



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

JULIA VERHA

# **Merituulivoimalan elinkaaren ja ympäristövaikutuksien kartoittaminen**

TUOTANTOTEKNIIKAN JA TUOTANTOTALOUDEN  
TUTKINTO-OHJELMA  
2024

## TIIVISTELMÄ

Verha, Julia: Merituulivoimalan elinkaaren ja ympäristövaikutuksien kartoittaminen

Opinnäytetyö, AMK

Tuotantotekniikka ja tuotantotalous

Maaliskuu 2024

Sivumäärä: 60

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa merituulivoimaloiden elinkaarta ja elinkaaren eri vaiheissa olevia ympäristövaikutuksia. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella tuulivoimaloita ja niiden rakennetta sekä merituulivoimaloiden ja maatuulivoimaloiden eroavaisuuksia. Opinnäytetyössä perehdyttiin laajasti merituulivoimaloiden aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin ja havaittiin, että ympäristövaikutusten arviointimenettely on merituulivoimahankkeissa ensiarvoisen tärkeää. Lisäksi pyrittiin arvioimaan tuulivoimateollisuuden tulevaisuutta Suomessa.

Opinnäytetyön teoriaosuuteen kerättiin kattavasti aineistoa tuulivoimasta yleisesti ja merituulivoimaloiden elinkaaresta sekä ympäristövaikutuksista. Opinnäytetyön empiirinen osuus puolestaan toteutettiin puolistrukturoiduilla teema-haastatteluilla, joihin osallistui tuulivoima-alalla työskenteleviä asiantuntijoita. Haastattelut toteutettiin Teams-yhteyden välityksellä ja haastatteluiden teemoina olivat merituulivoimaloiden elinkaari, ympäristövaikutukset, merituulivoimaloiden rakennuspaikalle kuljettaminen sekä tuulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin laaja kuvaus merituulivoimaloiden elinkaaresta ja sen aikaisista ympäristövaikutuksista. Työssä tunnistettiin myös merituulivoiman rakentamisen haasteita ja miten ne vaativat vielä lisätutkimusta.

Avainsanat: Tuulivoima, merituulivoima, elinkaari, ympäristövaikutusten arviointi, uusiutuva energia, merituulivoimahankkeet

## Abstract

Verha, Julia: Mapping the life cycle and environmental impacts of offshore wind turbines

Bachelor's thesis

Industrial Management and Engineering

March 2024

Number of pages: 60

The aim of the thesis was to assess the life cycle of offshore wind turbines and the environmental impacts associated with different stages of their life cycle. The purpose of the thesis was to examine wind turbines and their structure, as well as the differences between offshore and onshore wind turbines. In the thesis, extensive research was conducted on the environmental impacts caused by offshore wind turbines, and it was observed that the assessment procedure of these environmental impacts is of crucial importance in offshore wind power projects. Additionally, an attempt was made to assess the future of wind power industry in Finland.

The theoretical part of the thesis gathered comprehensive literature on wind power in general, as well as the life cycle and environmental impacts of offshore wind turbines. The empirical part of the thesis was conducted through semi-structured thematic interviews involving experts working in the wind power industry. The interviews were conducted via Teams and focused on the life cycle of offshore wind turbines, environmental impacts, transportation to construction sites, and the prospects of wind power in Finland.

The outcome of the thesis provided a broad description of the life cycle of offshore wind turbines and the associated environmental impacts. The study also identified challenges in the construction of offshore wind power and highlighted the need for further research in addressing these challenges.

Keywords: Wind power, offshore wind power, life cycle, environmental impact assessment, renewable energy, offshore wind power projects

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
1.1 Opinnäytetyön taustalla .....	6
1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja .....	6
1.3 Opinnäytetyön tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaus.....	7
2 TUULIVOIMA .....	9
2.1 Mitä on tuuli? .....	9
2.2 Tuulivoima .....	9
2.3 Tuulivoimala .....	11
3 MERITUULIVOIMA .....	15
3.1 Merituulivoima .....	15
3.2 Merituulivoimala .....	17
3.3 Ympäristövaikutukset .....	20
3.3.1 Ympäristövaikutusten arviointimenettely .....	22
3.3.2 Linnusto .....	23
3.3.3 Vedenalainen luonto .....	23
3.3.4 Itämeri.....	25
4 MERITUULIVOIMALOIDEN ELINKAARI .....	27
4.1 Merituulivoimaprojektin vaiheet .....	27
4.2 Merituulivoimalan rakentaminen.....	29
4.3 Ylläpito ja huolto .....	31
4.4 Merituulivoimalan komponentit ja kierrätys.....	31
5 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUKSEN KUVAUS .....	33
5.1 Opinnäytetyön toteutuksen päävaiheet .....	33
5.2 Haastattelut .....	33
6 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET .....	35
6.1 Haastatteluteema 1: Merituulivoimaloiden elinkaari .....	35
6.2 Haastatteluteema 2: Merituulivoimaloiden ympäristövaikutukset .....	38
6.3 Haastatteluteema 3: Merituulivoimaloiden kuljetus rakennuspaikalle .	44
6.4 Haastatteluteema 4: Merituulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa .....	45
7 YHTEENVETO.....	50
7.1 Päätelmät .....	50
7.2 Toteutuksen arviointi .....	51
LÄHTEET.....	52
LIITE 1: HAASTATTELURUNKO - HYÖTYTUULI .....	56

LIITE 2: HAASTATTELURUNKO – MERIAURA .....	57
LIITE 3: HAASTATTELURUNKO – EOLUS.....	58
LIITE 4: HAASTATTELURUNKO – TUULIVOIMAYHDISTYS .....	59
LIITE 5: HAASTATTELURUNKO – GAIA CONSULTING OY.....	60

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön taustalla

Tuulivoima on ollut polttavana puheenaiheena jo usean vuoden ajan ja tuulivoiman osuus Suomen energiantuotannossa tulee lähivuosina kasvamaan. Ympäristömuutos on myös todellinen ja huolestuttava ongelma, jonka hidastamiseksi pyritään jatkuvasti kehittämään parempia ratkaisuja. Tuulivoima on energiatehokas ratkaisu, jolla pystytään osaltaan vähentämään hiilidioksidipäästöjä ja tuottamaan puhdasta energiaa. Tuulivoimaa hyödynnetään koko ajan tehokkaammin ja mahdollisuuksia rakentaa merituulivoimaloita kartoitetaan jatkuvasti lisää.

Opinnäytetyön aihe-ehdotuksena merituulivoima oli valmiina opinnäytetyön toimeksiantajalla Merilogistiikan tutkimuskeskuksella. Aihetta pohdittiin ja käsiteltiin yhdessä, mutta sain valita haluamani lähestymiskulman aiheeseen. Lähestymiskulman valinta oli heti selkeänä mielessä, eli merituulivoimaloiden koko elinkaaren aikana aiheutuneet ympäristövaikutukset. Luonto ja sen suojele ovat itselleni tärkeitä teemoja, joten koen aihevalinnan olevan osuva ajankohtaisuutensa ja mielekkyytensä puolesta.

## 1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Merilogistiikan tutkimuskeskus. Merilogistiikan tutkimuskeskuksella tehdään tutkimustyötä sekä palvelu- ja tuotekehitystä turvallisuuden, tehokkuuden ja sinisen, että vihreän kasvun parissa. Merilogistiikan tutkimuskeskuksen tavoitteena on kehittää merenkulun turvallisuutta, logistiikkaketjujen toimintaa sekä tehostaa huoltovarmuutta yhdessä alan ammattilaisten kanssa. (Merilogistiikka, 2023.)

Merilogistiikan tutkimuskeskuksen toiminnan ytimessä on lukuisat kansalliset ja kansainväliset projektit. Tutkimuskeskus yhdistääkin niin merenkulun, kuin logistiikankin osaajia. Merilogistiikan tutkimuskeskus tarjoaa myös

opiskelijoille yhteistyössä eri tahojen kanssa yhteistyöakatemiaita, joiden tavoitteena on opiskelijoiden osaamisen lisääminen ja tutkimustyön tukeminen. (Merilogistiikka, 2023.)

### 1.3 Opinnäytetyön tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia merituulivoimaloiden elinkaarta, niiden ympäristövaikutuksia sekä merituulivoiman tulevaisuuden näkymiä Suomessa. Tarkoituksena on tutkia sekä vertailla merelle ja maalle rakennettuja tuulivoimaloita, selvittää tuulivoimaloiden toimintaa sekä niiden rakennuskomponentteja, tutkia käytön aikaista huoltoa ja merituulivoimalan kierrätystä sen tullessa elinkaarensa päähän. Opinnäytetyössä sivutaan myös merituulivoimaloiden purun jälkeistä luonnon palautumista.

Opinnäytetyö toteutettiin kokoamalla laaja teoriapohja tuulivoimaloista kirjallisuuden lähteistä sekä verkossa saatavilla olevaan tietoon perustuen. Opinnäytetyö tutkimusosa toteutettiin teemahaastatteluiden avulla. Haastatteluteemoina olivat merituulivoimaloiden elinkaari, elinkaaren ympäristövaikutukset, merituulivoimaloiden kuljettaminen asennuspaikalleen sekä Suomen tulevaisuuden näkymät tuulivoiman ja varsinkin merituulivoiman saralla. Aiheiden tiimoilta haastateltavina oli tuulivoima-alan asiantuntijoita.

Opinnäytetyön tavoitteena on vastat pääkysymykseen:

- Mitä ympäristövaikutuksia merituulivoimalan elinkaaren aikana on?

Seuraavat apukysymykset auttavat tarkentamaan pääkysymystä:

- Minkälainen on merituulivoimalan elinkaari?
- Miten hyvin merituulivoimaloiden todelliset ympäristövaikutukset vielä tunnetaan?

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan merituulivoimaloiden elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Opinnäytetyössä ei oteta huomioon tuulivoimaloiden yksittäisten komponenttien valmistuksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

Opinnäytetyöstä on rajattu pois myös merituulivoimaloiden aiheuttamat kustannukset, joihin ei oteta työssä mitään kantaa. Alueena käsitellään Suomessa olevia tai Suomeen suunnitteilla olevia merituulivoimaloita. Opinnäytetyössä otetaan huomioon pohjoiset olosuhteet sekä niiden vaikutukset merituulivoimaloiden suunnitteluun, toimintaan ja huoltotarpeeseen.



## 2 TUULIVOIMA

### 2.1 Mitä on tuuli?

Tuuli on ilmamolekyylien liikettä, jota tapahtuu suhteessa maapallon pyörimisliikkeeseen. Eli tuuli on siis ilmamolekyylien liike-energiaa, jota voidaan tuulivoimalan roottorissa muuttaa liike-energiaksi ja siitä edelleen sähköenergiaksi. (Korpela, 2016, s. 7–36.)

Tuuli syntyy lämpötilojen vaihtelusta maapallolla. Aurinko lämmittää maapalloa epätasaisesti, josta aiheutuu lämpötilaeroja, varsinkin päiväntasaajan ja napojen lämpötilaerot ovat suuria. Tästä syntyy ilmiö, jossa kylmä ilma navoilta pyrkii siirtymään kohti päiväntasaajaa aiheuttaen tuulta. Korkeilla leveysasteilla maapallon pinnalle asti tulevassa säteilyn määrässä on suuria kausittaisia vaihteluja. Tämän seurauksena Suomessa talvet ovat tuulisempia, kuin kesät. Tämän takia myös noin 70 % tuulivoimalla tuotetusta sähköstä tuotetaan talven aikana. (Tuulivoimayhdistys, 2023d.)

Tuulen nopeus kasvaa, mitä korkeammalla maanpinnasta ollaan, jonka takia myös tuulivoimaloiden korkeus kasvaa vuosi vuodelta. Tässä on kyse kitkan vaikutuksen heikkenemisestä, koska mitä kauempana maanpäällisistä rakenteista tai pinnan muodoista ollaan, sitä vähemmän ne vaikuttavat ilmavirtauksiin. Tätä ilmavirtoihin vaikuttavaa suuretta kutsutaan pyörreviskositeetiksi, jolla tarkoitetaan esteiden aiheuttamaa virtauskitkaa. Pyörreviskositeetti vaikuttaa noin kilometrin maanpinnasta ylöspäin ja kerrosta, jossa viskositeetti vaikuttaa, kutsutaan kitkakerrokseksi tai rajakerrokseksi. (Korpela, 2016, s. 20–21.)

### 2.2 Tuulivoima

Ilma liikkuu jatkuvasti tuulen muodossa, jonka valjastaminen hyötykäyttöön on inspiroinut ihmisiä kautta aikojen. Kukaan ei tiedä varmaksi, milloin tuulta on ensimmäisen kerran osattu hyödyntää. Luultavasti ne olivat muinaiset

purjehtijat, jotka kehittivät purjeet veneisiinsä. Varmuutta ei ole myöskään ensimmäisen maatuulivoimalan rakentamisesta, mutta ensimmäisiä tiedossa olevia tuulivoimaloita on rakennettu 1100-luvulla nykypäivän Pakistanin ja Afganistanin alueille. On myös epäselvää, milloin Euroopassa valjastettiin tuulivoimaa ensimmäisen kerran hyötykäyttöön. (Gillis, 2011, s. 8.)

Nykypäivänä puolestaan tuulivoima on nopeimmin kasvava energian tuotantomuoto ja vuonna 2022 tuulivoimalla tuotettiin jo yli 16 % Suomen sähköntuotannosta. Tuulivoiman avulla tuodaan Suomeen suuria investointeja ja tuulivoimaa on hajaututesti ympäri Suomen ja se työllistääkin useita eri alojen ammattilaisia. Tuulivoimaa tarvitaan, sillä sähköä ja energiaa tarvitaan jatkuvasti suurenevissa määrin. (Tuulivoimayhdistys, 2023c.)

Tuulivoimala vaatii tuottaakseen sähköä 3,5–25 m/s tuulen nopeuden. Tuulivoimaa ei siis pystytä tuottamaan tyynellä ilmalla tai myrskysäässä. Optimaalisin teho tuulivoimalle on tuulen nopeuden ollessa 12–14 m/s. Tuulivoimalat ovat myös rakennettu siten, että ne kääntyvät tuulen suuntaan automaattisesti, joka mahdollistaa tuulivoimalan hyödyntämisen tuulen suunnasta riippumatta. (Vattenfall, 2023.)

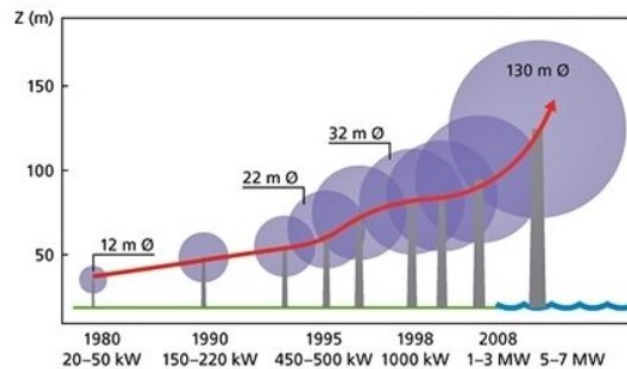
Tuulivoima on vihreä tapa tuottaa energiaa. Luonnonvarojen jatkuva vähentyminen, päästöt ja ilmastonmuutos ovat huolenaiheita, jotka ajavat kohti vihreämpiä valintoja. Suomessa huolenaiheisiin on pyritty reagoimaan ja uusiutuvan energian tuotantoon panostetaan enemmän. Tuulivoimaa pyritään rakentamaan jatkuvasti lisää Suomeen, sillä se tuo uusia työpaikkoja, vähentää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä ja tuo kiinteistöverotuloja kunnille sekä se on edullista. (Tuulivoimayhdistys, 2023c.)

Tuulivoimaloiden tuottama energia on puhdasta, eikä aiheuta päästöjä vesistöihin, maaperään tai ilmaan. Tuulivoimala tuottaa energiaa nopeasti sen mitä sen valmistukseen, paikalleen kuljetukseen ja kokoamiseen on kulunut sekä lopulta sen purkamiseen tulee kulumaan. Tämä ajanjakso on viidestä kahdeksaan kuukautta, joka on verrattain lyhyt tuulivoimalan käyttöikänsä nähden.

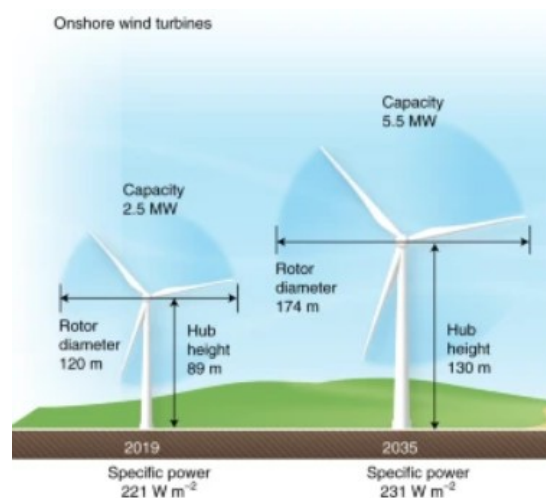
Tuulivoimaloiden keskimääräinen käyttöikä on noin 25 vuotta, uusimmilla voimaloilla se on jo 30 vuotta. (Tuulivoimayhdistys, 2023c.)

