

Tuulivoima rakennetussa ympäristössä

Katsaus tuulivoimarakentamiseen satama- ja teollisuusalueilla

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK), Kestävä kaupunkiympäristö

2021

Toni Lustila

Tiivistelmä

Tekijä(t) Lustila, Toni	Julkaisun laji	Valmistumisaika
	Opinnäytetyö, YAMK	2021
	Sivumäärä 73	Liitteet 1
Työn nimi Tuulivoima rakennetussa ympäristössä Katsaus tuulivoimarakentamiseen satama- ja teollisuusalueilla		
Tutkinto Insinööri (YAMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Eeva Aarrevaara, yliopettaja, Kestävä kaupunkiympäristö Paul Carroll, tuntiopettaja, Kestävä kaupunkiympäristö		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Staffan Asplund, toimitusjohtaja, Etha Wind Oy		
Tiivistelmä <p>Fossiilisista polttoaineista luopuminen on energiamurros, jonka tavoitteena on vähentää ilmastonmuutosta kiihdyttäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Suomen energiapolitiikkaa viitoittaa Pariisin ilmastopöytäkirjasta toimeenpaneva EU:n strategia, jonka tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää tuulivoiman ja muiden uusiutuvien energialähteiden laajamittaista käyttöä. Suomessa tuulivoima lisääntyy voimakkaasti, ja jo useita hankkeita on rakennettu markkinaehtoisesti ilman valtion tukea. Tuulivoimalat rakennetaan Suomessa pääasiassa metsätalousalueille, mutta kiinnostus teollisuusalueita ja merituulivoimaa kohtaan on lisääntymässä.</p> <p>Työssä tutkittiin millaisia mahdollisuuksia ja esteitä tuulivoimarakentamiselle on teollisessa ympäristössä, keskittyen erityisesti satama- ja teollisuusalueisiin. Työ toteutettiin kehittämistutkimuksena, jossa hyödynnettiin laadullisia tutkimusmenetelmiä. Tuulivoiman toimintaperiaatetta, suunnittelukäytänteitä ja ympäristövaikutuksia kuvattiin kirjallisuuskatsauksen avulla. Kirjallisuuden avulla selvitettiin myös satama- ja teollisuusalueiden erityispiirteitä tuulivoimarakentamisen näkökulmasta. Työssä tarkasteltiin eurooppalaisia satama-alueilla sijaitsevia tuulivoimapuistoja benchmarking-menetelmällä. Osana tutkimusta haastateltiin myös suomalaisia tuulivoima-alan toimijoita, ja haastattelututkimuksen tuloksista laadittiin nelikenttäanalyysi.</p> <p>Tutkimuksen perusteella rakennettu ympäristö voi tarjota tuulivoimarakentamiselle hyvät edellytykset, mutta monien eri toimintojen ja intressien johdosta se on usein haastava suunnittelukohde. Työssä tunnistettiin myös lupamenettelyä koskevia kehittämistarpeita sekä satama-alueiden merkittävä rooli energia-alan logistisina ja toiminnallisina solmupisteinä.</p>		
Asiasanat tuulienergia, uusiutuvat energialähteet, rakennettu ympäristö		

Abstract

Author(s) Lustila, Toni	Type of Publication Master's Thesis	Published 2021
	Number of Pages 73	Appendices 1
Title of Publication Wind Power in Urban Environment Harbours and industrial areas in wind farm siting		
Name of Degree Master of Engineering		
Name, title and organization of the supervising teacher Eeva Aarrevaara, Principal Lecturer, Urban Sustainability Paul Carroll, Lecturer, Urban Sustainability		
Name, title and organization of the client Staffan Asplund, CEO, Etha Wind Oy		
<p>Abstract</p> <p>The phasing out of fossil fuels is an energy revolution aiming to reduce greenhouse gas emissions that are accelerating climate change. Finland's energy policy is guided by the EU's strategy implementing the Paris Agreement, which aims to keep the global warming under control. Achieving this goal will require large-scale deployment of wind power and other renewable energy sources. In Finland wind power is increasing strongly and several projects have already been implemented purely on a market-basis without subsidies. In Finland, wind farms are mainly constructed in forest areas but interest in industrial areas and offshore wind power is growing.</p> <p>This study investigated the opportunities and obstacles of wind power construction in an industrial environment with a particular focus on port and industrial areas. The study was carried out as a development study utilising qualitative research methods. The operation, design and environmental impacts of wind power were described using a literature review. The literature review was also used to study the special features of port and industrial areas from the perspective of wind farm siting. A benchmarking study of European wind farms located in port areas was carried out. Finnish wind power industry actors were also interviewed as a part of the study. A SWOT analysis of the results of the interview study was also prepared.</p> <p>Based on the research the built environment can provide good conditions for wind power construction, but due to its many different functions and interest it is often experienced as a challenging design location. The work also identified development targets for the permitting process and the important role of port areas as a logistical and operational hub for the energy sector.</p>		
Keywords wind power, renewable energy, built environment		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Tutkimuksen tausta.....	3
2.1	Yleistä.....	3
2.2	Tutkimusasetelma.....	3
2.3	Tutkimusmenetelmä ja kehittämisprosessi.....	5
3	Energia- ja ilmastopolitiikka	7
3.1	Kansainväliset sopimukset.....	7
3.2	Kansallinen energia- ja ilmastostrategia.....	8
3.3	Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet	9
4	Tuulivoima energiantuotantomuotona	10
4.1	Tuulienergia.....	10
4.2	Tuulivoimalan rakenne ja toiminta.....	11
4.3	Tuulivoima Suomessa	15
4.4	Tuulivoimapuiston sijoitusperiaatteet	18
5	Tuulivoiman ympäristövaikutuksista.....	21
5.1	Yleistä.....	21
5.2	Ääni	22
5.3	Välke	25
5.4	Turvallisuusriskit	28
6	Satama- ja teollisuusalueiden erityispiirteitä.....	35
6.1	Satama-alueet	35
6.2	Meriväylät ja merialuesuunnittelu	35
6.3	Satamat energiaratkaisujen keskiössä.....	37
6.4	Teollisuus- ja varastotoiminnot.....	37
6.5	Suuronnettomuusvaaralliset kohteet.....	38
6.6	Vaarallisten aineiden kuljetus	39
7	Bechmarking: Tuulivoimapuistoja Eurooppalaisilla satama-alueilla	41
7.1	Benchmarking-menetelmä	41
7.2	Rotterdam.....	41
7.3	Antwerpen	43
7.4	North Sea Port.....	45
8	Haastattelututkimus	47
8.1	Menetelmä ja toteutus	47
8.2	Teema: tuulivoima yleisesti.....	48

8.3	Teema: tuulivoiman sijainti yleisesti	50
8.4	Teema: tuulivoima rakennetussa ympäristössä	51
8.5	Teema: luvat ja lainsäädäntö	52
8.6	Teema: osaaminen ja yhteistyö	55
9	Johtopäätökset	58
9.1	Haastatteluaineiston nelikenttäanalyysi	58
9.2	Rakennettu ympäristö on tuulivoimalle sekä uhka että mahdollisuus	58
9.3	Lupamenettelyssä on kehittämistarpeita	60
10	Pohdinta	63
	Lähteet	65

Liitteet

Liite 1. Haastattelututkimuksen runko

1 Johdanto

Ilmastonmuutos uhkaa vääjäämättä luonnonympäristöä, rakennettua kulttuuriympäristöä ja talousjärjestelmää, ja se pakottaa koko ihmiskunnan etsimään kiivaasti keinoja, joilla muutosta voidaan hillitä, ja joilla muutokseen voidaan paremmin sopeutua. Vuonna 2015 Pariisin ilmastokokouksessa ilmastonmuutoksesta päästiin maailmanlaajuisesti historiallisen laajaan yhteisymmärrykseen. Pariisin ilmastokokouksessa (SopS 76/2016) solmittiin ensimmäistä kertaa kansainvälisesti kattava ja konkreettinen yhteinen ympäristöpoliittinen tavoite: ilmaston lämpeneminen rajoitetaan alle kahteen asteeseen suhteessa esiteolliseen aikaan ja pyritään toimiin, joilla lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteen.

Vuonna 2016 hyväksytty Suomen energia- ja ilmastostrategiassa on linjattu toimenpiteitä, joilla Suomi saavuttaa kansalliset ja EU:ssa sovitut tavoitteet vuoteen 2030 mennessä, ja joiden avulla edetään johdonmukaisesti kohti kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä 80–95 prosentilla vuoteen 2050 mennessä Energia- ja ilmastostrategian mukaisena tavoitteena on esimerkiksi nostaa 2020-luvulla uusiutuvan energian osuus yli 50 prosenttiin energian loppukulutuksesta (Huttunen 2017, 13, 34).

Uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaiskulutuksesta kasvoi Suomessa vuonna 2020 jo 40 prosenttiin, jolloin sen kulutus oli ensimmäistä kertaa suurempaa kuin fossiilisten polttoaineiden ja turpeen kulutus yhteensä (Tilastokeskus 2021). Tuulivoimalla on ollut merkittävä rooli energiamurroksessa sekä globaalisti että kansallisesti. Vuonna 2020 tuulivoimatuotanto kasvoi Suomessa edellisvuoteen verrattuna lähes kolmanneksella ja sillä katettiin koko vuoden sähkönkulutuksesta noin 10 % (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021).

Merkittävä teollinen tuulivoimarakentaminen on Suomessa käynnistynyt pääasiassa Pohjanlahden rannikolta. Tuulivoimaloiden teknisen kehityksen myötä myös sisämaan olosuhteet mahdollistavat tällä hetkellä tuulisähkön tuotannon markkinaehtoisesti ilman valtion tukea. Tuulivoimarakentamista ohjataan maankäyttö- ja rakennuslain mukaisella kaavoitusmenettelyllä, jonka puitteissa kunkin hankkeen ilmasto- ja ympäristövaikutukset, toteuttamiskelpoisuus ja kannattavuus arvioidaan. Kaavoitus on kunnan päätösvallassa oleva julkinen ja vuorovaikutteinen prosessi, jossa eri intressitahot voivat ilmasta mielipiteitään ja pyrkiä vaikuttamaan suunnitelmiin.

Tuulivoimalat rakennetaan pääasiassa taajama-alueiden ulkopuolisille syrjäisille maa- ja metsätalousvaltaisille alueille etäälle asutuksesta ja muista häiriintyvistä kohteista. Suomessa tuulivoimatuotantoon parhaiten soveltuvilla alueilla on jo nähtävissä tilan ahtautta (Katajisto 2021), ja yhä kauemmaksi yhdyskuntarakenteesta sijoituessaan hankkeet voivat

sen sijaan aiheuttaa häiriötä koskemattomiin luonnon ydinalueisiin. Muun muassa näistä syistä tuulivoimahankkeiden kehityksessä katseita suunnataan yhä useammin myös toisenlaisiin kohteisiin.

Tuulivoima rakennetussa ympäristössä -työssä tutkitaan, millaisia mahdollisuuksia ja esteitä tuulivoiman sijoittamiselle on teollisessa ympäristössä. Tutkimuksessa perehdytään tuulivoimarakentamiseen erityisesti satama- ja teollisuusalueilla. Tuulivoiman näkökulmasta satama-, teollisuus-, logistiikka- ja varastoalueet voivat tarjota hankkeen toteuttamisen kannalta hyvät lähtökohdat, joihin voidaan lukea esimerkiksi olemassa oleva tie- ja sähköverkko sekä hyvät logistiset yhteydet.

Tässä tutkimuksessa luodaan kirjallisuuden avulla katsaus tuulivoima-alaan ja sen tilannekuvaan Suomessa. Työssä perehdytään myös satama- ja teollisuusalueiden erityispiirteisiin tuulivoiman ja uusiutuvan energian pilottiratkaisujen näkökulmasta. Tuulivoiman ja teollisen ympäristön onnistuneen yhteensovittamisen esimerkkinä esitellään kolme eurooppalaista satama-aluetta. Lisäksi työssä esitellään suomalaisten tuulivoima-asiantuntijoiden näkemyksiä haastattelututkimuksen pohjalta. Kerätyn aineiston perusteella työssä esitellään johtopäätöksiä tuulivoimarakentamisen edellytyksistä ja mahdollisuuksista rakennetussa ympäristössä.

Tutkimus on LAB-ammattikorkeakoulun kestävä kaupunkiympäristö -koulutusohjelman (YAMK) opinnäytetyö, joka on toteutettu työelämälähtöisenä kehittämistutkimuksena. Työn tilaajana on Suomen suurin tuulivoima-alan konsulttiyhtiö Etha Wind Oy (Y-tunnus 1790018-7).

2 Tutkimuksen tausta

2.1 Yleistä

Valtaosa Etha Wind Oy:n konsultoimista tuulivoimaprojekteista on tätä kirjoitettaessa niin kutsuttuja greenfield-hankkeita, eli tapauksia, jossa tuulivoimahanketta suunnitellaan alueelle, jossa ei aiemmin ole ollut vastaavaa toimintaa. Teollisen mittakaavan tuulivoimapuistot ovat edelleen verraten uusi tapa tuottaa uusiutuvaa energiaa, ja tästä syystä onkin luonnollista, että hankkeita kehitetään pääasiassa taajamien ulkopuolisille talousmetsäalueille kohtuulliselle etäisyydelle olemassa olevista sähkönsiirtoyhteyksistä, joihin uutta tuotantoa voidaan liittää.

Tuulivoima-alalla brownfield-hankkeella tarkoitetaan projektia, joka sijoittuu yhdyskuntarakenteeseen kiinteästi kuuluvalla alueelle, ja johon energiantuotanto on usein jo vaikuttanut. Perinteisessä maankäytön suunnittelussa brownfield-termillä tarkoitetaan käytöstä poistuvaa ja vajaakäyttöistä teollisuusaluetta tai muuntuvan maankäytön aluetta (Baltic Urban Lab). Moderniin ja edellisiä teknologisia sukupolvia huomattavasti kookkaampaan tuulivoimatekniikkaan perustuvat niin kutsutut brownfield-hankkeet ovat Suomessa toistaiseksi harvinaisia, sillä satama- ja teollisuusalueilla olevat tuulivoimalat edustavat pääasiassa vanhentunutta teknologiaa.

Etha Wind on viime aikoina osallistunut tuulivoimahankkeisiin, joita on ryhdytty kehittämään esimerkiksi turvetuotannosta lähiaikana poistuville alueille. Tuulivoima onkin varteenotettava vaihtoehto turvetuotantoalueiden jälkikäytölle metsityksen ja peltoviljelyn ohella. Olemassa oleva tieverkosto ja alueiden tausta energiantuotantoalueena luovat tällaisille hankkeille hyvät tekniset edellytykset, mutta myös sosiaalista hyväksyttävyyttä, joka on tuulivoima-alalla tärkeää muun muassa voimaloiden hyvin kauaskantoisten maisemavaikutusten vuoksi. Vanhojen turvetuotantoalueiden lisäksi erilaiset teolliset ympäristöt voivat tarjota kiinnostavia ja kannattavia brownfield-hankkeita tuulivoiman lisärakentamiselle.

2.2 Tutkimusasetelma

Tässä tutkimuksessa selvitetään tuulivoimapuistojen toteuttamisedellytyksiä rakennetussa teollisessa ympäristössä. Työlle teoreettisen viitekehyksen antavat maankäyttö- ja rakennuslaissa määritetyt maankäytön suunnittelun ja rakentamisen lupamenettelyn edellytykset. Tutkimuksen keskiössä selvitetään tuulivoimaloiden sijoittamista säätelevät lait, ohjeet ja normit, ja käsitellään sitä, miten ne soveltuvat teollisuus-, varasto ja satamaympäristöihin. Tutkimukseen liittyy keskeisesti myös tuulivoiman ympäristövaikutusten asettamat

reunaehdot, jotka niin ikään vaikuttavat tuulivoimaloiden sijoitteluun. Tutkimuksen keskiössä ei arvioida tuulivoimarakentamisen teknistaloudellista kannattavuutta.

Tutkimuksessa tarkastellaan tuulivoimarakentamista erityisesti satamaympäristöissä. Satamaympäristöt ovat usein hyvin kompleksisia teollisia aluekokonaisuuksia, joiden maankäytön suunnittelussa on huomioitava lukuisia erityiskysymyksiä. Useissa satamissa sijaitsee myös voimalaitoksia, joiden pääpolttoaine on kivihiili tai turve. Suomen Energia- ja ilmastostrategian mukaisesti kivihiilen käytöstä luovutaan kuluvan vuosikymmenen aikana (Huttunen 2017, 36). Jo yksin tämä päätös tulee muuttamaan esimerkiksi suurten kivihiilivarastoalueiden käyttöä. Myös turpeen käyttö pääasiallisena energialähteenä päättyy ennustaiden mukaan 2030-luvun aikana ja turpeen energiakäyttö vähintään puolitetaan vuoteen 2030 mennessä (Valtioneuvosto 2019, 36). Myös turpeen korvaaminen edellyttäisi suuria rakenteellisia muutoksia, jotka heijastuisivat merkittävästi alueiden käyttöön.

Toinen edessä oleva muutos tietyillä satama-alueilla (esimerkiksi Hamina ja Kemi) on alueilla toiminnassa olevien 1–3 MW:n yksikkötehon tuulivoimaloiden käyttöön päättymisen. Tällaisilla alueilla on edessä harkinta siitä, korvataanko tuulivoimalat uuden sukupolven tuulivoimatekniikalla, ja voidaanko tuulivoimaloiden lukumäärää alueilla samanaikaisesti jopa lisätä. Tavoitteena on, että kyseisissä tilanteissa tämä tutkimus voisi toimia aihepiirin teoreettisena taustaselvityksenä.

Tutkimuskysymys

Tutkimuskohteen valinnan ja tutkimusasetelman tunnistamisen jälkeen muodostettiin varsinaiset tutkimuskysymykset, jotka ovat:

- 1) Mitä mahdollisuuksia satama- ja teollisuusalueet tarjoavat teollisen kokoluokan tuulivoimahankkeille Suomessa?
- 2) Mitkä ovat perusedellytykset sille, että tuulivoima ja teollisuustoiminnot voidaan onnistuneesti yhteensovittaa?

Tutkimuskysymysten taustalla on hypoteesi: jos teollisen kokoluokan tuulivoimahankkeita on maankäytön sääntelyn ja ympäristövaikutusten puitteissa mahdollista toteuttaa monien eri toimintojen ja intressien kohteena olevissa satamaympäristöissä, niin Suomessa on todennäköisesti hyödyntämätöntä tuulivoimapotentiaalia myös muilla teollisuus-, varasto-, ja logistiikka-alueilla.

Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa esteitä ja rajoituksia, jotka voivat hidastaa tai estää tuulivoimarakentamista satamainfrastruktuurin sisällä tai sen välittömässä lähiympä-

ristössä. Varsinaisena kehittämistavoitteena on pyrkiä löytämään ratkaisuja näiden esteiden tai haasteiden ylipääsemiseksi.

2.3 Tutkimusmenetelmä ja kehittämisprosessi

Tutkimuskysymyksiä lähestytään tässä työssä kehittämistutkimuksen kautta. Tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuuskatsausta, vertaisarviointia eli benchmarking-menetelmää sekä haastattelututkimusta. Tutkimuskirjallisuuden perusteella kehittämistutkimus soveltuu hyvin tämän työn tutkimusasetelmaan, sillä kyseessä on tuulivoima-alan osaamisen vahvistamista ja lisäämistä edellyttävä aihepiiri.

Kananen (2015) kuvaa kehittämistutkimusta kehittämis- ja tutkimustoiminnan sykliseksi prosessiksi, jossa kuvataan ongelma, laaditaan toimenpide-ehdotukset, toteutetaan ja katsotaan tulos. Kehittämistutkimus ei ole varsinaisesti oma tutkimusmenetelmä, vaan se on pikemminkin joukko eri tutkimusmenetelmiä, joita koostetaan tilanteen ja kehittämiskohteen mukaisesti. Tutkimuksessa voidaan yhdistää kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä, jolloin tutkimuksesta tulee monimenetelmäinen ("blended" tai "mixed methodology"). Kehittämistutkimuksessa kehittämistyöhön on liitettävä tutkimus sekä tutkimusprosessin ja tulosten raportointi. Kehittämistutkimuksessa käytännön ongelmat voidaan esimerkiksi pilkkoa joukoksi kysymyksiä, joihin ryhdytään etsimään vastauksia tieteellisin menetelmin. Kananen mukaan myös toimintatutkimus voidaan kehittämistutkimuksen tavoin luokitella yhdistelmä tutkimukseksi. Toimintatutkimuksen keskiössä on yleensä tutkimuskysymys tai ongelma, johon tutkimuksessa halutaan löytää vastaus. (Heikkinen 2018, 182–188; Kananen 2015, 33–34, 61.)

Tutkimuksen kolmannessa luvussa luodaan katsaus tuulivoima-alan taustalla vaikuttavaan kansainväliseen ja kansalliseen ympäristöpolitiikkaan. Katsaus selventää työn motiivia, ja perustelee osaltaan tutkimuksen ajankohtaisuutta. Katsaus toteutetaan kirjallisuustarkasteluna. Neljännessä luvussa kuvataan tuulivoimalan toimintaperiaate ja pääkomponentit. Tuulivoimaloiden sijoittamisen kannalta ratkaisevaa on myös toiminnasta syntyvät ympäristövaikutukset, joita kuvataan viidennessä luvussa. Tarkasteltavat ympäristövaikutukset rajataan tässä työssä tuulivoiman meluun, varjovälkkeeseen ja onnettomuusriskeihin, sillä niillä voi olla välittömiä vaikutuksia voimaloiden lähiympäristöön, mikä on huomioitava erityisellä huolella maankäytön suunnittelussa ja vaikutusten arvioinnissa. Tuulivoiman toimintaperiaate, pääkomponentit ja ympäristövaikutukset selvitetään kirjallisuustarkasteluna.

Kuudennessa luvussa tarkastellaan satama- ja teollisuusalueiden maankäyttöön liittyviä erityispiirteitä. Kirjallisuuskatsauksen aineiso koostuu pääasiassa ympäristölainsäädännöstä ja suunnitteluohjeista. Lainsäädäntö määrittelee lukuisia reunaehdoja potentiaalisille

uusiutuvan energian kehittämishankkeille. Satama-alueita ja niiden moninaisia toimintoja koskevat lisäksi useat erityislait, joiden yhtymäkohtia aihepiiriin työssä selvitetään. Seitsemännessä luvussa kuvataan kolmen eurooppalaisen satama-alueen tuulivoimahankkeita benchmarking-menetelmän hengessä, tarkoituksena muodostaa kuva siitä, miten tuulivoima ja teolliset toiminnot on onnistuttu yhteensovittamaan suuren mittaluokan kohteissa.

Seitsemännessä luvussa kuvataan haastattelututkimuksen kulku ja kerätty aineisto. Asiantuntijahaastattelujen avulla tarkennetaan kuvaa siitä, miten Suomessa lainsäädäntöä ja ohjeita tulkitaan ja sovelletaan käytännön tasolla. Haastattelujen avulla selvitetään myös mahdollisia epäselvyyksiä, tulkinnanvaraisuuksia ja tietotarpeita aihepiiriin liittyen.

Tutkimuksen johtopäätökset muodostetaan kirjallisuuskatsauksen, vertaisarvioinnin ja haastattelututkimuksen havaintojen perusteella. Tulokset ja johtopäätökset tarkistetaan LAB-ammattikorkeakoulun ohjaavien opettajien sekä Etha Wind Oy:n tuulivoima-asiantuntijoiden toimesta. Myös haastattelututkimukseen osallistuneita asiantuntijoita pyydetään perehtymään ja kommentoimaan työn johtopäätöksiä.

3 Energia- ja ilmastopolitiikka

Tuulivoiman ja muiden uusiutuvien energialähteiden laajamittaista käyttöönottoa pyrkivät vauhdittamaan useat kansainväliset sopimukset ja niistä johdetut kansalliset strategiset tavoitteet. Suomi on sitoutunut yhteensä yli sataan erilaiseen kansainväliseen ympäristösopimukseen (Ympäristöministeriö). Tässä luvussa luodaan katsaus ilmastonmuutoksen kanalta merkittävimpiin asiakirjoihin, jotka osaltaan tausoittavat tuulivoima-alan viimeaikaista kehitystä, nykytilaa ja lähitulevaisuutta.

3.1 Kansainväliset sopimukset

YK:n ilmastonmuutosta koskeva puitesopimus

Rio de Janeirossa vuonna 1992 järjestetyssä YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa päätettiin ilmastonmuutosta koskevasta puitesopimuksesta (UNFCCC). Puitesopimus ei sisällä määrällisiä velvoitteita, mutta sen tavoitteena on saada ilmakehän kasvihuonekaasupäästöt vaarattomalle tasolle. Suomi vahvisti sopimuksen vuonna 1994 ja tällä hetkellä sopimuksen on ratifioinut kaikkiaan 197 osapuolta. (SopS 61/1994; Ilmasto-opas; United Nations Framework Convention on Climate Change.)

Kioton pöytäkirja

YK:n puitesopimusta täydentää Kioton pöytäkirja, joka hyväksyttiin joulukuussa 1997 ja astui voimaan tammikuussa 2005. Tällöin Suomi ja muut allekirjoittaneet valtiot sitoutuivat ensimmäistä kertaa päästöjen määrälliseen vähentämiseen oikeudellisesti sitovan sopimuksen nojalla. Kioton sopimus jakautui kahteen sopimuskauteen; vuosille 2008–2012 ja 2013–2020. (SopS 13/2005; United Nations Framework Convention on Climate Change.)

Pariisin sopimus

YK:n ilmastokokouksessa Pariisissa joulukuussa 2015 hyväksyttiin sopimus, jonka tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa suhteessa esiteolliseen aikaan. Erilaisten toimien kautta lämpötilan nousu pyritään rajoittamaan 1,5 asteeseen. Sopimuksen tavoitteena on lisäksi parantaa kykyä sopeutua ilmastonmuutoksen haitallisiin vaikutuksiin ja ohjata rahoitusta vähäpäästöisen yhteiskunnan kehitykseen. Pariisin ilmastosopimus ei sisällä määrällisiä päästövähennystavoitteita, vaan valtiot sitoutuvat asettavat omat tavoitteensa kasvihuonekaasujen vähentämiseksi (ns. kansalliset pannot). (Ilmasto-opas; SopS 76/2016; Ympäristöministeriö 2018, 37–42.)

EU:n energia- ja ilmastopolitiikka

Euroopan unionin ilmastolainsäädäntö on jo pitkään ollut maailmassa johtavalla tasolla. EU:n ilmastotavoitteita ohjataan muun muassa päästökaupalla ja lisäksi jäsenvaltioiden metsien ja maan käyttöä tullaan jatkossa säätämään entistä tarkemmin (Ympäristöministeriö 2018, 43). Euroopan unionin energiapolitiikan tavoitteita ovat muun muassa varmistaa energian toimitusvarmuus, edistää energiatehokkuutta ja energiansäästöä sekä edistää uusiin ja uusiutuviin energialähteisiin perustuvien energiamuotojen kehittämistä (Ciucci 2020).

EU:n neuvosto on 5.3.2020 hyväksynyt Unionin ja sen jäsenvaltioiden kasvihuonekaasujen vähentämistä koskevan strategian. Strategia toimeenpanee Pariisin sopimusta ja siihen liittyviä pitkän aikavälin tavoitteita. Strategiassa EU:n tavoitteeksi on kirjattu hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoreen 2050 mennessä. (Eurooppa-neuvosto 2020.)

EU:n ilmastolaki velvoittaa lainsäätäjät ottamaan vuoden 2050 hiilineutraaliustavoitteen huomioon laaja-alaisesti. Ilmastolain tavoitteesta saavutettiin yhteisymmärrys huhtikuussa 2021, kun vuoteen 2030 tähtäävää välitavoitetta kiristettiin. Kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vähennetään vuoteen 2030 mennessä vähintään 55 % vuoden 1990 tasosta. (Euroopan komissio 2021.)

3.2 Kansallinen energia- ja ilmastostrategia

Suomen hallitus hyväksyi kansallisen energia- ja ilmastostrategian 24.11.2016, joka tähtää vuoteen 2030. Strategiassa linjataan toimenpiteitä ja osatavoitteita, joilla Suomi saavuttaa pääministeri Sipilän hallitusohjelmassa ja EU:ssa sovitut energia- ja ilmastotavoitteet vuoteen 2030 mennessä ja etenee johdonmukaisesti kohti kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä 80–95 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. (Huttunen 2017, 13.)

