella tarkemmin unohtamatta ym-

Copyright © Pöyry Finland Oy

päristövaikutusten arviointia. Sama tarkemman tarkastelun tarve koskee myös selvityksessä todettuja keskikokoiselle tuulivoimatuotannolle soveltuvia paikkoja. Pientuulivoiman rakentaminen voi Helsingissä olla kannattavaa sähkön jakeluverkon ulkopuolella olevilla saarilla ja muissa kohteissa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Lähteet:

1. Logistiikkarykmentti (2015). Helsingin uuden yleiskaavan luonnos. Puolustusvoimien lausunto 19.2.2015 Helsingin kaupungille. BL2211, 1313/10.02/2015.

Aeolos Wind Energy Ltd (2015). Aeolos Wind Turbines For Sale. Haettu 22.7.2015 osoitteesta: http://www.windturbinestar.com/products.html

Aeronautica Windpower LLC (2015a). AW 250kW Wind Turbine - 30m rotor. Esite.

Aeronautica Windpower LLC (2015b). AW 750kW Wind Turbine - 47m rotor. Esite.

Alstom (2014). Wind power solutions. Esite.

Bergey WindPower Co. (2012a). The Excel 10kW wind turbine. Haettu 21.7.2015 osoitteesta: http://bergey.com/products/wind-turbines/10kw-bergey-excel

Bergey WindPower Co. (2012b). The Excel 1kW wind turbine. Haettu 21.7.2015 osoitteesta: http://bergey.com/products/wind-turbines/bergey-excel-1

Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). Wind Energy Handbook. Chichester: Wiley.

C & F Green Energy (2014). Products. Haettu 22.7.2015 osoitteesta: http://www.cfgreenenergy.com/products

Ciang, C. C., Lee, J. R. & Bang, H. J. (2008) Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods. Measurement Science and Technology.

Eize de Vries (2014). Towers reach for the sky. Wind power Monthly 29.8.2014.

Electrowatt-Ekono Oy (2000). Tuulivoimaloiden teknistaloudellinen sijoituspaikkaselvitys.

Enercon GmbH (2015). Wind turbines. Haettu 16.7.2015 osoitteesta: http://www.enercon.de/en-en/Windenergieanlagen.htm

Energiateollisuus ry (2009). Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon, Verkostosuositus YA9:09.

Energiateollisuus ry (2011a). Ohje verkon suunnittelijoille tuotannon liittämisestä. 16.12.2011.

Energiateollisuus ry (2011b). Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Tekninen liite 2. 16.12.2011.

Energiavirasto (2015). Kiintiölaskuri. Haettu 15.9.2015 osoitteesta: https://tuotantotuki.emvi.fi/QuotaCounter

Energiavirasto (2015b). Sähkönhintavertailu, hintatilastot. Haettu 25.8.2015 osoitteesta: www.sahkonhinta.fi

Energy Digital Staff (2015). Top 10 Wind Turbine Suppliers. Haettu 16.7.2015 osoitteesta: http://www.energydigital.com/top10/3705/Top-10-Wind-Turbine-Suppliers

European Wind Energy Association (2009). Wind Energy – The Facts, a Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power. Brussels, Belgium.

European Wind Energy Association (2015). Infrastructure. Haettu 22.7.2015 osoitteesta: http://www.wind-energy-the-facts.org/infrastructure.html

Endurance Wind Power Inc. (2015). Turbines. Haettu 21.7.2015 osoitteesta: http://www.endurancewindpower.co.uk/turbines/

European Comission (2012). Corine Land Cover 2012. Haettu 11.8.2015 osoitteesta: http://wwwd3.ymparisto.fi/d3/Static_rs/spesific/corinelandcover.html

Copyright © Pöyry Finland Oy

Evance Ltd (2015). Products. Haettu 21.7.2015 osoitteesta: http://www.evancewind.com/products

EXMORK New Energy Company (2014). Products>>Wind Turbine. Haettu 10.8.2015 osoitteesta: http://www.exmork.com/windturbine.htm

FINAVIA (2015). Esteetön ilmatila takaa sujuvan ja turvallisen lentoliikenteen. Haettu 2.9.2015 osoitteesta: http://www.finavia.fi/fi/lentoesteet/

Fingrid Oyj (2011). Tuulivoimalan sijoittuminen Fingrid Oyj:n 110/220/440 kV voimajohtojen läheisyyteen. Fingrid Oyj:n lausunto 10.6.2011 Ympäristöministeriölle.