### 2.3 Tuulivoimala

Suomessa suurimmat tuulivoimalat ovat tällä hetkellä 5MW luokkaa, mutta uudet merelle rakennettavat tuulivoimalat ovat jopa yli 7MW teholtaan. Kuva 1 havainnollistaa tuulivoimaloiden koon ja sijainnin muutosta menneinä vuosina. Kuvassa 2 puolestaan esitetty maalla rakennettavien tuulivoimaloiden koon ja tehon ennustettua kasvua lähitulevaisuudessa.

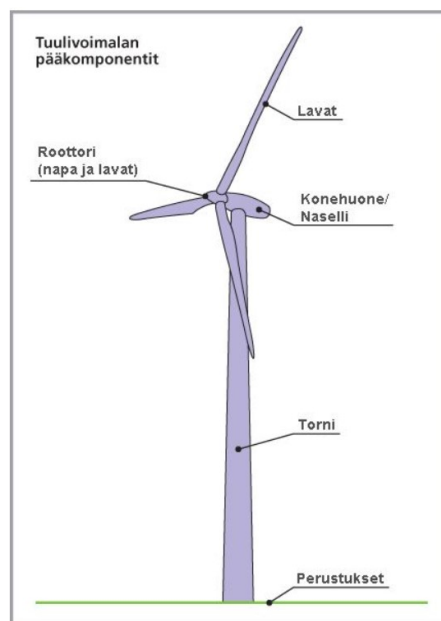


Kuva 1. Tuulivoimaloiden koon kehitys menneinä vuosina. (Motiva, 2023)



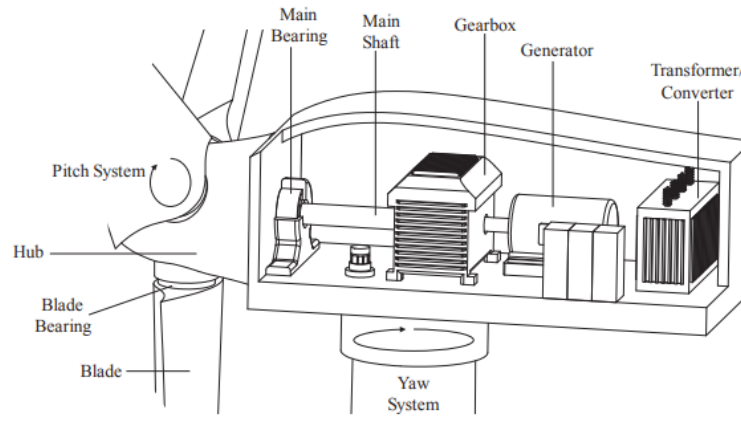
Kuva 2. Maatuulivoimaloiden koon ja tehon kasvun tulevaisuuden näkymät. (Wiser ym., 2019)

Tuulivoimalassa on kolme pääelementtiä, jotka ovat torni, naselli eli konehuone ja roottori. Kuvassa 3 nähtävillä tuulivoimalan pääkomponentit. Tornin muodostuu kahdesta tai useammasta teräsputkesta, jotka ovat pultattu yhteen. Naselli on tuulivoimalan tornin päällä ja roottori on kiinnitettyä naselliin. Roottorissa on tuulivoimalan napa sekä kolme lapaa, jotka pyörivät tuulen vaikutuksesta ja akseli nasellin sisällä pyörii sekä liikuttaa generaattoria, joka tuottaa energiaa. (Thomsen, 2012, s. 3.)



Kuva 3. Tuulivoimalan pääkomponentit. (Motiva, 2023)

Kuvassa 4 nähtävillä leikkauskuva tuulivoimalan nasellista ja sen kaikista pääelementeistä. Tuulivoimalassa on suunnanohjausjärjestelmä (yaw system), jonka avulla roottori sekä naselli kääntyvät tuulen suunnan muuttuessa. Jotta tuulivoimalan on mahdollista kääntyä tuulen suunnan muuttuessa, tulee sen katolla olla mittauslaitteisto. Mittauslaitteiston avulla voidaan mitata sekä tuulen nopeutta, että suuntaa. (Korpela, 2016, s. 50.)



Kuva 4. Leikkauskuva tuulivoimalan nasellista, jossa näkyvillä pääkomponentit. (Scheu ym., 2019)

Tuulivoimalan nasellista löytyy huoltotila, jossa tuulivoimalan pääakseli (main shaft), vaihdelaatikko (gearbox), generaattori (generator) sekä muuntaja (transformer/converter) sijaitsevat. Tämän lisäksi naselli sisältää datalaitteistoja, jäähdyttimen ja ohjausjärjestelmän. Tuulivoimaloiden tekniset ratkaisut mahdollistavat niiden toiminnan valvonnan etänä. (WELT Documentary, 2021.)

Yllä olevassa kuvassa 4 on leikkauskuva tuulivoimalasta, jossa on vaihdelaatikko, mutta tuulivoimaloita on myös paljon olemassa suoravetoisia eli vaihdelaatikkoa ei ole ollenkaan. Vaihdelaatikoiden vikaantumiset ovat aiheuttaneet tuulivoimaloille käyttökatoja ja vaihteettomuus lisääkin tuulivoimalan luotettavuutta. (Korpela, 2016, s. 50.)

Tuulivoimaloiden lavat ovat suunniteltu kestämään suuria rasituksia ja ne ovat tuulivoimalan pisimmät yksittäiset osat. Lavat toimivat tuulivoimalassa sen pysäytys- sekä tehonsäätömekanismina. Lapojen suuren rasituksen vuoksi ne rakennetaan kestävästä sekä kevyistä komposiittimateriaaleista, kuten lasikuidun ja lujitemuovin seoksista. Joskus saatetaan käyttää jopa puuta tai hiilikuitua yhdessä polyesterin tai epoksin kanssa. Yksi tuulivoimalan lapa painaa keskimäärin 12 000–15 000 kiloa ja Suomessa vuonna 2019 lavat ovat pisimmillään olleet 75 metriä pitkiä. Suomessa tuulivoimaloiden lavat tarkastetaan joka vuosi ja niistä pyritään havaitsemaan sekä korjaamaan pienimmätkin

halkeamat heti. Tuulivoimaloiden lavat ovat koko tuulivoimalan haasteellisimmat osat kierrätettäväksi niiden suuren koon ja lujien materiaalien takia. Tuulivoimaloiden lapoja on joskus jopa hävitetty hautaamalla maahan, mutta nyt niiden kierrätykseen etsitään aktiivisesti parempia ratkaisuja. (Mattila, 2021; Tuulivoimayhdistys, 2023e.)

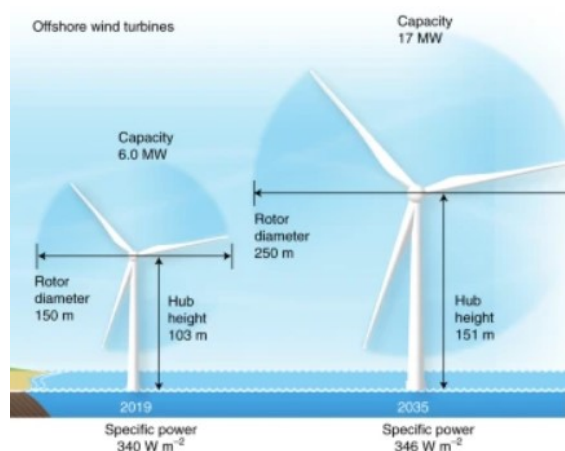
Tuulivoimaloiden tornin korkeus vaihtelee suuresti jopa 50 metristä aina 180 metriin asti. Viime vuosina tuulivoimaloiden koot ovat kasvaneet ja rakennettujen tuulivoimaloiden napakorkeus on ollut 140 metristä jopa 175 metriin asti. Tuulivoimaloiden tornien tyypillinen rakenne on teräs, ja voimalan perustukset ovat tyypillisesti myös teräsrakenteiset tai betonista valetut. (Motiva, 2023.)

## 3 MERITUULIVOIMA

### 3.1 Merituulivoima

Merituulivoima on kasvussa ja kasvun taustalla vaikuttaa EU:n ilmastotavoitteet sekä Euroopassa jylläävä energiakriisi. Merellä tuuli on tasaisempaa ja kovempaa, jonka takia merelle suunnitellaan suurempia tuulivoimaloita ja tuulivoimapuistoja, kuin maalle. Suuren merellä sijaitsevan tuulivoimapuiston tehoa voidaan verrata jopa ydinvoimalaan. Merelle rakennetuista tuulivoimaloista aiheutuu myös hyvin vähän haittaa asutukselle. (Hyötytuuli, 2023; Tuulivoimayhdistys, 2023b.)

Merituulivoimaloiden teknologia on kehittynyt ja niiden suuri sähköntuotantokapasiteetti tekee merituulivoimasta tulevaisuudessa yhden potentiaalisimmista keinoista tuottaa vihreää energiaa. Uusien merituulivoimaloiden rakentamista kuitenkin hidastaa olosuhteet merellä sekä niiden korkeat rakennuskustannukset. Merituulivoimaloiden lupaprosessit ovat myös hitaita, koska merituulivoimaloiden vaikutuksia ympäristölle pyritään arvioimaan mahdollisimman tarkasti. Kuvassa 5 havainnollistetaan merituulivoimaloiden arvioidun koon ja tehon kasvu lähitulevaisuudessa. (Suomen ympäristökeskus, 2021; Tuulivoimayhdistys, 2023b.)



Kuva 5. Merituulivoimaloiden koon ja tehon kasvun tulevaisuuden näkymät. (Wiser ym., 2019)

Merialueet ovat Suomessa vähäsuolaiset ja melko matalat sekä tuuliolosuhteet ovat heikommät, kuin esimerkiksi Pohjanmerellä. Toisaalta taas heikompien tuuliolosuhteiden ansiosta aallokot ovat verrattain matalia. Suurimman eron Suomen merialueiden ja muiden merialueiden välille tekee kuitenkin talven jääolosuhteet. (Tuulivoimayhdistys, 2023b.)

Suomessa on pyritty kartoittamaan merituulivoiman rakentamiselle soveltuvia alueita, ja niitä onkin löytynyt kaikilta Suomen merialueilta. Merituulivoimaloiden sijoituspaikkaan vaikuttavat monet asiat, kuten etäisyys rantaan, alueiden luontoarvot, veden syvyys ja puolustusvoimien kanta merituulivoimaloiden rakentamiseen sekä merikaapeleiden lähin mahdollinen verkkoliityntäpiste. (Suomen ympäristökeskus, 2021; Tuulivoimayhdistys, 2023b.)

Suunniteltaessa tuulivoimalaa merelle, tulee ottaa huomioon seuraavat neljä seikkaa: veden syvyys, aaltokuorma, merenpohja ja turbiinien aiheuttamat kuormitukset. Tuulivoimalaa rakentaessa merelle on ymmärrettävä, että aallot aiheuttavat merituulivoimalan runkoon suuria kuormia sekä taivutusmomenttia. Merenpohjaan on haastava rakentaa perustuksia merituulivoimalalle, sillä merenpohjan koostumus ei välttämättä ole tarpeeksi kantava ja perustuksia saatetaan joutua kaivamaan syvälle. Turbiini puolestaan vaikuttaa ja vastustaa aaltokuormaa, jotka vaikuttavat perustaan entistä kovempina voimina. (Thomson, 2012, s. 3.)

Suomessa Porin edustalla sijaitsee Tahkoluodon tuulivoimapuisto, joka on maailman ensimmäinen vaativiin jääolosuhteisiin rakennettu tuulivoimapuisto. Suunniteltaessa tuulivoimalaa merelle Suomen olosuhteisiin tulee ottaa huomioon jää- sekä lumikuormitusten vaikutukset merituulivoimalan rakenteisiin. Suomen olosuhteissa merituulivoimaloita rakennetaankin vain sulan veden aikaan. Tämän lisäksi myös merituulivoimaloiden huolto on haasteellista talvella jäisissä olosuhteissa. Merituulivoimaloiden huolto ja rakennus vaativat myös paljon satamainfralta. Satama-alueilla tulee olla suuret varastoalueet tuulivoimaloiden osien säilytystä sekä niiden esikokoonpanoa varten. Talviaikaan tarvitaan myös riittävää huoltokalustoa, joilla pystytään murtamaan jäitä

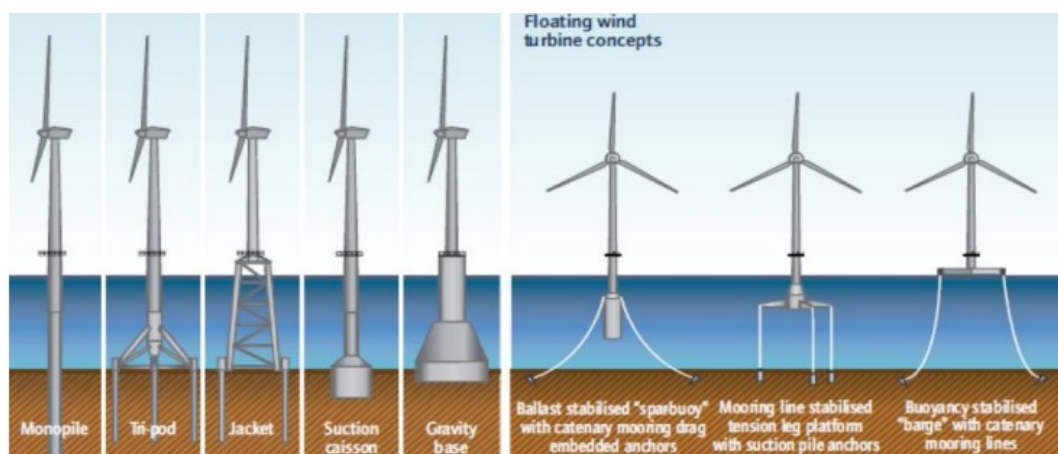


tarvittaessa sekä kulkemaan huoltoa vaativan merituulivoimalan luokse. (Hyötytuuli, 2023.)

### 3.2 Merituulivoimala

Merituulivoimaloiksi lasketaan tuulivoimalat, joiden perustukset ovat merenpohjassa tai perustukset ovat kelluvat. Myös keinosaaressa rakennetut tuulivoimalat saatetaan laskea merituulivoimaloiksi, jos niiden sähkökaapelit kulkevat merenpohjassa. Eli maatuulivoimalan ja merituulivoimalan karkea ero on perustuksissa sekä siinä missä sähkökaapelit kulkevat. Tuulivoimalat ovat ulkonäöltään samanlaisia sijoituspaikasta riippumatta, mutta merituulivoimalat ovat kooltaan maatuulivoimaloita suurempia. Vaikka meri- ja maatuulivoimalat ovat ulkonäöltään samalaisia, niiden suunnittelu, rakennus, käyttö ja huolto poikkeavat merkittävästi toisistaan. (Tuulivoimayhdistys, 2023f.)

Merituulivoimaloiden perustuksissa on mahdollista käyttää kelluvia tai kiinteitä ratkaisuja, kuten alla olevasta kuvasta 6 käy ilmi. Thomsen (2012, s. 3) mukaan neljä yleisimmin merituulivoimaloiden kiinteinä perustuksina käytettyä tyyppiä ovat paaluperustus (monopile), gravitaatioperustus (gravity base), kolmijalkainen perusta (tripod) ja ristikkotyypinen teräsrakenne (jacket).

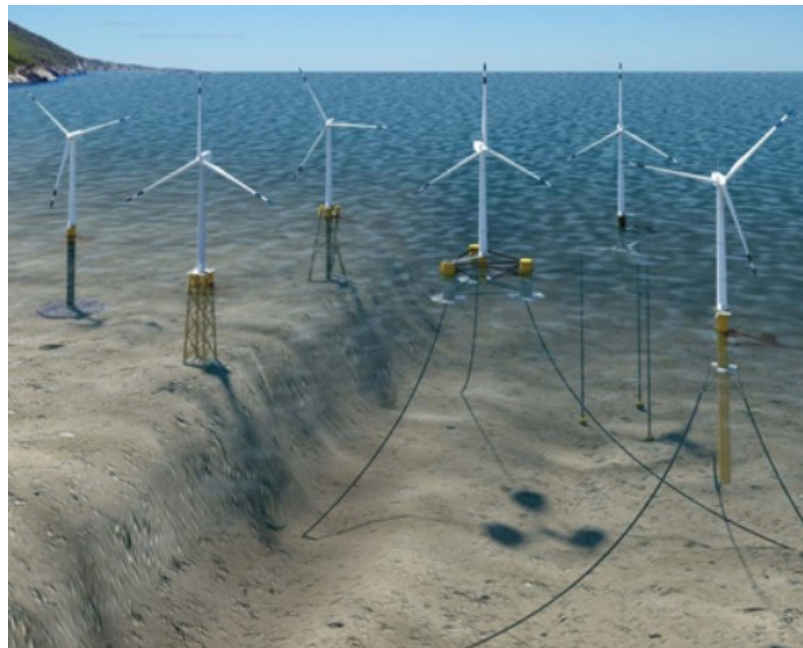


Kuva 6. Merituulivoimaloiden erilaisia perustuksia. (IOP Science, 2016)

Paaluperustusta merituulivoimaloille käytetään yleensä merenpohjan ollessa kova. Paaluperustus käytetään melko matalissa vesissä, syvyyden ollessa

korkeintaan 25 metriä. Kolmijalkaisella perustuksella seisovalla merituulivoimalalla on puolestaan merenpinnan alapuolella kolme jalkaa, jotka ovat ankkuroituna merenpohjaan. Jalkojen ollessa ankkuroituna etäälle toisistaan rakenteella on myös erinomainen kyky vastustaa suuria vertikaalisissa voimia. Kolmejalkaista merituulivoimalan perustusta käytetään veden syvyyden ollessa 25–50 metriä. (Thomsen, 2012, s. 3–5.)