Energia- ja ilmastostrategian mukaan Suomi luopuu muun muassa kivihiilen energiakäytöstä joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Sähkön kysynnän ja tarjonnan joustavuutta sekä ylipäänsä järjestelmätason energiatehokkuutta lisätään ja sähkömarkkinoita kehitetään alueellisella ja eurooppalaisella tasolla. Liikenteen biopolttoaineiden osuus nostetaan 30 prosenttiin sekä otetaan käyttöön 10 prosentin bionesteen sekoitusvelvoite työkoneissa ja lämmityksessä käytettävään kevyeen polttoöljyyn. Energia- ja ilmastostrategian tavoitteena on myös, että vuonna 2030 Suomen tieliikenteessä on vähintään 250 000 sähkökäyttöistä ja 50 000 kaasukäyttöistä autoa. (Huttunen 2017, 36, 53, 59, 68.)

Uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaiskulutuksesta kasvoi Suomessa vuonna 2020 40 prosenttiin. Uusiutuvan energian kulutus oli koko energiatilastoinnin aikana ensimmäistä kertaa suurempaa kuin fossiilisten polttoaineiden ja turpeen kulutus yhteensä

(Tilastokeskus 2021). Energia- ja ilmastostrategian mukaisesti tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä niin, että sen osuus energian loppukulutuksesta nousee yli 50 prosenttiin 2020-luvulla (Huttunen 2017, 34).

Kansallinen energia- ja ilmastostrategia linjaa, että tulevaisuudessa uusiutuvaa energiaa on kyettävä tuottamaan markkinaehtoisesti ilman tukijärjestelmää. Ylimenokauden ratkaisuna uusiutuvan energian lisääminen ja energijärjestelmän muuttaminen edellyttää kannustimia, jotta kansalliset markkinat säilyisivät kiinnostavina muun muassa tuuli- ja aurinkosähköhankkeiden kehittämiseksi. Yhtenä toimenpiteenä Energiavirasto järjesti vuoden 2018 lopussa teknologianeutraalin tarjouskilpailun uusiutuvan energian tuotantotuesta enintään 1,4 terawattitunnin vuotuiselle sähkön tuotantomäärälle. Kaikki seitsemän tuen saanutta hanketta koskivat tuulivoimaa. (Huttunen 2017, 42–43; Energiavirasto).

Pääministeri Sanna Marinin hallitus valmistelee parhaillaan uutta ilmasto- ja energiastategiaa, joka on määrä saattaa selontekona eduskunnalle syksyllä 2021. Strategiatyön tukena on käynnissä HIISI-hanke, joka on laaja taustaselvitys ilmasto- ja energiapolitiikan toimista ja niiden vaikutuksista. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021).

3.3 Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet

Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ovat osa maankäyttö- ja rakennuslain mukaista alueidenkäytön suunnittelujärjestelmää. Alueidenkäyttötavoitteilla pyritään edistämään muun muassa energiahuollon uudistusta, luonto- ja kulttuuriympäristön elinvoimaa ja luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä muutosta kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Valtioneuvoston päätöksen mukaiset uudet alueidenkäyttötavoitteet astuivat voimaan 1.4.2018. Energiahuollon osalta tavoitteiksi on kirjattu:

Varaudutaan uusiutuvan energian tuotannon ja sen edellyttämien logististen ratkaisujen tarpeisiin. Tuulivoimalat sijoitetaan ensisijaisesti keskitetysti usean voimalan yksiköihin. (Valtioneuvosto 2017.)

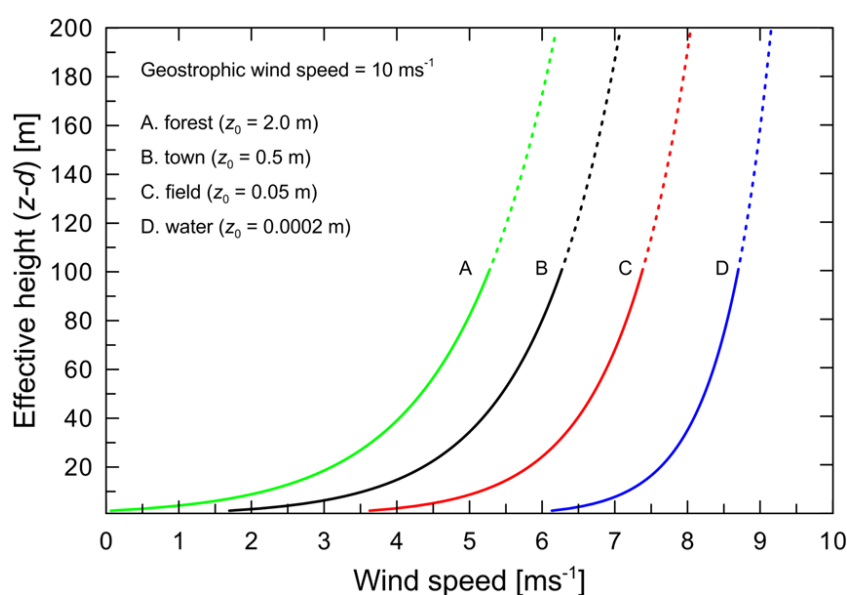
Turvataan valtakunnallisen energiahuollon kannalta merkittävien voimajohtojen ja kaukokuljettamiseen tarvittavien kaasuputkien linjaukset ja niiden toteuttamismahdollisuudet. Voimajohto-linjauksissa hyödynnetään ensisijaisesti olemassa olevia johtokäytäviä. (Valtioneuvosto 2017.)

4 Tuulivoima energiantuotantomuotona

4.1 Tuulienergia

Tuuli on maanpinnan suuntainen ilmavirtaus ilmakehässä. Tuuli syntyy, kun auringon säteily lämmittää maanpintaa eri tavoin maapallon eri leveysasteilla. Maapallon pyöreästä muodosta johtuen napa-alueet vastaanottavat pinta-alaan nähden vähemmän säteilyenergiaa kuin päiväntasaaja (Landberg 2015, 29–30). Maapallon ilmakehä pyrkii kuitenkin säilyttämään lämpötasapainon, minkä vuoksi päiväntasaajan alueelle keskittynyttä lämpöenergiaa siirtyy kohti napoja (planetaarinen tuulijärjestelmä). Ilmavirtaukset syntyvät lämpötilaeron aiheuttamasta paine-erosta, joka saa ilmavirtauksen liikkumaan korkeamman paineen alueelta kohti matalamman paineen alueita. Ilmavirtaukset hyvin harvoin suuntautuvat päiväntasaajalta suoraan navoille, sillä maapallon pyörimisen aiheuttama Coriolis-voima saa virtaukset kääntymään (Landberg 2015, 30). Maapallolle säteilevästä aurinkoenergiasta arviolta 1–3 % muuttuu tuulienergiaksi. (Suomen tuuliatlas.)

SI-järjestelmän mukaan tuulen nopeuden yksikkö on metriä sekunnissa (m/s). Tuulen nopeus kasvaa korkeuden kasvaessa. Tuulen nopeuden vaihtelu (wind shear) on suurinta lähellä maanpintaa (Landberg 2015, 106). Paikallisiin tuulioloihin vaikuttavat laaja-alaisten lämpötila- ja paine-erojen lisäksi pienemmässä mittakaavassa vesistöt, vuoristot sekä maanpinnan laatu (rosoisuus) ja pinnan muodot. Kaupunkialueita, jyrkkiä rinteitä ja korkeita metsäalueita voidaan pitää hyvin rosoisina. Kohtalaisen sileitä pintoja ovat puolestaan vesi-, jää- ja lumipeitteiset alueet. Tietyn alueen rosoisuus voi siis vaihdella myös vuodenajan mukaan. (Suomen tuuliatlas.)



Kuvio 1. Maanpinnan rosoisuuden (z_0) vaikutus tuulen nopeuteen. (Global Wind Atlas).

4.2 Tuulivoimalan rakenne ja toiminta

Tuulivoimalan pääkomponentit ovat torni, kolmesta lavasta muodostuva roottori, konehuone eli naselli sekä perustus (Wizelius 2015, 47). Laajamittaiseen energiantuotantoon tarkoitetut tuulivoimalamallit ovat jo vakiintuneet kolmilapaisiksi vaaka-akselivoimaloiksi, jossa roottori on kiinnitetty tornin etupuolelle. Nykymallien kaltainen vaaka-akselinen aerodynaaminen tuulivoimala rakennettiin ensimmäisenä Jaltalla vuonna 1931 (Shahan 2014; Shepherd & Zhang 2017, 45). Vuonna 1941 Vermontissa onnistuttiin rakentamaan jo 1,25 MW:n tuulivoimala (Shepherd & Zhang 2017, 46). 1990-luvulla markkinoilla oli kilpailukykyisiä yksi- ja kaksilapaisia tuulivoimaloita, joissa roottori oli kiinnitetty tornin taakse, mikä mahdollisti voimalan kääntymisen tuulen suuntaan pelkällä tuulen voimalla. Nämä mallit aiheuttivat kuitenkin paljon melua ja niiden lavat kohtasivat kovaa räsistystä. Tämä johtui siitä, että tornin ohittanut tuuli oli turbulenttista sen kohdatessa tuulivoimalan lavat (Liātcher 2014, 84–87).

Modernien tuulivoimaloiden tehokerroin, eli osuus energiasta, joka tuulesta saadaan talteen, on jopa 50 %, teoreettisen maksimin ollessa 59 % (Swift & Walker 2015, 80). Tuulivoimalan teho (P) watteina saadaan kaavasta

$$P = 0,5 \rho A V^3 C_p$$

jossa

- ρ = ilman tiheys (kg/m^3)
- A = roottorin pyyhkäisyala = πr^2
- V = tuulen nopeus (m/s)
- r = roottorin säde
- C_p = tehokerroin

Kaavasta huomataan, että selvästi merkittävin muuttuja tehon kannalta on tuulen nopeus. Korkeuden myötä kasvava tuulen nopeus on syynä tuulivoimaloiden koon kasvuun (Swift & Walker 2015, 95).

Perustus

Tuulivoimalan torni voidaan tukea maahan teräsbetoniperustuksella, kallioankkuriperustuksella tai harusvajereilla. Perustamistavan valinta riippuu rakennuspaikan maaperäolosuhteista. Kallioankkurointia voidaan käyttää kallion ollessa lujaa ja lähellä maanpintaa. Kallioankkuriperustuksessa kallioon porattuihin noin 20 metriä syviin reikiin upotetaan teräs-vaijerit, jotka pitävät perustuksen paikallaan. Maanvarainen teräsbetoniperustus pitää tuulivoimalan pystyssä sen sijaan omalla painollaan. Maanvarainen perustuslaatta on yleensä

pyöreä laatta, jonka halkaisija on noin 20–25 metriä ja paksuus keskeltä noin kolme metriä. Reunoilla laatan paksuus on yleensä alle metrin. Kokonaiskorkeudeltaan luokkaa 250 metriä olevan tuulivoimalan maanvaraiseen betoniperustukseen käytetään noin 1000 kuutiota betonia. Kallioankkuriperustusta käyttämällä tarvittavan betonin määrä voidaan suunnilleen puolittaa. (Ethä Wind 2020, 36–37; Smeds 2019.)

Merialueella perustusrakenteet ovat alttiina ankarille rasituksille, kuten korroosiolle, eroosiolle sekä jää- ja aaltokuormille. Rannikko- ja merialueella käytetään erityyppisiä perustusratkaisuja, joiden valintaan vaikuttavat ennen kaikkea veden syvyys ja merenpohjan ominaisuudet. Kasuuni on maanvarainen gravitaatioperustus, joka soveltuu matalaan (alle 30 m) vesisyvyyteen. Jos kasuunin yläosa jää veden alle, niin tuulivoimalan tornin ja kasuunin välissä käytetään teräsrakenteista muunnososaa. Painovoimaan perustuvan tekniikan sijaan kasuuniperustus voidaan myös ankkuroida kallioon. Myös teräsrakenteinen syvälle pohjakerrokseen upotettava juntpaalu (monopile) soveltuu käytettäväksi aina noin 40 metrin vesisyvyyteen saakka. Noin 60 metrin syvyyteen saakka soveltuvia perustusratkaisuja ovat lisäksi kolmijalka ja teräsristikko. Kelluvat perustukset sen sijaan mahdollistavat tuulivoimaloiden sijoittamisen myös syvän veden alueille. Niiden konsepti perustuu tuulivoimalan kelluvaan perustusalustaan tai poijuun ja sitä paikallaan pitävään ankkuriratkaisuun. (Holtinen ym. 1998, 72–93; Bhattacharya 2019; Keene 2021.)

Torni

Tuulivoimalan torni rakennetaan yleensä teräksestä, betonista tai näiden yhdistelmästä. Yleisin tornityyppi on teräsrakenteinen putkitorni, joka koostuu 4–6 lieriömäisestä toisiinsa kiinnitettävästä osasta. Torni on hiukan kartiomainen, eli se kapenee ylöspäin. Kuljetusteknisistä syistä torni rakennetaan useasta osasta ja kootaan vasta rakennuspaikalla. Tornin sisällä on muun muassa huoltohissi ja tikkaat. (Ethä Wind 2020, 34–35.)

Teräsristikkotorni oli aiemmin suosittu tuulivoimalan tornirakenne. Teräsristikkotornin etuja olivat materiaalitehokkuus ja keveys ja niiden mahdollistama edullinen kustannustaso. Ristikkotorni päästää myös tuulen lävitseen, mikä vähentää tuulivoimalan kuormia. Putkitorni on kuitenkin selvästi yleisin tornityyppi, sillä sitä pidetään kauniimpana. Tästä syystä esimerkiksi Tanskassa teräsristikkotornit ovat kiellettyjä suurissa tuulivoimaloissa. (Wizelius 2015, 123.)

Roottori ja Lavat

Roottori muodostuu kolmesta lavasta, jotka valmistetaan yleensä lasikuidusta, epoksista ja hiilikuidusta. Lavat on suunniteltu kustannus- ja materiaalitehokkaasti kestäämään kovien tuulien aiheuttamia kuormia ja pitkää käyttöikää, ja samalla niiden tulee kaapata tehokkaasti

tuulienergiaa. Lavat on suunniteltu aerodynaamisesti ja ne hyödyntävät paine-eron synnyttämää nostetta. Lapojen kiinnityspistettä kutsutaan navaksi. Lapojen kulmaa säädetään ns. pitch-järjestelmällä tuulivoimalan toiminnan ja tuotannon optimoimiseksi. Roottori pyörittää tuulivoimalan pääakselia. (Swift & Walker 2015, 72–75; Shepherd & Zhang 2017, 25–26.)

Tuulivoimalan lapojen suunnittelussa pyritään maksimoimaan roottoria pyörittävä noste ja minimoimaan lapoja taaksepäin taivuttava vastusvoima. Nostovoima kasvaa tuulen ja lavan kohtauskulman kasvaessa aina sakkauspisteeseen saakka. Kohtauskulma pyritään pitämään hieman sakkauspistettä vastaavan arvon alapuolella. Suhteellinen tuuli kuitenkin muuttuu lavan pituudella, ja tästä syystä lavat kiertyvät hiukan pituusakseliinsa nähden. (Korpela 2016, 56–62.)

Roottorin lapoihin ja torniin asennetaan ukkosenjohdatin, jonka tehtävänä on suojata tuulivoimalaa johtamalla mahdollisen salaman energia maaperään (Swift & Walker 2015, 166). Lapojen pinta on yleensä vaalea ja mattapintainen, jotta ne sulautuisivat maisemaan ja heijastaisivat mahdollisimman vähän valoa (Ethra Wind 2020, 35).

Konehuone

Tornin yläpuolella sijaitsevassa konehuoneessa sijaitsee muun muassa akselisto laakereineen, vaihdelaatikko, generaattori ja ohjausjärjestelmä. Roottorin hitaasti pyörittämä pääakseli yhdistyy vaihdelaatikkoon, joka nostaa akselin pyörimisnopeutta, jotta generaattori voisi tuottaa tehokkaasti sähköä. Tuulivoimaloissa, joissa ei ole vaihdelaatikkoa, on sen sijaan suoravetoinen generaattori. Suoravetoinen generaattori on mekaanisesti yksinkertainen ja siinä on vähemmän liikkuvia osia, mutta elektroniikaltaan se on vaativampi. Sekä suoravetoisen että vaihdelaatikolla varustetun generaattorin tekninen suorituskyky on hyvin samaa luokkaa. (Swift & Walker 2015, 75; Ethra Wind 2020, 35.)



Kuvio 2. Tuulivoimalan rakenne ja termit: 1) kokonaiskorkeus 2) roottori, roottorin halkaisija 3) lapa 4) naselli, konehuone, napakorkeus 5) mahdolliset harukset 6) torni (Ethä Wind 2020, 34).

Ohjausjärjestelmä

Tuulivoimalan ohjausjärjestelmällä on kolme tehtävää: tekninen ohjaus, toiminnan valvonta sekä tuotannon ja toiminnan seuranta (Wizelius 2015, 138). Toiminnanohjausjärjestelmä toimii etäyhteyden avulla ja se on pitkälti automatisoitu. Tuulivoimalan automaatio toimii sen lukuisten mittareiden ja antureiden tuottaman tiedon perusteella. Konehuoneen katolla on tuulimittari, joka välittää ohjausjärjestelmälle tietoa tuulen suunnasta ja nopeudesta. Roottori suunnataan vastatuuleen kääntömoottoreiden avulla (Swift & Walker 2015, 75). Myös eri komponenttien, kuten laakereiden, lämpötilaa seurataan antureiden avulla. Tuulen nopeuden ja suunnan sekä eri komponenttien lämpötilojen lisäksi järjestelmä seuraa ja raportoi muun muassa voimalan hetkellisen tehon ja generaattorilla tuotetun sähköenergian määrän.

Ohjausjärjestelmä pysäyttää voimalan varotoimena, mikäli tuulen nopeus nousee yli 25 m/s. Voimala pysähtyy lisäksi, jos ohjausjärjestelmä havaitsee kriittisen vian tai toimintahäiriön,

joka edellyttää kuittausta, tarkastusta tai huoltoa. Lisäksi huoltotöitä ennakoidaan ja suunnitellaan ohjausjärjestelmän tuottaman havaintoaineiston perusteella.

Järjestelmän osaksi voidaan liittää myös erilaisia ympäristövaikutusten hallintajärjestelmiä. Muun muassa Siemens Gamesan voimaloihin on saatavilla melun ja varjovälkkeen hallintajärjestelmä, lapojen jäänestöjärjestelmä sekä järjestelmä, jolla voidaan ehkäistä ja vähentää eläinten törmäyksiä (Siemens Gamesa 2019a, 2).

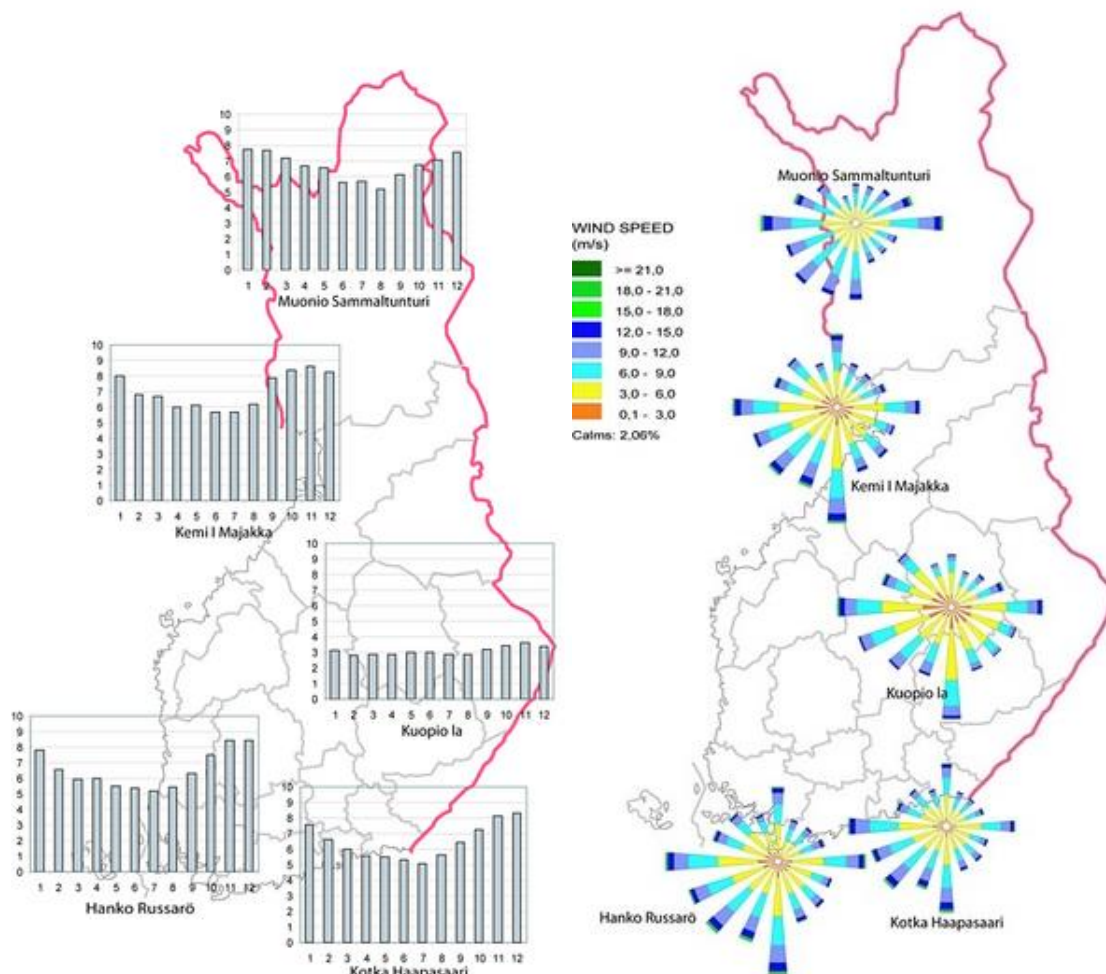
Sähkön siirtojärjestelmä

Yksittäiset tuulivoimalat ja alle 25 MVA:n tuulivoimapuistot voidaan liittää alueelliseen tai valtakunnalliseen 110 kilovoltin voimajohtoon, jos verkonhaltija sen hyväksyy. Yleisimmin tuulivoimapuiston tuottama sähkövirta kuitenkin liitetään kantaverkkoon kytkinlaitoksessa katkaisijakentän välityksellä. Tätä ennen sähkövirran jännite on nostettava vastaamaan kantaverkon jännitettä. Tuulivoimalan generaattori syöttää 400–1000 voltin kolmivaihevoimavirtaa tornin alaosassa tai tornin vieressä pienessä kopissa sijaitsevalle muuntajalle, joka nostaa jännitteen 20–45 kilovolttiin. Tuulivoimapuiston sisäinen sähkönsiirto toteutetaan yleisimmin keskijännitteisellä maakaapeliverkolla, joka kokoaa tuulivoimaloiden sähkövirran tuulivoimapuiston omalle sähköasemalle, jossa jännite nostetaan muuntajan avulla 110 kilovolttiin. (Fingrid; Etha Wind 2020, 42–43).

Sähkönsiirto kantaverkon kytkinlaitokselle pyritään toteuttamaan maakaapelina, sillä johdot voidaan asentaa huomaamattomasti esimerkiksi tieverkon pientareiden maaperään. Maakaapeli on huoltovapaa, sillä se on suojassa esimerkiksi myrskyissä kaatuvilta puilta. Mikäli siirtoyhteys kantaverkkoon on pitkä, toteutetaan voimajohto useimmiten ilmajohtona. Ilmajohtojen rakentamiskustannukset ovat pienemmät, mutta ylläpito, huolto ja lupamenettely on tyypillisesti työläämpää.

4.3 Tuulivoima Suomessa

Suomessa vallitsevat lounaistuulet (tuulensuuntasektori etelä-länsi), eli suurin osa tuulista tulee kyseisestä ilmansuunnasta. Tuulivoiman kannalta oleellista on myös se, että talvikausina Suomessa tuulee selvästi enemmän kuin kesäkuukausina. (Suomen tuuliatlas.)

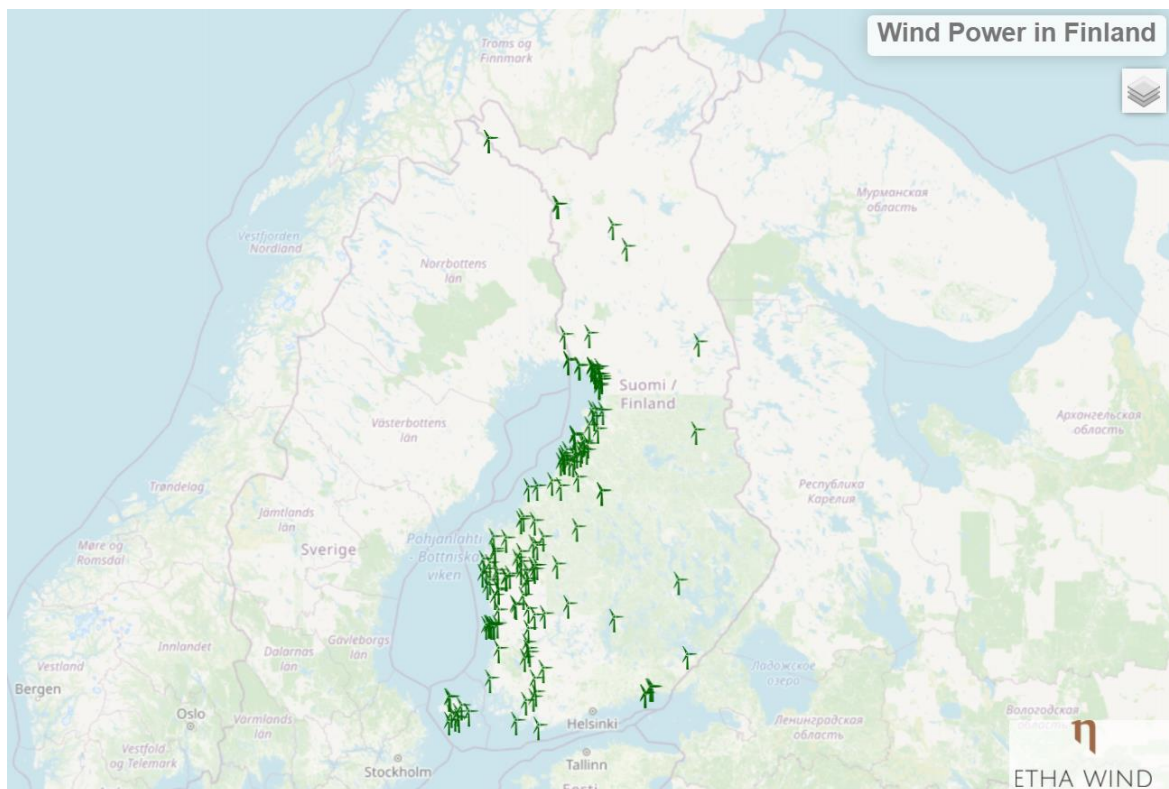


Kuviot 3 ja 4. Vasemmalla tuulen nopeuden kuukausikeskiarvon vaihtelu ja oikealla tuulen suunnan ja nopeuden jakauma tuuliruusulla kuvattuna eräillä sääasemilla tarkastelujaksolla 1999–2008 (Suomen tuuliatlas).

Hyvät tuuliolosuhteet sekä teknistaloudelliset toteuttamisedellytykset, esimerkiksi sopivat verkkoliityntämahdollisuudet, ovat ohjanneet tuulivoimapuistojen sijoittumista Suomessa perinteisesti rannikon tuntumaan (kuvio 5). Tuulivoimatekniikan viimeaikainen kehitys erityisesti yksikkötehon ja hyötysuhteen osalta on mahdollistanut Suomessa tuulivoimahankkeiden toteuttamisen markkinaehtoisesti ilman julkista tukea. Kehityksen seurauksena tuulivoimatoimijat suunnittelevat ja toteuttavat tuulivoimapuistoja yhä useammin myös syvemällä sisämaassa.