Fingrid Oyj (2013). Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2013.

Fingrid Oyj (2015). Liittymistapa. Haettu 15.7.2015 osoitteesta: http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/liittyminen/liittymisper/Sivut/default.aspx

Forsman, J. (2012). Uusiutuvan energian käyttö toimistotalossa, case Viikin ympäristötalo. Esitys Rakennuttajaseminaarissa.

Gamesa (2010). Wind turbines. Haettu 17.7.2015 osoitteesta: http://www.gamesacorp.com/en/products-and-services/wind-turbines

Finnwind Oy (2015). Tuulivoimalat. Haettu 28.7.2015 osoitteesta: http://www.finnwind.fi/tuulivoimalat

Gardenia-Helsinki Oy (2015). Tuulivoima. Haettu 27.72015 osoitteesta: http://www.viikinuusiutuvaenergia.net/tuulivoima.htm

Gsänger, S. & Pitteloud, J. (2014). Small Wind World Report 2014.

Hangon kaupunki & Oy Wixplan Ab (2014). Santalan osayleiskaava.

Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto (2014). Östersundomin yhteinen yleiskaava, yleiskaavaehdotus.

Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto (2015). Helsingin kaupungin rakennusjärjestys.

Helsingin kaupunki (2015a). Harakan luontokeskus siirtyy hiilineutraaliin aikaan. Haettu 28.7.2015 osoitteesta: http://www.stadinilmasto.fi/hyvia-esimerkkeja/hiilineutraali-harakka/

Helsingin kaupunki (2015b). Viikin ympäristötalo – Suomen vähiten energiaa kuluttava toimistorakennus. Haettu 31.8.2015 osoitetesta: http://www.stadinilmasto.fi/hyvia-esimerkkeja/viikin-ymparistotalo-suomen-vahiten-energiaa-kuluttava-toimistorakennus/

Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto (2014). Toimenpidelupa, rakennusvalvontaviraston ohje, syyskuu 2014.

Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto (2008a). Kaupunkikuvaneuvottelukunnan lausunto tuulivoimaloista (11.6.2008)

Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto (2008b). Teknillisen neuvottelukunnan lausunto tuulivoimaloista (12.6.2008)

Helsingin Satama (2012). Ruoppausmassojen meriläjitysalue Helsingin edustalla. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Helsingin sataman julkaisu, sarja B 2012:12.

Hänninen, P. (2015). Tervetuloa Harakan energialuontopolulle.

Ilmatar Windpower Oyj (2014a). Loviisa, Tetom. Haettu 14.7.2015 osoitteesta: http://www.ilmatarwind.fi/hankkeet/loviisa-tetom/

Ilmatar Windpower Oyj (2014b). Raasepori, Gumböleberget. Haettu 14.7.2015 osoitteesta: http://www.ilmatarwind.fi/hankkeet/raasepori-gumboleberget-2/

Copyright © Pöyry Finland Oy

Ilmatar Windpower Oyj (2014c). Raasepori, Västankärr. Haettu 14.7.2015 osoitteesta: http://www.ilmatarwind.fi/hankkeet/raasepori-vastankarr/

International Energy Agency (2013). Technology Roadmap – Wind energy.

Lagerwey (2013). Wind Turbines. Haettu 17.7.2015 osoitteesta: http://www.lagerweywind.nl/products/wind-turbines/

Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta. 501/2015.

Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. 1396/2010.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. 468/1994.

Lely Aircon B.V. (2015). Lely Aircon small wind turbines. Haettu 22.7.2015 osoitteesta: https://www.lelyaircon.com/en/produkte/

Liikennevirasto (2012). Tuulivoimaohje – Ohje tuulivoimalan rakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen.