Merituulivoimalan ristikkotyypinen teräsrakenteinen perustus on ankkuroituna merenpohjaan neljällä jalalla. Rakenne on neliön mallinen ja erittäin kevyt sekä suosituin perustusratkaisu syvässä vedessä. Rakenne on melko kuitenkin kallis tuottaa ja työläs valmistettava. Ristikkotyypistä rakennetta on myös vaikea suojata jäämassoilta. (Thomsen, 2012, s. 5–6.) Kuvassa 7 näkyy hyvin merituulivoimaloiden erilaiset perustukset ja miten kiinteitä perustuksia käytetään matalammissa vesissä ja kelluvia perustuksia syvissä vesissä.

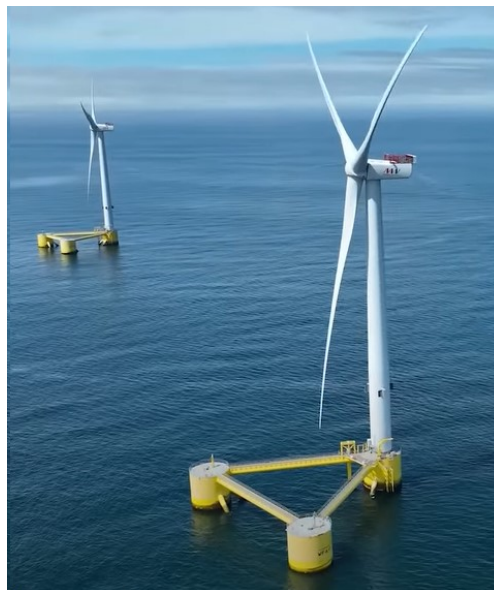


Kuva 7. Merituulivoimaloiden erilaisia perustuksia käytetään eri syvyyksissä. (Renewable energy world, 2016)

Merensyvyden ollessa enemmän, kuin 60 metriä, kiinteiden perustusten tekeminen on jo todella kallista ja jopa 95 % maailman vesistä ovat liian syviä kiinteillä perustuksilla oleville merituulivoimaloille. Kelluvien merituulivoimaloiden miinuksena ovat myös suuret rakennuskustannukset sekä ne ovat

haastavia rakentaa. Kelluvien merituulivoimaloiden alusta on osittain täytetty painolastilla ja toimintaperiaate on sama, kuin laivoissa. Kelluva merituulivoimala syrjäyttää oman painonsa verran vettä ja kelluu nosteen vaikutuksesta. Kelluvien merituulivoimaloiden rakentamisessa, sen pinnalla pitäminen on vain yksi monista haasteista. Suuri haaste on myös siinä, miten estetään merituulivoimalaa kaatumasta. Merituulivoimalat ovat todella korkeita, jonka takia niiden painopiste on hyvinkin korkealla. Vielä lisää haasteita kelluvien merituulivoimaloiden rakentamiseen aiheuttaa kovaa puhaltava tuuli, joka kallistaa merituulivoimalaa sekä aaltojen aiheuttama kuormitus. (DW Planet A, 2023.)

Kelluvan merituulivoimalan kolmipilarisessa perusratkaisussa rakenteen leveys tekee siitä vakaan vaihteleviin olosuhteisiin. Kuvassa 8 kelluvalla kolmipilarisella perustuksella olevia merituulivoimaloita. Näissä perustuksissa tasapainotusratkaisuna on rungon sisällä oleva painolastivesi, joka liikkuu alustan kolmen pilarin välillä tasapainottaen merituulivoimalaa. Tällä ratkaisulla pystytään tasapainottamaan suuria merituulivoimalaan vaikuttavia kuormituksia. Kolmipilarinen ratkaisu mahdollistaa merituulivoimalan painopisteen pysymisen vertikaalisena ja energiantuotannon maksimaalisen kapasiteetin. Tällä ratkaisulla merituulivoimalat on saatu kestäväksi jopa 15 metrin aallokkoja ja hurrikaanimyrskyjä. (DW Planet A, 2023.)



Kuva 8. Kelluvia merituulivoimaloita kolmipilarisella perustuksella. (DW Planet A, 2023)

Ensimmäinen kelluva merituulivoimapuisto Hywind rakennettiin Skotlantiin, jossa se otettiin käyttöön lokakuussa 2017. Hywind merituulivoimapuiston tuulivoimaloiden perustusratkaisuna on pitkä lieriömäinen ”tankki” veden alla, joka sisältää todella tiheää painolastimateriaalia. Vedenalainen pitkä lieriömäinen tankki on yli 90 metriä pitkä ja 14 metriä leveä sekä painaa yli 2000 tonnia. (The machinist tv, 2021.)

Kelluva merituulivoimala kestää korkeintaan kymmenen asteen kallistumisen, joten sen painopiste on suunniteltu mahdollisimman alhaalle. Merituulivoimalan rakenteen tulee olla juuri oikeanlainen, jos siinä on kuoppia ja mutkia, silloin siihen vaikuttavat voimat voivat aiheuttaa rakenteeseen halkeamia saaden merituulivoimalan uppoamaan. Kelluvaa ja kiinteää rakennetta on vaikea erottaa toisistaan merenpinnan yläpuolella, ainoa ero on pieni pystysuorakallistus, joka on havaittavissa kelluvassa rakenteessa. (The machinist tv, 2021.)

### 3.3 Ympäristövaikutukset

Merituulivoimalan sijainti vaikuttaa keskeisesti sen aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Merituulivoimaloiden rakennushankkeissa pyritään välttämään alueita, joissa luonto on monimuotoista. Näitä alueita on paljon matalissa vesissä ja se on yksi syistä, miksi merituulivoimaloita pyritään sijoittamaan syvään veteen. Merituulivoimahankkeiden käynnistyessä kartoitettavat alueet tutkitaan tarkkaan ja merituulivoimalat rakennetaan sitten, etteivät ne riko luontoarvoja. (Tuulivoimayhdistys, 2023a.)

Merituulivoimaloiden aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat melko samankaltaisia perustustavasta riippumatta. Suurin ero kiinteillä perustuksilla ja kelluvilla on niiden sijainneissa ja minkälaisia elämää on merituulivoimalan ympäristössä. Lintujen ja lepakoiden riskit törmätä kelluviin tai kiinteisiin merituulivoimaloihin ovat hyvin samanlaiset. (DW Planet A, 2023.)

Merituulivoimaloiden elinkaaren aikana niiden rakennus- ja huoltotyöt tuottavat eniten päästöjä. Merituulivoimaloiden rakennusmateriaaleista arviolta 80–90 % pystytään kierrättämään ja osa tuulivoimaloiden valmistajista tarjoaa jo täysin kierrätettäviä tuulivoimaloita. Kaikilla merituulivoimaloiden valmistajilla metallikomponenttien kierrätysaste on nyt jo lähes 100 %. Merituulivoimaloiden rakentaminen kestää muutaman vuoden ja rakennusaikana aiheuttaa alueella meluhaittaa. Merituulivoimapuiston rakennuttaminen lisää alueella liikennettä myös jatkossa, sillä voimalat tarvitsevat toimiakseen huoltoa. (Metsähallitus, n.d.-b.)

Ihmisiin merituulivoimalat saattavat vaikuttaa maisemahaittana ja pimeällä tuulivoimaloiden lentoesto- sekä navigointivalot loistavat kirkkaina. Merellä ääni myös kantaa hyvin ja merituulivoimaloiden ääni kantautuu muutamankin kilometrin päähän. Äänen kantavuutta merellä hillitsevät tuulinen sää ja aallokko, tyynellä säällä äänet kantautuvat merellä pitkiä matkoja. Keskustelua on herättänyt myös tuulivoimaloiden aiheuttamat infraäänit ja niiden terveysvaikutuksista, mutta niitä ei ole ainakaan toistaiseksi pystytty tutkimuksissa toteamaan. Ympäristövaikutusten lisäksi tuulivoimaloilla on suoria ja epäsuoria taloudellisia vaikutuksia, jotka vaikuttavat varsinkin alueellisesti. (Metsähallitus, n.d.-b.)

Merituulivoimalan rakentaminen vaikuttaa paikallisesti alueen veden laatuun, sillä merenpohja usein vaatii ruoppaamista tai muuta pohjan muokkausta, joka samentaa vettä hetkellisesti. Merituulivoimaloita varten asennettavilla merikaapeilla on niin ikään asennustöiden aikana vettä paikallisesti samentava vaikutus. Merenpohjan muokkaustyöt saattavat saada sinne kertyneiden haitta-aineita lähtemään liikkeelle, erityisesti jos ruoppausta tehdään laivaväylillä. Myös merialueiden virtauksista tehdään mallinnuksia ja arvioidaan, onko merituulivoimaloiden alueelle rakentamisella vaikutuksia virtauksiin. (Metsähallitus, n.d.-b.)

Merituulivoimaloiden rakentamisen aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat usein lyhytaikaisia ja ympäröivä luonto toipuu niistä nopeasti. Toisaalta merituulivoimaloille muokattu ympäristö saattaa myös tarjota aiempaa otollisempia

elinolosuhteita alueen eliöstölle. Merituulivoimaloiden rakenteista ei juuri irtoa mikromuoveja ja lapojenkin rakennusmateriaalin ollessa komposiittimateriaalia, ne ovat hyvin suojattu vaihtelevilta sääolosuhteilta. (Metsähallitus, n.d.-b.)

Merituulivoimaloiden vaikutukset luontoon ja eliöstöön arvioidaan aina tapauskohtaisesti ja mahdollisimman tarkkaan ennen merituulivoimahankkeen aloitusta. Ympäristövaikutusten lisäksi otetaan huomioon vaikutukset maisemaan, aluevalvontaan, asutukseen, kulttuuriperintöön, elinkeinoihin ja merenkulkuun. (Tuulivoimayhdistys, 2023a.)

### 3.3.1 Ympäristövaikutusten arviointimenettely

Suomen aluevesille suunniteltavien merituulivoimahankkeiden ympäristövaikutuksia arvioidaan (YVA) arviointimenettelyllä sekä merituulivoimapuistoa varten tehtävässä kaavassa. Suomen aluevesillä merituulivoimaloiden rakentaminen edellyttää kunnan myöntämiä rakennuslupia, joiden avulla varmistetaan merituulivoimaloiden teknisten vaatimuksien täyttyminen. Tuulivoimapuistoille talousvyöhykkeen alueella rakennusluvan myöntää valtioneuvosto ja sen ympäristövaikutukset arvioidaan YVA-menettelyllä. Merituulivoimahankkeet tarvitsevat aina vesiluvan. (Tuulivoimayhdistys, 2023a.)

YVA-lainsäädännön mukaan ympäristövaikutusten arviointi on tehtävä kaikille hankkeille, jotka kokonsa, sijaintinsa tai laatunsa perusteella aiheuttavat ympäristövaikutuksia. YVA-menettely perustuu ympäristövaikutusten arviointia käsittelevään maakunta-asetukseen (2018:33) sekä maakuntakaavaan (2018:31). YVA-menettelyn tarkoitus on kerätä tietoa hankkeen ympäristövaikutuksista ja tätä kautta auttaa ympäristövaikutusten huomioimisessa hankkeen eri vaiheissa sekä lisätä kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa hankkeisiin. YVA-menettely etenee vaiheittain, joista ensimmäisessä laaditaan kuulemisasiakirja ja toisessa vaiheessa kootaan arviointiselostus. Kuulemisasiakirja on suunnitelma ympäristövaikutusten arvioimiseksi ja arviointiselostuksessa ympäristövaikutukset ovat arvioituna ja esiteltynä. YVA-menettelyssä otetaan

huomioon hankkeen aiheuttamat ympäristövaikutukset, jotka koetaan merkittäviksi. (Ilmatar, 2023.)

### 3.3.2 Linnusto

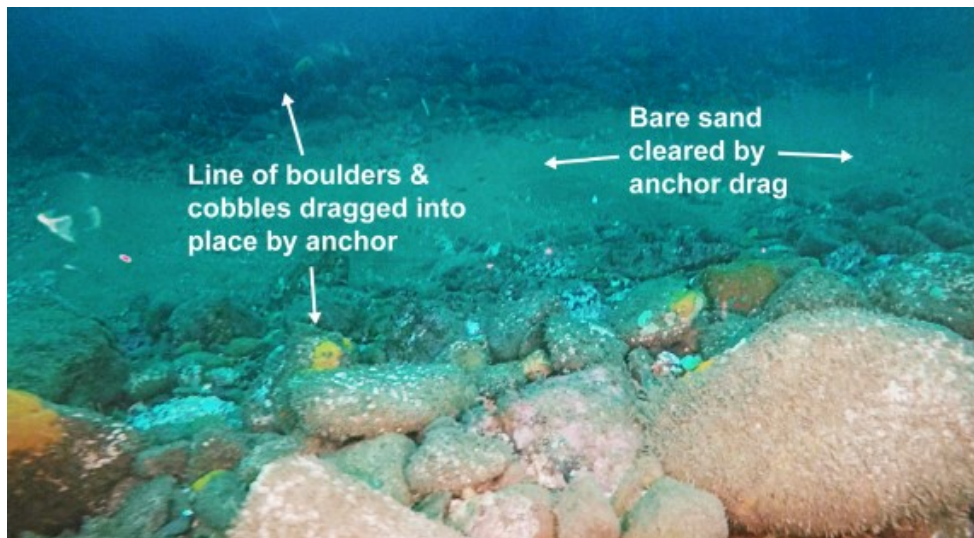
Merituulivoimalan linnustoon aiheuttamia vaikutuksia ovat törmäys-, häiriö- ja estevaikutukset sekä elinympäristönmuutokset. Merituulivoimaloiden aiheuttamat vaikutukset linnustoon ovat riippuvaisia merituulivoimaloiden sijainnista ja alueella valitsevista lintulajeista. Merituulivoimalat vaikuttavat pääasiassa lintujen muuttoreitteihin, alueella lepäämiseen ja ruokailuun sekä pesimiseen. Tahkoluodon tuulivoimapuistossa on käytössä lintututka, jonka avulla tuulivoimaloiden vaikutusta lintuihin seurataan. Lintu-tutkan keräämä aineisto on osoittanut, etteivät merituulivoimalat ole vaikuttaneet negatiivisesti alueen linnustoon. Linnut pystyvät havaitsemaan ja väistämään tuulivoimalat. (Metsähallitus, n.d.; Tuulivoimayhdistys, 2023a.)

Merituulivoimaloiden siirtyessä yhä kauemmas rannikoista, ne siirtyvät myös kauemmas lintujen muuttoreiteiltä ja reviireiltä. Tämä laskee merituulivoimaloiden aiheuttamia vaikutuksia linnustoon. Merituulivoimaloiden kova meteli ja niiden aiheuttama varjovälke saattaa kuitenkin häiritä lähistöllä pesiviä lintuja. Lintujen lisäksi myös tuulivoimaloiden vaikutukset lepakoihin tulee ottaa huomioon. (Metsähallitus, n.d.; Tuulivoimayhdistys, 2023a.)

### 3.3.3 Vedenalainen luonto

Kuten jo aiemmin todettu merituulivoimaloiden kelluvien ja kiinteiden perustusten ympäristövaikutukset eivät juuri toisistaan eroa, mutta kelluvien merituulivoimaloiden veden alla liikkuviin ankkurointivaijereihin voi takertua vedenalaisia jätteitä, kuten esimerkiksi vanhoja kalastusverkkoja. Tämän seurauksena myös merenelävät voivat takertua ankkurointivaijereihin ja niissä kiinni oleviin jätteisiin. Ankkurointivaijerit makaavat merenpohjassa ja liikkuvat tehden tuhoa elinympäristölle, mutta luonto palautuu tästä nopeasti merituulivoimalan poistamisen jälkeen tai vastaavasti merituulivoimalan ympärille syntyy uusi

elinympäristö. Toisaalta taas kiinteiden merituulivoimaloiden asennukseen tarvitaan suuria koneita, joiden aiheuttama meteli häiritsee ympäröivää luontoa, mutta kelluvat merituulivoimalat voidaan kasata jo satamassa ja ne voidaan hinata valmiina paikoilleen. (DW Planet A, 2023.) Kuvassa 9 kelluvan merituulivoimalan ankkurointivaijerin aiheuttamia muutoksia merenpohjassa.