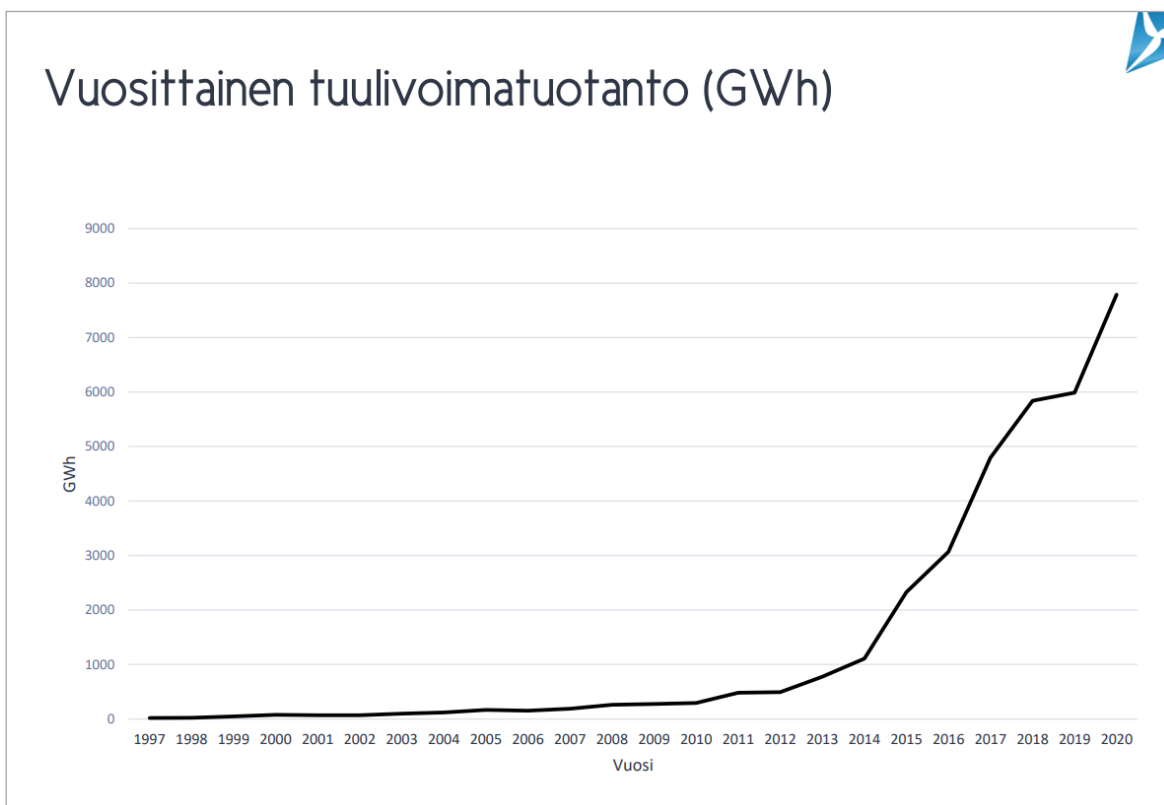
Suomen Tuulivoimayhdistys (2021) julkaisee vuosittain tuulivoimaa koskevia tilastoja. Tilastojen mukaan vuoden 2020 lopulla Suomessa oli kaikkiaan 821 tuulivoimalaa, joiden kokonaisteho oli yhteensä 2586 MW. Toiminnassa olevien voimaloiden nimellisteho jakautui seuraavasti: alle 2 MW:n tuulivoimaloita oli 11 %, 3–4 MW:n tuulivoimaloita oli 61 % ja yli 4

MW:n tuulivoimaloita oli 28 %. Vuoden 2020 aikana Suomessa otettiin käyttöön yhteensä 67 uutta tuulivoimalaa, joiden keskimääräinen yksikköteho oli 4,5 MW.



Kuvio 5. Tuotannossa olevat tuulivoima-alueet Suomessa maaliskuussa 2021 (Etha Wind 2021).

Suomen tuulivoima-alan saavutuksia viime vuosien saavutuksia voidaan pitää merkittävinä. Vuoden 2019 aikana kaikki valmistuneet tuulivoimalat rakennettiin markkinaehtoisesti, ja tuulivoimakapasiteetti kasvoi 242 megawattia (Tiihonen 2020). Vuonna 2020 tuulivoimatuotanto kasvoi edellisvuoteen verrattuna lähes kolmanneksella ja sillä katettiin vuoden sähkönkulutuksesta noin 10 %. Vuodesta 2021 odotetaan alan kannalta ennätyksellistä, sillä ennakkotietojen mukaan Suomen tuulivoimakapasiteetti voi lisääntyä yhteensä 990 MW. Vertailun vuoksi 1000 MW:n tuulivoiman kokonaiskapasiteetti saavutettiin vasta vuonna 2015. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021).



Kuvio 6. Vuosittainen tuulivoimatuotanto Suomessa (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021).

4.4 Tuulivoimapuiston sijoitusperiaatteet

Tuulivoimapuiston paikan valinnassa on kiinnitettävä huomiota useisiin tekijöihin. Hyvät tuuliolosuhteet ovat luonnollisesti paikan tärkein edellytys. Esiselvityksessä tuulisuuden lisäksi arvioidaan muun muassa alueen asutusta, verkkoliittymän saatavuutta, maanomistusta, tarvittavia lupia sekä mahdollisia intressiristiriitoja, jotka voivat syntyä esimerkiksi luontoarvoista tai ilmailun tai maanpuolustuksen tarpeista. (Wizelius 2015, 293–295.)

Tuulivoimaloiden kyky tuottaa energiaa valitussa paikassa arvioidaan yksityiskohtaisesti, mikäli valittu paikka osoittautuu toteutuskelpoiseksi. Luotettavan tuotantoanalyysin pohjatehtäväksi tarvitaan yksityiskohtaista tietoa paikallisista tuulioloista, ja tämä tieto hankitaan tuulimittauksen avulla. Luotettavin tulos saavutetaan mittaamalla tuulta jatkuvasti vähintään 12 kuukauden ajan tuulimastolla, jonka korkein mittauspiste on mahdollisimman lähellä tuulivoimaloiden suunniteltua napakorkeutta (Korpela 2016, 43). Tuulimittaukset on mahdollista toteuttaa myös maan pinnalta LIDAR (Light Detection and Ranging) tai SODAR (Sonic Detection and Ranging) -mittauksilla. Tuulen suunnan ja nopeuden mittaaminen äänen tai laservalon avulla perustuu tuulen mukana kulkeutuvista vesipisaroista tai pienhiukkasista palaaviin heijastuksiin (Swift & Walker 2015, 90–92).

Tuulimittausaineiston avulla mallinnettu odotettavissa oleva energiantuotanto suhteutetaan tuulivoimapuiston rakennus- ja ylläpito- ja käyttökuluihin. Näin voidaan laskea tuulivoimapuiston tasoitettu energiantuotantokustannus, LCOE (Levelized Cost of Energy). Yksikössä € / MWh ilmoitettu energiantuotantokustannus on ratkaiseva tekijä tuulivoimapuiston lopullista investointipäätöstä tehtäessä, sillä ilman tuotantotukia toimivan tuulivoimapuiston on oltava omistajalleen kannattava.

Edellä on kuvattu lyhyesti tuulivoimapuiston sijaintiin vaikuttavia teknistaloudellisia tekijöitä. Tässä tutkimuksessa käsitellään tarkemmin tuulivoimapuiston sijoittamiseen vaikuttavia ympäristön ja maankäytön asettamia reunaehdoja sekä tuulivoiman ympäristövaikutuksia.

Suomessa teollisen kokoluokan tuulivoimarakentamisen suunnittelua ja rakentamista ohjaamaan on laadittu ympäristöhallinnon ohje 4/2012: Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, joka on päivitetty vuonna 2016. Opas selvittää ja kokoaa yhteen aihepiiriin liittyvää juridiikkaa ja tarjoaa tuulivoiman parissa työskenteleville julkishallinnon viranhaltijoille, päättäjille, hankekehittäjille, maanomistajille ja muille tahoille tietoa tuulivoiman ympäristövaikutuksista, lupamenettelyistä ja suunnittelussa tarvittavasta vuoropuhelusta.

Tuulivoimalan rakentaminen edellyttää aina rakennuslupaa tai toimenpidelupaa, ja suurten tuulivoimaloiden toteutuksen tulee lähtökohtaisesti perustua maankäyttö- ja rakennuslain mukaiseen kaavoitukseen. Tuulivoimahankkeen suunnittelukokonaisuuteen liittyvät myös sähkönsiirto ja liikennejärjestelyt. (Ympäristöministeriö 2016b, 16.)

Tuulivoimarakentamista on ohjattava maakuntakaavalla, mikäli rakentamisen laajuus, alueen ominaispiirteet tai seudullisen ohjauksen tarve sitä edellyttävät. Pääsääntöisesti seudullista merkitystä on kokonaisuudella, joka muodostuu vähintään 8–10 tuulivoimalasta. Maakunnan liitot voivat määritellä seudullisesti merkittävän tuulivoima-alueen koon pienemmäksi tai suuremmaksi alueen olosuhteiden mukaan. (Ympäristöministeriö 2016b, 23–24.)

Tuulivoimarakentamista voidaan ohjata suoraan yleiskaavalla maankäyttö- ja rakennuslain 77 a–c §:n perusteella. Yleiskaavalla voidaan täsmentää maakuntakaavassa osoitetun tuulivoima-alueen rajausta tai sijaintia, jos siihen on tarkemmista selvityksistä johtuva perusteltu syy. Yleiskaavaa voidaan käyttää tuulivoimarakentamisen ohjaamiseen ilman maakuntakaavamerkintää silloin, kun kyseessä on vaikutuksiltaan paikallinen tuulivoima-alue. (Ympäristöministeriö 2016b, 28–29; maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 77 a–c §.)

Tuulivoimaloiden sijainnin suunnittelussa on huomioitava ympäristön ominaisuudet sekä muu käyttö, kuten asutus ja esimerkiksi lentoliikenteen ja puolustusvoimien toiminta. Tuulivoimahankkeen toteuttaminen voi sen sijainnista riippuen vaatia erityislainsäädännön mukaista menettelyä tai lupaa. Näitä voivat olla esimerkiksi ilmailulain (1194/2009) mukainen

lentoestelupa, vesilain (587/2011, VL) mukainen vesilupa, ympäristönsuojelulain (527/2014, YSL) mukainen ympäristölupa tai ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain (468/1994, YVAL) mukainen ympäristövaikutusten arviointimenettely. (Ympäristöministeriö 2016b, 16–17.)

Tuulivoimarakentamisen suunnittelu -ohjeessa mainitaan muutamia alueita, joille tuulivoimarakentaminen ei pääsääntöisesti sovi. Näitä ovat esimerkiksi valtakunnallisesti merkittävät maisema-alueet, rakennetut kulttuuriympäristöt ja luonnonsuojelualueet. Riittävien selvitysten ja vaikutusarviointien perusteella voidaan tuulivoimarakentamista sen sijaan tapauskohtaisesti harkita esimerkiksi Natura2000 -verkoston alueilla ja maakunnallisesti merkittävissä maisema- tai kulttuuriympäristöissä. (Ympäristöministeriö 2016b, 17.)

Tuulivoima ei siis kuulu ympäristönsuojelulain luvanvaraisten, ilmoituksenvaraisten tai rekisteröintiä vaativien toimintojen piiriin samoin kuin esimerkiksi polttoaineisiin perustuva energiantuotanto (ympäristönsuojelulaki 527/2014, 27 §, Liitteet 1–4).

Tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeen mukaan tuulivoimalat tulisi lähtökohtaisesti sijoittaa niin kauas asutuksesta tai muusta häiriintyvistä kohteesta, ettei ympäristölupa ole tarpeen (Ympäristöministeriö 2016b, 17). Tällä viitataan ennen kaikkea ympäristönsuojelulain 27 §:n 2. momentin kolmanteen kohtaan, jonka mukaan ympäristölupaa vaaditaan toimintaan, josta saattaa aiheutua eräistä naapuruussuhteista annetussa laissa (26/1920) tarkoitettua kohtuutonta rasitusta. Ympäristöhallinnon opas jättää kuitenkin tarkemmin määrittelemättä mitä häiriintyvillä kohteilla tarkoitetaan.

5 Tuulivoiman ympäristövaikutuksista

5.1 Yleistä

Tuulivoimalla on lukuisia erilaisia välittömiä ja välillisiä vaikutuksia ympäristöön. Vaikutukset voivat olla myönteisiä tai kielteisiä ja ne vaihtelevat tuulivoimapuiston elinkaaren mukaan. Ympäristövaikutuksia syntyy materiaalien ja raaka-aineiden hankinnasta ja jalostuksesta, tuulivoimaloiden valmistuksesta ja kuljetuksesta, tuulivoimapuiston rakentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta sekä tuulivoiman käytöstä poistamisesta. Vaikutusten merkittävyys vaihtelee vaikutuksen voimakkuuden, vaikutusajan ja luonteen mukaan. Vaikutuksia tulee tarkastella aina koko vaikutusalueella ympäristön sietokyky ja häiriintyvyys huomioiden.

Tuulivoima-alan kriittinen menestystekijä on kyky ymmärtää ja hallita ympäristövaikutuksia. Pitkällä aikavälillä se on välttämätöntä tuulivoiman hyväksyttävyyden ja haittojen vähentämisen kannalta (Blanchard & Samanta 2019, 1).

Merkittävin tuulivoiman positiivinen vaikutus kohdistuu ilmastoon, sillä tuulivoiman käytön aikana syntyvä uusiutuva ja käytännössä päästötön sähköenergia vähentää energiantuotannosta syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Oltuaan toiminnassa 3–6 kuukautta on tuulivoimala tuottanut sen energiamäärän, joka sen rakentamiseen on kulunut (Wizelius 2015, 187). Esimerkkejä kielteisiä vaikutuksista ovat käytön aikana syntyvä melu ja liikkuvien varjojen aiheuttama välke. Vaikutuksia syntyy myös työllisyyteen ja aluetalouteen sekä esimerkiksi liikennevirtoihin.

Yksi ajankohtainen esimerkki tuulivoiman välillisestä vaikutuksesta on lisääntynyt tarve kehittää valtakunnallista sähköverkkoa. Fingrid suunnittelee investoivansa 2020-luvulla kantaverkon kehittämiseen 1,4 miljardia euroa, ja yhtenä kehittämistyön ajurina se mainitsee erityisesti nopeasti lisääntyvän tuulivoiman (Fingrid 2019, 6, 13).

Ympäristöhallinnon ohjeessa 6/2016 (Ympäristöministeriö 2016b) on kuvattu tuulivoiman keskeiset ympäristövaikutukset ja niiden selvittäminen. Tuulivoimalan rakentamiseksi tarkoitettuun lupahakemukseen on liitettävä selvitys hankkeen vaikutuksista maisemaan, asutukseen, liikenneväyliin, virkistysalueisiin sekä naapurikiinteistöjen käyttöön (Ympäristöministeriö 2016b, 69).

Ympäristövaikutukset luonnonympäristöön tulee selvittää myös satama-alueilla ja teollisissa ympäristöissä. Rannikolla sijaitsevat satama-alueet voivat sijaita esimerkiksi linnuston tärkeillä muuttoreiteillä tai niiden lähiympäristössä voi sijaita esimerkiksi lintujen parveutumis- tai ruokailualueita. Myös meri- tai rannikkoalueelle rakennettavien penkereiden,

maatäyttöjen, perustusten ja kaapeleiden vaikutukset hydrologiaan ja meriarkeologiaan on selvitettävä.

Teollisessa ympäristössä tuulivoima ei lähtökohtaisesti muodosta ristiriitaa maiseman tai kulttuuriympäristön arvojen kanssa. Teollisuusalueille tyypillisiä elementtejä ovat korkeat savupiiput, suuret hallit ja rakennukset, laajat avoimet pysäköinti- ja logistiikkakentät sekä tekniseen infrastruktuuriin liittyvät rakennelmat kuten mastot ja voimajohdot. Myös satama- ja teollisuusalueilla voi kuitenkin olla maisemallisia tai kulttuurihistoriallisia arvoja, joiden merkitys ja vaikutus tuulivoimarakentamisen mahdollisuuksiin on suunnitteluvaiheessa selvitettävä. Suuren kokonsa vuoksi tuulivoiman vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön selvitetään tyypillisesti noin 20 km:n etäisyydelle.

Lähemmin tarkasteltavat ympäristövaikutukset rajataan tässä työssä tuulivoiman meluun, varjovälkkeeseen ja turvallisuusriskeihin, sillä niillä voi olla välittömiä vaikutuksia voimaloiden lähiympäristöön, mikä on huomioitava erityisellä huolella maankäytön suunnittelussa ja vaikutusten arvioinnissa.

5.2 Ääni

Yleistä

Ääni on aaltoliikettä, joka kulkee väliainetta, esimerkiksi ilmaa, pitkin äänilähteestä äänen havainnointipisteeseen. Ääni luokitellaan meluksi, jos ihminen kokee sen epämiellyttävänä tai häiritsevänä. Ympäristömelu sisältää useiden kohteiden yhtäaikaista ääntä, jonka aallonpituus ja taajuus on jatkuvassa muutoksessa. Melun häiritsevyys on pitkälti riippuvainen havaitsijan omasta melun havainnointikyvystä, melun tasosta ja ominaisuuksista sekä havaitsijan asenteesta tarkasteltavaa melulähdettä kohtaan. (Di Napoli 2007, 7, 21.)

Tuulivoimalan ääni

Tuulivoimalan käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta (noin 60–4000 Hz) lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien melusta, jota aiheuttavat muun muassa vaihteisto, generaattori, sekä jäähdytysjärjestelmä. Lapojen pyörähdyspinta-alan ja äänen jaksollisen luonteen vuoksi aerodynaaminen melu on näistä hallitsevin. (Di Napoli, 9.)

Äänen voimakkuuteen vaikuttaa kohteen aiheuttaman äänipäästön lisäksi oleellisesti myös tarkastelijan etäisyys äänilähteestä. Tuulivoimamelun kokeminen on myös hyvin subjektiivista. Urbanissa ympäristössä hyväksytty ja totuttu melu voidaan kokea maaseutualueella sietämättömäksi. (Shepherd & Zhang 2017, 235.)

Tuulivoiman äänessä voidaan havaita erityispiirteitä, joita esiintyy myös muissa ympäristömelulajeissa. Näitä erityispiirteitä ovat jaksollinen sykintä, eli amplitudimodulaatio, tonaalisuus ja impulssimaisuus. (Välisuo ym. 2020, 4.)

Tuulivoimalan äänen leviäminen ympäristöön riippuu maaston pinnanmuodoista, kasvillisuudesta ja sääoloista, kuten tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä lämpötilasta. Ääni etenee tavallisesti veden yllä laajemmalle kuin maalla johtuen pienemmästä vaimentumisesta. Tuulivoiman ääni sisältää myös matalataajuisia (20–200 Hz) ääntä, joka etenee muuta ääntä laajemmalle. (Ympäristöministeriö 2016b, 76.)

Tuulivoimamelun sääntely

Useissa Euroopan Unionin maissa ja lisäksi eräissä maissa Unionin ulkopuolellakin on annettu ohje- tai raja-arvot tuulivoimamelulle. Tyypillisesti nämä vaihtelevat välillä 35–45 dB(A) ja koskevat yöajan äänitasoja maaseutualueilla. Joissakin maissa sallitaan korkeampi äänitaso urbaaneilla alueilla tai päiväsaikaan. (Swift & Walker 2015, 150.)

Suomessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa ulkomelua säädellään Valtioneuvoston asetuksessa 1107/2015 annetuilla ohjearvoilla. Yöajan ohjearvo pysyvän asutuksen ja loma-asutuksen, hoitolaitosten sekä virkistys- ja leirintäalueilla on 40 dB (LAeq) (Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista 1107/2015, 3 §). Tuulivoimamelua pidetään häiritsevämpänä kuin esimerkiksi liikennemelua, jolle sallitaan uusilla asuinalueilla 45 dB:n melutaso (Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992, 2 §).

Tuulivoimameluasetuksessa säädetään myös rakennusten sisämelusta. Tuulivoimaa suunniteltaessa onkin lisäksi otettava huomioon asumisterveysasetuksen (545/2015) mukaiset toimenpiderajat pienitaajuisen sisämelun osalta. Sisämelutasot voidaan arvioida ulkomelutasojen perusteella ottamalla huomioon rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyys. (Ympäristöministeriö 2016b, 81–82.)

Melu rajoittaa tuulivoimaloiden sijoittamista

Ympäristöhallinnon ohjeessa 5/2016 tuulivoimarakentamisen suunnittelusta meluhaittojen näkökulmasta mainitaan:

Tuulivoimaloita sijoitettaessa lähtökohtana on, että maankäyttö- ja rakennuslain mukaisessa maankäytön ja rakentamisen suunnittelussa laskennallinen melutaso ei saa ylittää ulkomelutason ohjearvoja, eikä rakennuksen sisätiloissa asumisterveysasetuksessa säädettyjä sisämelun toimenpiderajoja (Ympäristöministeriö 2016b, 81).

Tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melumallinnuksen lähtöarvoina käytetään ympäristöministeriön mittausohjeen mukaisesti mitattuja tai valmistajan standardin IEC TS 61400–14 mukaisesti ilmoittamia tuulivoimaloiden melupäästön (äänitehotaso) takuuarvoja ("declared value" tai "warranted level"). Melupäästön takuuarvoon sisällytetään koko laskennan epävarmuus, jolloin äänen etenemislaskennassa voidaan käyttää standardiin ISO 9613-2 perustuvia vakioituja etenemiseen liittyviä sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. (Ympäristöministeriö 2014, 9, 18).

Infraääni

Äänen taajuusjakaumassa on sopimusluonteinen 20 Hz:n raja, jonka alapuolella olevaa ääntä kutsutaan infraääneksi (vrt. pienitaajuinen melu 20–200 Hz). Mitä pientaajuisempi ääni on, sitä suurempi äänenpainetaso vaaditaan, että äänen voi kuulla. Esim. 20 Hz:n taajuudella kuulokynnyksen ylittyminen edellyttää noin 79 dB:n äänenpainetasoa. Infraääntä esiintyy yleisesti sekä luonnossa että rakennetuissa ympäristöissä yhdessä kuultavan äänen kanssa, mutta tyypillisesti infraäänien äänenpainetasot ovat kuulokynnyksen alapuolella. (Lanki ym. 2017, 131.)

Kansainvälisissä tutkimuksissa infraäänitasot tuulivoima-alueiden läheisyydessä olevilla asuinalueilla ovat olleet samaa tasoa tai pienempiä kuin kaupunkien keskusta-alueilla (enimmillään noin 80 dB), mutta suurempia kuin luonnonympäristöissä (poikkeuksena merenranta, jossa aallot aiheuttavat infraääntä). (Lanki ym. 2017, 132.)

Maijala ym. (2020) havaitsivat monimenetelmäisessä infraäänitutkimuksessa tuulivoimaloiden aiheuttavan merkittävästi suurempia infraäänitasoja kuin mitä luonnontilaisilla alueilla oli mitattu. Tuulivoimaloiden asuntoihin aiheuttama ääni oli hyvin pientaajuisista, alle 2 Hz, mutta sen äänenpaine jäi alle kuulokynnyksen. Tutkimuksessa toteutettu kuuntelukoe osoitti, että tuulivoimalan äänestä ei kyetty havaitsemaan infraääntä, eikä se vaikuttanut äänen häiritsevyyteen eikä kokeeseen osallistuneiden hermostoon. Tuulivoimaloiden infraäänien terveysvaikutuksista ei saatu näyttöä. (Maijala ym. 2020, 77–79.)

Tuulivoimamelun hallinta

Tuulivoimaloiden ääneen voidaan vaikuttaa suunnittelun ja teknisten menetelmien avulla. Tuulivoimamelun haittavaikutukset voidaan välttää tuulivoimaloiden sijoittelun huolellisella suunnittelulla, jossa lähiympäristön mahdollisesti herkäät ja häiriintyvät kohteet on huolellisesti kartoitettu ennalta. Suunnitteluvaiheessa toteutettavan melumallinnuksen avulla voidaan luotettavasti ennakoida tuulivoimamelun taso halutuissa havaintopisteissä. Lisäksi kartalla esitetyn melun leviämismallin perusteella vaikutukset voidaan ennakoida laajemminkin voimaloiden lähiympäristössä.

Toiminnan aikana aerodynaamiseen meluun voidaan vaikuttaa lapakulman säätöjärjestelmän avulla. Myös tuulivoimalan tekninen toteutustapa vaikuttaa meluun. Vaihdelaatikko aiheuttaa merkittävän osan mekaanisesta melusta, ja näin ollen suoravetoiset voimalamallit saattavat olla hiljaisempia. (Swift & Walker 2015, 151–152).

Tuulivoimalan äänihaittaa voidaan vaimentaa yksinkertaisimmillaan hidastamalla roottorin pyörimisnopeutta. Tämä voidaan toteuttaa muuttamalla esimerkiksi lapakulmaa, välitystä tai roottorin suuntaa. Meluhaitan vähentäminen toiminnan aikana ohjausjärjestelmän avulla vaikuttaa yleensä kielteisesti voimalan energiantuotantoon. Mikäli voimalan melutasoa pienennetään ohjausjärjestelmän avulla, menetetään vuotuisesta energiantuotannosta karkeasti arvioiden 2–4 prosenttia yhtä vähennettyä desibeliä kohti (Kuilboer, 2018).

Useat tuulivoimalavalmistajat tarjoavat lapojen reunaan asennettavaa sahalaista kuviointia ratkaisuksi vähentää lapojen aiheuttamaan aerodynaamista melua. Sahanterää tai tiheää kampa muistuttava kuviointi vaikuttaa tuulen pyörteisiin sen jättäessä lavan. Sahalaitainen kuviointi muuttaa myös äänen taajuusjakamaa vähentäen matalia taajuuksia (Greensolver 2017). Valmistajasta riippuen tuulivoimalan kokonaisäänitaso vähenee kuvioinnin ansiosta muutaman desibelin verran.

5.3 Välke

Välkevaikutusta syntyy, kun aurinko paistaa tuulivoimalan takaa. Tällöin tuulivoimalan pyörivät lavat aiheuttavat liikkuvia varjoja, joka voivat tuulivoimalan koosta, sijainnista ja auringon kulmasta riippuen ulottua jopa 1–3 kilometrin etäisyydelle tuulivoimalasta. (Ympäristöministeriö 2016b, 82.)

Välkevaikutuksen luonne on hyvin erilainen kuin tuulivoimalan äänellä. Välkkeen syntymiseksi tarvitaan riittävä tuuli, jotta voimala käynnistyy ja lavat pyörivät. Tuulen suunta vaikuttaa myös roottorin suuntaukseen. Lisäksi varjovälke edellyttää auringonpaistetta, eli sen syntymekanismi on vahvasti riippuvainen sääoloista. 500 metrin etäisyydellä tuulivoimalasta sijaitseva kohde altistuu välkkeelle enintään 20 minuuttia vuorokaudessa (Wizelius 2015, 207). Yhden tuulivoimalan aiheuttama välkealtistus yhdestä kohteesta tarkasteltuna on siis tyypillisesti lyhytkestoinen haitta, mutta kumulatiivinen vaikutus esimerkiksi vuositasolla voi olla merkittävä.

Varjovälkkeen taajuus voidaan laskea roottorin suurimmasta mahdollisesta pyöriähdysnopeudesta ja tyypillisesti se on 0,5–1,25 välähdystä sekunnissa (0,5–1,25 Hz). Välkkeen taajuus on huomattavasti pienempi kuin strobovalon, jonka tiedetään joillakin laukaisevan epileptisen kohtauksen. (Swift & Walker 2015, 153.)

Välkehaitan sääntely

USA:ssa varjovälkkeen haittavaikutukset eivät ole puhuttaneet samoin kuin Pohjois-Euroopassa. Tämä johtuu sekä auringon matalasta kulmasta erityisesti talvisin sekä lyhyemmästä etäisyydestä asuntojen ja tuulivoimaloiden välillä. Tanskassa suunnitteluohjeena suositellaan pitämään asuntojen ja tuulivoimaloiden välillä suojaetäisyyttä, jonka pituus on vähintään kuudesta kahdeksaan roottorin halkaisijaa. Britanniassa vastaava suositus on kymmenen roottorin halkaisijaa, joka vastaa meluhaittojen välttämiseksi suositeltua etäisyyttä. (Swift & Walker 2015, 245).