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 132/1999

Mervento Oy (2015). Tuote. Haettu 17.7.2015 osoitteesta: http://www.mervento.fi/Suomeksi/TUOTE/Default.aspx

Motiva Oy (2015a). Investointituet uusiutuvalle energialle. Haettu 12.8.2015 osoitteesta: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle

Motiva Oy (2015b). Oy Windside Production Ltd, Viikin Ympäristötalo. Haettu 31.8.2015 osoitteesta: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tietokannat/greenenergycases/oy_windside_production_ltd_viikin_ymparistotalo.29.html

Motiva Oy (2012). Opas sähkön pientuottajalle.

Nordex SE (2013). Wind turbines. Haettu 17.7.2015 osoitteesta: http://www.nordex-online.com/en/products-services/wind-turbines.html

Ollikka O. (2013). Uusiutuvien energiamuotojen tukeminen. Kansantaloudellinen aikakauskirja – 109 . vsk . – 3 / 2013.

Pöyry Finland Oy (2014). Reväsvaaran tuulivoimahankkeen YVA-ohjelma.

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (2009). Pääkaupunkiseudun ilmastotyö etenee – Katsaus tammikuu-kesäkuu 2009.

Ramboll Finland Oy & Mäntsälän Sähkö Oy (2015). Mäntsälän Jätyrin tuulivoimala – Ympäristövaikutusten selvitys.

Rysäkarin Linnake Oy (2015). Rysäkarin Linnakkeen internet-sivut. Haettu 1.9.2015 osoitteesta http://www.rysakari.fi/.

Siemens AG (2015). Our wind power platform portfolio. Haettu 17.7.2015 osoitteesta: http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/platforms/

Sonkyo Energy USA (2011). Windspot turbines. Haettu 21.7.2015 osoitteesta: http://usa.windspot.es/wind-turbines/products/86/products

St1 (2008). Tiedote 30.10.2008: St1 avaa Suomen ensimmäisen tuuliaurinkosähköä käyttävän jakeluaseman Vallilaan

STX Windpower B.V. (2015). Products. Haettu 17.7.2015 osoitteesta: http://www.stxwind.com/products/models

Suomen Merituuli Oy (2010). Inkoon–Raaseporin merituulivoimapuisto – ympäristövaikutusten arviointiselostus.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Suomen Merituuli Oy (2015). Inkoo-Raaseporin merituulivoimapuisto. Haettu 14.7.2015 osoitteesta: http://www.suomenmerituuli.fi/hankkeet/inkoo-raasepori/

Suomen tulli (2015). Valmisteverotuksen ohje 21 – Energiaverotus.

Suomen tuuliatlas (2009). Tuuliatlas – tuulitiedot Suomen kartalla, karttaliittymä. Haettu osoitteesta: http://www.tuuliatlas.fi/

Suomen Tuulivoimayhdistys ry (2015a). Teollinen tuulivoima Suomessa. Haettu 24.6.2015 osoitteesta: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/hankelista

Suomen Tuulivoimayhdistys ry (2015b). Tuulivoima Suomessa. Haettu 7.7.2015 osoitteesta: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa

Suomen ympäristökeskus (2015). Velmu syvyysmalli.

Suomen tuulivoimayhdistys ry (2015). Pientuulivoima. Haettu 13.8.2015 osoitteesta: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima

Suzlon Group (2014). Technology. Haettu 16.7.2015 osoitteesta: http://www.suzlon.com/products/l2.aspx?l1=2&l2=10

Suzlon Group (2015). S82 - 1.5 MW – Technical Overview. Esite.