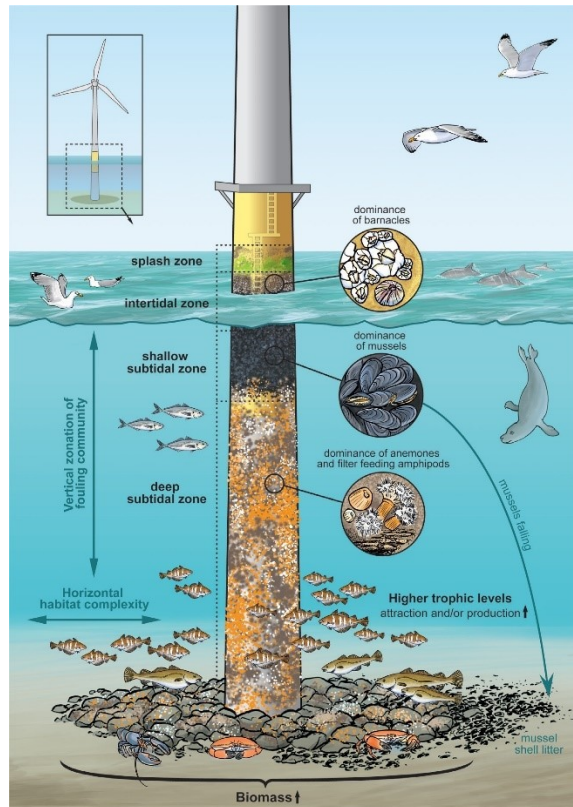
Kuva 9. Kelluvan merituulivoimalan ankkurointivaijerin muokkaamaa merenpohjaa. (Carey ym, 2020)

Suomen rannikoilla merinisäksälajisto on melko harvalukuista ja Suomessa tavataan pääasiassa vain kolme lajia, jotka ovat harmaahylje, itämerennorppa ja pyöriäinen. Merituulivoimaloiden rakennusprojektit saattavat aiheuttaa lajeille tilapäistä häiriötä ja elinympäristömuutoksia. Merituulivoimaloiden alueelle rakentamisesta aiheutuva hetkellinen veden sameus, tuulivoimaloiden veden alle tulevat rakenteet sekä rakenteiden aiheuttamilla virtauksien muutoksilla saattaa olla vaikutuksia kalakantoihin ja merinisäksälajistoon paikallisesti. (Metsähallitus, n.d.; Tuulivoimayhdistys, 2023a.)

Merituulivoimalat voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa jopa kalojen häviämistä alueelta tai muutoksia kalojen käyttäytymiseen. Vaikutukset ovat kuitenkin hyvin paikallisia ja riippuvat alueen kalalajeista. Merituulivoimaloiden kaloille aiheuttamat vaikutukset ovat voimakkaimmillaan tuulivoimaloiden paikalle asennuksen aikana, mutta kaiken kaikkiaan merituulivoimaloiden vaikutuksista alueen kaloihin on vielä hyvin vähän tietoa ja aihe vaatii vielä paljon



lisätutkimusta. Toisaalta merituulivoimaloiden perustukset myös tarjoavat ns. keinotekoisia riuuttoja ja suojaa alueen lajeille, kuten kuvasta 10 on havaittavissa. (Metsähallitus, n.d.; Tuulivoimayhdistys, 2023a.)



Kuva 10. Merituulivoimalan merenalaiset rakenteet muodostavat uuden elinympäristön alueen lajeille. (Degraer ym., 2020)

### 3.3.4 Itämeri

Itämeri on ainutlaatuinen ja sen lajisto koostuu sekä makean veden lajeista, että suolaisen veden lajeista. Tämän takia Itämeri on todella altis pienillekin muutoksille olosuhteissa. Rehevöityminen on huomattava ongelma Itämerellä ja merien lämpeneminen kiihdyttää rehevöitymistä. Itämeren ekosysteemin keskeisimmässä asemassa olevat avainlajit kärsivät jo muutaman asteen meren lämpötilan noususta. (Eolus, 2023a.)

Itämeren rehevöitymisen jälkeen suurin uhka meriluonnolle on elinympäristöjen tuhoutuminen. Merituulivoiman rakentamisesta Itämerelle tarvitaan vielä paljon lisää tietoa, jotta niiden aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia meriluonnolle pystytään tehokkaasti vähentämään. (Eolus, 2023b.)

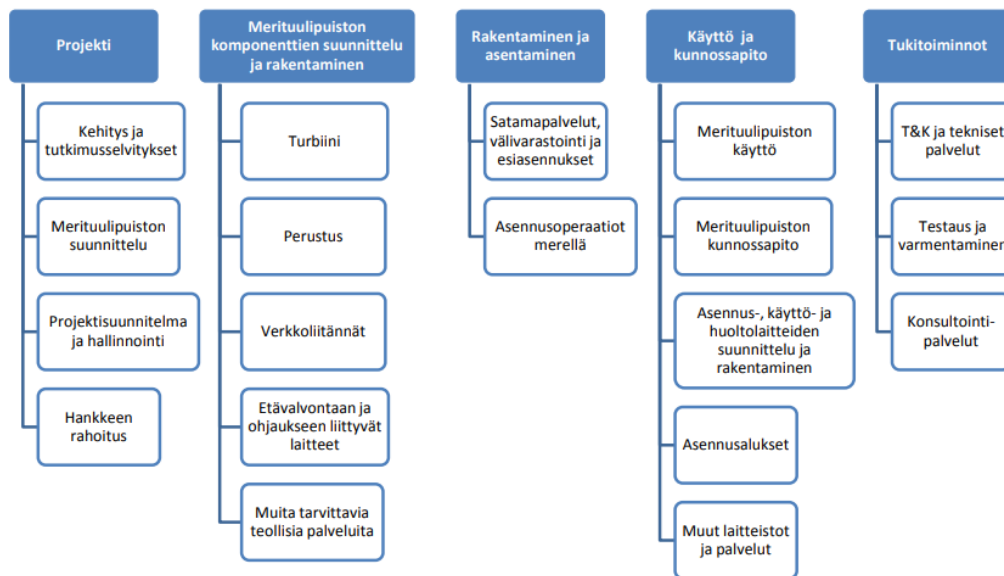
Merituulivoiman määrä tulee tulevaisuudessa kasvamaan Itämerellä, WindEuropen mukaan Itämerellä on jopa 93 GW merituulivoimapotentiaali. Hankkeita Itämerelle suunnitellaan jatkuvasti lisää, joka lisää tarvetta tutkia merituulivoimaloiden aiheuttamia vaikutuksia Itämereen. Huolta ovat aiheuttaneet varsinkin merituulivoimaloiden kumulatiiviset vaikutukset, sillä niitä on haasteellista arvioida ja ne saattavat aiheuttaa merkittävää haittaa Itämerellä. Lähekkäin sijoitetut merituulivoimapuistot aiheuttavat yhdessä kumulatiivisia vaikutuksia Itämereen, mutta myös kaikki Itämerelle sijoitetut merituulivoimalat aiheuttavat niitä yhdessä. (Eolus, 2023c.)

Suomessa on tehty jo usean vuoden ajan kartoitustyötä Itämeren vedenalaisesta meriluonnosta VELMU-hankkeen myötä, joka on vedenalaisen meriluonnon inventointiohjelma. VELMU-hanke on lähtenyt liikkeelle vuonna 2004 ja hanke pyrkii erityisesti lisäämään tietoisuutta uhanalaisista lajeista ja millaisissa elinympäristöissä ne elävät. VELMU-hankkeessa tehdään kansainvälisesti yhteistyötä koko Itämeren alueen meriluonnon kartoittamiseksi. Hanke lisää arvokasta tietoa Itämeren tilasta ja mahdollistaa näin meriluonnon paremman huomioinnin merituulivoimahankkeissa. (Velmu-esite, n.d.)

## 4 MERITUULIVOIMALOIDEN ELINKAARI

### 4.1 Merituulivoimaprojektin vaiheet

Alla olevassa kaaviossa 1 avattu merituulivoimalan arvoketju. Kaaviossa kuvattuna kaikki merituulivoimaprojektin vaiheet hankkeen käynnistämisestä valmiiksi käytössä olevaksi merituulivoimalaksi.



Kaavio 1. Merituulivoimalan arvoketju. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 10)

Merituulipuistojen hankekehitys sekä rakentaminen kestävät noin kymmenen vuotta. Jo pelkät lupaprosessit vievät aikaa 5–7 vuotta ja tämän jälkeen vielä rakennustyöt kestävät kahdesta kolmeen vuotta. Ensimmäisenä vaiheena merituulivoimahankkeissa tehdään esiselvityksiä merituulivoimaloille soveltuvista alueista merialuesuunnitelman tai maakuntakaavan avulla sekä valitaan niistä soveltuvat alueet. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään myös paikallisen kunnan mielipidettä hankkeeseen. (Metsähallitus, n.d.-a.)

Merituulivoima-alueen hankkeelle vuokraa valtio, mutta alueen kaavoituksesta ja rakentamisesta säätelee kunta. Merituulivoimahankkeen alussa tehdään tuulimittauksia, jotka kestävät muutaman vuoden, jotta varmistetaan riittävän

tiedon saaminen alueen tuuliolosuhteista. Merituulivoimahankkeen esiselvitykseen kuuluu edellä mainittujen lisäksi myös puolustusvoimien antama hyväksyntä hankkeelle, luvan hankinta merenpohjan tutkimiseen ja Traficomien myöntämä ilmailulain mukainen lentoestolupa sekä näiden lisäksi vielä erilaisia valtionhallinnon lupia. Merituulivoimahankkeen luvituksen ollessa loppusuoralla toteutetaan vielä meriarkeologinen tutkimus. (Metsähallitus, n.d.-a.)

Rakennuslain mukaan määritellään alueen käyttö kaavoituksessa. Kaavoitus on perusta rakennusluvalla ja kaavoitus vaatii myös puolustusvoimien hyväksynnän. Kaavoitus on kestoaltaan noin pari vuotta ja sen suorittajana on kunta, jonka alueelle merituulivoimahanketta ollaan suunnittelemassa. Kaavoituksen maksajana on puolestaan hankekehittäjä. Kaavoitus on käynnissä usein samaan aikaan ympäristövaikutusten arviointimenettelyn eli YVA-menettelyn kanssa. Kaavoituksen valmistuessa hankekehittäjän on mahdollista hakea kunnalta rakennuslupaa hankkeelle. Merituulivoimahankkeet tarvitsevat aina vesiluvan, joka haetaan aluehallintovirastolta. Vesiluvalla määritellään veden laatua, vesistön tilaa ja esimerkiksi kalataloutta koskevia seuranta-toimenpiteitä. (Metsähallitus, n.d.-a.)

Merituulivoimapuistoista sähkö siirretään maalle merikaapeleiden avulla, jotka myös tarvitsevat luvituksen ja rakennuttamisen. Sähkökaapeleiden lisäksi tarvitaan merisähköasema ja mantereelle liitäntäjohdot merikaapeleille. Hankekehittäjän vastuulla on neuvotella sähköverkon haltijan kanssa merituulivoimapuiston tuottaman sähkön siirrosta valtakunnanverkkoon. Seuraavana vaiheena merituulivoimahankkeessa on investointipäätöksen teko ja tämän jälkeen rakennustöiden aloittaminen. Rakennustyöt lähtevät liikkeelle merenpohjan muokkaustöillä ja perustusten rakentamisella. Suomen olosuhteissa käytetyimpiä perustuksia merituulivoimaloissa on gravitaatio- eli kasuuniperustukset. (Metsähallitus, n.d.-a.)

Alla olevassa kuvassa 11 on käynnissä olevan merituulivoimahankkeen Navakan suunniteltu aikataulu. Navakan aikataulu on hyvä esimerkki merituulivoimahankkeen suunnittelusta kestoaltaan ja sen sisältämistä vaiheista sekä vaiheiden osittaisesta päällekkäisyydestä.

<b>Navakka-merituulivoimahankkeen suunnittelu- ja toteutusaikataulu</b>	
Esiselvitykset	2021-2022
Ympäristövaikutusten arviointi	2023-2024
Valtioiden rajat ylittävien ympäristövaikutusten arviointi	2023-2024
Tekninen suunnittelu	2025-2027
Merialuetutkimukset	2023-2025
Vesilupamenettely	2024-2026
Tuulivoimaloiden ja sähkönsiirron rakenteiden rakentaminen	2028-2029
Tuulivoimahanke tuottaa sähköä	2030-

Kuva 11. Merituulivoimahanke Navakan suunniteltu aikataulu. (Sitowise Oy, 2023, s. 21)

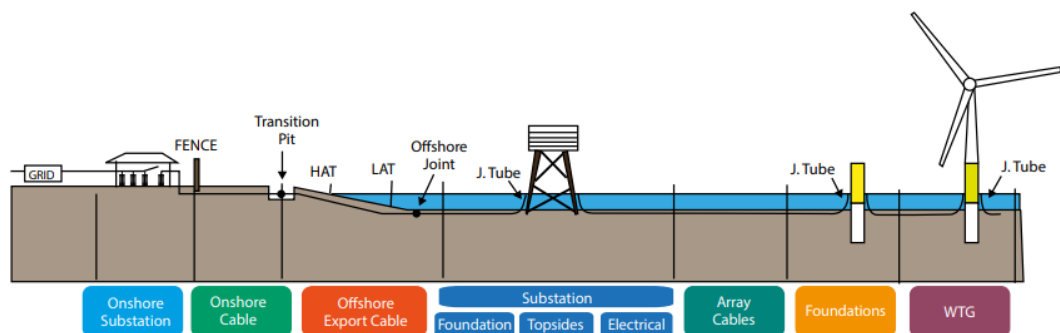
#### 4.2 Merituulivoimalan rakentaminen

Merellä vallitsee hankalat työskentelyolosuhteet ja merituulivoimaloiden suuri koko tekee niiden rakentamisesta ja paikalleen asentamisesta haastavaa. Merituulivoimaloiden kuljettaminen ja paikalleen asennus ovatkin kriittisiä vaiheita merituulivoimaloiden rakentamisessa. Merituulivoimaloiden komponenttien suuren koon takia ne sitovat myös paljon satamainfraa, joka aiheuttaa logistisia haasteita. Merituulivoimaloiden komponentteja usein jo esiasennetaan valmiiksi paikoilleen sataman alueella, jotta ne ovat mahdollisimman valmiita, kun niitä lastataan laivaan. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 15.)

Merituulivoimaloiden komponenttien käsittelyyn tarvitaan tehokkaita siirto- ja nostokoneita sekä aluksia, joilla ne kuljetetaan paikoilleen. Merituulivoimaloiden paikoilleen asennus alkaa merenpohjan muokkaustöiden jälkeen merituulivoimalan perustuksen paikoilleen asennuksella. Merituulivoimalan perustus asennetaan merenpohjaan siten, ettei se pääse liikkumaan. Seuraavaksi asennetaan välikappaleet ja tehdään jälkivalu. Tämän jälkeen merikaapelit asennetaan ja kytketään merituulivoimaloiden perustuksiin. Seuraavaksi perustukseen kytketään merituulivoimalan torniosa, seuraavaksi naselli ja viimeisenä roottori. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 17.)

Kaikkiin asennustöihin tarvitaan merituulivoimaloiden asentamiseen suunniteltuja tai niiden toteutukseen konvertoituja aluksia. Tällaisten erikoisvalmisteisten alusten saaminen asennustöihin saattaa aiheuttaa viivästyksiä merituulivoimaloiden asennusprojekteihin. Varsinkin Itämeren mataliin vesiin soveltuvia aluksia, joilta onnistuu raskaiden merituulivoimaloiden komponenttien kuljetus ja nosto ovat vähissä. Nämä alukset suorittavat sähkökaapelien laskut, merisähköaseman asennuksen paikoilleen sekä muut merituulivoimapuiston alueella tarvittavat rakennus- ja asennustyöt. Myös maalla on tehtävä asennustöitä, sillä maalla tehdään maasähköasennuksia eli kytketään merituulivoimaloilta tulevat sähkökaapelit maalla oleviin sähköasemiin ja edelleen sähköverkkoon. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 18–19.)