Suomessa ei ole määritelty varjovälkettä koskevia raja-arvoja tai suosituksia. Välkevaikutusten arvioinnissa käytetään apuna muiden maiden suosituksia välkkeen rajoittamisesta. Esimerkiksi Saksassa raja-arvot laskennalliselle maksimitilanteelle, eli tilanteelle, jossa taitvaan oletetaan olevan aina pilvetön, ovat 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Tilastolliset auringonpaisteajat huomioiva todellisen tilanteen raja-arvo Saksassa on kahdeksan tuntia vuodessa. Tanskassa sovelletaan kymmenen tunnin vuotuista raja-arvoa todellisessa laskentatilanteessa. (Ympäristöministeriö 2016b, 84.)

Välkkeen vaikutus tuulivoimaloiden sijoittamiseen

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkehaitta on ensisijaisesti ennaltaehkäistävää tuulivoimaloiden harkitulla sijoittelulla. Koska auringon korkeus eri vuorokauden- ja vuodenaikaan tunnetaan eri leveysasteilla, voidaan varjovälkkeen kohdistuminen ja vaikutus laskea tarkasti (Wizelius 2015, 207). Tuulivoimahankkeen lähiympäristön asunnot, loma-asunnot ja muut vastaavat häiriintyvät kohteet on tunnettava, jotta niihin kohdistuvat vaikutukset voidaan suunnitteluvaiheessa arvioida.

Välkkeen vaikutuksia arvioidaan mallintamalla. Tuulivoimaloiden välkevaikutuksen arviointiin on kehitetty laskentamalli, jonka avulla saadaan tieto välkkeen vaikutusalueesta, ajoittumisesta ja ajallisesta kestosta. Laskenta voidaan lisäksi tehdä erikseen herkille kohteille, jolloin saadaan selville esimerkiksi läheisiin asuntoihin kohdistuvan välkealtistuksen määrä. (Ympäristöministeriö 2016b, 84.)

Yksittäisen tuulivoimalan välkehaitta-alue muistuttaa bumerangia, jonka lavat suuntautuvat kaakkoon ja lounaaseen. Auringon noustessa matalalla horisontissa lankeavat pitkät varjot lounaaseen ja auringon laskiessa pitkät varjot lankeavat kaakkoon. Voimalan pohjoispuolelle syntyvä haitta-alue on lyhyempi, sillä etelästä paistaessaan aurinko on korkeimmillaan. Välkkeen kannalta tuulivoimalat tulisi sijoittaa siten, ettei herkkiä kohteita sijaitisi voimalan läheisyydessä edellä mainituissa suunnissa.

Välkehaitan hallinta

Välkehaitan hallinnan tärkein menetelmä on ennaltaehkäisy kiinnittämällä huomiota voimaloiden sijoitteluun haitallisen välkkeen vähentämiseksi. Völkemallinnuksen tulosten perusteella asunnoille tai loma-asunnoille kohtuutonta haittaa aiheuttavia voimaloita voidaan suunnitteluvaiheessa sijoittaa uudelleen, mikäli tämä on tuulivoimapuiston ja sen ympäristön kokonaisuuden kannalta mahdollista. Joskus tuulivoimapuiston lähistöllä on yksittäisiä kohteita, jotka voimalasijoittelusta huolimatta altistuvat välkehaitalle, joka ylittää muiden maiden suositusarvot. Yksi keino välkehaitan vähentämiseksi on rakentaa kriittisille voimaloille matalampi torni. Myös valitsemalla kokonaan pienempi voimalamalli välkehaitta vähenee, mutta vaikutus energiantuotantoon voi olla hankkeen toteutettavuuden kannalta kriittinen.

Välkkeen haittavaikutusten lieventämiseksi tuulivoimalat voidaan ohjelmoida pysähtymään kriittisinä ajankohtina (Ympäristöministeriö 2016b, 82). Haittaa aiheuttavien voimaloiden pysäyttäminen lyhyiksi kriittisiksi hetkiksi voi olla kokonaisedun kannalta toivottavinta, sillä välkehaittaa hallitsemalla menetetty energiantuotanto on vain murto-osa verrattuna voimalayksiköstä tai -yksiköistä luopumiseen.

Tuulivoimalavalmistajat tarjoavat välkehaitan hallintaan järjestelmää (flicker control, shadow control), joka liitetään voimaloiden ohjausjärjestelmään. Järjestelmään ohjelmoidaan voimaloiden sijainti, korkeusasema ja dimensiot sekä välkehaitalle kriittisten kohteiden sijaintitiedot. Auringonvalon intensiteettiä mitataan konehuoneen katolle asennettavalla valosensorilla, joka havaitsee voimakkaita varjoja aiheuttavat kirkkaat ajanjaksot. Lisäksi varjojen hallintajärjestelmä seuraa auringon asemaa ja voimaloiden roottoreiden suuntaa, jolloin se havaitsee välkehaitta aiheuttavat sääolot ja ajankohdat kriittisiin kohteisiin nähden. Varjojen hallintajärjestelmällä voidaan ohjata useita tuulivoimaloita, ja ohjausjärjestelmä pysäyttää välkehaittaa aiheuttavat voimalat kriittisillä ajanjaksoilla. (Siemens Gamesa 2019b.)

Iso-Britanniassa Department of Energy and Climate Change on teettänyt tutkimuksen tuulivoimaloiden välkevaikutuksista. Tutkimuksessa todetaan, että hankekehittäjien keinot välkehaitan vähenemiseksi ovat tuottaneet tulosta. Voimaloiden sijoitussuunnittelun lisäksi toimijat käyttävät usein myös varjovälkkeen hallintajärjestelmää. Hallintajärjestelmän käytöllä on Iso-Britanniassa kaikkien osapuolten hyväksyntä. Järjestelmän on havaittu toimivan käytännössä tehokkaasti, ja varjovälkkeestä muodostuu Iso-Britanniassa harvoin ongelmia. (Parsons Brinckerhoff 2011.)

5.4 Turvallisuusriskit

Tuulivoimahankkeissa turvallisuuteen on kiinnitettävä huomiota jo tuulivoimapuiston sijaintia selvitettyä. Tuulivoimalat voivat haitata ilmailun, puolustusvoimien ja ilmatieteenlaitoksen tutkatoimintaa ja sekä viestintäverkkojen toimintaa. Edellä mainitut vaikutukset voivat ulottua hyvinkin kauas tuulivoimaloista ja siksi hankekehittäjät ovat tottuneita selvittämään vaikutuksia varhaisessa vaiheessa.

Kuten kaikessa rakentamisessa, myös tuulivoimatyömaalla voi sattua työtapaturmia ja onnettomuuksia. Tuulivoiman rakentamiseen ja käytöstä poistamiseen liittyy huomattavia liikennemääriä sekä raskaita kuljetuksia. Myös erikoiskuljetukset lisäävät riskiä liikenteessä ja työmaalla. Lisäksi työvaiheisiin kuuluu suurten komponenttien vaativia nostoja ja työskentelyä korkeissa paikoissa. Kansanvälisesti tarkasteltuna tuulivoimatyömaalla on sattunut tapaturmia ja myös joitakin kuolemantapauksia. Yleisimpiä vammojen syitä ovat korkealta putoaminen, tulipalo ja ahtaisiin tiloihin liittyvät huonot työskentelyasennot (Arbetsmiljöverket 2010, 3).

Tapaturmia ja onnettomuuksia voi sattua myös tuulivoiman käyttöaikana toteutettavien tarkastus-, huolto- ja korjaustöiden yhteydessä. Koska tuulivoiman onnettomuusriskeistä ei ole saatavilla vertailutietoa muihin energiantuotantomuotoihin nähden (Shepherd & Zhang 2017, 246), käsitellään tässä luvussa pääasiassa riskejä, jotka liittyvät sääilmiöihin ja tuulivoimalan tekniikkaan.

Kemikaalit

Tuulivoimalassa käsitellään moneen muuhun energiantuotantotapaan verrattuna pieniä määriä kemiallisia aineita. Öljyjen ja muiden kemikaalien varastointi ja käsittely järjestetään työ- ja ympäristöturvallisuus huomioiden ja vuotoriskit minimoiden. Jos tuulivoimalassa on vaihdelaatikko, se sisältää tuulivoimalamallista riippuen 500–1000 litraa öljyä. Vaihteistoöljy vaihdetaan tyypillisesti muutaman vuoden välein. Modernin tuulivoimalan lapakulman säätöjärjestelmä ja jarrujärjestelmä sisältää 300–400 litraa hydraulikkaöljyä, joka vaihdetaan niin ikään muutaman vuoden välein. Lisäksi päälaakerin voitelujärjestelmä sisältää muutamia kymmeniä litroja voitelurasvaa ja jäähdytysjärjestelmä noin sata litraa vesi-glykoli-seosta. (Ethra Wind 2020, 47; Siemens Gamesa 2020.)

Tuulivoimalat suunnitellaan ja rakennetaan siten, että mahdolliset kemikaalivuodot eivät pääse valumaan ympäristöön. Vuotava kemikaali kerätään talteen vuotoaltaaseen konehuoneessa tai viimeistään tornin alaosassa. Tuulivoimalan ohjausjärjestelmä havaitsee mahdolliset vuodot nopeasti, jolloin se pysäyttää voimalan ja estää lisävahingot.

Hälytysautomaatiikan ja etävalvonnan ansiosta tarvittaviin korjaustöihin päästään nopeasti. (Ethra Wind 2020, 47.)

Salaman isku

Energiantuotanto- ja siirtojärjestelmät ovat alttiina salaman iskuille. Niiden aiheuttamat vahingot voivat johtaa kriittisten järjestelmien rikkoutumiseen. Salaman isku aiheuttaa useiden megavolttien jännitepiikin, joka aiheuttaa vakavaa vaaraa ja vahinkoa suojaamattomassa järjestelmässä. (Shepherd & Zhang 2017, 216).

Tuulivoimalat suojataan salamoinnilta maadoituksella, joka ohjaa lapaan tai torniin iskevän salaman energian maaperään ehkäisten vakavia vahinkoja ja tulipaloja. Maadoituskaapeli sijoitetaan usein maan alle huoltotien suuntaisesti.

Tulipalo

Tuulivoimalassa palokuorma syntyy muun muassa öljystä ja voiteluaineista, ohjauselektronikasta sekä kaapeleiden suojakuorista. Nasellin ulkokuori valmistetaan lujitemuovista, joka syttyy palamaan, jos tulipalo konehuoneessa pääsee valloilleen. Lisäksi nasellin äänieristykseen käytetyt materiaalit aiheuttavat merkittävän osan palokuormasta. Vaihdelaattikolla varustetuissa voimalamalleissa palokuorma on suurempi öljyn ja voiteluaineiden suuren volyymin takia. (Uadiale ym. 2014, 987; HDI Risk Consulting GmbH).

Tulipalon syttymisen syitä ovat esimerkiksi ylikuumentunut jarrujärjestelmä, kuumentuneet laakerit, vikaantunut elektroniikka tai salaman isku. Myös kuumuutta tai kipinöitä aiheuttavat huoltotyöt voivat sytyttää palon. (Uadiale ym. 2014, 987; HDI Risk Consulting GmbH).

Vuosina 2000–2018 raportoitiin kansainvälisesti yhteensä 333 tuulivoimaloissa sattunutta tulipaloa. 90 % tulipaloista sijaitsi nasellissa. Tuulivoimaloiden tulipalot ovat harvinaisia, mutta ne voivat aiheuttaa huomattavia kuluja materiaalivahinkoina ja menetettynä energiantuotantona. (Vegi 2018, 2.)

Tuulivoimaloissa sattuvien tulipalojen sammuttaminen pelastuslaitoksen toimesta on käytännössä mahdotonta, sillä toimintaan liittyvät riskit ovat saavutettuihin hyötyihin nähden liian suuret. Konehuoneen palon sammuttaminen olisi vaarallista ahtaiden tilojen, korkean nousun, kovan tuulen ja poistumisreittien puutteen vuoksi. Niinpä pelastuslaitoksen tehtäväksi jääkin ympäristön eristäminen ja lisävahinkojen torjunta. Pelastustoiminnan taktiikkaan vaikuttaa tuulivoimalan sijainti; offshore-voimalan palo ei aiheuta välitöntä vaaraa ympäristölle, mutta vuodot ja putoavat osat on ympäristösyistä tärkeää poimia talteen. Maalla palavasta tuulivoimalasta voi irrota kuumia tai palavia kappaleita, jotka voivat sytyttää

maastopaloja tai aiheuttaa vahinkoa ympäristössä. (Uadiale ym. 2014, 985; Valtakari 2018, 36–38.)

Tuulivoimaloiden tulipaloja voidaan ehkäistä passiivisilla keinoilla ja aktiivisella palonestojärjestelmässä. Passiivisiin keinoihin lukeutuvat muun muassa tuulivoimalan maadoitus, palamattomien hydraulikka- ja voiteluaineiden käyttö, paloeristeiden käyttö, palamattomien äänieristeiden hyödyntäminen ja kuumuutta tai kipinöitä aiheuttavien huoltotöiden välttäminen konehuoneessa aina kun se mahdollista. Aktiiviseen palonestojärjestelmään kuuluvat sensorit, hälytysjärjestelmä, savunhallinta ja palonsammutusjärjestelmä. Tulipalon ilmaisuun käytetään savu-, kaasu-, liekki tai lämpösensoreita. Tuulivoimaloiden rajallisen tilan ja kevyen rakenteen vuoksi veteen tai palon tukahduttamiseen perustuvat järjestelmät ovat kalliita ja teknisesti vaativia. (Uadiale ym. 2014, 991–992.)



Kuva 1. Tulipalo tuhosi tuulivoimalan Haminan satamassa vuonna 2017. Kuva: Mikko-Pekka Purho. (YLE 2017.)

Valtakari (2018) toteutti kyselytutkimuksen tuulivoimasta pelastustoimen ja viranomaisyhteistyön näkökulmasta. Kyselytutkimus suunnattiin aluepelastuslaitoksille, kuntien rakennusvalvontaviranomaisille ja toiminnanharjoittajille. Kyselyyn osallistuneista pelastuslaitoksista 41 % oli hankkinut tuulivoimaloihin liittyviin tehtäviin tarvittavaa erikoiskalustoa, käytännössä pitkiä pelastusköysiä. Lisäksi 41 prosenttia vastaajista oli saanut tuulivoimaloihin

liittyvää koulutusta. Yksikään pelastuslaitos ei ilmoittanut laatineensa omia suunnitelmia tuulivoima-alueille. (Valtakari 2018, 45–47.)

Jäätäminen

Kylmissä olosuhteissa tuulivoimalan lapojen pintaan muodostuva jää aiheuttaa voimalan toimintaan ja turvallisuuteen liittyviä huolia. Lavan kärjen nopeus voi ylittää 250 km/h aiheuttaen huomattavan keskipakovoiman, joka riittää irrottamaan lapoihin kertynyttä jäätä. Myös jään epätasainen kertyminen pyöriviin lapoihin voi aiheuttaa hallitsemattomia voimia ja räsistystä. (Shohag ym. 2017, 192.)

Tuulivoimalan lapojen jäätämistä esiintyy olosuhteissa, joissa ilman ja lavan lämpötila on nollan alapuolella ja ilmassa on nestemäisiä vesipisaroita. Kun pisarat kohtaavat kylmän pinnan (lavan), muodostuu jäätä. Suomen olosuhteissa jäätävää sadetta esiintyy kohtalaisen vähän. Pilvipisaroiden koko ja tuulen nopeus vaikuttavat jään kertymiseen. Kevyet ja pienet pisarat kiertävät lavan ilmapirtauksen mukana, mutta suuremmat partikkelit törmäävät esteeseen. Voimakkaalla tuulella suurempi osa partikkeleista törmää lapaan. (Ilmatieteen laitos & VTT 2011.)

Aktiivista jäätämistä (vähintään 10 g/m/h) esiintyy Suomessa 200 metrin korkeudessa sijainnista riippuen 10–90 vuorokautta vuodessa. Tyypillinen aktiivinen jäätämisaika on Pohjanlahden rannikolla ja Suomenselän alueella on noin 20 vuorokautta vuodessa, mutta esimerkiksi Lapin tunturialueilla jäätämistä esiintyy huomattavasti useammin. (Ilmatieteen laitos & VTT 2011.)

Siinä missä jään aiheuttamien tuotantohäviöiden arviointi ja vähentäminen on teknistaloudellisesti tärkeä osa kannattavaa tuulivoimahanketta, on yhtäältä kiinnitettävä huomiota jään putoamisen aiheuttamaan riskiin erityisesti alueilla, jossa todennäköisesti liikutaan tai oleskellaan. (Krenn ym. 2018, 1.)

Tuulivoimaloiden jäänheittoa on tutkittu kenttätutkimuksissa muun muassa Alpeilla (Cattin ym. 2007; Bourgeois 2017) ja Juralla (Bourgeois 2017). Tutkimuksissa on etsitty ja dokumentoitu voimaloiden ympärille pudonnutta jäätä sekä selvitetty muun muassa tuulen suunnan ja nopeuden vaikutuksia jäänheittomatkaan ja -suuntaan. Tutkimuksissa on todettu, että suurin osa irtoavasta jäästä putoaa voimalan läheisyyteen lapojen alle. Lisäksi suurin osa irtoavasta jäästä hajoaa ilmassa hyvin pieniksi (alle 50 g) palasiksi, mutta myös suurempia kappaleita (jopa 1,8 kg) voi irrota.

Jäänheiton riskikin arvioimiseksi on kehitetty ballistisia malleja (mm. Renström 2015). Ballistisen mallin avulla jäänheiton riskialueet ja etäisyydet voidaan arvioida paikalliset sääolosuhteet ja voimaloiden ominaisuudet huomioiden. Kansainvälinen energiajärjestö IEA on

laatinut suositukset jäänheittoriskin arvioimiseksi (Krenn ym. 2018). Suositusten mukaan jäänheittoriskille määritellään neljä eri turvallisuusvyöhykettä, jossa onnettomuusriski pienenee etäisyyden kasvaessa. Riskialttiimmilla vyöhykkeillä 1–2, voi suositusten mukaan sijaita toimintoja, joissa oleskellaan tai liikutaan lyhyitä aikoja (esimerkiksi ulkoilureitit, yleiset tiet ja teollisuusalueet). Enemmän ihmisten oleskelua ja liikkumista aiheuttavat toiminnot kuten asuminen, oppilaitokset ja palvelut tulee suositusten mukaan sijoittaa etäämmille vyöhykkeille 3–4.

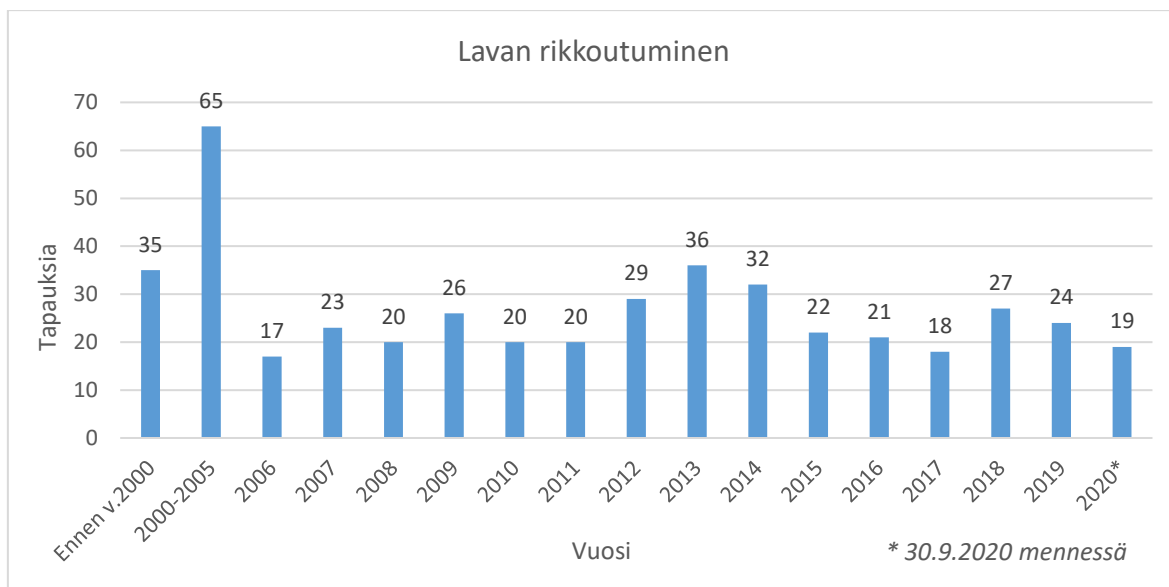
Tuulivoimavalmistajat tarjoavat jäätämisen varalle erilaisia teknisiä ratkaisuja. Järjestelmät eivät sisälly voimaloiden tavanomaiseen toimituslaajuuteen, vaan niiden tarpeellisuus ja hyötysuhde arvioidaan aina tapauskohtaisesti. Yksinkertaisin järjestelmä on jään tunnistusjärjestelmä (ice detection), joka hälyttää jäätämisestä säähavaintojen ja voimalan poikkeavan toiminnan perusteella ja tarvittaessa pysäyttää voimalan.

Kehittyneempää tekniikkaa edustavat jäätä poistavat (de-icing) ja jäätämistä ehkäisevät (anti-icing) järjestelmät. Jäänpoistojärjestelmä ei ehkäise jään muodostumista, mutta se sulattaa ja irrottaa lapoihin muodostuneen jään. Jäänpoistojärjestelmä ei siten kokonaan poista jäänheiton (jään irtoaminen pyörivästä lavasta) riskiä. Jäänestojärjestelmä sen sijaan pyrkii kokonaan estämään jään muodostumista lapoihin. Toimiessaan moitteetta, järjestelmä ehkäisee jäätämisen ja sen myötä jään putoamisen tai jäänheiton aiheuttaman riskin kokonaan. (Renström 2015, 1.)

Muut onnettomuudet

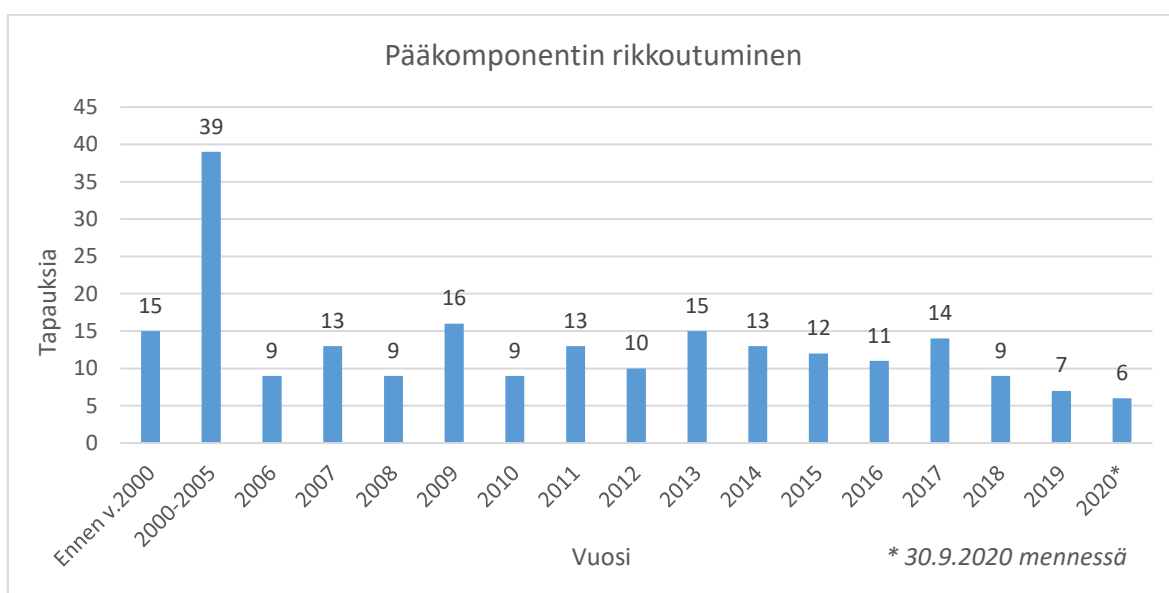
Caithness Windfarm Information Forum (CWIF) ylläpitää tuulivoimaan liittyviä onnettomuustilastoja, joita hyödynnetään alan selvityksissä ja tutkimustyössä. Onnettomuuksia dokumentoidaan kansainvälisesti muun muassa mediatietojen perusteella. Vaikka CWIF:n aineisto on luultavasti maailman kattavin onnettomuustilasto, jää merkittävä osa tapauksista kuitenkin dokumentoimatta. (CWIF 2020.)

Lavan rikkoutumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa lapa tai sen osa irtoaa. Yleisimmin tuulivoimaonnettomuus liittyy juuri lavan rikkoutumiseen. Lavan rikkoutumisen taustalla voi olla useita syitä. Vuosina 2000–2020 tilastoitiin kansainvälisesti yhteensä 464 lavan rikkoutumiseen liittyvää onnettomuutta. (CWIF 2020.)



Kuvio 7. Kansainvälisesti dokumentoituja lapojen rikkoutumisia vuosina 2000–2020. (Mukailtu CWIF 2020.)

Pääkomponentin rikkoutumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa tuulivoimalan pääkomponentti rikkoutuu tilanteessa, jonka se on suunniteltu kestävänsä. Pääkomponentin rikkoutumiset liittyvät yleisimmin myrskyjen aiheuttamiin tuhoihin tai tornin romahtamiseen. Pääkomponentin rikkoutuminen on tuulivoimalan kannalta tuhoisaa, mutta onnettomuuksissa ihmisiin kohdistuvat riskit tai seuraukset ovat pienemmät kuin lavan rikkoutumistapauksissa. Syitä pääkomponentin rikkoutumiselle voivat olla esimerkiksi epäonnistunut laadunvalvonta tai huollon laiminlyönti. (CWIF 2020.)



Kuvio 8. Kansainvälisesti dokumentoituja pääkomponenttien rikkoutumisia vuosina 2000–2020. (Mukailtu CWIF 2020.)

Onnettomuusriskien hallinta, esimerkki oikeuskäytännöstä

Vaasan Hallinto-oikeus totesi päätöksessään (23.9.2015 nro 15/051113), että tuulivoimaloiden jäänheiton, tulipalon tai muun rikkoutumisen vaaraa ei selvitetty erityisesti osayleiskaavaa laadittaessa. Tuulivoimalasta irtoava kappale tai jää voivat aiheuttaa tilastollisesti hyvin pienen riskin, ja sen lisäksi voimaloille on myös mahdollista antaa vaaran ehkäisemistä ja rajoittamista tarkoittavia tarkempia määräyksiä rakennusluvassa ja mahdollisessa ympäristöluvassa. Korkein hallinto-oikeus vetosi päätöksessään (4185/2016) hallinto-oikeuden esittämiin perusteluihin arvioi ne oikeiksi. KHO hylkäsi valituksen. (Vaasan hallinto-oikeus 2015 & Korkein hallinto-oikeus 2016 Mäkitalo Asianajotoimisto Oy:n mukaan).

6 Satama- ja teollisuusalueiden erityispiirteitä

6.1 Satama-alueet

Satamat ovat maa- ja meriliikenteen solmupisteitä, joissa operoi usein lukuisia eri toimijoita. Satamaa hallinnoin satamalaitos, joka on yleensä kuntien omistama osakeyhtiö. Suomessa on myös yksityisiä satamia. Satamalaitoksen vastuulla on rakentaa, ylläpitää ja kehittää satama-alueen infrastruktuuria, johon kuuluvat muun muassa laiturit, varastoalueet, tietoliikenneyhteydet sekä tiet ja rautatiet. Satamaoperaattori on ahtaustoimintoihin erikoistunut logistiikka-alan toimija, jonka tehtäviin kuuluu tavaroiden ja kuljetusyksiköiden lastaus ja purku satama-alueella liikennöivien alusten ja muiden kuljetusvälineiden osalta. (Logistiikan Maailma 2021.)