TTgreen Oy (2015a). Tuulivoimalat. Haettu 21.7.2015 osoitteesta: http://www.ttgreen.fi/tuulijaaurinkovoimalat.html

TTgreen Oy (2015b). Pientuulivoimalat 500W-2kW. Haettu 14.8.2015 osoitteesta: http://www.ttgreen.fi/pientuulivoimalat_500-2.html

Turkia, V. & Holttinen, H. (2011). Tuulivoiman tuotantotilastot – Vuosiraportti 2011. VTT.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2015). Tiedote 18.6.2015: Tuulivoiman tukijärjestelmän muuttamista koskeva lakimuutosesitys lausunnolle.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2015b). Uusiutuvat energianlähteet. Haettu 31.8.2015 osoitteesta: http://www.tem.fi/energia/uusiutuvat_energialahteet

Työ- ja elinkeinoministeriö (2014). Tiedote 19.11.2014: Merituulivoiman demonstraatiohankkeeksi valittiin Porin Tahkoluodon hanke.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2013). Kansallinen energia- ja ilmastostrategia.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2008). Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia.

Uudenmaan liitto (2011). Etelä-Suomen yhteistoiminta-alueen tuulivoimaselvitys 2010.

Uudenmaan liitto (2014a). Uudenmaan 4. vaihemaakuntakaava, kaavaluonnos, kaavaselostus.

Uudenmaan liitto (2014b). Uudenmaan liiton karttapalvelu – Vahvistettujen maakuntakaavojen yhdistelmä 2014. Haettu 27.7.2015 osoitteesta: http://kartta.uudenmaanliitto.fi/maakuntakaavat/

Uudenmaan liitto (2015b). Uudenmaan tuulivoimaselvitys.

Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. 713/2006.

Verohallinto (2014). Kotitalouden sähköntuotannon tuloverotus. Diaarinumero: A148/200/2013.

Vestas Wind Systems A/S (2014). Haettu 16.7.2015 osoitteesta: http://www.vestas.com/en/products_and_services

VTT (2015). Suomen tuulivoimatuotanto vuosi- ja kuukausitasolla. Haettu 24.6.2015 osoitteesta: http://www.vtt.fi/palvelut/v%C3%A4h%C3%A4hiilinen-energia/tuulivoima/suomen-tuulivoimatilastot

VTT (2014). Wind energy statistics in Finland 2013.

Copyright © Pöyry Finland Oy

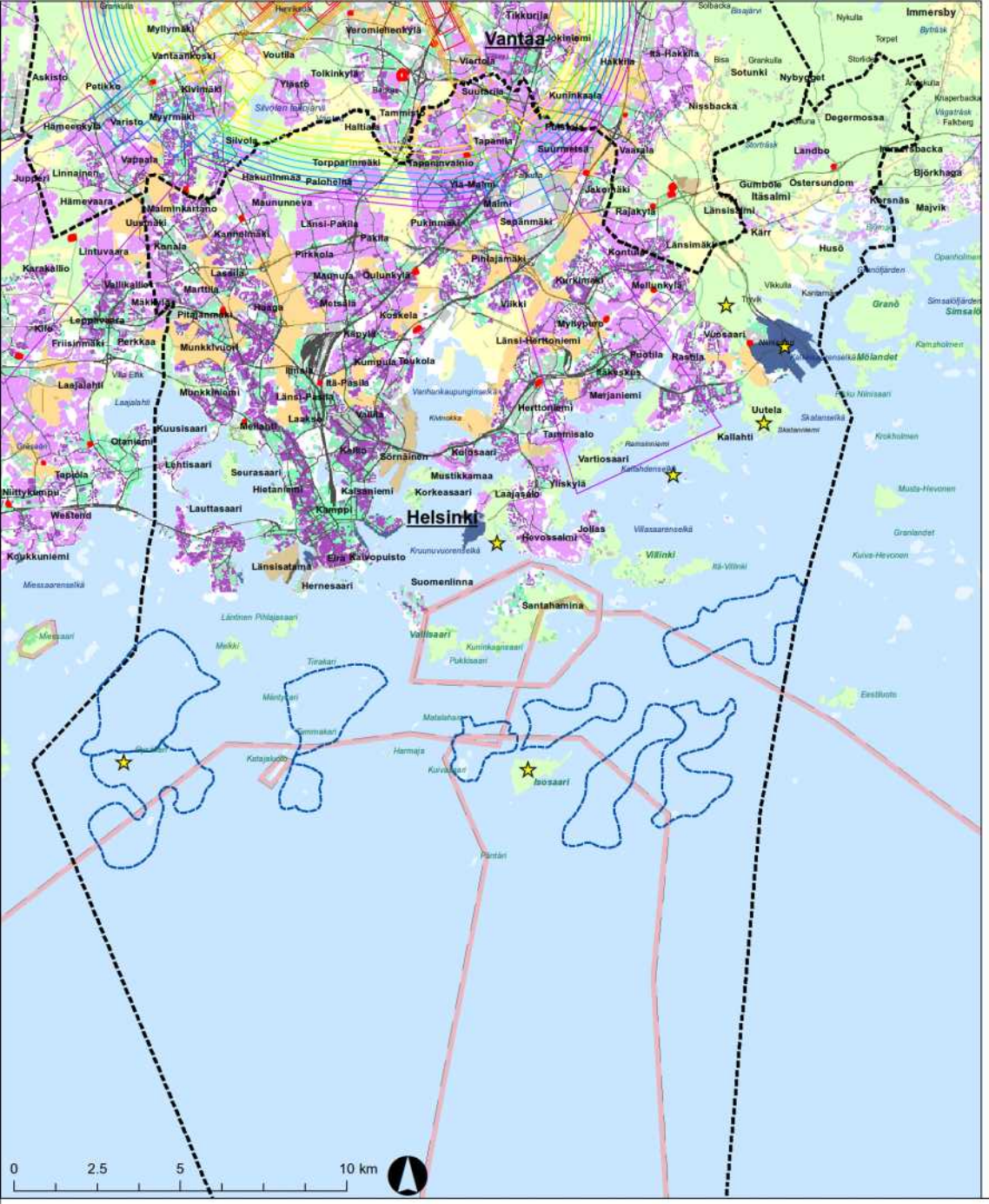
Ympäristöministeriö (2012). Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012.