Alla oleva kuva 12 havainnollistaa merituulivoimalan liittämistä sähköverkkoon. Merituulivoimalan verkkoliittämisen toteuttamiseksi tarvitaan merisähköasema, merikaapelit sekä maasähköasema. Merituulivoimapuiston yhteyteen merelle rakennetaan tarpeen mukaan yksi tai useampi sähköasemia. (Metsähallitus, n.d.-a.22)



Kuva 12. Merituulivoimalan liittäminen sähköverkkoon. (Jääskeläinen ym., 2012)

Merituulipuistohankkeeseen kuuluvat rakennustyöt ovat itse merituulivoimaloiden kokoaminen sekä merellä ja maalla tehtävät sähköasennukset, mutta näiden lisäksi tarvitaan vielä etävalvomo merituulivoimapuistolle. Etävalvomosta käsin merituulivoimaloiden toimintaa ja sähköntuotantoa pystytään valvomaan sekä tarvittaessa voidaan pysäyttää voimaloita. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 18.)

### 4.3 Ylläpito ja huolto

Merituulivoimaloiden ylläpito ja huoltotyöt pitävät sisällään myös tuulivoimaloiden erilaiset valvontatyöt, joita ovat esimerkiksi tuulivoimaloiden käynnistäminen ja pysäyttäminen etänä tarvittaessa sekä niiden käyntitietojen seuranta. Merituulivoimaloiden sähkön tuotannosta raportoidaan ja huolto- sekä korjaustoimenpiteet suunnitellaan etukäteen. Merituulivoimaloiden toimintaa päivystetään jatkuvasti. Myös varaosapalvelut kuuluvat merituulivoimaloiden käytön aikaisiin palveluihin. Merituulivoimalat tarvitsevat mekaanisten ja sähköisten laitteiden kunnossapitoa sekä erilaisia henkilöstön kuljetuspalveluja merituulivoimaloiden luokse tarvitaan. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 18–19.)

Sääpalvelut ja sään seuraaminen ovat myös olennainen osa merituulivoimaloiden hallintaa. Sään seuranta helpottaa esimerkiksi merituulivoimaloiden luona tehtävien huoltokäyntien koordinoitua. Merituulivoimalan tullessa elinkaarensa päähän tulee se purkaa ympäristöystävällisin menetelmin sekä taloudellisesti. Merituulivoimaloiden purusta, kierrättämisestä sekä tuulivoimaloiden mahdollisesta korvaamisesta uusilla on laadittava suunnitelmat. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 18.)

Merituulivoimaloiden kunnossapitoon tarvitaan siis monenlaisia palveluita tuulivoimaloiden tarkastuksien suorittamisesta aina vedenalaisten töiden tekoon saakka. Vedenalaisia töitä ovat merikaapelien asennukset, eroosiosuojaukset ja tarkastussukellusten tekeminen merituulivoimaloiden vedenalaisille rakenteille. (Jääskeläinen ym., 2012, s. 20.)

### 4.4 Merituulivoimalan komponentit ja kierrätys

Tuulivoimaloiden pääasiallinen rakennuskomponentti on teräs ja teräksen kierrätys nykypäivänä on tehokasta. Teräksen valmistusmenetelmät myös kehittyvät jatkuvasti ympäristöystävällisempään suuntaan. Merituulivoimaloiden perustuksina Suomessa on käytössä gravitaatioperustus, joka koostuu pääasiassa teräksestä sekä painolastista. Painolasti puolestaan koostuu kivistä. Tuulivoimaloiden turbiinien siivissä käytetään materiaaleina lasikuitua sekä

erilaisia komposiittimateriaaleja, jotka tekevät niistä tuulivoimalan hankalamminkin kierrätettävät osat. Lasikuitu- ja komposiittijätteet, joita tuulivoimalan purussa syntyvät eivät kuitenkaan ole vaarallisia jätteitä vaan lähinnä hankalasti käsiteltäviä suuren kokonsa takia. Tuulivoimaloiden turbiinien siivissä oleva lasikuitu on helppoiten kierrätettävissä, mutta siivissä olevan hiilikuidun ja muiden komposiittimateriaalien kierrätys on haastavampaa. (Ilmatar, n.d.)

Jätteenkäsittelymenetelmät kehittyvät jatkuvasti ja tuulivoimaloiden osien kierrättämiseen etsitään aktiivisesti parempia ratkaisuja. Tällä hetkellä lasikuitumateriaalit pystytään jo kierrättämään sementtituotannossa sementtituotteiden lisukkeina tai korvikkeina. Ensimmäisiä täysin kierrätettäviä tuulivoimaloiden turbiinien siipiä on jo olemassa, jotka soveltuvat käytettäväksi sekä maalla, että merellä. Siivistä täysin kierrätettäviä tekee uudenlainen sidosaine, jonka ansiosta komposiittimateriaalien toisistaan erottelu on aiempaa helpompaa. (Ilmatar, n.d.)

Tämänhetkinen tuulivoimaloiden saavutettu kierrätysaste on jo melko korkea, noin 80 % ja se nousee koko ajan tuulivoimaloiden kysynnän kasvaessa. Merituulivoimaloissa käytettävää Vestas V236-turbiinin kierrätysaste on tällä hetkellä 82 %. Maatuulivoimaloiden turbiineilla on vieläkin korkeampi kierrätysaste, joka on noin 90 %, tämä johtuu pitkälti turbiinin siipien pienemmästä koosta. Yhä useammat maat edellyttävät tarkempia tuulivoimaloiden kierrätysasteeseen liittyviä vaatimuksia. Tuulivoimalat tulevat saavuttamaan 90 % kierrätysasteen, kun niiden siipien materiaalit pystytään kierrättämään. Tällä hetkellä siipien kierrätysaste on 70–90 %. (Ilmatar, n.d.)



## 5 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUKSEN KUVAUS

### 5.1 Opinnäytetyön toteutuksen päävaiheet

Opinnäytetyön aiheen päättämisen jälkeen selkein tapa edetä oli kerätä eri kirjallisuuden lähteistä tietoa merituulivoimaloista, niiden elinkaaresta sekä elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista. Aihe kiinnostaa monia ja sitä on jo jonkin verran tutkittu, varsinkin ympäristövaikutuksia maatuulivoiman osalta sekä niiden elinkaari on tiedossa. Aiheista löytyy paljon tietoa ja varsin tuoretakin tutkimustietoa.

Jotta opinnäytetyö ei jäisi pelkäksi kirjallisuuskatsaukseksi, tuulivoima-alan ammattilaisten haastattelemisen valikoitui tutkimusmenetelmäksi. Haastatteluiden avulla saatiin kerättyä ajantasaista tietoa opinnäytetyön keskeisimmistä teemoista. Merituulivoiman parissa työskentelee Suomessa lukuisia tahoja, joista muutamia opinnäytetyössä haastatellaan.

### 5.2 Haastattelut

Haastattelut tuulivoima-alalla toimivien tahojen kanssa sovittiin sähköpostitse ja pidettiin etänä Teams-yhteydellä. Kaikki haastattelut nauhoitettiin, jotta niihin olisi mahdollista palata vielä myöhemmin. Kaikilta haastatteluun osallistuneilta kysyttiin lupaa julkaista haastatellun henkilön nimi ja yritys, jossa he työskentelevät. Kaikilta haastatteluihin osallistuneilta saatiin lupa ja haastatteluihin osallistuneet ammattilaiset olivat Suomen Hyötytuuli Oy:ltä ympäristöinsinööri Petteri Mäkelä, Meriaura Oy:ltä supercargo Ville Laurila, Eolukselta projektipäällikkö Anu Vaahtera ja projektikehityspäällikkö Essi Tikkanen, Suomen tuulivoimayhdistykseltä edunvalvontapäällikkö Veera Villikari sekä Gaia Consulting Oy:ltä asiantuntijat Atte Ahti ja Niilo Salmela.

Haastatteluiden toteutustavaksi valikoitu teemahaastatteluiden puolistrukturoitu menetelmä. Tätä menetelmää käytetään paljon tutkimushaastatteluissa ja se rakentuu erilaisten haastatteluteemojen ympärille. Tässä

opinnäytetyössä keskeisimmät teemat, joiden ympärille haastattelut rakentui-  
vat olivat merituulivoimaloiden elinkaari, merituulivoimaloiden ympäristövaiku-  
tukset, tuulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa sekä merituulivoimaloi-  
den kuljettaminen. Teemahaastatteluille oleellista on niiden eteneminen näi-  
den teemojen kautta. Tämä oli oiva menetelmä edetä opinnäytetyön haastat-  
teluissa, sillä kysymysten muodot ja jopa kysymykset vaihtelivat eri haastatel-  
tavien kanssa, mutta teemat pysyivät samoina. (Hirsjärvi & Hurme 2008, s.  
48.)

Haastatteluista kirjoitettiin litterointi, joka lähetettiin vielä haastateltavalla luet-  
tavaksi ja kommentoitavaksi. Näin varmistettiin haastatteluiden aikana kerätty  
tieto ja samalla haastateltavan oli vielä mahdollista korjata tai täydentää litte-  
roinnin sisältämää tekstiä. Haastatteluiden rungot löytyvät opinnäytetyön liit-  
teistä.

## 6 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET

### 6.1 Haastatteluteema 1: Merituulivoimaloiden elinkaari

Haastateltavat kuvailivat merituulivoimaloiden elinkaaren pituutta ja eroavatko maa- ja merituulivoimaloiden elinkaaret toisistaan sekä miten niiden rakennus, käyttö ja huolto eroavat toisistaan. Kaikilta haastatteluun osallistuneilta tuli kysymyksiin hyvin samakaltaisia vastauksia. Haastateltavat olivat melko yksimielisiä siitä, ettei maalle rakennetun tuulivoimalan elinkaari välttämättä juuri eroa merelle rakennetun tuulivoimalan elinkaaresta. Merituulivoimalan elinkaaren arveltiin kuitenkin olevan noin 10–15 % pidempi, mitä maatuulivoimalan. Merituulivoimaloiden kapasiteettikertoimen todettiin olevan parempi, sillä merituulivoimalat tuottavat sähköä noin 40–50 % ajasta ja vastaava luku maatuulivoimaloilla on noin 33 %.

*Tällä hetkellä meriperustuksille suunniteltavien tuulivoimaloiden turbiinin roottorin elinkaaren suunniteltu ikä on 35 vuotta ja toivottavasti ikää saadaan pidennettyä vielä viidellä vuodella oikea-aikaisilla huoltotoimenpiteillä ja ennakoivalla kunnossapidolla. Meriperustukset suunnitellaan siten, että ne voisivat palvella kahta tuulivoimalaa, mikä tarkoittaa sitä, että perustukset kestävät käyttöä noin 80 vuoden ajan. (Mäkelä, 2023.)*

Maa- ja merituulivoimaloiden suunnittelu, rakennus, käyttö ja huolto kuitenkin poikkeavat toisistaan täysin, sillä meriympäristö aiheuttaa merkittäviä eroja niihin. Maa- ja merituulivoimalan molempien kohdalla tulee kuitenkin tehdä kattava ympäristövaikutusten arviointi sekä pitää ymmärtää millaisia vaikutuksia tuulivoimahankkeella voi olla ympäristöön ja hanke tulee mukauttaa niiden mukaiseksi eli miten minimoidaan vahingot ympäristölle.

*Merelle rakentaminen on paljon vaikeampaa ja vaativampaa, kuin maalle rakentaminen. Eteenkin Itämerellä rakentaminen, miten voidaan rakentaa siellä niin, ettei enempää vahingoiteta Itämeren ekosysteemiä. Kun*

*taas maalle rakentaessa tulee ottaa huomioon biodiversiteetti ja maalla olevat ympäristöhaasteet. (Vaahtera & Tikkanen, 2023.)*

### **Pohjoisien olosuhteiden haasteet**

Haastateltavilta kysyttiin myös Suomen pohjoisten olosuhteiden aiheuttamista haasteista merituulivoiman rakentamiseen ja aiheen todettiin kaipaavan vielä lisää tutkimusta, varsinkin offshore merituulivoimaloiden kohdalla. Haastateltavilta kysyttiin myös Suomessa käytettävistä merituulivoimaloiden perustuksista. Tällä hetkellä Tahkoluodon merituulivoimapuistossa on käytössä graviitaoperustukset, mutta ei vielä ole tiedossa minkälaisia perustuksia menossa olevissa merituulivoimahankkeissa tullaan käyttämään. Merituulivoimaloiden perustuksista tiedetään, kun merenpohjan dataa päästään analysoimaan.

*On vielä jonkin verran avoimia kysymyksiä. Lapojen jäätäminen ja muut asiat, joita maatuulivoimassa on jo tunnistettu pohjoisten olosuhteiden aiheuttamiksi haasteiksi, niitä on jo jonkin verran tutkittu. Merituulivoimaloiden kohdalla merijään syntyminen ja jääolosuhteet merellä aiheuttavat haasteita. Miten merituulivoimalat tulevat vaikuttamaan jääolosuhteisiin merellä niiden rikkoessa jääkenttiä niin, miten muodostuneet ahtojäät tai ahtojäävallit tulevat vaikeuttamaan merenkulkua ympäröivillä alueilla. Tätä ei vielä tiedetä tarkalleen tai sitä, miten jääkuormat tulevat vaikuttamaan merituulivoimaloiden rakenteisiin. Sitten, kun jää liikkuu se saattaa aiheuttaa kuormia merituulivoimalaan, jotka aiheuttavat siinä värähtelyä. Tämä voi heikentää merituulivoimalan rakenteellista kestävyyttä ja samalla sen elinkaarta. (Ahti, 2023.)*

*Hankalin osa suunnittelua on aalto- ja jääkuormien laskeminen ja alan osajia on melko vähän. Aalto- ja jääkuorman vaikutusta on pystytty vähentämään perustuksen muotoilulla ja huoltotasojen sijoittelulla. Huoltotasot sijoitetaan aina vastakkaiseen suuntaan päätuulensuuntaan nähdessä eli, kun lounaassa on päätuulensuunta niin, silloin sisäänkäynnit merituulivoimalaan on aina koillisen puolella eli suojan puolella. Merituulivoimaloiden perustuksissa on jäätä ohjaavia rakenteita, jotka ohjaavat jäitä siten, ettei suurin jäiden paino tule suoraan rakennetta vasten.*

*Käytössä olevien merituulivoimaloiden jäänkestoja seurataan hyvinkin tarkkaan erilaisten antureiden ja venymäliuskojen avulla, jotta tiedetään millin tarkkuudella merituulivoimalan mahdollisesta kallistumisesta. Merituulivoimaloissa on pieni marginaali, jonka perusteella ne voivat hiukan kallistua ja antaa periksi, jotta ne eivät katkea suuren rasituksen alla. Toistaiseksi seuratuissa merituulivoimaloissa ei ole havaittu minikäänlaisia jäiden tai aaltokuorman aiheuttamia ongelmia. (Mäkelä, 2023.)*

### **Merituulivoimaloiden sijoituspaikka ja kierrätys**

Haastatteluissa käytiin läpi, miten merituulivoimaloiden sijoituspaikkoja etsitään, sekä merituulivoimaloiden osien käytön jälkeistä kierrätystä. Merituulivoimaloille sopivan paikan valintaan vaikuttaa merialuesuunnitelma, jonka pohjalta merituulivoimalle soveltuvia alueita etsitään. Merituulivoimaloille soveltuvan alueen valintaan vaikuttaa myös merenpohjan koostumus, mitä kovempi pohja sen helpompi siihen on rakentaa, kun taas pehmeää pohjaa joudutaan ruoppaamaan, joka puolestaan tuottaa jätemassaa. Merituulivoimaloiden tullessa elinkaarensa päähän ne on varauduttu purkamaan kokonaan, joka tapahtuu merituulivoimaloiden kokoamiselle käänteisessä järjestyksessä.

*Tällä hetkellä turbiinin ja tornin osalta on laskettu, että 95 % materiaaleista pystytään kierrättämään kokonaisuudessaan ja näin ollen 5 % jäisi kierrättämättä. Perustuksissa kierrättämisen mahdollisuudet ovat riippuvaisia perustamistavasta, gravitaatioperustuksessa eli kivimassalla täytettävillä teräslieriöille, nämä ovat käytännössä kokonaan kierrätettäviä, sillä koostuvat kokonaisuudessaan kivistä ja teräsmateriaalista. Pieni osa on pintakäsittelyaineita tai maalia, jonka kierrätys ei ole mahdollista. Kierrätysprosentin laskeminen riippuu siitä, miten se lasketaan. Esimerkiksi tilavuudesta tai massasta, mutta lähtökohtaisesti valtaosa merituulivoimalasta on kierrätettävissä. (Mäkelä, 2023.)*

*Merituulivoimaloita varten vedetyt kaapelit tullaan purkamaan myös, sillä niissä on paljon arvokkaita metalleja. Esimerkiksi kupari ja alumiinia. Niissä voi myös olla lyijyvaippoja, niin ne puretaan kokonaan pois ja*

*kierrätetään niistä löytyvät metallit. Käyttöikä kaapeleilla on sama verran, kuin merituulivoimaloillakin. (Villikari, 2023.)*

### **Merituulivoimahanke Navakka**

Haastatteluissa sivuttiin hieman suunnitteilla olevaa merituulivoimahanketta Navakkaa, joka on suunnitteilla Porin ja Merikarvian edustalle. Navakkaan on suunnitteilla 70–100 tuuliturbiinia ja sen kokonaiskapasiteetti tulisi olemaan 1,5 GW. Hankkeen sijoituspaikka on valittu merialuesuunnitelman mukaan. Hankkeen minimi rakennussyvyys on 35 metriä ja siitä syvemmälle. Merituulivoimaloiden lisäksi merelle rakennetaan sähkönsiirtoasema, johon voimalat tullaan yhdistämään ja tältä merelliseltä sähköasemalta lähtee paksummat sähkönsiirtokaapelit kohti rannikkoa. Merituulivoimapuiston huollosta todettiin jääolosuhteiden aiheuttavan siihen omat haasteensa, mutta sen toteuttamiseen on erilaisia vaihtoehtoja. Esimerkiksi käyttämällä helikopteria, jos merituulivoimaloiden luokse ei pääse huoltoaluksilla jääolosuhteiden takia. (Vaahtera & Tikkanen, 2023.)