Satama-alueen keskeisiä toimijoita ovat myös kauppalaivoja omistavat varustamot sekä maaliikenneyhtiöt. Satamassa liikkuu myös laivaajia, tavarantoimittajia ja matkustajia. Satama-alueella operoivia palveluntuottajia ovat laivanselvittäjät, jotka toimivat varustamoitten apuna laivaan ja lastiin liittyvässä dokumentoinnissa, ja huolitsijat, jotka auttavat lastin maankuljetuksessa ja dokumentoinnissa. Muita tyypillisiä satama-alueen toimijoita ja palveluntarjoajia ovat muun muassa merenkulku- ja ympäristöviranomaiset, rajavartiolaitos ja poliisi, huolto- ja korjaamoyritykset, polttoaine- ja jätealan yhtiöt, luotsaus- ja jäänmurtopalveluiden tarjoajat sekä laivamuonittajat. Usein satamassa toimii merimiehiä varten myös merimieskirkko ja merimiespalvelutoimisto. (Logistiikan Maailma 2021.)

Alusten valvontaa ja väylien kunnostusta ja merkintää hoitavat niistä vastaavat viranomaiset kuten Väylävirasto ja Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Ympäristöviranomaiset, poliisi ja rajavartiolaitos seuraavat satamassa tapahtuvan toiminnan laillisuutta ja puuttuvat mahdollisiin rikkeisiin. Tulli vastaa varustamoilta kerättävistä väylä- ja lastimaksuista ja se tilastoi satamien kautta kulkevat tavaravirrat tuoteryhmittäin. (Logistiikan Maailma 2021.)

6.2 Meriväylät ja merialuesuunnittelu

Tuulivoimapuistojen sijoittaminen rannikolle tai merialueelle voi aiheuttaa häiriöitä alusten tutkajärjestelmille sekä meriliikenteen tutkavalvonnalle. Suomen rannikolla on yli 10 000 kilometriä meriväyliä ja noin sata meriliikenteen ohjaukseen käytettävää kiinteää tutkaa. Tuulivoimahankkeen suunnittelussa on väylien ja tutkajärjestelmien toiminnan lisäksi kiinnitettävä huomiota myös ankkurointialueisiin ja väylien lähestymisalueisiin. Hankesuunnittelun varhaisessa vaiheessa alueen soveltuvuus tuulivoimalle on näistä näkökulmista selvitettävä yhteistyössä Liikenne- ja viestintävirasto Traficom ja meriliikenteen ohjauksesta vastaavan Fintrafficin kanssa. (Traficom 2020a.)

Tuulivoimalan ja meriväylän välinen vähimmäisetäisyys harkitaan aina tapauskohtaisesti. Meriväyliä ja vesiliikennealueiden läheisyyteen rakennettavat tuulivoimalat on merkittävä IALA:n (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) ohjeiden mukaisesti. Tuulivoimaloiden merkintöjen on erotuttava alueen muista turvalaitteista. Sähkönsiirtoon tarvittavien voimajohtojen sijoittamisessa merialueelle ja niiden merkitsemisessä noudatetaan Liikenneviraston ohjetta (Dnro 6155/040/2010). (Liikennevirasto 2012, 8–9.)

Koska Liikenneviraston ohje tuulivoimarakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen vuodelta 2012 on melko niukka, on Jani Koiranen laatinut vuonna 2017 Liikennevirastolle ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyön Merituulivoimapuiston ja väyläinfrastruktuurin yhteensovittaminen Suomen rannikolla. Opinnäytetyö toimii yksityiskohtaisena ohjeistuksena väylänpitäjille ja tuulivoimakehittäjille. (Koiranen 2017.)

Merialuesuunnittelusta säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa. Merialuesuunnittelun tarkoituksena on edistää merialueen käytön kestäväää kehitystä sen eri käyttömuotojen piirissä, ja edistää merialueen luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä meriympäristön hyvää tilaa. Merialuesuunnittelussa erityisesti tarkasteltavia käyttömuotoja ovat esimerkiksi energia-ala, meriliikenne, kalastus ja vesiviljely sekä virkistyskäyttö ja ympäristön ja luonnon suojeleminen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 67 a §.)

Merialuesuunnitelmien laatiminen on maakuntien liittojen vastuulla. Liittojen tulee laatia suunnitelmat yhteistyössä ja valmisteluun on varattava viranomaisten ja yhteisöjen osallistumismahdollisuus. Maakuntien liitot hyväksyvät suunnitelmat ja antavat ne tiedoksi ympäristöministeriöön. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 67 b–d §.)

EU:n merialuesuunnitteludirektiivi edellyttää jäsenvaltioita laatimaan merialuesuunnitelmat vuoden 2021 maaliskuun loppuun mennessä. Suomen suunnitelmaluonnokset olivat kansainvälisesti kuultavana keväällä 2020 ja rannikon maakuntien liitot hyväksyivät suunnitelman oman toimialueensa osalta marras-joulukuun 2020 aikana. Merialuesuunnitelma laaditaan rantaviivasta aina Suomen talousvyöhykkeen ulkorajaan saakka ja suunnitelma päivitetään vähintään kymmenen vuoden välein. Merialuesuunnitelmalla ei ole oikeusvaikutuksia eikä sitovaa vaikutusta muuhun lainsäädännön mukaisiin lupiin tai menettelyihin, vaan sen vaikuttavuus perustuu suunnittelun yhteydessä lisääntyneeseen tietoon sekä viranomaisten ja eri tahojen keskinäiseen yhteistyöhön ja sitoutumiseen. (Suomen Merialuesuunnitelma 2030.)

6.3 Satamat energiaratkaisujen keskiössä

Power-to-X (P2X) on teknologia, jossa sähköä muutetaan toiseksi energiamuodoksi, kaasuksi tai nesteeksi. Tällä tavoin uusiutuvilla energiaratkaisuilla tuotettua sähköä voidaan varastoida ja hyödyntää myös silloin, kun uusiutuvan sähköenergian tuotanto on niukkaa. P2X-teknologia soveltuu fossiilisia korvaavien synteettisten polttoaineiden valmistukseen. Valmistusprosessissa hyödynnetään esimerkiksi täysin päästötöntä aurinko- tai tuulisähköä. Lopputuotteita, kuten metaania, metanolia ja dimetyylieetteriä voidaan käyttää muun muassa laivojen, kuorma-autojen ja henkilöautojen polttoaineena. (LUT-University 2018; Business Finland 2020.)

Ympäristöystävällisten satamaratkaisujen keskiössä on kahden eri osakokonaisuuden kehittäminen ja niiden käyttöönoton edistäminen. Ensimmäinen osa sisältää sataman oman energiatarpeen tyydyttämisen uusiutuviin energialähteisiin perustuvalla sähköntuotannolla. Järjestelmän on lisäksi kyettävä palvelemaan myös satamaan ankkuroituvien alusten energiatarvetta. Tällaisista järjestelmistä saadut kokemukset ovat olleet myönteisiä. Ympäristöystävällisen satamakonseptin toinen kriittinen menestystekijä on hyvin koulutettu henkilökunta, joka on täysin tietoinen erilaisista ympäristönäkökohdista. Näiden avaintekijöiden lisäksi tärkeitä vihreän sataman konseptia tukevia toimenpiteitä ovat ilman- ja vedenlaadun parantaminen, jätteiden käsittelyn kehittäminen, luonnonsuojelu, energiatehokkuuden edistäminen ja päästövähennykset, laivaliikenteen turvallisuuden edistäminen, talouden ja yhteiskuntavastuun kehittäminen sekä kestävän kehityksen edistäminen. (Sadek & Elgohary 2020, 5556.)

Meriteollisuus edellyttää myös alusten ympäristöystävällisyyttä. Tällä on erityisen suuri merkitys silloin, kun alukset ankkuroituvat satama-altaisiin, jotka sijaitsevat lähellä urbaaneja kaupunkiympäristöjä. Onshore Power Supply (OPS) on järjestelmä, jossa ankkuroituva alus kiinnittyy sataman sähköverkkoon, joka saa energiansa uusiutuvista lähteistä. OPS on tehokas tapa vähentää alusten kasvihuonekaasuja ja ilmansaasteita. Järjestelmän laajamittainen yleistyminen edellyttää satamilta lisääntyvää uusituvan sähköenergian tarjontaa sekä aluksilta parempia valmiuksia vastaanottaa sähköenergiaa rannalta. (Esteve-Pérez & Gutiérrez-Romero 2015, 169, 172.)

6.4 Teollisuus- ja varastotoiminnot

Teollisuus- ja varastorakentaminen perustuu pääsääntöisesti kunnan laatimaan asemakaavaan, sillä teollisesta toiminnasta voi syntyä laajalle ympäristövaikutuksia, jotka on huomioitava laajemmin maankäytön suunnittelussa. Teollisen rakentamisen volyymi ja toiminnan vaikutukset tutkitaan ja arvioidaan ennalta, ja kunnan velvollisuus on sovittaa eri toiminnot

yhteen. Teollisuus- ja varastorakentamiselle voidaan antaa asemakaavassa erityisiä määräyksiä, joilla voidaan rajoittaa esimerkiksi toiminnan laatua ja siitä syntyviä ympäristöhäiriöitä. Teollisuuden laadusta riippuen toiminta voi rakennusluvan lisäksi vaatia ympäristönsuojelulain mukaista lupaa.

Teollisiksi tiloiksi luetaan esimerkiksi tehtaat, teollisuushallit, korjaamot ja niihin liittyvät varasto- ja aputilat. Teollisissa tiloissa tyypillisiä toimintoja ovat lisäksi toimipaikan omaa tarvetta palvelevat toimistotilat tai työpaikkaruokailuun tarpeelliset tilat. Tällaisia tiloja saa rakentaa ilman erityistä asemakaavamääräystä. Erilliset toimisto- ja myymälätilat edellyttävät asemakaavamääräystä samoin kuin teollisuusalueella sijaitsevat asunnot tai kahvilat. Jos teollisen toiminnan ympäristövaikutuksia on tarpeen rajoittaa esimerkiksi lähellä sijaitsevan tiheään asutuksen tai muun häiriintyvän kohteen vuoksi, siitä voidaan antaa määräyksiä asemakaavassa. (Asemakaavamerkinnät ja määräykset, 48–51.)

6.5 Suuronnettomuusvaaralliset kohteet

Satama-alueilla hyvät logistiset yhteydet sekä alueen teollinen luonne mahdollistavat myös vaarallisia kemikaaleja käsittelevien tai varastoivien tuotantolaitosten toiminnan. Satama-alueet ovat tyypillisesti etäällä riskille alttiista toiminnoista, kuten tiiviistä asutuksesta ja palveluista, joissa oleskelee tai asioi säännöllisesti runsaasti ihmisiä.

EU:n Seveso III -direktiivi (12/18/EU) koskee vaarallisista aineista aiheutuvien suuronnettomuusvaarojen torjuntaa. Direktiivin 13 artikla koskee maankäytön suunnittelua ja tuotantolaitosten turvallisuutta, ja tämä osuus on Suomessa saatettu voimaan kemikaaliturvallisuus- sekä maankäyttö- ja rakennuslainsäädännöllä. (Ympäristöministeriö 2015.)

Kun maakunta-, yleis- tai asemakaavassa osoitetaan alueita suuronnettomuusvaarallisiksi luokitelluille tuotantolaitoksille, käytetään kaavamerkintää T/kem ”teollisuus- ja varastorakennusten korttelialue, jolla on / jolle saa sijoittaa merkittävän, vaarallisia kemikaaleja valmistavan tai varastoivan laitoksen”. Kaavoituksen yhteydessä on huomioitava myös tuotantolaitoksen toiminnan mahdollinen laajentuminen, evakuointitarpeet ja pelastuslaitoksen toimintaedellytykset. (Ympäristöministeriö 2015.)

Maankäyttö- ja rakennuslain 9 §:n mukaan kaavan tulee perustua kaavan merkittävät vaikutukset arvioivaan suunnitteluun ja sen edellyttämiin tutkimuksiin ja selvityksiin. Tämän pykälän nojalla myös tuotantolaitosten toimintaan liittyvät riskit tulevat selvitettäviksi. Tukes on määritellyt tuotantolaisoksille ja varastoille vyöhykkeet, joiden sisällä kaavoituksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota riskeihin ja suuronnettomuusvaaran torjuntaan. Suunniteltaessa toimintoja näiden ns. konsultointivyöhykkeiden sisälle, on kaavaa laadittaessa pyydetävä Tukesin ja pelastusviranomaisen lausunto. (Ympäristöministeriö 2015).

Kaavoituksessa on huomioitava, ettei riskialttiita toimintoja, kuten päiväkoteja, kouluja, hoitolaitoksia, sairaaloita, asuinalueita, vilkkaita liikenneväyliä tai luonnon kannalta erityisen herkkiä tai tärkeitä alueita, sijoiteta liian lähelle vaaraa aiheuttavia laitoksia ja varastoja. Tukes on laatinut luettelon mahdollisista suuronnettomuusvaaraa aiheuttavista kohteista sekä niitä ympäröivistä konsultointivyöhykkeistä. Konsultointivyöhykkeen laajuus vaihtelee 200–2000 m välillä. VAK-ratapihan huomiointivyöhyke on 2 km VAK-ratapihan aluerajasta. (Ympäristöministeriö 2015; Ympäristöministeriö 2016a, 59.)

Kohde	Määritelmä
Seveso-laitos (kemikaalien laajamittaista teollista käsittelyä harjoittavat laitokset tai varastot)	Seveso-direktiivin piiriin kuuluvat ja Tukesin valvonnassa olevat tuotantolaitokset ja varastot. Näitä ovat turvallisuusselvityslaitokset ja toimintaperiaateasiakirjalaitokset. (Tukes)
Lupalaitos (esim. pienemmät kylmälaitokset)	Muu kuin kemikaalien laajamittainen teollinen käsittely ja varastointi on vähäistä. Ilmoituksenvaraista vähäistä toimintaa valvoo pelastusviranomais. (Tukes)
Vaarallisten aineiden kuljetusratapiha	VAK-ratapiha on kuljetuskeskittymä, jonka kautta kulkee merkittäviä määriä vaarallisia aineita vuosittain. Suomessa on 13 kpl Trafim määrittelemiä VAK-ratapihoja. Näille ratapihoille on toiminnan luonne huomioiden laadittava turvallisuusselvitys.
Kemikaaliratapiha	Ratapiha, jolla siirretään terveydelle tai ympäristölle vaarallisia kemikaaleja kuljetusvälineestä toiseen tai varastoon taikka varastosta kuljetusvälineeseen.
Maantieliikenteen logistiikkakeskittymä	Maanteillä tapahtuvan liikenteen logistiikan kokoontumispiste minkä kautta suuri tavaravirta kuljetetaan.
Vaarallisten aineiden kuljetussatama	Satama-alue, jonka kautta kappaleittain kuljetettavien vaarallisten aineiden määrä on vuodessa yli 10 000 tonnia.

Taulukko 1. Suuronnettomuusvaarallisia kohteita. (Mukailtu Ympäristöministeriö 2016a, 58).

Suomessa satama-alueiden yhteydessä sijaitsevia suuronnettomuusvaarallisia kemikaaleja käsitteleviä kohteita, joille on määritelty konsultointivyöhykkeet (suluissa) ovat esimerkiksi Vaasan öljysatama (0,2 km) ja terminaali (1,0 km), Haminan LNG-terminaali (1,0 km) ja Tahkoluodon öljysatama (0,5 km) (Tukes 2020.)

6.6 Vaarallisten aineiden kuljetus

Vaarallisten aineiden kuljetuksia koskee laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta (719/1994). Vaarallisten aineiden kuljettamiseen ja niiden tilapäiseen säilyttämiseen satama- ja

teollisuusalueilla liittyy mahdollisuus onnettomuuksiin, joissa vaaralliset aineet voivat aiheuttaa vakavaa haittaa ihmisille ja ympäristölle. Siksi vaarallisten aineiden kuljettamista tai tilapäistä säilyttämistä harjoittavien toimijoiden on oltava tietoisia toimintaan liittyvistä vaaroista ja mahdollisten onnettomuuksien haitallisista seurauksista ihmisille ja ympäristölle. Toimijoiden on lisäksi varauduttava onnettomuuksiin järjestelyin, joilla onnettomuudet pyritään estämään ja niiden seurauksia kyetään rajoittamaan. Riittävä turvallisuuden taso varmistetaan velvoittamalla toimijoilta turvallisuusselvitystä ja pelastussuunnitelmaa. (Traficom 2020b, 3.)

Satamat, joiden kautta kuljetettavien vaarallisten aineiden määrä kappaletavarana on yli 10 000 tonnia vuodessa ovat velvoitettuja laatimaan turvallisuusselvityksen ja pelastussuunnitelman. Jos satamassa on useita toiminnanharjoittajia, satamanpitäjä kokoaa satama-alueen turvallisuusselvityksen toiminnanharjoittajien selvitysten perusteella. Turvallisuusselvityksessä kuvataan miten vaarallisten aineiden kuljetus ja varastointi on järjestetty ja miten satama- alueella ja sen ulkopuolella olevat haavoittuvat kohteet on huomioitu. Selvitykseen kuuluvassa turvallisuusjohtamisjärjestelmässä kuvataan muun muassa onnettomuusvaarojen hallintaan osallistuvaa organisaatiota, tehtäviä ja vastuualueita. Toimintaa valvova viranomainen on Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. (Traficom 2020b, 5.)

7 Bechmarking: Tuulivoimapuistoja Eurooppalaisilla satama-alueilla

7.1 Benchmarking-menetelmä

Benchmarking on menetelmä, joka perustuu toisten toiminnan ja menestyksen tarkasteluun. Benchmarkingissa ennalta tunnistettuun kehittämiskohteeseen etsitään vertailukumppanit, joista kerätään järjestelmällisesti tietoa. Menetelmän avuksi suunnitellaan lista asioista, joita menestyvistä vertailukohteista selvitetään. Benchmarkingin jälkeen tuloksia tulkitsemalla pyritään havaitsemaan toimintatapoja, jotka ovat suoraan sovellettavissa omaan toimintaan, sekä toimintatapoja, joiden kehittäminen vaatii edelleen ratkaisun hakemista. (Ojasalo ym. 2015, 186.)

Tässä tutkimuksessa benchmarking-menetelmää sovellettiin tarkastelemalla merkittäviä eurooppalaisia satama-alueella sijaitsevia tuulivoimapuistoja. Kohteista kerättiin yleistietoa alueen ympäristöä ja merkityksellisistä erityispiirteistä sekä tuulivoimapuistojen nykytilaa ja mahdollisia laajennushankkeita koskien.

7.2 Rotterdam

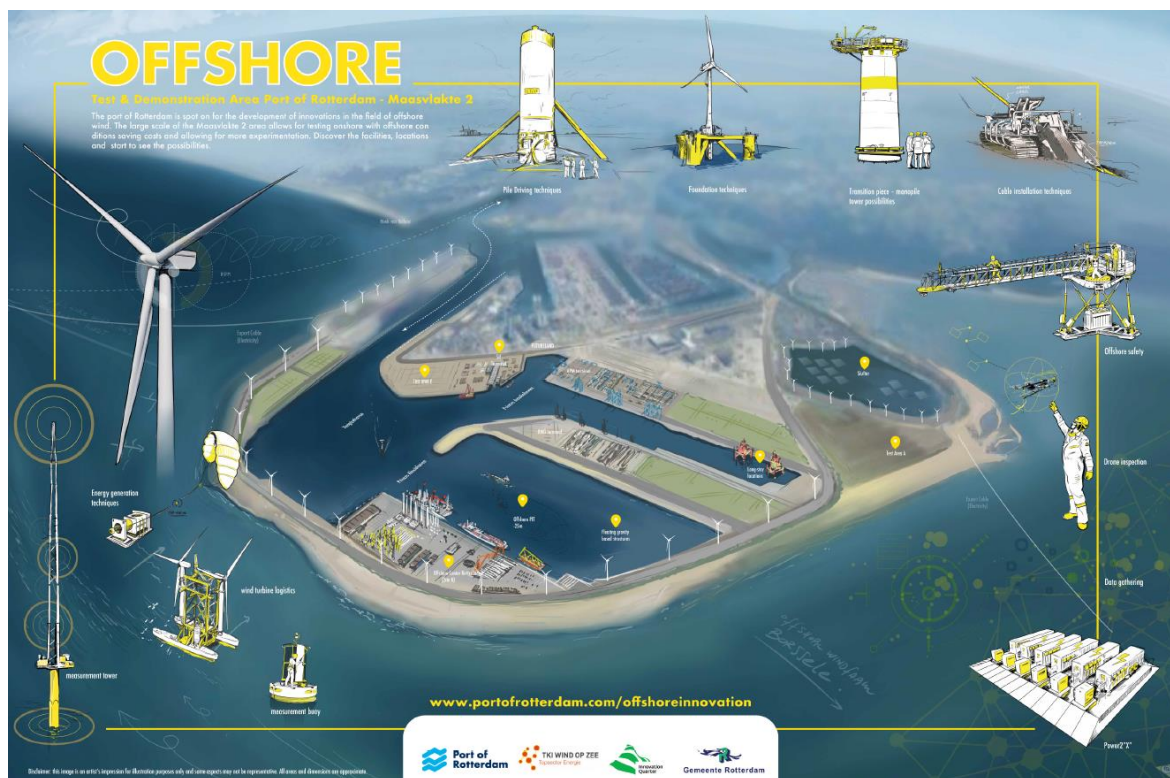
Alankomaissa sijaitseva Rotterdamin satama on Euroopan suurin satama. Tultaessa 2000-luvulle tila satama-alueella alkoi käydä vähiin ja Alankomaiden hallitus päätti laajentaa satama-aluetta merelle. Maasvlakte 2 -hankkeessa vuosina 2008–2013 satamaa laajennettiin yhteensä noin 2000 hehtaarilla, josta noin 700 hehtaaria rakennettiin teollisuusalueeksi. Aluetta suojaava aallonmurtaja on noin 11 kilometriä pitkä ja se koostuu osin pehmeistä dyynistä ja osin kalliomurske- ja betonirakenteista. (Boskalis 2012; Port Of Rotterdam 2021a.)

Vuoteen 2004 saakka aluetta hallinnoi Rotterdamin kaupunki. Tuolloin perustettiin yksityinen satamayhtiö, Rotterdam Port Authority, jonka omistajat ovat Alankomaiden valtio ja Rotterdamin kaupunki. Rotterdamin satama on liittynyt ilmastonmuutoksen vastaiseen taisteluun julistautumalla tavoittelevansa hiilineutraaliutta. Tavoite edistää sataman vastuullista mainetta, mutta samalla sen päämääränä on kehittää sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä. (Ravesteijn ym. 2015, 668–669.)

Rotterdamin satamaan on asennettu yhteensä 200 MW tuulivoimaa, joka kattaa noin 10 % koko Alankomaiden tuulivoimakapasiteetista. Rotterdamin kaupungin ja sataman visiona on tuulivoimaa ja synnyttää satama-alueelle offshore-tekniikan tutkimus-, kehitys- ja koe-alue. Alueella jo toiminnassa olevat tuulivoimalat ovat eri tahojen omistuksessa ja ne on rakennettu eri aikaan. Maasvlakte 2 -alueelle suunnitellaan huomattavasti lisää tuulivoimaa

ja lisäksi vanhempia voimaloita suunnitellaan korvattavan nykyaikaisilla suurempitehoisilla tuulivoimaloilla. (Port Of Rotterdam 2021b; Port of Rotterdam 2021d.)

Eneco kehittää parhaillaan alueen suurinta tuulivoimapuistoa, jonne on vuonna 2022 tarkoitus aloittaa 22 tuulivoimalan rakentaminen. Tuulivoimapuisto rakennetaan aallonmurtajalle, ja osa voimaloista pystytetään pehmeille dyynille ja osa kovalle pohjalle. Tuulivoimapuiston kokonaisteho tulisi olemaan noin 100 MW. Eneco 2021.)



Kuvio 9. Havainnekuva Rotterdamin sataman offshore-tekniikan tutkimus-, kehitys- ja koe-alueesta. (Port of Rotterdam 2021b.)

Rotterdamin sataman laajennushanke on kiinnostava myös siksi, että laajennusalueella sijaitsee arvokas ranta- ja meriekosysteemi, joka oli suojeltu ja kuului EU:n Natura 2000 -verkostoon. EU:n regulaatio mahdollistaa Natura 2000 -alueen arvojen heikentämisen tai hävittämisen tietyin tiukoin ehdoin ja sen edellytyksenä on haittojen kompensointi. Maasvlakte 2 -hankkeen yhteydessä kompensoitiin ravinneköyhien dyyniekosysteemien hävittäminen rakentamalla 35 hehtaaria korvaavaa hiekkadyynialuetta. Niin ikään Natura -2000 verkkoon kuuluvan meriekosysteemin menetys korvattiin perustamalla uusi 25 000 hehtaarin suojelualue ja rakentamalla sille uusia lintujen levähdysalueita. (Van Der Meulen 2016.)

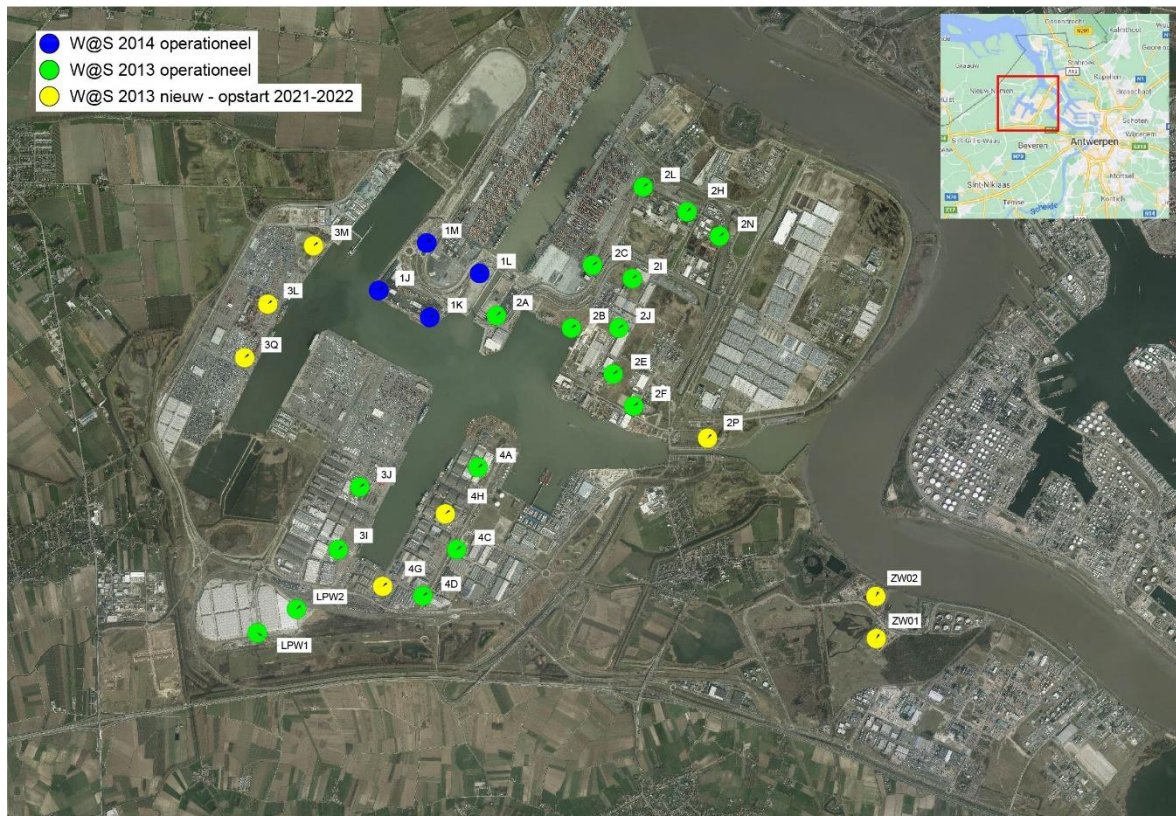


Kuva 2. Tuulivoimaloita Rotterdamin satamassa. (Port Of Rotterdam 2021c.)