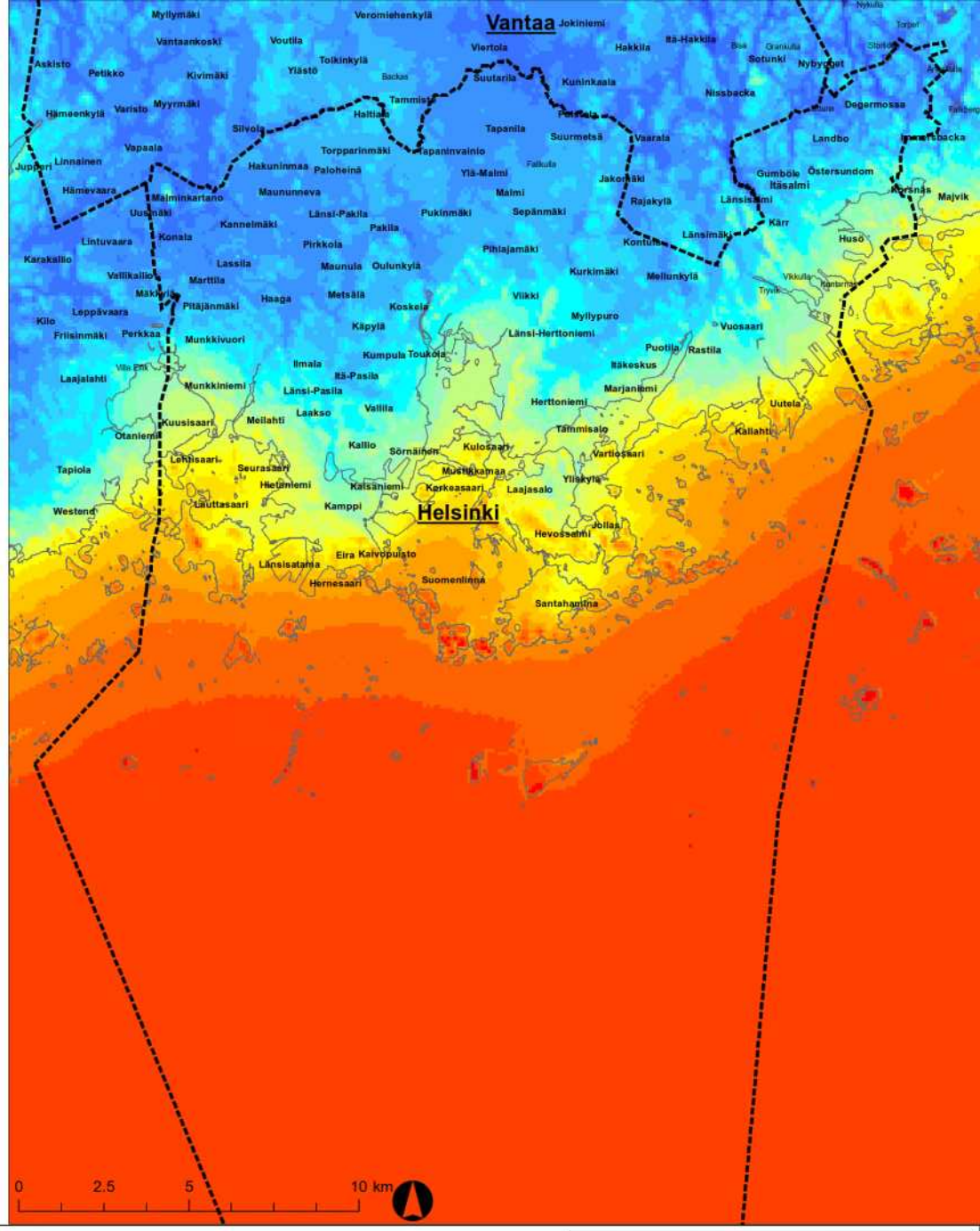
Valtioneuvoston kanslia 2015. Ratkaisujen Suomi. Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma 29.5.2015. Hallituksen julkaisusarja 10/2015