## 6.2 Haastatteluteema 2: Merituulivoimaloiden ympäristövaikutukset

Haastateltavilta kysyttiin, miten merituulivoimaloiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia arvioidaan. YVA-menettely, sen tärkeys ja laajuus nousi esille vastauksissa. YVA eli ympäristövaikutusten arviointimenettely on todella laaja prosessi, jossa pyritään ottamaan huomioon aivan kaikki tuulivoimalan elinkaarensa aikana aiheuttamat ympäristövaikutukset. YVA-menettely toteutetaan tuulivoimahankkeen varhaisessa vaiheessa, jo ennen hankkeen lopullista varmistumista. YVA-menettelyjen mainittiin olevan niiden laajuutensa takia melko raskaita dokumentteja, jopa tuhat sivuisia arviointeja.

*YVA-menettelyn lisäksi on vielä erilaisia lupaprosesseja, kuten vesilupa ja rakennuslupa. Lupaprosessien avulla myös arvioidaan merituulivoimaloiden ympäristövaikutuksia. Erilaisissa lupaprosesseissa voidaan hyödyntää jo YVA-menettelyn aikana kerättyä tietoa. YVA-menettelyssä on monta vaihtoehtoista toteutusvaihtoehtoa merituulivoimahankkeelle, joita*

*verrataan keskenään. Vaihtoehtoja vertaamalla etsitään sellainen toteutustapa, jolla on pienimmät vaikutukset. Vaihtoehtojen on kuitenkin oltava toteutettavissa eli mahdollisia. Vaihtoehtoina voi olla esim. eri teknisiä ratkaisuja tai erilaisia sijainteja. Näihin vaihtoehtoihin kuuluu myös nolla vaihtoehto, eli nolla vaihtoehdossa hanketta ei toteuteta ollenkaan. YVA-menettelyssä selvitetään myös, minkälaiset vaikutukset hankkeen toteuttamatta jättämisellä on. YVA-menettelyssä esitetyistä vaihtoehdoista etsitään vähiten haittaa aiheuttava vaihtoehto ja samalla myös toteutettavissa oleva vaihtoehto. (Salmela, 2023.)*

*YVA-menettelyn aikana myös tehdään luontokartoituksia, eli kerätään näytteitä eri paikoista ja tehdään mallinnuksia. Näiden pohjalta tehdään asiantuntijatyönä arvio minkälaisia vaikutuksia hankkeella voisi olla ja millä vaihtoehdoista on vähiten vaikutuksia. Tähän kuuluu myös lieventämisarviointi eli millä tavalla mahdollisia ympäristövaikutuksia voidaan minimoida. (Salmela, 2023.)*

Luontokartoituksilla tarkoitetaan esimerkiksi maastonselvityksiä, joilla arvioidaan tuulivoimaloiden vaikutuksia linnustoon. Paikallisen kalakannan tilasta hankitaan tietoa haastattelemalla paikallisia kalastajia, tutkimalla luonnonvarakeskuksen ja muiden viranomaistahojen rekisterejä sekä käytetään Suomen ympäristökeskuksen VELMU-aineistoa. Merenpohjan tilaa voidaan tutkia esimerkiksi drop-videointimenetelmällä, jossa veteen pudotetaan kamera, jonka avulla kuvataan merenpohjaa.

*Merituulihankkeen alussa tehdään ympäristövaikutusten arviointia hyvin laajalti ja kaikissa merituulivoimahankkeen vaiheissa kuullaan sidosryhmiä, viranomaisia sekä asiantuntijoita. YVA-ohjelmassa kerrotaan mitä on aikomuksena selvittää ja tehdään selvitykset niistä. Näistä tehdään hyvät selostukset, joiden perusteella viranomainen antaa perustellun päätelmän eli lausunnon YVA-selostuksesta, johon voidaan vielä palata eli mahdollisesti voidaan vielä edellyttää lisäselvityksien tekoa. Sitten selvitysten kanssa lähdetään tekemään kaavoitusta silloin, kun ollaan kuntien vesialueilla. (Mäkelä, 2023.)*

Merituulivoimahankkeen kaavan ollessa lainvoimainen hankkeelle voi hakea vesilupaa, joka on merituulivoimahankkeelle ympäristölupa vesirakentamisen osalta. Vesiluvassa voi olla joitakin seurantavelvoitteita, joka voi esimerkiksi tarkoittaa, että edellytetään linnuston tai kalakannan seurantaa hankealueella muutamien vuosien ajan.

### ***Merituulivoimaloiden sijoituspaikat***

Merituulivoimaloiden sijoituspaikkoja suunniteltaessa huomioidaan ympäristövaikutuksia merialuesuunnitelman avulla, joissa erilaiset suojelualueet ovat merkittyinä. Matalaan veteen ei myöskään lähtökohtaisesti rakenneta merituulivoimaloita, sillä niissä meren eliöstö on huomattavasti runsaampaa, kuin syvässä vedessä.

*Tehdään alustava selvitys, eli ensiksi katsotaan mitkä ovat potentiaalisia alueita merituulivoimalle. Näistä alueista tarkastellaan olemassa olevia tietoja, missä todennäköisesti ei ole suuria ympäristövaikutuksia. Eli pyritään nykytiedon valossa sijoittamaan paikoille, missä luontoarvoja ei ole paljoa. Voi sisältää myös näytteenottoja alueelta ja tutkimusta, mutta esimerkiksi jo pohjaluotauksen tekemisessä itsessään on suuret luvitusprosessit. Koska merialueilla on turvaluokitettuja pohjansyvyyyksiä ja sedimentti tietoja. Eli niiden käsittelyyn ja hankkimiseen tarvitsee jo itsessään puolustusvoimilta luvan sekä tietoturvaluokitellun henkilöstön, joka niitä käsittelee. Merituulivoimahankkeen alussa kartoitukset tehdään työpöytä tutkimuksena ja perustuvat jo olemassa olevaan tietoon. (Salmela, 2023.)*

*Myös merenkulun liikennealueet otetaan tietysti huomioon, kuten väylät lähellä rannikkoa ja talousvyöhykkeellä. Suomessa merituulivoiman rakentamisen haasteisiin liittyy paljon merenkulun ja merituulivoimaloiden yhteensovittaminen, sillä talvisin laivat muuttavat reittejään jäätilanteiden mukaan ja jos merelle rakennetaan merituulivoimaa se vähentää laivojen reittivalikoimaa. Merituulivoimalat voivat myös vaikuttaa jääolosuhteisiin sellaisilla tavoilla, joita ei vielä täysin tiedetä. Tämä on tärkeä kysymys,*



*sillä meriliikenne on Suomelle erittäin tärkeä ulkomaankaupan kannalta. (Ahti, 2023.)*

### ***Merituulivoimaloiden ympäristövaikutuksia***

Haastateltavilta kysyttiin eroavatko kiinteillä ja kelluvilla perustuksilla olevin merituulivoimaloiden aiheuttamat ympäristövaikutukset jotenkin toisistaan. Kiinteällä perustuksella olevien merituulivoimaloiden kohdalla joudutaan aina tekemään jonkinlaista pohjan muokkausta, myös kelluvilla perustuksilla olevien merituulivoimaloiden pohjaan ankkuroiminen saattaa pölyyttää pohjassa olevia sedimenttejä jonkin verran, mutta niiden merenpohjalle aiheuttamat vaikutukset jäävät kuitenkin pienemmiksi. Merituulivoimaloiden vedenalaiset rakenteet saattavat myös tarjota meren eliöstölle aiempaa otollisempia elinolosuhteita tarjoamalla erinomaisia suojapaikkoja. Tätä ilmiötä kutsutaan riuttaefektiksi ja sitä arvioidaan YVA-menettelyssä sekä tätä efektiä on tarkoitus tutkia tulevaisuudessa vielä enemmän.

Haastatteluissa keskusteltiin merituulivoimaloiden valmistusprosessien ympäristöystävällisyydestä sekä missä vaiheessa merituulivoimalan elinkaarta on suurimmat ympäristövaikutukset. Suurimmat ympäristövaikutukset merituulivoimahankkeesta aiheutuu sen rakentamisen ja huoltotöiden aikana. Hankekehityksen aikana aiheutuvat puolestaan suurimmat päästöt tuulivoimaloiden osien valmistuksessa. Merituulivoimaloiden rakennuksesta ympäristö kuitenkin toipuu muutamassa vuodessa, ja rakennustöiden aiheuttamat haitat ovat väliaikaisia.

*Voimalan tornia ja siipiä, kun ajatellaan niin siellä on todella paljon terästä. Mistä ja miten teräksen raaka-aineet hankitaan, teräs on todella ilmastointensiivistä. Teräksen valmistuksen ilmastopäästöt ovat todella suuret ja voimaloiden generaattoreissa on harvinaisia maametalleja, vaikuttaa toki mistä näitä harvinaisia maametalleja louhitaan. Siivet ovat käytännössä lasikuitua ja mitä perustuksiin tulee niin ne ovat lähtökohtaisesti terästä tai betonia. Niiden teollisuuden alat ovat todella ilmastointensiivisiä teollisuudenaloja. Siihen tuulivoimahankkeilla pyritään*

*vastaamaan, että saadaan teollisuuden päästöjä irti fossiilisista ja vetytalouden varaan. (Vaahtera & Tikkanen, 2023.)*

Merituulivoimaloiden käytön aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia ovat vaikutukset linnustoon, kuten muuttoreittien siirtyminen kiertämään tuulivoimalat. Maiseman muutos, meluhaitta eliöstölle ja merikaapeleiden aiheuttamat magneettikentät, joiden vaikutukset esimerkiksi kaloihin ovat vielä hieman epäselviä.

### ***Merituulivoimaloiden vaikutukset meriliikenteeseen***

Merituulivoimaloiden vaikutuksia laivoihin ja muilla merellä liikkujiin pyritään arvioimaan, sillä niillä on suuria vaikutuksia. Vaikutuksia arvioidaan YVA-menettylön aikana ja sitä varten on erillinen meriliikenteen riskejä arvioiva työryhmä, joka koostuu viranomaisista.

*Suuntaa antava ohje tulee jo merialuesuunnitelmasta, jossa on liikenneväylät eriytetty merituulivoima alueista. Mutta käytännöt ja selkeät ohjeistukset vielä puuttuvat, esimerkiksi mikä minimietäisyyden täytyy olla kaupallisen liikenteen ja merituulivoimaloiden välillä ja minkälaisia riskienhallintatoimia täytyy tehdä. Laivaväyliin on jo olemassa minimietäisyydet, mutta avomerellä ei ole merkittäviä laivaväyliä, vaan se on liikennöintialuetta yleisesti. Lähtökohtaisesti voimala alueilla ei trootata eikä siellä liiku kaupallisia aluksia, kuin huoltoaluksia. Mutta erityisesti jään aikainen merenkulku tuo sen haasteen, jossa alukset liikkuvat jäiden mukana osittain. (Vaahtera & Tikkanen, 2023.)*

*Tämä vaatii paljon yhteensovittamista suunnitteluvaiheessa ja tiivistä yhteistyötä pelastusviranomaisten, rajaviranomaisten, puolustusvoimien ja kaikkien laivaliikenteestä vastaavien tahojen kanssa, kuten satamien ja Traficomien kanssa. Pitää ottaa huomioon myös radioliikenne ja tutka-järjestelmät, ettei niihin tule häiriöitä eikä tule katvealueita. (Mäkelä, 2023.)*

### ***Luonnon palautuminen ja Itämeri***

Merituulivoimaloiden purkamisen jälkeistä luonnon palautumisesta kysyttiin myös haastateltavilta, mutta aihetta ei olla vielä ehditty juuri tutkia. Kuitenkin lähtökohtaisesti merituulivoimalat rakennetaan alueille, joilla ei ole luontoarvoja, joten luonnon palautumisesta tuskin muodostuu ongelmaa. Mielenkiintoisia pohdinnan kohteita ovat myös merituulivoimaloiden rakentamisen vaikutukset juuri Itämeren ekosysteemiin, mitä Itämeren lämpenemisestä seuraa sekä miten Itämeren kestävä käyttö voidaan tulevaisuudessa varmistaa. Rakentamisvaiheessa merituulivoimalat aiheuttavat Itämerellä meluhaittaa, joka voi paikallisesti häiritä eliöstöä. Myös merenpohjan ruoppaustyöt aiheuttavat sedimenttien pölyämistä. Sedimenttien pölyäminen voi olla haitallista, jos esimerkiksi sen mukana lähtee teollisuuden aiheuttamia raskasmetalleja liikkeelle.

*Kun merituulivoimalat ovat valmiita, niillä voi olla myös positiivisia vaikutuksia ympäristölle. Perustukset luovat uuden kovan pohjan paikalle, jonne ne rakennetaan, eli biodiversiteetti voi siitä myös lisääntyä ja alueelle voi tulla lajeja, joita siellä ei ole aiemmin ollut. Merituulivoimalat vaikuttavat niiden käytön aikana linnustoon karkottamalla niitä, linnut oppivat jopa karttamaan merituulivoimalat. Lintujen ja muun eliöstön kannalta on hyvä, että merituulivoimalat rakennetaan kauas rannikosta, sillä siellä luontoarvot ovat yleisesti pienemmät. Meressä suurimmat luontoarvot ovat foottisella vyöhykkeellä eli vyöhykkeellä, jossa levät pystyvät yhteyttämään. Eli matalammassa vedessä, jonka syvyys on maksimissaan 20 metriä syvää. Siellä on suurimmat luontoarvot, eli syvemmillä olevilla merituulivoimaloilla on paljon vähemmän vaikutusta eliöstöön. (Salmela, 2023.)*

Itämeren lämpenemisen seurauksena on meren makeutuminen. Itämeren suolapitoisuus siis laskee hiljalleen.

*Itämeri on murtovesiallas, jonka pohjoisosassa veden suolapitoisuus on pienempi. Lämpimät talvet tarkoittavat, että on enemmän sateita ja vesi ei ole talviaikana sitoutunut lumeen ja jäähän, joten sateisuuden*

*lisääntyessä vesi makeutuu pohjoisesta lähtien. Tällöin suolapitoisuus vähän laskee, joka tarkoittaa sitä, että Itämeressä olevat makean ja suolaisen veden lajit siirtyvät yhtä etelämmäksi. Riippuen siitä missä kohtaa niiden toleranssikyky on. Lämpeneminen vaikuttaa myös Itämeren rehevöitymiseen eli, kun sateita on enemmän, niin maalta huuhtoutuu enemmän ravinteita mereen, joka vaikuttaa muun muassa leväkukintoihin. (Salmela, 2023.)*

### 6.3 Haastatteluteema 3: Merituulivoimaloiden kuljetus rakennuspaikalle

Suomessa olevalla merituulivoimaloiden komponenttien kuljetusta tarjoavan yrityksen kanssa keskusteltiin merituulivoimaloiden komponenttien kuljettamisesta merituulivoimaloiden asennuspaikalla sekä siitä minkälainen projekti se on. Yritys keskittyy pääasiassa merikuljetuksiin eli merituulivoimaloiden komponenttien kuljetukseen merellä. Komponentit lastataan satamassa laivan kyytiin ja laiva kuljettaa ne seuraavaan satamaan tai suoraan merituulivoimaloiden asennuspaikalle. Merituulivoimaloiden asennuspaikalla osat lastataan asennuksen suorittavan ”installation-aluksen” kyytiin, joka suorittaa merituulivoimalan asennustyöt.