7.3 Antwerpen

Belgian pohjoisosassa sijaitseva Antwerpen on maan toiseksi suurin kaupunki. Antwerpenin satama on Euroopan toiseksi vilkkain ja se sijaitsee Sheldejoen rannalla jokisuiston läheisyydessä. Satama-alueelle asennettujen tuulivoimaloiden kokonaisteho on noin 200 MW (Port Of Antwerp 2021). Merkittävimmät tuulivoimaoperaattorit Antwerpenin satama-alueella Vleemo ja NV Wind aan de Stroom. Vleemo operoi alueella 34 tuulivoimalaa, joiden kokonaisteho on noin 94 megawattia. Wind aan De Stroom omistaa satama-alueella 21 tuulivoimalaa, joiden kokonaisteho on noin 63 megawattia. Kumpikin yhtiö suunnittelee rakentavassa alueelle lähivuosina lisää tuulivoimaa. Parhaillaan satama-alueella rakenteilla ja suunnitteilla on yhteensä noin 50 MW tuulivoimaa. (Vleemo; Wind aan de Stroom.)

Osa asennetuista tuulivoimaloista sijaitsee teollisuusyritysten tonteilla, jossa tuulivoimaloiden tuottama uusiutuva energia siirretään suoraan yritysten käyttöön. Alueella on tietoisesti pyritty minimoimaan sähkönsiirtoverkkojen rakennuskustannukset. Tuulivoimahankkeissa on kiinnitetty erityistä huomiota alueella työskentelevän henkilöstön turvallisuuteen. Tämän johdosta tuulivoimaloihin, joiden ympäristössä on kohonnut riski, on valittu parasta saatavilla olevaa turvallisuustekniikka. Jääongelmien varalta suurimmassa osassa alueen tuulivoimaloista on lapoljen lämmitysjärjestelmä. Haittojen vähentämiseksi voimaloissa on niin ikään varjovälkkeen hallintajärjestelmä. (Wind aan de Stroom.)



Kuvio 10. Antwerpenin sataman länsiosan olemassa olevat (sininen ja vihreä) ja suunnit-
teilla olevat (keltainen) tuulivoimalat (Wind aan de Stroom).



Kuva 3. Näkymä Antwerpenin satama-alueelta (Wind aan de Stroom).

7.4 North Sea Port

North Sea Port -satama hallinnoi suurta aluetta Belgian ja Alankomaiden rajalla. Satama-alue alkaa Ghentin kaupungista ja se jatkuu noin 32 kilometriä pohjoiseen Terneuzenin kaupunkiin, ja tästä edelleen noin 30 kilometriä Schelde-joen suistoaluetta Vlissingenin kaupunkiin. North Sea Port perustettiin tammikuussa 2018, kun näiden kolmen kaupungin satamat yhdistettiin. Sataman omistajina ovat Itä-Flandersin (Belgia) ja Zeelandin (Alankomaat) maakunnat sekä kuusi alueella sijaitsevaa kaupunkia. Suurin omistusosuus on Ghentin kaupungilla (48.52 %). Osakkaat muodostavat komitean, jonka jäseninä on kaupunginvaltuutettuja ja maakuntavaltuustojen jäseniä ja johtoa. (North Sea Port 2021a.)

North Sea Port on vahvasti mukana tuulivoima-alan kehityksessä ja erityisesti Vlissingenin kaupungissa merituulivoimateollisuus on nopeassa kasvussa. Pohjanmerellä on jo yli 50 toiminnassa olevaa merituulivoimapuistoa, joista osa on North Sea Port -satama-alueen yritysten rakentamia ja hallinnoimia. Varsinaisella satama-alueella on yli sata tuulivoimalaa, jotka yhdessä tuottavat yli 280 megawattia sähköenergiaa vuosittain. (North Sea Port 2021a.)



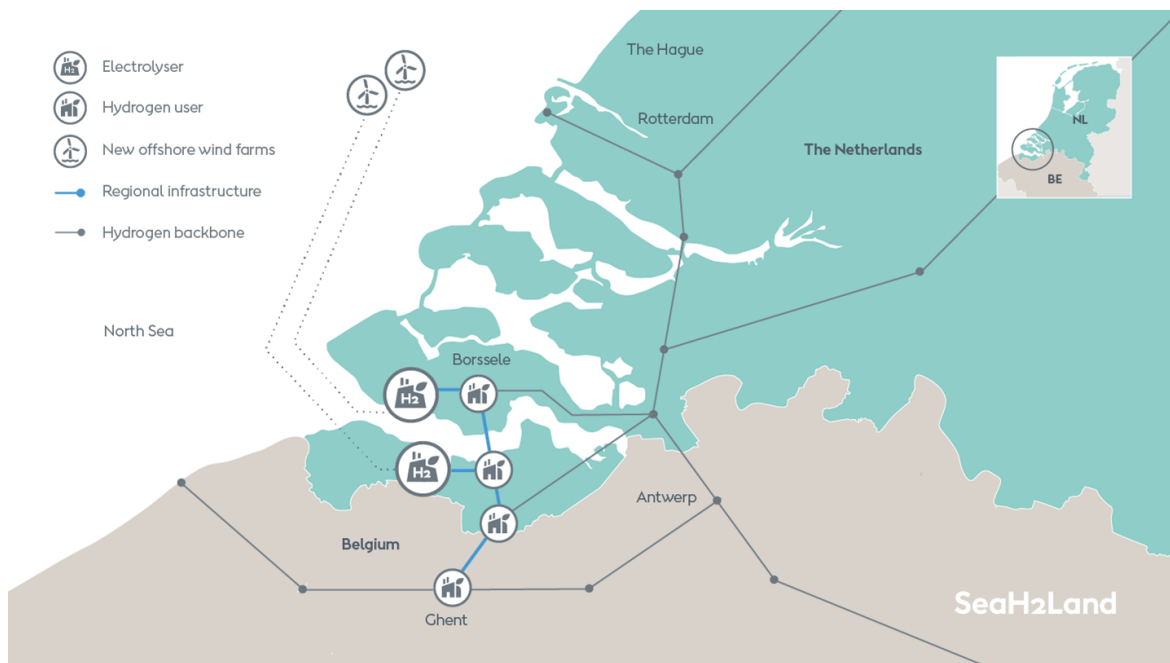
Kuva 4. Tuulivoimaloita Vlissingenissä. (North Sea Port 2021b.)

Satamassa tuulivoimalla tuotettu energia suhteutettuna tuulivoimaloiden lukumäärään paljastaa, että tuulivoimalat edustavat pääasiassa vanhaa 1–3 MW:n sukupolvea. Tällä hetkellä yritykset satama-alueella investoivat myös aurinkovoimaan, jota ne syöttävät oman

tarpeen ylittävältä osin alueelliseen sähköverkkoon. Ghentin, Vlissingenin ja Terneuzenin kaupungeissa sijaitsevat aurinkovoimapuistojen yhteenlaskettu huipputeho on 110 MW. (North Sea Port 2021c.)

North Sea Portin satama-alue on maaliskuussa 2021 julkistetun SeaH2Land -vetytalous-hankkeen keskiössä. Alueelle on suunnitteilla alueellinen vetyverkko, joka palvelisi eri toimijoiden vedyn tuotantoa ja tarvetta. Hanke on jatkoa alueella tehdyille investoinneille, jotka saivat alkunsa, kun osa paikallista kaasuverkkoa muunnettiin vetyverkoksi vuonna 2018. North Sea Portin teolliset toimijat tukevat hanketta ja sen edellyttämän infrastruktuurin kehittämistä. Heidän tavoitteenaan on käyttää vetyä muun muassa teräksen, ammoniakin ja polttoaineiden tuotannossa syntyvien päästöjen vähentämiseksi. North Sea Port on 580 000 tonnin vuotuisella vetymarkkinallaan jo tällä hetkellä yksi Euroopan suurimmista vetytalouksista. (Ørsted 2021; North Sea Port 2021c.)

North Sea Port ja Shelde-joen suistoalueen energianintensiivisten yritysten muodostama Smart Delta Resources -yhteenliittymä vastaavat SeaH2Land-hankkeeseen sisältyvän laajan vetyinfrastruktuurin kehittämisestä. Merituulivoimateollisuuden johtava yritys Ørsted sen sijaan vastaa hankkeessa vetytehtaan rakentamisesta sekä merituulivoimapuiston kehittämisestä elektrolyysin valtavaan energiatarpeen tyydyttämiseksi. Hankkeen mittakaava on kunnianhimoinen, sillä vetytehtaan on määrä ylittää gigawatin tuotantokapasiteetti. Yhtiön tavoitteena on rakentaa Pohjanmerelle huipputeholtaan jopa kahden gigawatin merituulivoimapuisto, joka vastaisi tehtaan tarvitseman uusiutuvan sähköenergian tuottamisesta.



Kuvio 11. Visio SeaH2Land -vetytaloushankkeesta. (Ørsted 2021.)

8 Haastattelututkimus

8.1 Menetelmä ja toteutus

Teemahaastattelu lukeutuu puolistrukturoituihin haastattelumenetelmiin, jossa haastattelu ei tukeudu yksityiskohtaisiin kysymyksiin vaan etenee tiettyjen keskeisten teemojen varassa. Teemahaastattelu ottaa huomioon sen, että ihmisten tulkinnoilla ja asioille antamilla merkityksillä on keskeinen rooli. Teemahaastattelussa merkitykset syntyvät vuorovaikutuksessa. (Hirsjärvi & Hurme 2015, 48.)

Haastattelututkimuksen toteutustavaksi valittiin teemahaastattelu, sillä se mahdollisti haastateltavien erilaisen asiantuntemuksen huomioon ottamisen haastattelun kuluessa. Kunkin haastateltavan kanssa pyrittiin löytämään heidän erityisasiantuntemuksensa mukaisia näkökulmia, painotuksia ja aihepiirejä, joihin haastatteluissa erityisesti keskityttiin. Haastattelukysymykset olivat kaikille haastateltaville samat, mutta niiden avoimen luonteen johdosta kukin saattoi vastata kysymyksiin omista lähtökohdista ja näkökulmista käsin.

Haastattelun teemat suunniteltiin siten, että tutkimuskysymystä lähestyttiin aluksi yleiseltä tasolta vähitellen aihepiiriin syventyen. Teemojen muodostamisessa huomioitiin kirjallisuuskatsauksessa tärkeiksi havaittuja aihepiirejä. Kuhunkin teemaan suunniteltiin ennakoon apukysymyksiä, joita käytettiin keskustelun luontevan etenemisen ja riittävän laajan katsantokannan varmistamiseksi. Teemat ja apukysymykset tarkastettiin ennakoon opinnäytetyön ohjaajien toimesta. Haastatteluteemat ja apukysymykset löytyvät liitteestä 1.

Haastatteluteemoiksi muodostuivat:

- tuulivoima yleisesti,
- tuulivoiman sijainti yleisesti,
- tuulivoima rakennetussa ympäristössä,
- luvat ja lainsäädäntö sekä
- osaaminen ja yhteistyö.

Haastattelututkimuksen kohdehenkilöiksi valittiin tuulivoima-alan kokeneita ja keskeisessä roolissa toimivia asiantuntijoita. Haastatellut edustivat erityyppisiä organisaatioita ja erilaisia asiantuntijarooleja, ja lisäksi haastateltavien valinnassa painotettiin tutkimuksen aihepiiriin tuntemusta. Haastattelut sovittiin puhelinkeskustelussa, jossa haastateltaville kerrottiin tutkimusaiheesta, ja kiinnostuksen lisäämiseksi perusteltiin, miksi haastateltavien osallistuminen ja asiantuntemus olisi tutkimuksen kannalta arvokasta ja tärkeää. Teemahaastattelussa haastateltavan kanssa keskusteltiin tutkimusaiheesta ennalta suunniteltujen teemojen rytmittämänä. Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ja haastatteluteemat lähetettiin

haastateltaville tiedoksi sähköpostitse vähintään viikko ennen haastattelua. Haastattelututkimukseen osallistuneiden tiedot löytyvät taulukosta 2.

Nimi	Pia Isojärvi	Juha Katajisto	Heikki Lappalainen	Timo Huhtinen	Kai Heinonen
Tehtävänimike	Asiantuntija	Johtava asiantuntija	Liiketoimintajohtaja	Johtava konsultti	Kehityspäällikkö
Organisaatio	Ympäristö-ministeriö	Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus	Haminan Energia Oy	Sitowise Oy	Porin Satama Oy
Koulutus	Oikeustieteen maisteri	Filosofian maisteri	Diplomi-insinööri	Diplomi-insinööri	Sähköinsinööri
Ammatillinen työkokemus	4 vuotta	Noin 20 vuotta	10 vuotta	Noin 30 vuotta	Yli 30 vuotta
Kokemus tuulivoimasta	1,5 vuotta	13 vuotta	7 vuotta	7 vuotta	7 vuotta

Taulukko 2. Tiedot haastatelluista asiantuntijoista.

Haastattelut toteutettiin maaliskuussa 2021 videoneuvotteluna. Haastattelut dokumentoitiin nauhoittamalla, minkä jälkeen tallennettu ääniraita litteroitiin Microsoft Word -ohjelman puhe tekstiksi -toiminnolla Office365-verkkoympäristössä. Tämän jälkeen automaattisen litteroinnin laatu tarkistettiin ja alkuperäiset nauhoitukset poistettiin. Haastatteluaineiston keskeisimmät tulokset sekä huomionarvoiset nostot poimittiin sisältöanalyysin avulla.

Haastateltavat saivat työn luonnosversion ennakkoon luettavakseen sähköpostitse. Työn mukana heille lähetettiin myös kyselylomake, johon vastaamalla oli mahdollista antaa palautetta henkilötietojen käyttöä ja tutkimuksen johtopäätöksiä koskien. Saadun palautteen perusteella sitaatit muokattiin anonyymeiksi poistamalla nimet ja yhtenäistämällä kieliasua.

8.2 Teema: tuulivoima yleisesti

Haastateltavat arvioivat tuulivoiman nykytilan ja tulevaisuudennäkymät Suomessa myönteiseksi tai hyvin myönteiseksi. Haastatteluissa esiin nousivat muun muassa kansainväliset ja paikalliset ilmastotavoitteet, joiden myötä tuulivoimalla on Suomessa vahva poliittinen tuki ja yleinen hyväksyttävyys on korkealla tasolla. Tuulivoiman vahvuutena nähtiin sen kilpailukyky, joka muodostuu ennen kaikkea alhaisista energiantuotantokustannuksista ja tuulivoimarakentamisen nopeudesta verrattuna muihin energiantuotantomuotoihin. Haastatteluissa tuulivoiman vahvuuksina nousivat lisäksi esiin myös tuulivoiman teknologinen kehitys ja sen mahdollistama kannattavuus sekä kuntien kiinteistöverotulot. Yhteiskunnan sähköistyminen ja sähkön lisääntyvä kysyntä nousivat niin ikään esille tuulivoiman ajureina.

Tuulivoiman yleisinä heikkouksina haastateltavat mainitsivat sään aiheuttaman tuotantovaihtelun ja säätövoiman tarpeen. Myös tuulivoiman maineen nähtiin olevan voimakkaasti

kahtiajakautunut: yleisellä tasolla hyväksyttävyyys on laajaa, mutta paikallisella tasolla maine voi olla kiistanalainen. Puolustusvoimien tutka- ja aluevalvonnan aiheuttamat rajoitukset tuulivoimahankkeille nähtiin tekijänä, joka estää tuulivoiman kattavan alueellisen hajauttamisen Suomessa. Tuulivoiman todettiin myös usein sijaitsevan etäällä kulutuskeskittymistä, mikä edellyttää pitkiä ja kalliita sähkösiirtoverkkoja. Osa haastateltavista huomauttikin, että tuulivoiman voimakkaampi alueellinen hajauttaminen vähentäisi sään aiheuttamaa tuotantovaihtelua ja parantaisi sähköenergian toimitusvarmuutta. Paikallisen hyväksyttävyyden parantaminen edistäisi tuulivoimarakentamista, ja yhdessä kattavamman hajauttamisen avulla tuulivoima edistäisi tehokkaammin energiasektorin ilmastotavoitteita.

Tuulivoiman merkitystä tulevaisuudessa pidettiin hyvin tärkeänä. Suomessa tuulivoimaa edistävinä ja sen joustavuutta ja käytettävyyttä tulevaisuudessa lisäävinä tekijöinä mainittiin vetytalouden, energiavarastojen ja meritulivoiman kehitys ja lisääntyminen. Teknologisen kehityksen arvioitiinkin entisestään lisäävän tuulivoiman kilpailukykyä. Tuulivoimaloiden yksikkötehon ja lukumäärän kasvun mainittiin tulevaisuudessa parantavan tuulivoiman mitta-kaavaetua. Suomessa alaa voimakkaasti vauhdittaneena tekijänä mainittiin tuulivoimalle aikaisemmin myönnetty tuotantotariffi.

Siellä on nyt valtavan kokoisia laitoksia nämä tulevaisuuden laitokset. Esimerkiksi Hyötytuulen uusi projekti, 40–45 yksikköä merelle, niin siellä puhutaan vähintään 12 megawatin laitoksista...siinä alkaa tulla jo jollakin tavalla muskeleita... Ajatellaan, että sillä pystytään sitten jo tuottamaan puolet jonkun ison ydinvoimalan nimellistehosta optimiolosuhteissa... Ei puhuta enää mistään pikku piipertämisestä. Kyllä se suuruus alkaa siellä näkymään. (Haastattelu B 2021).

...vaikka sitä kovasti kritisoidaan ja saattoi olla tariffi vähän korkea, niin kyllähän se oli aivan ehdottoman myönteinen asia... Suomeksihan oltaisiin huomattavasti enemmän alkutekijöissä, jos sitä ei olisi ollut sitä vaihetta. Se oli todellinen buusti sitten alalle, josta kaikki kilpaili ja yritti sitten tehdä tosi paljon töitä tämän alan eteen ja siinä se onnistui kyllä se tariffi ihan hyvin. (Haastattelu C 2021).

Tuulivoima energiantuotantomuotona oli kaikkien haastateltavien mielestä yleisesti ottaen sosiaalisesti varsin hyväksytty energiamuoto Suomessa. Valtakunnallisena tuulivoimaneuvojana toimiva Juha Katajisto esitti kuitenkin muiden haastateltavien kanssa yhtenevän näkemyksen siitä, että tuulivoiman maine on tietyllä tapaa kahtiajakautunut. Tuulivoiman eräänlaisina uhkakuvina Katajisto mainitsi maankäyttöön liittyvät intressiristiriidat ja

maakuntakaavoissa tuulivoimarakentamiseen osoitettujen vapaana olevien alueiden riittämättömyyden ja ”tilan ahtauden”. Huhtinen sen sijaan totesi Suomen erottuvan Euroopassa sillä, että täällä on vielä tilaa rakentaa maatuulivoimaa. (Katajisto 2021; Huhtinen 2021.)

8.3 Teema: tuulivoiman sijainti yleisesti

Keskusteltaessa tuulivoiman suunnitteluun sopivista alueista yleisellä tasolla valtakunnallisella tasolla tuulivoiman parissa toimivat Juha Katajisto ja Pia Isojärvi korostivat tuulivoimarakentamisen suunnitteluoppaan (Ympäristöministeriö 2016b) mukaista pääperiaatetta, eli että tuulivoima olisi sijoitettava mahdollisimman etäälle häiriintyvistä kohteista. Isojärvi huomautti myös valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden maininnasta, jonka mukaan tuulivoima on pyrittävä sijoittamaan keskitetysti useiden yksiköiden kokonaisuuksiksi. Katajisto näki maakuntakaavoituksen keskeisenä keinona tuulivoimarakentamisen ohjaamisessa. Tuulivoimalle periaatteellisella tasolla hyvin sopivina alueina hän mainitsi ihmisen jo tavalla tai toisella muokkaamat alueet, esimerkiksi käytöstä poistuvat turvetuotantoalueet. (Katajisto 2021; Isojärvi 2021.)

Tuulivoiman sijoittamisessa syrjäisille seuduille haastateltavat näkivät päällimmäisenä etuna vähäiset ihmisiin kohdistuvat häiriövaikutukset. Porin tuulivoimahankkeet hyvin tunteva Porin Sataman kehityspäällikkönä Kai Heinonen ja tuulivoimaa satama-alueella operoivan Haminan Sataman liiketoimintajohtaja Heikki Lappalainen näkivät erityisesti merialueiden tuulivoimapotentialin merkittävänä. Merialueet ovat heidän mukaansa esimerkki syrjäisestä sijainnista, jonka etuja tuulivoimarakentamisessa ovat hyvien tuuliolosuhteiden lisäksi ihmisiin kohdistuvien häiriöiden vähäisyys (Heinonen 2021; Lappalainen 2021). Syrjäisyyden mainittiin myös mahdollistavan suurempien tuulivoimakokonaisuuksien rakentamisen (Isojärvi 2021). Syrjäisten seutujen haittapuolina haastateltavat mainitsivat muun muassa tie- ja voimajohtorakentamisen vuoksi kohoavat rakentamiskustannukset, huoltoa ja ylläpitoa hankaloittavat pitkät etäisyydet ja virkistys- ja luontoarvoihin kohdistuvat haittavaikutukset.

Haastatteluteemassa keskusteltiin myös rakennetusta ympäristöstä yleisellä tasolla. Muun muassa Isojärvi näki, että tuulivoiman sijoittaminen esimerkiksi rakennetulle satama- tai teollisuusalueelle voidaan nähdä perusteltuna sen häiriövaikutusten näkökulmasta, sillä tällaisten alueiden toiminnoista aiheutuvat melu- ja muut häiriöt vaikuttavat jo ennestään alueen lähiympäristöön, ja vastaavasti tuulivoiman sijoittaminen syrjäiselle seudulle aiheuttaisi häiriövaikutuksia uusille alueelle (Isojärvi 2021). Muina rakennetun ympäristön tuulivoimalle tarjoamina etuina mainittiin esimerkiksi olemassa oleva infrastruktuuri, hyvä saavutettavuus ja sosiaalinen hyväksyttävyys. Rakennetun ympäristön haittapuolina haastateltavat pitivät

muun muassa tilan ahtautta, tuulivoimaan liittyviä onnettomuusriskejä, teollisuusalueen rakentamismahdollisuuksien kaventumista ja kiristyviä turvallisuus- yms. vaatimuksia.

Haastatteluteeman päättävänä kysymyksenä esitettiin, minne haastateltavien mielestä tuulivoimaa tulisi jatkossa Suomessa rakentaa. Kolme viidestä haastatelluista mainitsi merialueiden potentiaalin. Tutka- ja aluevalvonnan rajoitteet nousivat myös keskusteluun, kun Lapalainen ja Huhtinen sijoittaisivat lisää tuulivoimaa Itä-, Kaakkois- ja Etelä-Suomeen, mikäli Puolustusvoimat sen sallisi. Myös Isojärvi hajauttaisi tuulivoimaa alueellisesti entistä laajemmalle.

8.4 Teema: tuulivoima rakennetussa ympäristössä

Rakennetun ympäristön haastatteluteemassa syvennyttiin lähemmin tuulivoimaan teollisissa ympäristöissä, eli esimerkiksi satama-, teollisuus- tai logistiikka-alueilla. Pohdittaessa teollisuusympäristön ja tuulivoiman synergiaeduista, pääällimmäisiksi tekijöiksi nousivat valmiin infrastruktuurin ja hyvän saavutettavuuden tarjoamat logistiikka- ja kustannushyödyt. Logististen yhteyksien ja keskeisen sijainnin arveltiin helpottavan myös työvoiman saatavuutta esimerkiksi huolto- ja kunnossapitotilanteissa. Tuulivoiman nähtiin myös edistävän teollisen ympäristön imagoa (Huhtinen 2021).

Tuulivoiman ja rakennetun ympäristön yhteensovittamisen haasteena tuulivoimaneuvojana työskentelevä Juha Katajisto mainitsi hyvien kansallisten käytännön esimerkkien puutteen. Katajisto jatkoi mainitsemalla erilaisiin toimintoihin ja liittyvät moninaiset ympäristövaikutukset ja intressit. Hän myös pohti, mahtaako Suomessa löytyä teollisuusympäristöjä, joihin nykyisten tuulivoimaloiden edellyttämät keskinäiset etäisyysvaatimukset huomioiden olisi mahdollista toteuttaa useiden voimaloiden kokonaisuuksia. (Katajisto 2021).

Tuulivoiman ja teollisuustoimintojen rinnakkaiselon mahdollisuuksina haastateltavat mainitsivat esimerkiksi alueidenkäytön tehokkuuden ja monipuolisuuden. Tässä yhteydessä puheeksi tulivat myös tuulivoiman ja energia- ja kemianteollisuuden mahdolliset synergiaedut, mistä esimerkkinä mainittiin vetytalous (Huhtinen 2021). Huomionarvoisena hyötynä nähtiin virkistys- ja luontoarvoiltaan arvokkaiden alueiden säilyminen, kun tuulivoimarakentaminen suunnataan jo ihmisen muokkaamaan ympäristöön (Isojärvi 2021; Katajisto 2021).

Erilaiset onnettomuusriskit korostuivat keskusteltaessa teollisuustoimintojen ja tuulivoiman mahdollisista ristiriitatilanteista. Myös tuulivoimaloiden rakennuspaikan huolellinen suunnittelu ennalta arvaamattomien alueidenkäytön tarpeiden näkökulmasta nousi voimakkaasti esiin. Haastateltava B korosti tuulivoimaloiden pitkän elinkaaren aikana mahdollisesti muuttuvien maankäyttötarpeiden ennakointia ja jopa taannehtivasti kiristyvien määräysten ja rajoitusten vaikutuksia:

Ei silloin sellaisia asioita nähty. Silloin on ajateltu vaan että, jaaha, se on yksi putki pystyyn tuohon ja lavat viuhuu taivaalla, se ei rajoita mitään. Kun ei se oo näin. (Haastattelu B 2021.)

Rakennetun ympäristön teemassa haastateltavia pyydettiin kuvailemaan tilannetta, jossa tuulivoima ja teolliset toiminnot on onnistuneesti yhteensovitettu. Tuulivoimahankkeen yleisenä perusedellytyksenä mainittiin tässä yhteydessä investoinnin kannattavuus ja haittavaikutusten hallinta. Onnistumisen edellytykset kiteytyivät kahteen pääkohtaan: hankesuunnitteluvaiheessa olisi saavutettava mahdollisimman laaja yhteinen tahtotila, ja maankäytön suunnittelun tulisi olla ennakoivaa ja muutoksiin varautuvaa:

No kaikki lähtee tietysti siitä yhteisestä halusta ja päämäärästä, että tuulivoima on hyvä tänne alueelle (Haastattelu E 2021).

Kyllähän ne täytyisi sijoittua sitten sellaiselle alueelle, mille ei ole oikeasti edes näköpiirissä muuta toimintaa. Ei ne saisi ikinä olla keskellä aluetta, jota voidaan kehittää. Täytyisi olla mahdollisimman laidalla. (Haastattelu B 2021.)

8.5 Teema: luvat ja lainsäädäntö

Luvat ja lainsäädäntö -haastatteluteemassa käsiteltiin Suomen tuulivoimarakentamista ohjaavaa lainsäädäntöä, alan toimintaa ja käytäntöjä viitoittavaa valtakunnallista ohjeistusta sekä haastateltavien kokemuksia lupamenettelyjen toimivuudesta. Nykyisen maankäyttö- ja rakennuslain tuulivoimarakentamista koskevat säädöksiä ja niiden soveltamisesta muodostunutta käytäntöä pidettiin isossa kuvassa varsin toimivana. Kuntien kaavoitusmonopoli nähtiin myös lupamenettelyn vahvuudeksi, sillä se varmistaa tuulivoimarakentamista säätelevän päätösvallan pysymisen paikallisella tasolla. Kaavoitusta pidettiin myös tuulivoimarakentamisen konkreettisena edistämiskeinona (Huhtinen 2021).

Juha Katajisto piti erityisesti tuulivoimarakentamisen mahdollistavaa yleiskaavoitusta ja ympäristövaikutusten arviointimenettelyä koskevia säädöksiä ja käytäntöjä vakiintuneina ja toimivina. Katajiston kanssa keskusteltiin kaavoitus- ja rakennuslupaviranomaisten mahdollisuuksista ja keinoista rajoittaa esimerkiksi haitallisia ympäristövaikutuksia ja vaikuttaa tuulivoimaan liittyviin onnettomuusriskeihin. Hän totesi, että maankäyttö- ja rakennuslaki ei

määrittele tämän kaltaisia asioita yksityiskohtaisesti. Sen sijaan viranomaiset voivat lupavaiheessa esittää vaatimuksia ja antaa tarkempia määräyksiä haittojen ja riskien vähentämisestä ja huomioon ottamisesta. (Katajisto 2021.)