wpd Finland Oy (2009). Suurhiekan merituulipuisto ja sähkönsiirron reittivaihtoehdot. Ympäristövaikutusten arviointiselostus.

XZERES Wind Corp. (2015). Wind Turbines. Haettu 21.7.2015 osoitteesta: http://www.xzeres.com/wind-turbine-products/

Copyright © Pöyry Finland Oy





Karttaselite

- Potentiaalinen kohde teolliselle tai keskikokoiselle tuulivoimatuotannolle
- Kaupunginraja
- Potentiaaliset merialueet (vuoden 2000 selvitys)
- Maanpäällinen muuntoasema tai kytkinlaitos
- Sotilasalue
- Suoja-alueen reunaviiva
- Suoja-alue
- Virkistys- ja vapaa-ajan toiminta-alueet
- Maa-aineisten ottoalueet, kaatopaikat ja rakennustyöalueet
- Maatalousalueet
- Viheralueet
- Vesialueet
- Kerrostaloalueet
- Pientaloalueet
- Palveluiden alueet
- Teollisuuden alueet
- Liikennealueet
- Satama-alueet
- Lentokenttäalueet

Korkeusrajoituspinnat: (m m.p.y.)

- 50-80 m
- 80-110 m
- 110-130 m
- 130-150 m
- 150-170 m
- 170-190 m
- 190-200 m

Tuulen nopeus 50m (m/s)

< 4.0	5.0 - 5.2	6.2 - 6.4	7.4 - 7.6
4.0 - 4.2	5.2 - 5.4	6.4 - 6.6	7.6 - 7.8
4.2 - 4.4	5.4 - 5.6	6.6 - 6.8	7.8 - 8.0
4.4 - 4.6	5.6 - 5.8	6.8 - 7.0	> 8.0
4.6 - 4.8	5.8 - 6.0	7.0 - 7.2	
4.8 - 5.0	6.0 - 6.2	7.2 - 7.4	

PÖYRY

Pöyry Finland Oy
Tuulivoimaloiden teknistaloudellinen sijoituspaikkaselvitys
Projektinumero 16X288380

pvm: 18.9.2015