*Merituulivoimaloiden osien kuljettaminen ei käytännössä eroa muiden projektilastien kuljettamisesta, jossa käsitellään kappaletavaraa, sillä samat lainalaisuudet ja säännöt kuljetuksen osalta pätevät. Lähtökohtaisesti merituulivoimalan osat tuo eivät projektiin erityistä vaatimusta kuljetukseen itsessään, mutta ne voivat tuki sisältää tiukempia vaatimuksia esim. lastin suojaamiseksi meriolosuhteiden vaikutukselta. Pääasiassa laivojen ominaisuudet kuten esim. ulkomitat, hydrodynaamiset ominaisuudet (ml. stabiliteetti) tai kannen kantavuus ovat rajoittavia tekijöitä sille, miten suuria merituulivoimaloiden komponentteja pystytään kuljettamaan kerralla. Merituulivoimaloiden komponenttien koko on kasvanut todella paljon lyhyessä ajassa, esimerkiksi siipien, sekä perustuksien koko on kasvanut merkittävästi, mikä aiheuttaa kuljetuksiin omat*

*haasteensa, mutta myös rajoittaa kuljetukseen soveltuvan kaluston määrää. (Laurila, 2023.)*

Merituulivoimaloiden osien kuljetusprojekti kestää kolmesta neljään kuukautta, lähinnä pitkien merimatkojen ja merituulivoimaloiden komponenttien pitkän lastausajan takia. Kaikkia merituulivoimaloiden osia kuljetetaan laidasta laitaan. Merituulivoimaloiden kuljetusprojektit painottuvat kaikkialla kesäaikaan, merituulivoimaloiden asennustöiden ollessa melko sääherkkiä. Merituulivoimaloiden kuljetusprojekteja voidaan puolestaan toteuttaa vuoden ajasta riippumatta ja kuljetusketjut saattavatkin olla hyvin monimutkaisia ja vaihtelevia.

Merituulivoimaloiden komponentit tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa vielä jonkin verran kasvamaan, joka aiheuttaa haasteita komponenttien kuljetukseen niin maalla, kuin merelläkin. Komponenttien kasvu vaatii enemmän myös satamainfralta. Tulevaisuudessa merituulivoimaloiden komponentteja kuljettavien aluksien koko ja ominaisuudet tulee pystyä optimoimaan, jotta komponenttien koon kasvun aiheuttamiin haasteisiin pystytään vastaamaan.

Merituulivoimaloiden komponenttien kuljetusprojektilla on ympäristövaikutuksia, mutta niitä voidaan vähentää energiatehokkailla laivoilla. Energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa muun muassa laivan rungon muotoilulla ja valitsemalla alukseen moottori, jolla pystytään käyttämään biopolttoaineita.

#### 6.4 Haastatteluteema 4: Merituulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa

Tuulivoima on tällä hetkellä nopeimmin kasvava energiantuotannon muoto Suomessa ja tuulivoiman osuus sähköntuotannossa tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Suomessa tuuliolosuhteet ovat todella hyvät ja tuulivoiman kehittämiseen on herätty muuta Eurooppaa jäljessä, joten tuulivoiman osuus tulee kasvamaan.

*Rakenteilla olevista tuulivoimahankkeista tai niiden perusteella tiedetään, että vuoteen 2028 mennessä tuulivoima kattaa vähintään 22 % Suomen sähkönkulutuksesta. (Villikari, 2023.)*

Tuulivoimamarkkinat ovat jopa ylikuumentuneet ja alalla on paljon toimijoita. Kuitenkin tuulivoiman kasvuun tulevaisuudessa vaikuttavat monet seikat, esimerkiksi Suomen geopoliittinen tilanne on tällä hetkellä sellainen, joka saattaa vaikuttaa sijoittajien mielenkiintoon toimia Suomessa. Myös inflaatio vaikuttaa, jonka seurauksena ei välttämättä pystytä toteuttamaan isoja ja kalliita hankkeita. Tuulivoiman kasvu on myös kiinni politiikasta, millaisia mahdollisuuksia sille annetaan kasvaa. Kansallisella tasolla kuitenkin panostetaan siihen, että Suomi on vahvasti mukana vetytaloudessa. Tuulivoiman tulee myös olla kannattavaa liiketoimintaa. Sähkönhintojen ollessa lähellä nollaa uusien merituulivoimapuistojen rakentaminen vaikuttaa epätodennäköiseltä. Tällä hetkellä tulevaisuus näyttää hieman epävarmalta sähkön alhaisen hinnan takia sekä tulevaisuuden kehityksen ollessa epävarmaa.

Merituulivoimahankkeita on kuitenkin suunnitteilla ja onkin mielenkiintoista, tullaanko tulevaisuudessa panostamaan enemmän merituulivoimaan vai maatuulivoimaan. Haastateltavien kanssa keskusteltiin tästäkin aiheesta, sillä Suomessa on vielä paljon käyttämätöntä potentiaalia myös maatuulivoimalle.

*Molemmille löytyy kyllä paikkansa. Merituulivoima tulee kasvamaan, koska sitä on vielä niin vähän. Mutta myös maatuulivoimalle on paikkansa, esimerkiksi jos Itä-Suomeen voitaisiin rakentaa maatuulivoimaloita. Siellä on paljon potentiaalista maa-aluetta tähän. (Villikari, 2023.)*

Suomessa tuulivoiman parissa työskentelevien yritysten määrä tulee tulevaisuudessa mahdollisesti kasvamaan. Tuulivoiman parissa työskenteleviä yrityksiä on laaja skaala, aina tuulivoimaloiden hankekehittäjistä lakiyrityksiin asti. Tuulivoimalat tarjoavat työpaikkoja myös tuulivoima operoijille ja voimaloiden huolloista sekä korjauksista huolehtiville yrityksille.

### ***Merituulivoiman tulevaisuus Suomessa***

Suomalaisen merituulivoiman tulevaisuus nähtiin haastatteluissa positiivisena ja Suomessa on siihen paljon potentiaalia. Lainsäädännöllä on suuri vaikutus Suomen merituulivoiman kehittymiseen, sillä merituulivoimainvestointeja on vaikea toteuttaa ilman valtion tukea. Suomen etuina ovat kuitenkin luotettavat viranomaiset ja yhteiskuntarauha. Suomessa on myös hyvää osaamista haastavista olosuhteista sekä todella hyvät sähköverkot. Haasteita merituulivoimalle aiheuttaa myös meriliikenne ja näiden kahden yhteensovittaminen, joka vaatii vielä lisää tutkimusta.

*Merituulivoiman osalta valtioneuvosto teki päätöksen, että metsähallitus saa huutokaupata aluevesillä nämä viisi aluetta, jotka he ovat tunnistaneeet mahdollisiksi merituulivoima alueiksi. Eli ainakin viisi hanketta tulee todennäköisesti toteutumaan ja sen lisäksi talousvyöhykkeellä on noin 15 eri hankealuetta, joille hankekehittäjät ovat osoittaneet kiinnostustansa. Merituulivoiman rakentaminen Suomeen on aika kallista ja jos vetytalous ei toteudu Suomessa isossa mittakaavassa niin, sitten ei välttämättä merituulivoima ala kasva niin nopeasti, mitä tällä hetkellä kuvitellaan. Merituulivoiman kehitys ja vetytalous menevät ikään kuin käsi kädessä. Suomessa on myös edelleen aika paljon rakentamatonta maatuulivoimapotentiaalia. Tuulivoiman rakentamiseen vaikuttaa myös hyvin paljon poliittiset päätökset. Nyt merituulivoima on Suomen hallitusohjelmassa ja hallitus haluaa edistää merituulivoiman rakentamista Suomessa. Eli siltä pohjalta voisi kuvitella, että se tulee selkeästi kasvamaan toimialana. (Vaahtera & Tikkanen, 2023.)*

Haastatteluissa spekuloidiin merituulivoimaloiden koon kasvua tulevaisuudessa ja varsin yksimielisesti niiden todettiin vielä todennäköisesti kasvavan suuremmiksi. Kaukana merellä tuulivoimaloista ei ole maisemahaittaa, mutta toisaalta jos tuulivoimaloiden osat tulevat vielä paljon kasvamaan aiheuttaa se logistisia haasteita.

*Tähän parhaatkaan asiantuntijat eivät ole osanneet vastata. Lähes jatkuvasti teknologia on kehittynyt enemmän, kuin mitä on osattu ennakoida. Teknologian oletettua nopeampaa kehitystä on pyritty jatkuvasti ottamaan huomioon, mutta se on silti onnistunut kehittymään ennakoitua nopeammin. Mahdollisesti merituulivoimalat voivat olla tulevaisuudessa jopa 400 metrisiä ja rottorin halkaisija 300 metriä ja teho lähemmäs 30 MW. On tiedossa, että suunnittelupöydällä on jo 20 MW merituulivoimala ja 2030-luvulla mahdollisesti tällaisia voisi olla jo tarjolla. Koska suunnitteluprosessit ovat niin aikaa vieviä, että on tavanomaista hakea lupia isommille voimaloille, joita on edes vielä saatavilla, teknologian nopean kehityksen takia. Ja pienempiä voimaloita saa aina rakentaa samoilla luvilla. Tällainen toimintatapa on yleinen varsinkin maatuulivoimamahankkeissa. (Mäkelä, 2023.)*

Haastateltavat näkivät merituulivoiman tulevaisuuden Satakunnan alueella todella hyvänä. Merituulivoima tulee todennäköisesti ensisijaisesti palvelemaan rannikon teollisuutta päästöjen vähentämisen saralla. Satakunnassa on paljon teollisuutta, joka houkuttelee vetytalouden toimijoita, joilla on kiinnostusta rakentaa vetylaitoksia tai synteettisen polttoaineen laitoksia. Mereltä pystyttäisiin tarjoamaan puhdasta sähköä vetytalouden toimijoiden käyttöön.

*On tulossa Tahkoluodon laajennus ja muita hankkeita, jotka tuovat elinvoimaa ja työpaikkoja sekä kiinteistöverotuloja Satakunnan alueelle. Sähköntuotannon jatkojalostus voi tuoda uusia mahdollisuuksia ja uusia työpaikkoja ja se voi tuoda sähköintensiivistä teollisuutta alueella, jotka alkaisivat suoraan käyttämään tätä sähköä. Tai sitten tullaanko tulevaisuudessa sähköä muuttamaan vedyksi ja sitten vetyä jatkojalostamaan. Toki myös kehittää satamien alueita. (Villikari, 2023.)*

### **Sähkön varastointi**

Suomessa kantaverkon siirtokapasiteettia tulee kasvattaa, jotta tulevaisuudessa on mahdollista käsitellä ja siirtää valtava määrä uusiutuvaa



sähkövirtaa. Fingrid on tähän jo valmistautunut ja ovat valmistelleet kehitysuunnitelman, jonka avulla sähköverkkoa tullaan kehittämään. Jos tulevaisuudessa on mahdollista muuttaa sähköä vedyksi jo merellä tai rannassa, helpottaa se kantaverkkoyhtiön kapasiteetin hallintaa. Sähkön varastointiin onkin jo suunnitteilla ratkaisuja, joista vety on yksi todennäköisimmistä. Eli sähköä varastoidaan elektrolyysin avulla vedyksi. Prosessissa on kuitenkin melko huono kokonaishyötysuhde. Suomessa ei ole vielä toistaiseksi suunnitteilla tuulivoimahankkeita, joiden kylkeen rakennettaisiin sähkönvarastointiratkaisuja. Selvää on, että uusiutuvan sähkön tuotannon lisääntyessä jouston tarve sähköjärjestelmässä kasvaa, joten sähkön varastointimenetelmille tulee varmasti olemaan kysyntää.

*Vety itsessään vaikuttaa ilmeisen hankalalta, sillä pienen molekyylikoon takia sen siirtäminen ja varastointi on melko hankalaa. Monet ajattelevatkin, ettei vetyä vetynä tulla käyttämään, vaan se voisi olla esimerkiksi ammoniakkia. Todennäköisesti sähkön varastointiratkaisuja tulee käyttöön rinnakkain useita, eikä ole yhtä ylivoimaisesti parempaa menetelmää. Mahdollista on myös rakentaa ratkaisuja, joissa pumpataan vettä jonnekin hieman ylemmäs, kuin missä ollaan. Ja sitten, kun sitä tarvitaan niin, vettä juoksetetaan takaisin alas turbiinien läpi. Tällaista ratkaisua on suunniteltu esimerkiksi Kemijoella, jossa tarkoituksena on tehdä useita pitkiä maanalaisia onkaloita, joita sitten käytetään pumppuvoimaloina. Tämä on ehkä tällä hetkellä varteenotettavin ratkaisu, sillä siihen on kaikki teknologia jo olemassa. Vetyteknologiaan ei ole vielä olemassa kaikkea tarvittavaa tai se ei ainakaan ole markkinaehtoisesti kannattavaa. Näissä kaikissa on hyötysuhde melko huono, mutta perustuvatkin siihen, että sähkön hinnan ollessa nollassa kerätään sähköä varastoon ja myydään hinnan ollessa korkeammalla. Kaikki mitä sähkön nollahinnan yli saa on plussaa. Joten huono hyötysuhde ei haittaa, kun se on kuitenkin parempi, kuin sähköhinnan ollessa nolla. Vetytalous tai yleensäkin varastointi eivät ole mahdollisia jollei sähköntuotannossa hetkittäin ole ylituotantokapasiteettia. Aina kannattaa myydä heti sähköä. (Mäkelä, 2023.)*

## 7 YHTEENVETO

### 7.1 Päätelmät

Tuulivoimaloita on ollut jo pitkään, mutta merituulivoimalat ovat vielä uusi ja osittain tutkimatonta aluetta varsinkin Suomessa ja niiden vaikutukset Itämereen ovat vielä epäselviä. Merituulivoimaloiden avulla on mahdollista tuottaa puhdasta energiaa suurella kapasiteetilla, mutta niiden rakentaminen on vielä varsin kallista. Hankkeita on suunnitteilla Suomeen useita, mutta niiden toteutuminen on vielä epävarmaa, johtuen pitkälti Suomen poliittisista ratkaisuista.

Merituulivoimaloiden aiheuttamat vaikutukset ympäristöön vaativat vielä lisää tutkimusta. Suomessa on halua ja kiinnostusta lähteä rakentamaan suuria merituulivoimahankkeita jopa kelluvilla perustuksilla. Nämä ovat huomattavasti haasteellisempia ja kalliimpia rakentaa, mitä kiinteillä perustuksilla olevat merituulivoimalat. Merituulivoimateknologian kehittyessä eteenpäin kelluvat perustukset ovat lähes välttämättä edes, sille ne mahdollistavat paljon syvemmälle veteen rakentamisen.

Suomessa on loistavaa osaamista haastavista olosuhteista ja meillä on myös erinomainen sähköverkko, mutta jääolosuhteet asettavat suuria haasteita. Merituulivoimaloiden vaikutuksia jääolosuhteisiin on jo pystytty mallintamaan, mutta käytännössä niitä ei vielä avomerellä päästy testaamaan. Haasteen aiheuttaa myös meriliikenteen ja merituulivoimapuistojen yhteensovittaminen, varsinkin talven jääolosuhteissa, merellä liikkuvien alusten liikkeessä osittain jäälauttojen mukana.

Merituulivoima kiinnostaa paljon ja sen tulevaisuuden Suomessa uskotaan olevan positiivinen. Hankkeita valmistellaan täyttä häkää ja valtioneuvosto on jo hyväksynyt merialueita merituulivoimaloiden rakentamisella. Merituulivoima luo uusia työpaikkoja monelle eri alueelle aina merituulivoiman hankekehityksestä valmiiden merituulivoimaloiden huoltoon ja käytön valvontaan asti. Myös

merituulivoiman lisääntymisen mahdollistama vihreän vedyn tuotanto kiinnostaa yrityksiä ja vetytaloudessa on tulevaisuudessa mahdollisuuksia moneen.

## 7.2 Toteutuksen arviointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa kattavasti merituulivoimaloiden elinkaaren aikana aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Tavoitteeseen opinnäytetyössä päästään melko hyvin ja työssä kuvaillaan laajasti merituulivoimalan koko elinkaarta ja on kartoitettu paljon mahdollisia ympäristövaikutuksia. Toki opinnäytetyössä ei päästä merituulivoimahankkeen aikana tehtävään ympäristövaikutusten arviointimenettelyn laajuuteen, eikä toisaalta ollut tarkoituskaan. Tarkoitus oli löytää mahdollisimman laajasti erilaisia mahdollisia ympäristövaikutuksia merituulivoimaloista.

Opinnäytetyön toteutuksen menetelmänä haastattelut olivat varsin toimivia ja sai tuulivoima-alalla toimivien tahojen parissa hyvän vastaanoton. Haastatteluihin osallistuttiin innokkaasti ja aiheesta saatiin paljon keskustelua aikaa. Haastateltavien mielestä oli hienoa, että aihe kiinnostaa. Merituulivoima tosiaan kiinnostaa monia ja aiheesta löytyy paljon tietoa myös kirjallisuuden lähteistä sekä verkosta, jonka ansiosta sain kerättyä teoriapohjaa opinnäytetyöhön kattavasti.

Opinnäytetyön aihe oli todella laaja ja sitä oli ajoittain prosessin aikana hankala rajata, jotta se ei laajene turhan suureksi ja sukella ainoastaan yhteen osaan opinnäytetyötä turhan syvälle. Aihe oli kuitenkin mielenkiintoinen ja siihen olisi ollut helppo syventyä vielä enemmän.