Keskusteltaessa lainsäädännön ja lupamenettelyn haasteista ja kehittämiskohteista, esiin nousi lupamenettelyn verkkaisuus. Ympäristöministeriön asiantuntijana työskentelevä Pia Isojärvi totesi nopean yhteiskunnallisen ja teknologisen kehityksen asettavan haasteita lainsäädännön ja ajantasaisuudelle ja esimerkiksi kaavamääräyksiin kirjatut tuulivoimaloiden teknisiä ominaisuuksia koskevat rajoitukset saattavat vanheta arvioitua nopeammin. Samassa yhteydessä hän kuitenkin totesi tuulivoimarakentamisen erityisaseman olevan lainsäädännössä huomioitu. Esimerkkinä tästä hän nosti esiin maankäyttö- ja rakennuslain 171 §:n, jonka 3. momentti mahdollistaa tuulivoimalan rakentamisen jo rakennetulle ja asema-kaavoitetulle teollisuus- tai satama-alueelle. (Isojärvi 2021.)

Haastattelussa C syntyi huomionarvoinen dialogi koskien tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeen (Ympäristöministeriö 2016c) peruslähtökohtaa, jonka mukaan tuulivoimalat tulisi lähtökohtaisesti sijoittaa niin kauas asutuksesta tai muusta häiriintyvästä kohteesta, ettei ympäristölupa ole tarpeen. Keskustelussa haastattelijan ja haastateltavan välillä syntyi yhteinen näkemys siitä, että suunnitteluohjeen lähtökohtaa ei tulisi soveltaa rakennettuun ympäristöön, ja että sitä olisi tulevaisuudessa syytä täsmentää. Seuraavassa ote haastattelussa käydystä dialogista on osoitus vuorovaikutuksen keskeisestä merkityksestä teema-haastattelussa:

Se on hyvä lähtökohta, jos ajatellaan maaseutualueita ja tällaisia perus tuulivoimasaitteja, mutta tietysti jos puhutaan teollisuusalueista ja satamista, niin sitten tuossa ei ole... Sitähän ei ole ajateltu ollenkaan siitä näkökulmasta. Eli se ohjeistus ei päde mun mielestä millään lailla teollisuusalueiden tai satama-alueiden suunnittelussa, eli se johtaa ihan hakoteille siinä. (Haastattelu C 2021.)

Joo mä olen aivan samaa mieltä. Mä näen, että tällaisissa ympäristöissä, mitkä voivat olla tosi otollisia ja hyviä, sieltä voi löytyä yhteinen tahtotilakin siitä, että tällaiselle satama-alueelle halutaan tuulivoimaa kehittää, niin viranomaiset saattavat kuitenkin käyttää tätä ohjeistuksen perussääntöä sen hankkeen torppaamisessa, että tuulivoimaa tulee sijoittaa sellaiselle alueelle, että ympäristölupa ei ole tarpeen. (Haastattelu C 2021.)

Juu, siis ehdottomasti, ja sitä ei ole tarkoitettu sitä opasta näille alueille. Että nyt sitten taas voin hyvin kuvitella, että ELY ottaa sen esiin ja toteaa että mahdoton... ..tosiaan

sen MRL:n uudistuksen yhteydessä tuota näkökulmaa on ihan hyvä tuoda esiin, tai pohtia sitä siitä näkökulmasta. (Haastattelu C 2021.)

Haastattelussa C keskusteluun nousi vahvasti myös tuulivoimaloiden aiheuttama varjovälke. Haastateltava piti varjovälkettä koskevia vaatimuksia Suomessa tiukkoina ja tulkinanvaraisina, eivätkä suunnittelua ja vaikutusten arviointia koskevat ohjeet ja käytänteet hänen mukaansa huomioi lainkaan paikallisia olosuhteita, mistä muodostuu tietyissä tapauksissa suoranainen este tuulivoimarakentamiselle:

Välkkeestähän ei ole Suomessa mitään ohjeistusta, ja nyt sitten käytetään Saksan ja Ruotsin ohjeita, ja Saksassa ja ehkä myös Etelä-Ruotsissa voimalat sijaitsevat enemmänkin pelloilla ja näkyvillä paikoilla, joissa aurinko paistaa huomattavasti jyrkemmässä tulokulmasta. Ja Suomessa taas saitit on pääasiassa metsissä, ja metsät peittää sitä varjovälkettä, ja ELY-keskuksen tiukka linja on, että asiaa pitää tarkastella ilman puita, missä ei Suomen olosuhteissa ole mitään järkeä, kun lisäksi Suomessa ei ole myöskään ohjeistusta asiasta. (Haastattelu C 2021.)

Rakentamista edistävä joustavampi regulaatio todettiin yhdeksi mahdollisuudeksi tuulivoimarakentamisen edistäjänä. Maankäyttö- ja rakennuslain tulevan uudistuksen myötä tuulivoimarakentamisen säätelyä koskevan maakunnallisen tason ohjausvaikutuksen ennakoitiin vähenevän. Haastattelussa D keskusteltiin niin ikään ympäristölupamenettelyn soveltamisesta teollisissa ympäristöissä. Keskustelussa todettiin, että ohjeita ja lupaprosesseja selkiyttämällä voitaisiin aikaansaada uusia mahdollisuuksia tuulivoimarakentamiseen:

Mä oon ehkä itse nyt kun mä olen asiaa pohtinut niin ryhtynyt enemmän ja enemmän pohtimaan tätä ympäristölupakysymystä vähän niinku tuulivoimarakentamisen mahdollistajana tällaisesta teollisesta ympäristössä... Pystytkö sä yhtyä tuohon tai minäkalaisia ajatuksia tällainen väite herättää? (Haastattelu D 2021.)

Se on vähän tällainen kahtiajakoinen kysymys, että toisaalta se myös mahdollistaisi ehkä sitä toimintaa paremmin, mutta sitten se saattaa olla myös tämän suunnittelutavoitteen, periaatetavoitteen vastainen. Eli sanotaanko näin, että ehkä siinä olisi semmoista selvittämistyötä tehtävissä, että voisi miettiä, selvittää, mitä uusia mahdollisuuksia tämä menettelytavan soveltaminen voisi antaa. (Haastattelu D 2021.)

Isojärvi (2021) mainitsi teknologista ja yhteiskunnallista kehitystä perässä laahaavan lain-säädännön yhtenä uhkana alan kehitykselle. Yksi haastateltavista suhtautui melko kriittisesti ja varovaisesti tuulivoimaan teollisessa ympäristössä, mutta kysyttäessä, tulisiko tuulivoimalta tällaisilla alueilla aina edellyttää ympäristölupaa, hän piti byrokratiaa ja sääntelyä kuitenkin uhkana Suomen kilpailukyvyille:

Mä näen jo että Suomessa säädellään kyllä ihan tarpeeksi, niin en mä haluaisi lähteä sille linjalle, että mä haluaisin vaatia lisää sääntelyä ja valvontaa... Me aletaan jo olemaan siinä asemassa täällä Suomessa, että me torpataan helposti hyviä kasvu- ja kehityshankkeita liialla sääntelyllä ja liian jäykällä viranomaishierarkialla, ja ne voi lähteä ne hankkeet jonnekin muualle, missä on paljon kevyempi sääntely, ihan EU:nkin sisällä, ja luvat tulee helpommin, ja me jäädään täällä nuolemaan näppejä, ja joku tekee sen kumminkin huonommin sitten kun mitä me tehtäisiin täällä... että sitten ne laitokset toteutetaan jossakin muualla Kauko-Idässä tai Kiinassa, tai jossakin missä se kestävän kehityksen pohja on hiukan huonommassa jamassa mitä täällä Suomessa, niin ei maailma siinä voita että me täällä säädellään kaikki ihan liian tiukaksi. (Haastattelu B 2021.)

8.6 Teema: osaaminen ja yhteistyö

Osaaminen ja yhteistyö -teemassa haastateltavilta kysyttiin kysymyksiä liittyen tuulivoiman ja rakennetun ympäristön yhteensovittamisen kriittisiin menestystekijöihin, suomalaisen osaamisen tasoon ja onnistuneen yhteistyön ja projektinhallinnan kulmakiviin. Yksittäisen hankkeen menestymisen näkökulmasta haastateltavat korostivat ennen kaikkea suunnitteluprosessin alkuvaiheen merkitystä. Haastateltavat korostivat hyvin paljon viestinnän ja osallistavan vuorovaikutuksen asemaa suomalaisessa suunnitteluprosessissa. Onnistuneella ja oikea-aikaisella viestinnällä ja vuorovaikutuksella voidaan edesauttaa yhteisen tahtotilan muodostumista, joka vähentää kitkaa hankkeen edetessä. Erityisen tärkeinä osaamisalueina tässä yhteydessä mainittiin neuvottelutaidot ja projektinhallintaosaaminen:

Kyllä se on varmaan tämmöinen niin kuin, tämmöinen tylsä vastaus, että yleinen niinku projektinhallintaosaaminen, että kyllähän niin kuin sen asiaosaaminen, niin se hän niinku hankitaan sitten konsulteilta ja muilta sitten joilla on niinku kokemusta tästä

rakennetussa ympäristössä toimimisesta, että sitten niin kuin keskeistä niin kuin omasta, tällaisesta niinku näkökulmasta niin olisi että et et miten se projekti sitten niin kun rakennetaan ja viedään maaliin ja miten sidosryhmät ja muut huomioidaan... (Haastattelu A 2021.)

Kyllä siinä vaaditaan hyviä neuvottelutaitoja. Siitä melkein voisi lähteä liikkeelle... Hyvät neuvottelutaidot ja asian oikeanlainen informointi muille toimijoille ja teollisuusympäristön toimijoille... Niin se on kyllä ehkä se tärkein, ettei tule tyrmätyksi heti alussa. (Haastattelu E 2021.)

Haastateltavilta kysyttiin muun muassa löytyykö Suomesta riittävästi osaamista rakennetun ympäristön tuulivoimahankkeiden edistämiseen. Valtaosa oli sitä mieltä, että osaamista kyllä löytyy, koska tuulivoima alkaa olla varsin yleinen energiantuotantomuoto, ja hankkeissa voidaan käyttää myös ulkopuolisia asiantuntijoita. Tässä yhteydessä tuotiin kuitenkin esiin myös esimerkkitapausten niukkuus, joka voi osaltaan aiheuttaa osaamisvajetta esimerkiksi paikallisten päättäjien ja virkamiesten keskuudessa. Osaamisen vahvistamista hyvien ulkomaalaisten esimerkkitapausten avulla peräänkuulutettiin:

Elikkä ollaan uuden rakentamisen edessä, niin uskon, että sillä tavalla on kyllä opittavaa eri puolilla, että pitää hakea niitä käytännön esimerkkejä ja apuja sitten tuota ulkomailtakin, elikkä miten on sitä rakentamista hyvällä tavalla sinne päästy suunnittelemaan ja minkälaista asiantuntemusta se sitten vaatii, että kyllä mä uskon, että siinä sitä oppimistarvetta tulee edelleen olemaan vielä. (Haastattelu D 2021.)

Tietysti tarvitaan hyviä kokemuksia tuota muualta, mikä voisi sitten vaikka aukaista polkuja, koska esimerkiksi Suomessa ei satamaympäristössä paljon tuulivoimaloita ole. (Haastattelu E 2021.)

Haastatteluaineiston perusteella tuulivoiman ja rakennetun ympäristön yhteensovittamisen kompastuskiviksi nousivat viestinnän virheet. Rakennetun ympäristön tuulivoimahankkeissa osallisia ja eri intressitahoja on tyypillisesti runsaasti, jolloin viestinnän kattavuudella, sisällöllä ja oikea-aikaisuudella on tavanomaistakin suurempi merkitys. Epäonnistunut viestintä voi johtaa konflikteihin, joille media tyypillisesti antaa laajaa näkyvyyttä, mikä taas voi johtaa kolaukseen yksittäisen hankkeen tai tuulivoima-alan maineen näkökulmasta. Heikki Lappalainen pohti myös puolueettoman tiedon saatavuutta ja sen merkitystä viestinnässä.

Kolmannelle osapuolelle viestittäessä käytetty tieto ja sen alkuperä voivat viestiä tiettyä poliittista näkemystä.

Haastateltavia pyydettiin lopuksi nimeämään suunnittelussa avainasemassa olevia tahoja ja intressiryhmiä. Haastateltavat korostivat kunnan roolia ja nimesivät esimerkiksi kaavoituksen, ympäristönsuojelun ja rakennusvalvonnan. Jotkut haastateltavista nimesivät kunnan ylipäätään, jonka voidaan katsoa viittaavaan viranhaltijoiden lisäksi myös päätöksentekijöihin. Kunnan ja itse hankekehittäjän sekä tämän taustajoukkoina toimivien asiantuntijoiden lisäksi vastauksissa korostuivat alueen toiminnanharjoittajat, joilla saattaa olla alueen käyttöön liittyviä omia intressejä ja suunnitelmia. Kai Heinonen myös huomautti maanomistajan ratkaisevasta roolista erityisesti tapauksessa, jossa maa-alue on yksityisomistuksessa.

9 Johtopäätökset

9.1 Haastatteluaineiston nelikenttäanalyysi

Haastattelututkimuksen sisältöanalyysin yhteydessä aineistosta laadittiin teemakohtainen nelikenttäanalyysi. Nelikenttäanalyysissä tulokset kiteytettiin SWOT-taulukoksi, johon sijoitettiin kunkin teeman sisäiset heikkoudet ja vahvuudet sekä ulkoiset uhat ja mahdollisuudet. Nelikenttäanalyysiä varten haastatteluteemat 1 ja 2 (tuulivoima yleisesti ja tuulivoiman sijainti yleisesti) yhdistettiin ja niistä muodostettiin tulosten esittämistä paremmin palveleva yleisteema *tuulivoima energiantuotantomuotona*. Teemakohtaisen SWOT-analyysin tulokset löytyvät alla olevasta taulukosta.

Teema	Vahvuudet	Heikkoudet	Mahdollisuudet	Uhat
Tuulivoima energiantuotantomuotona	Ilmastotavoitteet ja poliittinen tuki, energian hinta, rakentamisen nopeus, kuntien verotulot, kilpailukyky	Puolustusvoimien tutka- ja aluevalvonnan rajoitukset, sään aiheuttama tuotantovaihtelu, säätövoiman tarve, ristiriitainen maine, alueellinen keskittyminen	Merituulivoima, vetytalous, energiavarastot, käytöstä poistuvat turvetuotantoalueet, teknologinen kehitys, mittakaavaetu	Tuotantoon sopivien maa-alueiden ehtyminen, paikallinen hyväksyttävyys
Tuulivoima rakennetussa ympäristössä	Imagohyöty, valmis infrastruktuuri, logistinen saavutettavuus, rakentamisen ja ylläpidon kustannustaso	Tilan ahtaus, kansallisten esimerkkien niukkuus, sopimus- ja suunnitteluprosessien haasteet, intressiristiriidat	Alueidenkäytön tehokkuus ja monipuolisuus, energia- ja kemianteollisuuden synergiaedut, toimijoiden energiaomavaraisuus, virkistys- ja luontoarvoiltaan arvokkaiden alueiden säilyminen	Onnettomuusriskit, ennalta arvaamattomat alueidenkäytön tarpeet, taannehtivasti kiristyvät määräykset
Luvat ja lainsäädäntö	Tuulivoiman vakiintunut kaavoitus- ja lupamenettely, kuntien kaavoitusmonopoli, mahdollisuus tapauskohtaisiin kaavamääräyksiin ja lupavaatiuksiin	Lupamenettelyn hitaus, kankeat kaavamääräykset, tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeen päivitystarpeet, ohjeiden ja määräysten tulkinnanvaraisuus	Rakentamista edistävä ohjaus ja regulaatio, tuulivoimarakentamisen sääntelyn keventäminen, prosessien nopeuttaminen ja selkiyttäminen	Teknologisen ja yhteiskunnallisen kehityksen myötä vanhentuvat säädökset, rasakan ja hitaan byrokratian heikentämä kilpailukyky
Osaaminen ja yhteistyö	Vuorovaikutusta, viestintää ja osallisuutta korostavat suunnitteluprosessit	Kapea kokemusperäinen osaaminen meri- ja rakennetun ympäristön tuulivoimahankkeissa	Laaja yhteinen tahtotila hankkeiden edistäjänä, projektinhallintaosaaminen ja neuvottelutaidot	Virheet viestinnässä, tiedon politisoituminen, lehdistön taipumus korostaa konflikteja ja intressiristiriitoja

Taulukko 3. Haastatteluaineiston nelikenttäanalyysi.

9.2 Rakennettu ympäristö on tuulivoimalle sekä uhka että mahdollisuus

Satamat ja niiden yhteydessä olevat teollisuusalueet voivat olla monesta näkökulmasta käsin merkittävässä asemassa tuulivoima-alan kehityksessä. Kansainväliset esimerkit

osoittavat, että satama-alueille on kyetty kehittämään kymmenien tuulivoimaloiden tuulivoimapuistoja, jotka voivat yhtäältä kattaa sataman ja teollisten toimijoiden omaa sähköenergian tarvetta ja toisaalta syöttää yli oman tarpeen tuotettua uusiutuvaa sähköenergiaa paikalliseen jakeluverkkoon. Satama-alueet näyttäytyvät myös vahvassa kehityksessä olevan merituulivoimateollisuuden logistisina ja toiminnallisina solmupisteinä. Satama-alueet ja niiden yhteydessä olevat teollisuus-, varasto- ja logistiikka-alueet ovat houkuttelevia sijoittumiskohteita alan teollisille toimijoille ja alihankkijoille, jotka hyötyvät erityisesti erinomaisista logistisista yhteyksistä. Kuten Rotterdamin sataman offshore-tekniikan visiokin osoittaa, satamat ovat valmiita varaamaan suuriakin maa- ja ranta-alueita tuulivoima-alan erilaisiin toimintoihin ja panostamaan brändäykseen houkutelukseen alueelleen merkittäviä investointeja - tässä tapauksessa sekä tuulivoimahankkeita että alan yrityksiä. SeaH2Land -hankkeen sijaan osoittaa miten tuulivoiman ja vetytalouden synergiasta syntyy päästövähennysten lisäksi uusia markkinoita ja miten keskiössä satama-alueiden rooli vetytalouden toimintaympäristön ja infrastruktuurin näkökulmasta on.

Haastattelututkimuksen perusteella suomalaisiin satama- ja teollisuusympäristöihin on toistaiseksi rakennettu niukasti tuulivoimaa. Harvoista olemassa olevista esimerkkikohteista saadut kokemukset eivät ole kiirineet alalla riittävän laajaan tietoisuuteen. Yksi haastateltavista suhtautui skeptisesti tuulivoiman lisärakentamiseen teollisuusympäristöissä, mutta kaikki muut haastateltavat näkivät aiheessa varteenotettavia mahdollisuuksia. Haastattelututkimuksessa alaa erinomaisesti tuntevat asiantuntijat peräänkuuluttivat kokemusperäisen tiedon saattamista laajempaan tietoisuuteen. Suomalaisten esimerkkikohteiden lisäksi asiantuntijat kaipaivat relevantteja ulkomaalaisia referenssitapauksia.

Haastattelututkimuksessa välittyi myös epäilyjä siitä, onko satama- ja teollisuusalueilla riittävästi tilaa suuren kokoluokan tuulivoimahankkeiden toteuttamiseksi:

...eikä siellä sitten myöskään tilaa näillä teollisuusalueilla tällaisia suuria kokonaisuuksia rakentaa. Mutta jos miettii tällaisia yksittäisiä voimaloita, joilla sitten esimerkiksi olisi vaikka mahdollista tuottaa energiaa sinne teollisuuteen tai muualle, niin sehän tuntuisi niin kuin järkevältä ratkaisulta sitten sijoittaa siihen lähelle tällaisia toimintoja. (Haastattelu A 2021.)

Epäilyt kulminoituvat pitkälti tuulivoiman ympäristövaikutuksiin, joita teollisten toimintojen ja tuulivoiman yhteensovittaminen voisi aiheuttaa. Haasteet kulminoituvat pitkälti erilaisiin onnettomuusriskeihin ja niiden myötä tuulivoiman ja siitä häiriintyvien kohteiden välille

edellytettäviin suojaetäisyyksiin, joilla on määrä vähentää esimerkiksi jään tai irtoavan osan putoamisesta aiheutuvia riskejä.

Muun muassa Antwerpenin satama-alueen kartta-aineistoja tarkastelemalla voidaan havaita, että tuulivoimaloita on sijoitettu varastokenttien lisäksi teollisuus- ja varastorakennusten sekä ratapiha-alueiden välittömään läheisyyteen. Pyöriessään voimaloiden lavat ulottuvat useissa kohteissa rata-alueiden ja rakennusten yläpuolelle. Näin ei ole pelkästään vanhojen tuulivoimaloiden kohdalla sillä ainakin Antwerpenin satamassa myös uusia tuulivoimaloiden rakennuspaikkoja on myönnetty satamakonttien varastoalueiden lisäksi myös teollisuus- ja varastorakennusten välittömään läheisyyteen. Vaikuttaakin siltä, että ainakin Belgiassa ja Alankomaissa on löydetty tuulivoimaloiden lupamenettelyä, vaikutusten arviointia, turvallisuusteknisiä vaatimuksia ja toiminnan valvontaa koskevia toimivia käytäntöjä, jotka mahdollistavat tuulivoimaloiden sijoittamisen alueidenkäytön näkökulmasta varsin tehokkaasti.

Tutkimuksen perusteella voidaan samalla todeta, että satama- ja teollisuusympäristössä tuulivoimarakentaminen on erityisen vaativaa. Rakennetussa ympäristössä tuulivoimarakentamisen näkökulmasta tavanomaista enemmän erilaisia toimintoja ja intressejä, joiden yhteensovittamiseksi tarvitaan paljon selvitys-, suunnittelu- ja neuvottelutyötä. Edellä mainitut ympäristöriskit ja eri toimintojen yhteisvaikutukset herättävät huolta, eikä niiden arviointi- ja hallintakeinoista ole riittävän laajaa yhteistä näkemystä saatikka valtakunnallista riittävän seikkaperäistä ohjeistusta. Arviointi- ja lupamenettelyä koskevat erilaiset tulkinnat ja käytäntöjen hajanaisuus eivät palvele rakennetun ympäristön tuulivoimapotentiaalin käyttöönottoa Suomessa.

9.3 Lupamenettelyssä on kehittämistarpeita

Haastattelututkimuksessa nousi esiin tuulivoimateknologian nopea kehitys suhteessa lainsäädäntöön ja siihen nojaaviin lupa- ja määräyskäytäntöihin. Tämä on aiheuttanut useissa hankkeissa viivästyksiä, kun parhaan saatavilla olevan teknologian käyttäminen on edellyttänyt esimerkiksi kaavamuutosta tai poikkeamismenettelyä. Tuulivoimarakentamista voitaisiinkin edistää teknologian vauhdikkaan kehityksen aiheuttamiin muutoksiin joustavasti sopeutuvalla regulaatiolla. Tällöin esimerkiksi yksittäisen tuulivoimalan teknisiin ominaisuuksiin tai hankkeiden kokonaistehoon liittyvistä numeerisista rajoituksista tulisi luopua ja siirtyä sen sijaan kokonaisharkintaa ja paikallisen päätöksenteon asemaa vahvistavaan kaavoitus- ja luvituskäytäntöön.

Toinen tutkimuksen varsin keskeinen havainto on tuulivoimarakentamisen suunnitteluoppaan (Ympäristöministeriö 2016b) päivitystarve. Oppaaseen sisältyy peruslähtökohta,

jonka mukaan tuulivoimalat on sijoitettava niin kauas asutuksesta tai muusta häiriintyvästä kohteesta, jotta ympäristölupa ei ole tarpeen. Haastattelututkimuksessa tämän peruslähtökohdan todettiin olevan kirjattu lähinnä syrjäisille seuduille rakennettavaa maatuulivoimaa ajatellen, eikä se siten sovellu lainkaan teollisten ympäristöjen saatikka merituulivoimahankkeiden suunnitteluun. Peruslähtökohdassa mainittuja muita häiriintyviä kohteita ei myöskään ole määritelty, jolloin sen soveltamiseen jää paljon tulkinnanvaraa. Tämä osaltaan haittaa hankekehitystä, sillä alan toimijat ja välttämättä myöskään viranomaiset eivät kykene ennakoimaan suunnitteluhaasteita ja vaatimuksia, jolloin osa hankkeista voi kariutua jo alkuvaiheen epävarmuuksiin ja epäselvyyksiin. Suunnittelussa etenevät hankkeet saattavat myös kohdata ennalta arvaamattomia selvitysvaatimuksia, jotka voivat sotkea projektiaikataulua ja -budjettia.

Tuulivoima ei kuulu ympäristölupaa edellyttämän toiminnan piiriin, mutta vallitsevan käytännön mukaan ympäristöluvan piirissä oleva tuulivoimala tai tuulivoimapuisto voi kuitenkin olla toiminnassa alueella, jossa se ei ilman lupaa olisi mahdollista. Ympäristölupa voi näin ollen olla keskeinen osa sitä keinovalikoimaa, jolla tuulivoimaloita voidaan sijoittaa hallitusti satama- ja teollisuusalueille varmistaen ympäristövaikutusten hallintaa koskevan teknologian käytön, toiminnan tarkkailun ja valvonnan sekä viranomaisten riittävän toimivallan ongelmatapauksissa.

Ympäristöluvanvaraisen toiminnan harjoittajan on oltava selvillä toimintansa aiheuttamista riskeistä, häiriöistä ja päästöistä ja näiden haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista. Toiminnanharjoittajan on ehkäistävä ympäristön pilaantuminen ennakoivalla toiminnalla ja mikäli se ei ole kokonaisuudessaan mahdollista, on haitat rajattava mahdollisimman pieneksi. Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnassa menetellään varovaisuus- ja huolellisuusperiaatteen mukaisesti sekä sovelletaan ympäristön kannalta parhaan käytännön periaatetta. Lisäksi ympäristöluvassa annetaan tarpeelliset määräykset päästöjen ja toiminnan tarkkailusta ja veloitetaan toiminnanharjoittaja toimittamaan tarkkailun tulokset ja muut valvontaa varten tarvittavat tiedot valvontaviranomaiselle. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 6, 7, 20, 62 §.)

Esimerkiksi ympäristönsuojelulain mukaisesti ympäristöluvanvaraiset polttoaineisiin perustuvan energiantuotantolaitokset sijaitsevat usein taajamien lievealueilla, satama- tai teollisuusalueilla. Vaikka tällaisilla alueilla ei tyypillisesti ole merkittävää määrää asutusta, voi niillä asioida tai työskennellä runsaasti ihmisiä. Usein näiden laitosten ympäristössä käsitellään ja kuljetetaan myös haitallisia tai vaarallisia aineita, ja niillä on monista eri toiminoista aiheutuva kohonnut onnettomuuden riski. Tuulivoima on esimerkiksi polttolaitoksiin verrattuna eittämättä luonteeltaan hyvin erilainen energiantuotantomuoto, mutta sen

käsittely ympäristölainsäädännön ja sen käytännön tulkintojen näkökulmasta saattaa hankaloittaa tuulivoiman ja teollisuustoimintojen alueellista yhteensovittamista.

Ympäristöluvan lähtökohtainen edellyttäminen ei välttämättä olisi tuulivoimatoimijoiden näkökulmasta rasite, vaan pikemminkin yhdessä sovittu pelisääntö, joka aikaisessa vaiheessa ilmaistuna mahdollistaisi hankkeiden lähtökohtien sopeuttamisen ja ennakoinnin. Esimerkiksi melun ja välkkeen hallinta saattaa edellyttää tuotantokatkoksia tai väliaikaista tehonalennusta, mikä ei ole ongelma, jos se voidaan ottaa riittävän aikaisin huomioon kannattavuusarvioissa. Myös jäänestolaitteisto ja paloturvallisuustekniikka ovat esimerkkejä teknisistä ratkaisuista, joita alan toimijat ovat valmiita ottamaan käyttöön, mikäli hankkeen hyväksyminen sitä edellyttäisi. Mahdolliset tuotantotappiot ja kohonneet rakennus- ja huoltokustannukset saattavat hyvinkin tulla kompensoiduksi rakennetun ympäristön tarjoamien hyötyjen, esimerkiksi infrastruktuurin, verkkoyhteyksien ja logistisen saavutettavuuden avulla. Ympäristölupa edellyttää myös ympäristövaikutusten kattavaa tarkkailu- ja seurantaohjelmaa. Toiminnan ja sen vaikutusten julkinen dokumentointi kerryttää tietoa, auttaa tutkimus- ja kehitystyötä ja vie alaa monella eri osa-alueella eteenpäin. osaltaan kehittämään alaa ja tekniikkaa.

Tuulivoimarakentamisen suunnitteluopasta olisi syytä täsmentää myös onnettomuusriskien arvioinnin ja hallintamenetelmien soveltamisen osalta. Myös tuulivoimamelun ja varjovälkkeen asema teollisuus- ja työpaikka-alueella ei kaikilta osin ole kristallinkirkas. Näiden osalta ohjeistuksen täsmentämistä olisi niin ikään syytä harkita vaikutusten arviointi- ja lupamenettelyjen yhtenäistämiseksi.

10 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin etsittiin vastauksia kirjallisuuskatsauksen, benchmark-tutkimuksen ja teemahaastattelujen avulla. Tutkimuskysymyksen asettelu oli laaja-alainen, jolloin sitä oli mahdollista lähestyä useasta eri näkökulmasta. Koska kyseessä on suomalaisen tuulivoima-alan näkökulmasta osaamisen vahvistamista ja laajentamista edellyttävä aihepiiri, tutkimus toteutettiin eri menetelmiä yhdistävänä kehittämistutkimuksena.

Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin tuulivoiman erityispiirteitä uusiutuvan energian tuotantomuotona. Kirjallisuutta koottiin erityisesti tuulivoimaan liittyvien riskien ja niiden hallintamenetelmien osalta, sillä niillä on korostunut rooli rakennetussa ympäristössä. Kirjallisuuskatsauksessa tunnistettiin tutkimuksen kannalta merkittäviä teemoja ja kysymyksiä, joita hyödynnettiin haastattelututkimuksen suunnittelussa.

Tutkimuksen kannalta keskeisiin osa-alueisiin paneuduttiin viiden asiantuntijan teemahaastattelun avulla. Haastattelututkimuksesta saatiin hyvä käsitys siitä, millaisten perusedellytysten tulee täyttyä, kun tuulivoimaa suunnitellaan teolliseen ympäristöön. Vaikka tutkimuskysymyksenä oli selvittää tuulivoimarakentamisen perusedellytyksiä teollisessa ympäristössä, nousi haastattelututkimuksessa esiin myös selkeitä kehittämiskohteita. Haastateltavat edustivat tuulivoimasektorin erilaisia toimijoita. Tämän ansiosta haastatteluaineistosta muodostui kattavana pidettävä läpileikkaus alan erilaisten toimijoiden näkemyksistä ja kokemuksista. Koska kohderyhmän valinnassa painotettiin poikkitieteellisyttä, ei tutkimuksessa kertynyt juurikaan vertaisaineistoa. Erilaista rooleista käsin haasteltavilla oli kuitenkin teemoihin liittyen varsin yhteneväisiä näkemyksiä ja kokemuksia, minkä perusteella haastattelututkimuksen tuloksia voidaan pitää relevantteina.

Tässä tutkimuksessa esiteltiin myös kolme eurooppalaista satama-aluetta, jossa tuulivoimaa on toteutettu tiiviisti teollisten toimintojen yhteyteen. Esimerkkikohteisiin tarkemmin paneutumalla alan toimijoiden on mahdollista löytää toimivia käytänteitä ja vältettäviä virheitä, joita rakennetun ympäristön tuulivoimahankkeiden suunnittelussa Suomessa kaivataan. Myös alaa koskevan lainsäädännön ja neuvonnan parissa työskentelevät virkamiehet sekä paikalliset päättäjät voivat löytää tutkimuksen avulla kehityskohteita ja esimerkkitapauksia. Esimerkkitapaukset käsittivät tuulivoimahankkeita satama-alueilla, joihin liittyy monenlaista teollista toimintaa. Kuivan maan teollisuusalueiden käsittely jäi tässä tutkimuksessa vähemmälle huomiolle, mutta tutkimuksen havaintoja ja tuloksia on mahdollista hyödyntää yhtäältä tällaisten kohteiden kehittämisessä.

Satama-alueilla näyttää tämän tutkimuksen valossa olevan tulevaisuudessa entistäkin merkittävämpi rooli innovatiivisten uusiutuvan energian tuotanto-, varastointi- ja muuntoratkaisujen toteutus- ja pilottikohteina. P2X-tekniikan toimintaympäristönä satama-alueet ovat houkuttelevia kohteita esimerkiksi polttoaineiden jakelukeskittymien, kemianteollisuuden ja runsaasti energiaa ja polttoaineita kuluttavan meri- ja maaliikenteen solmupisteiden ansiosta. Satama-alueella tai sen lähiympäristössä tuotettu tuulivoima voidaan tällaisissa konsepteissa ohjata tai muuntaa mitä erilaisimpiin käyttökohteisiin, mikä kehittää energiajärjestelmää yhä joustavammaksi ja auttaa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä.

Suomalaisten tuulivoima- ja satamatoimijoiden olisi syytä rakentaa entistä tiiviimpää yhteistyötä tuulivoiman ja siihen paljolti nojaavan vetytalouden vauhdittamiseksi. Tällä saralla on vielä runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä tehtävänä. Onnistuminen ja kilpailussa pärjääminen edellyttävät vahvaa yhteistä tahtotilaa ja näkemystä alueiden kehittämisestä, sillä ne ovat keskeisiä keinoja myös hankkeiden suunnittelu- ja lupaprosessien vauhdittamiseksi.

Tutkimusaiheen valinta ja rajaaminen onnistuivat ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyön tavoitteisiin ja laajuuteen nähden hyvin. Aihe oli myös useasta näkökulmasta käsin ajankohtainen. Tuulivoima lisääntyy Suomessa kovaa vauhtia ja katseet ovat enenevässä määrin kääntymässä kuivan maan hankkeista myös teollisuusympäristöihin ja merialueelle. Aiheen ajankohtaisuus ja relevanttius välittyi myös haastattelututkimuksen kohderyhmästä. Haastateltavat heittäytyivät keskusteluun hyvin keskittyneesti ja pohdiskelevasti, ja tutkimusasetelmaa pidettiin kiinnostavana. Toivottavasti tässä tutkimuksessa esitetyt havainnot voivat osaltaan viedä kestävä kehityksen ja uusiutuvan energiantuotannon kannalta keskeistä tuulivoima-alaa Suomessa pienen askeleen eteenpäin.

...Toi kuulostaa tosi mielenkiintoiselta mitä sä teet, ja mä olen aika vakuuttunut, että sitten noi sun lopputulokset on kyllä yleisesti erittäin kiinnostavia, että, että mielelläni kuulen... Tosiaan olen tässä nyt hyvässä asemassa, kun olen haastateltu, niin saan sitten kuulla siitä sun työstä, sitten lopputulostakin tulee yleisesti seurattua. (Haastattelu C 2021.)

Lähteet

Arbetsmiljöverket 2010. Väglednings-PM för tillsyn av Vindkraft. Stockholm: Arbetsmiljöverket. Viitattu 15.12.2020. Saatavissa http://www.xn--skyddamiljn-0fb.nu/gallery/1/Vaglednings-PM-tillsyn_vindkraftverk.AMV.pdf

Baltic Urban Lab. Baltic Urban Lab -projektin määritelmä brownfield-alueille ja suosituksia näiden alueiden yhtenäistä kehittämistä koskevien kansallisten toimintamallien parantamiseksi. Viitattu 6.10.2020. Saatavissa <http://www.balticurbanlab.eu/file/479/download?token=2h5YLxsJ>

Bhattacharya, S. 2019. Design of foundations for offshore wind turbines. 1st edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated.

Blanchard, T. & Samanta, B. 2019. Prediction of wind turbine noise propagation. Wind engineering 43(3) / 2019, 233–246.

Boskalis 2012. Project Sheet. Maasvlakte 2, The Neatherlands. Boskalis Dredging & Marine Experts. Saatavissa <https://boskalis.com/download-center/download/eyJmaWxlVWlkljoyOTg3LCJyZWZlcmVuY2VVaWQiOjY1NTI9/a2cf6dcbfa17f2ba60e958a7af1410bd0661819b.html>

Bourgeois, S. 2017. IEA Wind Task 19. Workshop on Ice Throw. Presentation. Winterwind 6.2.2017, Skellefteå.

Business Finland 2020. Tulevaisuuden hiilineutraalit energiasysteemit. Viitattu 25.3.2021. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/ajankohtaista/uutiset/2019/tulevaisuuden-hiilineutraalit-energiarjestelmat>

Cattin, R., Kunz, S., Heimo, A., Russi, G., Russi, M. & Tiefgraber, M. 2007. Wind Turbine Ice Throw Studies in the Swiss Alps.

Ciucci, M. 2020. Energiapolitiikka: yleiset periaatteet. Euroopan parlamentti. Viitattu 8.10.2020. Saatavissa <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/68/energiapolitiikka-yleiset-periaatteet>

Eneco 2021. Maasvlakte 2 Wind Farm. Viitattu 16.2.2021. Saatavissa <https://www.eneco.com/what-we-do/sustainable-sources/maasvlakte-2-wind-farm/>

Energiavirasto. Preemiojärjestelmä. Viitattu 8.10.2020. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/preemiojarjestelma>

Esteve-Pérez, J. & Gutiérrez-Romero, J.E. 2015. Renewable energy supply to ships at port. Sixth international workshop on marine technology, Martech 2015, 169-172.

Etha Wind 2020. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Tuulivoimapuisto Juthshskogen, Maalahti.

Etha Wind 2021. Suomen tuulivoimapuistot. Viitattu 22.4.2021. Saatavissa <https://www.ethawind.com/suomen-tuulivoimapuistot/>

Euroopan komissio 2021. Komissio on tyytyväinen alustavaan yhteisymmärrykseen eurooppalaisesta ilmastolaista. Viitattu 22.4.2021. Saatavissa https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/IP_21_1828

Eurooppa-neuvosto 2020. Climate change: Council adopts EU long-term strategy for submission to the UNFCCC. Lehdistötiedote. Viitattu 15.12.2020. Saatavissa <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2020/03/05/climate-change-council-adopts-eu-long-term-strategy-for-submission-to-the-unfccc/>

Fingrid Oyj. Tuulivoimaliittyjän opas. Viitattu 10.11.2020. Saatavissa https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fingrid_tuulivoimaesite.pdf

Fingrid 2019. Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2019–2030. Viitattu 1.12.2020. Saatavissa https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon_kehittamissuunnitelma-2019-2030.pdf

Global Wind Atlas. Methodology. Viitattu 29.10.2020. Saatavissa <https://globalwindatlas.info/about/method>

Greensolver 2017. Serration design or the art of reducing wind farm noise. Greensolver Blog. Viitattu 8.12.2020. Saatavissa <https://blog.greensolver.net/en/operation-wind-farm-serration/>

Heikkinen, H.L.T. 2018. Teoksessa Valli, R: (toim.) Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. 5. uudistettu painos. Jyväskylä: PSkustannus.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2015. Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Ilmastonmuutosta koskevan yhdistyneiden kansakuntien puitesopimuksen Kioton pöytäkirja SopS 13/2005. Viitattu 8.10.2020. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013_2

Ilmastonmuutosta koskeva Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimus SopS 61/1994.
Viitattu 8.10.2020. Saatavissa
https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1994/19940061/19940061_2

Ilmasto-opas. Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopolitiikkaa. Viitattu 8.10.2020.
Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa.html>

Ilmatieteen laitos & VTT 2011. Jäätämisaatlas. Viitattu 16.12.2020. Saatavissa
<http://www.tuuliatlas.fi/jaatamisatlas/index.html>

Isojärvi, P. 2021. Asiantuntija. Ympäristöministeriö. Haastattelu 17.3.2021.

Heinonen, K. 2021. Kehityspäällikkö. Porin Satama Oy. Haastattelu 29.3.2021.

Huhtinen, T. 2021. Johtava konsultti. Sitowise Oy. Haastattelu 26.3.2021.

Huttunen, R. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylän Ammattikorkeakoulun julkaisuja 212. Jyväskylä.

Katajisto, J. 2021. Johtava asiantuntija. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Haastattelu 18.3.2021.

Keene, M. 2021. Comparing offshore wind turbine foundations. Wind Power Engineering & Development. Viitattu 11.3.2021. Saatavissa:
<https://www.windpowerengineering.com/comparing-offshore-wind-turbine-foundations/>

Korpela, A. 2016. Tuulivoiman perusteet. 1. painos. Tampere: AMK-Kustannus Oy, Tammertekniikka.

Krenn, A., Stökl, A., Weber, N., Barup, S., Weidl, T., Hoffmann, A., Bredesen, R.E., Lannic, M., Müller, S., Stoffels, N., Hahm, T., Storck, F. & Lautenschlager, F. 2018. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. International Energy Agency, Wind Technology Collaboration Programme.

Kuilboer, R. 2018. Low-noise wind turbine design using DinoTrails® Next Generation. Siemens Gamesa. Esitys. Viitattu 8.12.2020. Saatavissa <https://nsg.nl/file/492/>

Landberg, L. 2015. Meteorology for Wind Energy: An Introduction. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated.

Lappalainen, H. 2021. Liiketoimintajohtaja. Haminan Energia Oy. Haastattelu 18.3.2021.

Lanki, T., Turunen, A., Maijala, P., Heinonen-Guzejev, M., Kännälä, S., Toivio, T., Toivonen, T., Ylikoski, J. & Yli-Tuomi, T. 2017. Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen. TEM raportteja 28/2017. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.

Liātkher, V. M. 2014. Wind power: turbine design, selection, and optimization. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Liikennevirasto 2012. Tuulivoimalaohje. Ohje tuulivoimalan rakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen. Liikenneviraston ohjeita 8/2012. Helsinki: Liikennevirasto.

Logistiikan Maailma. Satama. Reijo Rautauoman säätiö 2021. Viitattu 8.2.2021. Saatavissa <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/satama/>

Lustila, T. 2021. Tiiminvetäjä. Etha Wind Oy. Haastattelija 17–29.3.2021.

LUT-University 2019. Power-to-x (P2X) – Mitä se tarkoittaa ja miten se mullistaa energian- ja ruoantuotannon? Viitattu 25.3.2021. Saatavissa: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/power-to-x-p2x-%E2%80%93-mita-se-tarkoittaa-ja-miten-se-mullistaa-energian-ja-ruoantuotannon-

Maijala, P., Turunen, A., Kurki, I., Vainio, L., Pakarinen, S., Kaukinen, C., Lukander, K., Tittanen, P., Yli-Tuomi, T., Taimisto, P., Lanki, T., Tiippana, K., Virkkala, J., Stickler, E. & Sainio, M. 2020. Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2020:34. Helsinki: Prime Minister's Office.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.132/1999.

Mäkitalo Asianajotoimisto Oy. Tuulivoimaa koskevaa oikeuskäytäntöä. Viitattu 17.12.2020. Saatavissa <https://www.makitalo.fi/tuulivoima>

North Sea Port 2021a. Fusion Port. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa <https://en.northseaport.com/fusion-port>

North Sea Port 2021b. Nimetön kuva. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa <https://en.northseaport.com/imageresizer/9E89E9BA1F7DA6A31BEABA0E3594C454/18306.jpg?h=800>

North Sea Port 2021c. Renewable Energy. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa <https://en.northseaport.com/renewable-energy>

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2015. Kehittämistyön menetelmät. Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3.–4. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Ørsted 2021. Ørsted to develop one of the world's largest renewable hydrogen plants to be linked to industrial demand in the Netherlands and Belgium. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa <https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2021/03/451073134270788>

Pariisin sopimus SopS 76/2016. Viitattu 8.10.2020. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2016/20160076/20160076_2

Parsons Brinckerhoff 2011. Update of UK Shadow Flicker Evidence Base. London: Department of Energy and Climate Change.

Port of Antwerp 2021. Port's wind farm expands. Viitattu 15.3.2021. Saatavissa: <https://www.portofantwerp.com/en/news/ports-wind-farm-expands>

Port of Rotterdam 2021a. Maasvlakte 2. Viitattu 16.2.2021. Saatavissa <https://www.portofrotterdam.com/en/our-port/port-development/maasvlakte-2>

Port of Rotterdam 2021b. Maasvlakte 2: test and demo location for offshore wind. Viitattu 16.2.2021. Saatavissa <https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/setting-up/location-options/offshore/maasvlakte-2-test-and-demo-location-for-offshore>

Port Of Rotterdam 2021c. Nimetön kuva. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa <https://www.portof-rotterdam.com/en/news-and-press-releases/greenchoice-to-realise-mega-battery-for-the-storage-of-green-power-near>

Port of Rotterdam 2021d. Wind Energy. Viitattu 16.2.2021. Saatavissa <https://www.portof-rotterdam.com/en/our-port/our-themes/a-sustainable-port/wind-energy>

Ravesteijn, W., Liu, Y. & Yan, P. 2015. Responsible innovation in port development: the Rotterdam Maasvlakte 2 and the Dalian Dayao Bay extension projects. *Water Science & Technology* 72.5/2015, 665-677.

Renström, J. 2015. Modelling of Ice Throws from Wind Turbines. Examensarbete vid Institutionen för geovetenskaper No. 308, 2015. Uppsala: Uppsala University.

Sadek, I. & Elgohary, M. 2020. Assessment of renewable energy supply for green ports with a case study. *Environmental Science and Pollution Research* (2020) 27:5547–5558.

Shahan Z. 2014. History of Wind Turbines. *Renewable Energy World*. Viitattu 3.11.2020. Saatavissa <https://www.renewableenergyworld.com/2014/11/21/history-of-wind-turbines/#gref>

Shepherd, W. & Zhang, L. 2017. Electricity Generation Using Wind Power (Second Edition). Singapore: World Scientific Publishing Company.

Shohag, M.A.S.S., Hammel, E.C., Olawale, D.O & Okoli, O.I 2017. Damage mitigation techniques in wind turbine blades: A review. Wind engineering 41/3, 185–210.

Siemens Gamesa 2019a. D2320855-001 Siemens Gamesa 5.X SCADA System Description. Siemens Gamesa Renewable Energy A/S 2019.

Siemens Gamesa 2019b. D2320898-001 Siemens Gamesa 5.X Shadow Control System. Siemens Gamesa Renewable Energy A/S 2019.

Siemens Gamesa 2020. D2320810/002 Siemens Gamesa 5.X Collection of Hazardous Substances. Siemens Gamesa Renewable Energy A/S 2019.

Smeds, M. 2019. Toimitusjohtaja, johtava konsultti. Insinööritoimisto Mathias Smeds. Haastattelu 29.10.2019.

Suomen Merialuesuunnitelma 2030. Viitattu 27.1.2021. Saatavissa <https://meriskenaariot.info/merialuesuunnitelma/>

Suomen tuuliatlas. Tuulisuus Suomessa. Viitattu 29.10.2020. Saatavissa <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html>

Suomen Tuulivoimayhdistys 2021a. Tuulivoimalla katettiin noin 10 % Suomen sähkönkulutuksesta vuonna 2020. Viitattu 23.4.2021. Saatavissa <https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tuulivoimalla-katettiin-noin-10-suomen-sahkonkulutuksesta-vuonna-2020>

Suomen Tuulivoimayhdistys 2021. Tuulivoimatilastot 2020. Viitattu 23.4.2021. Saatavissa <https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tilastot-2/tuulivoimatilastot-2020>

Swift, A. & Walker, R. 2015. Wind Energy Essentials: Societal, Economic, and Environmental Impacts. Somerset: John Wiley & Sons, Incorporated.

Tiihonen, A. 2020. Tuulivoimavuosi 2019 – markkinaehtoisten tuulivoimahankkeiden juhlaa. Suomen Tuulivoimayhdistys Ry. Viitattu 10.11.2020. Saatavissa <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/tuulivoimavuosi-2019-markkinaehtoisten-tuulivoimahankkeiden-juhlaa.html>

Tilastokeskus 2021. Uusiutuva energia nousi fossiilisten ja turpeen ohi energian kokonaiskulutuksessa vuonna 2020. Viitattu 22.4.2021. Saatavissa https://www.stat.fi/til/ehk/2020/04/ehk_2020_04_2021-04-16_tie_001_fi.html

Traficom 2020a. Satamassa tapahtuva vaarallisten aineiden kuljetus. Turvallisuusselvitys ja sisäinen pelastussuunnitelma. Traficom julkaisu 6/2020.

Traficom 2020b. Tietoa tuulivoimaloiden rakentajille. Viitattu 11.3.2021. Saatavissa <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/tietoa-tuulivoimaloiden-rakentajille>

Tukes 2020. Kemikaalilaitosten konsultointivähykkeet. Viitattu 11.3.2021. Saatavissa <https://tukes.fi/documents/5470659/6373032/Konsultointivy%C3%B6hykkeet/4ea0bee5-4e3e-4733-9937-e09d44bbd4ce/Konsultointivy%C3%B6hykkeet.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö 2021. Ilmasto- ja energiastrategia. Viitattu 22.4.2021. Saatavissa <https://tem.fi/ilmasto-ja-energiastrategia>

Udiale, S., Urbàn, E., Carvel, R., Lange, E. & Rein, G., 2014. Overview of Problems and Solutions in Fire Protection Engineering of Wind Turbines. Fire Safety Science 11, 983–995. International Association for Fire Safety Science. Saatavissa <http://www.iafss.org/publications/fss/11/983>

United Nations Framework Convention on Climate Change. Status of Ratification of the Convention. Viitattu 8.10.2020. Saatavissa <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/status-of-ratification/status-of-ratification-of-the-convention>

United Nations Framework Convention on Climate Change. What is the Kyoto Protocol? Viitattu 8.10.2020. Saatavissa https://unfccc.int/kyoto_protocol

Valtakari, J. 2018. Tuulivoimalat pelastustoimen ja viranomaisyhteistyön näkökulmasta. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 14.12.2020. Saatavissa <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018082214604>

Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista 1107/2015. Viitattu 2.11.2020. Saatavissa <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>

Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992. Viitattu 2.12.2020. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993#Pidp445835168>

Valtioneuvosto 2017. Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista. Helsinki 14.12.2017. Viitattu 9.10.2020. Saatavissa <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B67CD97B8-C4EE-4509-BEC0-AF93F8D87AF7%7D/133346>

Valtioneuvosto 2019. Osallistava ja osaava Suomi - sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Valtioneuvoston julkaisu 2019:31. Helsinki.

Van Der Meulen, F. 2016. Environmental compensation for port extension: The case of Rotterdam harbour and nature compensation, policy and practice. *Journal of Renewable Energy and Sustainable Development*, 2016 (2), 147-153.

Vleemo NV. Wind farm overview. Viitattu 15.3.2021. Saatavissa: <https://www.vleemo.be/projecten/windpark-vleemo-in-cijfers>

Vegi, N. 2018. Wind turbine fires. Viitattu 14.12.2020. Saatavissa http://statx.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/11/Wind-Turbine-Fires.pdf

Välisuo, P, Rutledge, K., Antila, M., Janhunen, S., Fonseca, R., Uosukainen, S., Kataja, J., Bengs, D. & Paulraj, T. 2020. Tuulivoiman melu ja sen vaikutukset. Vaasa: Vaasan Yliopisto.

Wind aan de Stroom. Project area. Viitattu 15.3.2021. Saatavissa: <https://www.windaandestroom.be/projecten/projectgebied>

Wind aan de Stroom. Situation. Viitattu 15.3.2021. Saatavissa: <https://www.windaandestroom.be/projecten/stand-van-zaken>

Wizelius, T. 2015. Vindkraft i teori och praktik. Lund: Studentlitteratur AB.

Yle 2017. Pelastuslaitoksella harvinainen hälytys Haminassa – alue jouduttiin eristämään roihuavan tuulivoimalan vuoksi. Viitattu 7.1.2021. Saatavissa <https://yle.fi/uutiset/3-9391039>

Ympäristöministeriö. Kansainväliset ympäristösopimukset. Viitattu 8.10.2020. Saatavissa <https://ym.fi/kansainvaliset-ymparistosopimukset>

Ympäristöministeriö 2014. Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2 / 2014. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö 2015. Kemikaaleja käsittelevät ja varastoivat tuotantolaitokset – onnettomuusvaaran huomioon ottaminen kaavoituksessa. YM4/501/2015. Ohjekirje 22.6.2015.

Ympäristöministeriö 2016a. Suuronnettomuusriskit ja kaupunkirakenne – opas maankäytön suunnitteluun. Suomen ympäristö 3 / 2016. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö 2016b. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 / 2016. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö 2018. Ympäristöopas 2018. Kansainväliset sopimukset ja Suomi. Sopimukset kansainvälisen ympäristöyhteistyön edistäjinä. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014.

Liite 1. Haastattelututkimuksen runko

Taustatiedot: Nimi?

Ammatti / tehtävänimike?

Organisaatio?

Koulutus ja valmistumisvuosi?

Ammatillinen työkokemus vuosina?

Miten kauan olet työskennellyt tuulivoiman parissa?

Teema: **TUULIVOIMA YLEISESTI**

Millaisena näet tuulivoiman tulevaisuuden Suomessa?

Millaisena näet tuulivoiman maineen Suomessa?

Mitä ajattelet tuulivoimasta osana ilmastonmuutoksen torjuntaa?

Millaiset tekijät mielestäsi vaikuttavat tuulivoima-alan kehittymiseen?

Teema: **TUULIVOIMAN SIJAINTI YLEISESTI**

Millaisia alueita tuulivoiman suunnittelussa tulisi suosia?

Jos ajatellaan tuulivoimaa syrjäisellä seudulla esim. merellä tai erämaassa, niin mitä hyötyjä / haittoja siinä näet?

Jos ajatellaan tuulivoimaa rakennetussa ympäristössä, niin mitä hyötyjä / haittoja siinä näet?

Minne tuulivoimaa tulisi Suomessa rakentaa?

Teema: **TUULIVOIMA RAKENNETUSSA YMPÄRISTÖSSÄ**

Mitä ajattelet tuulivoimaloista teollisuus- ja satamaympäristöissä ja niiden lähialueella?

Näetkö jotain hyötyjä sille, että tuulivoimaa kehitettäisiin enemmän satama- ja teollisuusalueilla?

Kuvaile tilannetta, jossa tuulivoima ja satama- ja teollisuustoiminnot on onnistuneesti yh-teensovitettu.

Millaisessa tilanteessa tuulivoima ja teollisen ympäristön toiminnot voisivat olla ristiriidassa?

Mihin seikkoihin tulee kiinnittää erityistä huomiota, kun suunnitellaan tuulivoimaa teolliseen ympäristöön?

Teema: **LUVAT JA LAINSÄÄDÄNTÖ**

Onko Suomen lainsäädäntö tuulivoimarakentamisen kannalta mielestäsi ajan tasalla?

Oletko havainnut puutteita tai kehityskohteita lainsäädännössä tuulivoiman osalta?

Mitä ajattelet siitä, että Suomessa tuulivoimalat tulee lähtökohtaisesti sijoittaa sellaisille alueille, että ympäristölupaa ei tarvita?

Energiantuotantolaitoksilta edellytetään ympäristölupaa, mutta tuulivoimaloilta ei. Mitä ajattelet tästä?

Tulisiko tuulivoimaloilta mielestäsi edellyttää ympäristölupaa?

Mitkä tekijät voisivat edistää tuulivoimarakentamista teollisessa ympäristössä?

Melun välikkeen ohje- tai raja-arvoja ei ole säädetty työpaikka- ja teollisuusalueille, näetkö tämän haasteena?

Teema: **OSAAMINEN JA YHTEISTYÖ**

Mitkä ovat avaimet onnistuneeseen tuulivoimahankkeeseen rakennetussa ympäristössä?

Millaista osaamista tuulivoiman suunnittelussa rakennettuun ympäristöön tarvitaan?

Onko Suomessa mielestäsi riittävästi tällaista osaamista?

Mitkä tahot ovat avainasemassa, kun tuulivoimaa suunnitellaan satama-alueelle?