## LÄHTEET

Ahti, A. (13.12.2023). Gaia Consulting Oy:n asiantuntijan, Atte Ahtin, Teams-haastattelu.

Carey, D., Wilber, D., Read, L., Guarinello, M., Griffin, M. & Sabo, S. (2020). Effects of the Block Island Wind Farm on Coastal Resources. [https://www.inspireenvironmental.com/wp-content/uploads/2021/01/Carey\\_et\\_al\\_2020.pdf](https://www.inspireenvironmental.com/wp-content/uploads/2021/01/Carey_et_al_2020.pdf)

Degraer, S., Carey, D., Coolen, J., Hutchison, Z., Kerckhof, F., Rumes, B. & Vanaverbeke, J. (2020). Offshore Wind Farm Artificial Reefs Affect Ecosystem Structure and Functioning: A Synthesis. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.405>

DW Planet A. (17.3.2023). Floating wind turbines: Offshore energy's secret weapon [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=EI4kHkJ7ITs>

Eolus. (2023a). (31.8.2023). Itämeriasiantuntijan haastattelu: Anna Klemelä, BSAG. [https://eolus.fi/mfn\\_news/itamerasiantuntijan-haastattelu-anna-klemela-bsag/](https://eolus.fi/mfn_news/itamerasiantuntijan-haastattelu-anna-klemela-bsag/)

Eolus. (2023b). (13.6.2023). Itämerityöpajan tuloksia, osa 2: Merituulivoiman rakentamisen vaikutuksista ekosysteemeihin. [https://eolus.fi/mfn\\_news/itamerytopajan-tuloksia-osa-2-merituulivoiman-rakentamisen-vaikutuksista-ekosysteemeihin/](https://eolus.fi/mfn_news/itamerytopajan-tuloksia-osa-2-merituulivoiman-rakentamisen-vaikutuksista-ekosysteemeihin/)

Eolus. (2023c). (7.8.2023). Itämerityöpajan tuloksia, osa 3: Merituulivoiman kumulatiiviset vaikutukset Itämeren alueella. [https://eolus.fi/mfn\\_news/itamerytopajan-tuloksia-osa-3-merituulivoiman-kumulatiiviset-vaikutukset-itameren-alueella/](https://eolus.fi/mfn_news/itamerytopajan-tuloksia-osa-3-merituulivoiman-kumulatiiviset-vaikutukset-itameren-alueella/)

Gillis, C. (2011). Offshore windpower. Atglen, Pa.: Schiffer Pub.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2008). Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Hyötytuuli. (2023). Merituulivoima. Haettu 16.10.2023 osoitteesta <https://hyotytuuli.fi/merituulivoima/>

Ilmatar. (14.6.2023). Merituulivoimahanke Stormskär ja Väderskär. Kuulemisasiakirja. <https://ilmatar.ax/wp-content/uploads/2023/06/YVA-Stormskar-Vaderskar-Kuulemisasiakirja.pdf>

Ilmatar. (n.d.). Voiko tuulivoimalat kierrättää niiden elinkaaren lopussa? Haettu 23.11.2023 osoitteesta <https://ilmatar.ax/fi/voidaanko-tuulivoimalat-kierrattaa-niiden-elinkaaren-lopussa/>

IOP Science. (2016). Wind Turbines: current status, obstacles, trends and technologies. El Konstantinidis and P N Botsaris 2016 IOP Conf. Ser.: Mater.

Sci. Eng. 161 012079. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012079/pdf>

Jääskeläinen, K., Rantala, L. & Sundelin, A. (30.8.2012). Merituulipuiston rakentaminen. Prizztech Oy. <https://www.prizz.fi/media/energiaratkaisut/energiaratkaisut-materiaalit/merituulipuistonrakentaminen2012.pdf>

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

Laurila, V. (30.11.2023). Meriaura Oy:n Supercargon, Ville Laurilan, Teams-haastattelu.

Mattila, V. (22.10.2021). Tuulivoimat tuotannosta kiertoon. Energia uutiset. <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/tuulivoimat-tuotannosta-kiertoon.html>

Merilogistiikka. (2023). Merilogistiikan tutkimuskeskus. Haettu 14.8.2023 osoitteesta <https://www.merilogistiikka.fi/tietoa-meista/>

Metsähallitus. (n.d.-a). Merituulivoimahankkeen vaiheet. Haettu 23.11.2023 osoitteesta <https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/tuulivoima/merituulivoimassa-suuret-mahdollisuudet/merituulivoimahankkeiden-vaiheet/>

Metsähallitus. (n.d.-b). Merituulivoiman ympäristövaikutukset. Haettu 3.11.2023 osoitteesta <https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/tuulivoima/merituulivoimassa-suuret-mahdollisuudet/merituulivoiman-ymparistovaikutukset/>

Motiva. (2023). Tuulivoimateknologia. Haettu 15.10.2023 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima\\_suomessa/tuulivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia)

Mäkelä, P. (22.11.2023). Suomen Hyötytuuli Oy:n ympäristöinsinöörin, Petteri Mäkelän, Teams-haastattelu.

Renewable energy world. (2016). Foundation First: Designing Offshore Wind Turbine Substructures for Maximum Cost Reduction. <https://www.renewableenergyworld.com/wind-power/foundation-first-designing-offshore-wind-turbine-substructures-for-maximum-cost-reduction/>

Salmela, N. (14.12.2023). Gaia Consulting Oy:n asiantuntijan, Niilo Salmelan, Teams-haastattelu.

Scheu, M., Trempe, L., Smolka, U., Kolios, A. & Brennan, F. (2019). A systematic Failure Mode Effects and Criticality Analysis for offshore wind turbine systems towards integrated condition-based maintenance strategies. <https://urly.fi/3gkp>

Sitowise Oy. (3.4.2023). Navakka-merituulivoimahanke. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Osa A: Tuotantoalue ja sähkönsiirto merialueella. <https://urly.fi/3k7B>

Suomen ympäristökeskus. (21.1.2021). Uusi tutkimus kartoitti alueet, joille merituulivoimaa voidaan rakentaa kannattavasti ilma suurilla vahinkoilla meriluonnolle. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi\\_tutkimus\\_kartoitti\\_alueet\\_joille\\_me\(62349\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_tutkimus_kartoitti_alueet_joille_me(62349))

THE MACHINIST TV. (15.8.2021). Wind Energy | Future of Renewable Energy | Full Documentary [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=f0p0Fria5TY>

Thomsen, K. E. (2012). Offshore wind: A comprehensive guide to successful offshore wind farm installation. Waltham, MA: Elsevier/Academic Press.

Tuulivoimayhdistys. (2023a). Merituulivoiman ympäristönäkökulmat. Haettu 3.11.2023 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/merituulivoima/merituulivoiman-ymparistonakokulmat>

Tuulivoimayhdistys. (2023b). Miksi merituulivoimaa. Haettu 13.10.2023 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/merituulivoima/miksi-merituulivoimaa>

Tuulivoimayhdistys. (2023c). Miksi tuulivoimaa. Haettu 12.9.2023 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/miksi-tuulivoimaa>

Tuulivoimayhdistys. (2023d). Mitä tuuli on? Haettu 29.8.2023 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/mita-tuuli-on-2/mita-tuuli-on>

Tuulivoimayhdistys. (2023e). Tuulivoimaloiden rakenne. Haettu 26.9.2023 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>

Tuulivoimayhdistys. (2023f). Yleistä merituulivoimasta. Haettu 14.10.2023 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/merituulivoima/yleista-merituulivoimasta>

Vaahtera, A. & Tikkanen, E. (1.12.2023). Eolus Vind AB:n projektipäällikön, Anu Vaahteran ja projektikehityspäällikön Essi Tikkasen, Teams-haastattelu.

Vattenfall. (2023) Tuulivoima. Haettu 13.10.2023 osoitteesta <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/tuulivoima/>

Velmu-esite. (n.d.). VELMU kartoittaa vedenalaisen meriluonnon monimuotoisuutta. Haettu 5.11.2023 osoitteesta <https://www.syke.fi/download/no-name/%7B8137A3AF-067C-4CA7-AA1C-753F5CFA37AD%7D/93169>

Villikari, V. (11.12.2023). Suomen Tuulivoimayhdistys ry:n edunvalvontapäällikön, Veera Villikarin, Teams-haastattelu.

Wiser, R., Rand, J., Seel, J., Beiter, P., Baker, E., Lantz, E. & Gilman, P. (2021). Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy

costs by 2050. *Nature Energy* 6, 555–565. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00810-z>

WELT Documentary. (25.4.2021). WIND FARM ASSEMBLY Off The Coast Of Sylt – Millimeter Work In All Weathers | Full Documentary [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=RqdE53JhJ4E>

## LIITE 1: HAASTATTELURUNKO - HYÖTYTUULI

### **Merituulivoimaloiden elinkaari:**

- Minkälainen on merituulivoimalan elinkaari?
- Miten merituulivoimalan elinkaari eroaa maalle rakennetun tuulivoimalan elinkaaresta?
- Miten maa- ja merituulivoimaloiden suunnittelu, rakennus, käyttö ja huolto poikkeavat toisistaan?
- Suomeen rakennettujen merituulivoimaloiden tulee kestää pohjoisia olosuhteita, miten tähän haasteeseen on pystytty vastaamaan?
- Minkälaisia perustuksia merituulivoimaloissa Suomessa tyypillisesti käytetään?
- Miten merituulivoimaloiden sijoituspaikkoja etsitään?
- Merituulivoimaloiden perustusten purkamisen? Puretaanko ne kokonaan vai jätetäänkö osa perustuksista mereen?
- Purettujen merituulivoimaloiden kierrätys? Miten paljon pystytään kierrättämään?

### **Merituulivoimaloiden ympäristövaikutukset:**

- Miten merituulivoimaloiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia arvioidaan?
- Miten merituulivoimalan sijoituspaikkaa suunniteltaessa otetaan huomioon ympäristövaikutukset?
- Eroaako kelluvan tai kiinteän merituulivoimalan ympäristövaikutukset toisistaan?
- Onko mahdollista, että merituulivoimalat tarjoavat meren eliöstölle aiempaa paremman elinympäristön?
- Minkälaisia ympäristövaikutuksia merituulivoimalasta aiheutuu sen käytön aikana?
- Miten luonto palautuu merituulivoimalan purkamisen jälkeen?
- Merituulivoimapuistojen rakentamisen vaikutukset laivoihin ja muilla merellä liikkujiin?

### **Merituulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa:**

- Miten tuulivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta tulee tulevaisuudessa muuttumaan?
- Minkälaisena näet Satakunnan tulevaisuuden tuulivoiman saralla?
- Minkälaisena näette suomalaisen merituulivoiman tulevaisuuden?
- Tuulivoimaloiden roottorien halkaisija sekä napakorkeus ovat kasvaneet ja niiden ennustetaan kasvavan myös tulevaisuudessa, paljonko tuulivoimalat voivat vielä kasvaa suuremmiksi?
- Minkälaisia ratkaisuja on suunnitteilla sähkön varastointiin?



## LIITE 2: HAASTATTELURUNKO – MERIAURA

### **Merituulivoimaloiden kuljetus ja varastointi:**

- Minkälainen projekti on merituulivoimaloiden osien kuljettaminen?
- Minkä tyyppisiä merituulivoimaloita olette kuljettaneet?
- Milloin merituulivoimaprojekteja toteutetaan? Pystytäänkö Suomen olosuhteissa asentamaan uusia merituulivoimaloita ympärivuoden?
- Osallistuttko myös merituulivoimaloiden sähkökaapeleiden lasku projektiin?
- Osallistuttko käytöstä poistettujen merituulivoimaloiden purkuun ja alueelta pois kuljettamiseen?

### **Ympäristönäkökulmat:**

- Minkälaisia ympäristövaikutuksia on merituulivoimalan paikalleen kuljettamisella?
- Miten otatte omalta osaltanne huomioon ympäristönäkökulman kuljettaessanne merituulivoimaloiden komponentteja?
- Merituulivoimapuistojen rakentamisen vaikutukset laivoihin ja muilla merellä liikkujiin?

### **Tulevaisuuden näkymät:**

- Onko teillä tällä hetkellä menossa projekteja merituulivoiman parissa tai onko projekteja luvassa lähitulevaisuudessa?
- Merituulivoimaloiden koko tulee todennäköisesti tulevaisuudessa kasvamaan, onko teillä kyvykkyyttä vastata tähän haasteeseen.
- Minkälaisena näette suomalaisen merituulivoiman tulevaisuuden?

## LIITE 3: HAASTATTELURUNKO – EOLUS

### **Merituulivoimaloiden elinkaari:**

- Kertoisitteko lyhyesti meneillään olevasta Navakka-merituulivoimahankkeesta?
- Miten merituulivoimahankkeen sijoituspaikka on valittu?
- Miten merituulivoimahankkeen verkkoliitettä toteutetaan?
- Miten merituulivoimapuiston huolto tullaan toteuttamaan?
- Minkälainen on merituulivoimalan elinkaari?
- Miten merituulivoimalan elinkaari eroaa maalle rakennetun tuulivoimalan elinkaaresta?
- Miten maa- ja merituulivoimaloiden suunnittelu, rakennus, käyttö ja huolto poikkeavat toisistaan?
- Suomen olosuhteisiin rakennettujen merituulivoimaloiden tulee kestää pohjoisia olosuhteita, eroavatko tuulivoimalat lämpimissä olosuhteissa olevista tuulivoimaloista?

### **Merituulivoimaloiden ympäristövaikutukset:**

- Miten merituulivoimaloiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia arvioidaan?
- Miten merituulivoimalan sijoituspaikkaa suunnitellessa otetaan huomioon ympäristövaikutukset?
- Eroaako kelluvan tai kiinteän merituulivoimalan ympäristövaikutukset toisistaan?
- Minkälaisia ympäristövaikutuksia merituulivoimaloiden valmistusprosessilla on?
- Suurimmat ympäristövaikutukset merituulivoimaloilla on niiden rakennus- ja huoltotöiden aikana?
- Merituulivoimaloiden rakennustöiden aiheuttamista ympäristövaikutuksista ympäristö toipuu nopeasti? Ja on myös mahdollista, että tuulivoimala tarjoaa saattaa tarjota aiempaa otollisempia elinolosuhteita alueen eliöstölle?
- Merituulivoimapuistojen rakentamisen vaikutukset laivoihin ja muilla merellä liikkujiin?

### **Merituulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa:**

- Miten Suomen tuulivoimateollisuus tulee lähivuosina muuttumaan?
- Minkälaisena näet Satakunnan tulevaisuuden merituulivoiman saralla?
- Jatkuuko tuulivoiman räjähdysmäinen kasvu edelleen?

## LIITE 4: HAASTATTELURUNKO – TUULIVOIMAYHDISTYS

### **Merituulivoimaloiden elinkaari:**

- Minkälainen on merituulivoimalan elinkaari?
- Miten maa- ja merituulivoimaloiden suunnittelu, rakennus, käyttö ja huolto poikkeavat toisistaan?
- Mitä merituulivoimaloiden purun jälkeen tapahtuu niitä varten vedetyille sähkökaapeleille?
- Käytöstä poistettujen merituulivoimaloiden kierrätys, miten paljon pystytään kierrättämään?

### **Merituulivoimaloiden ympäristövaikutukset:**

- Merituulivoimaloiden rakennustöistä aiheutuneista ympäristövaikutuksista ympäristö toipuu nopeasti? Ja on myös mahdollista, että merituulivoimala saattaa tarjota aiempaa otollisempia elinolosuhteita alueen eliöstölle?
- Merituulivoimaloiden perustuksia varten merenpohjaan tehdään muokkaustöitä, minkälaisia ympäristövaikutuksia näillä merenpohjan muokkaustöillä on esimerkiksi ruoppauksella? Tarvitseeko merenpohjaa muokata aina perustuksia varten?
- Minkälaisia vaikutuksia merituulivoimaloilla on meriluonnolle?

### **Merituulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa:**

- Miten tuulivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta tulee tulevaisuudessa muuttumaan?
- Tullaanko Suomessa tulevaisuudessa panostamaan enemmän merituulivoiman kehittämiseen, kuin maatuulivoiman?
- Miten paljon Suomessa on tällä hetkellä tuulivoiman parissa työskenteleviä yrityksiä? Tuleeko määrä tulevaisuudessa kasvamaan?
- Minkälaisena näet Satakunnan tulevaisuuden tuulivoiman saralla?
- Minkälaisena näette suomalaisen merituulivoiman tulevaisuuden?
- Tuulivoimaloiden roottorien halkaisija sekä napakorkeus ovat kasvaneet ja niiden ennustetaan kasvavan myös tulevaisuudessa, paljonko tuulivoimalat voivat vielä kasvaa suuremmiksi?
- Suomen sähköverkon siirtokapasiteettia on kasvatettava, jotta pystytään käsittelemään ja siirtämään valtava määrä uusiutuvaa sähkövirtaa? Miten tähän on valmistauduttu?

## LIITE 5: HAASTATTELURUNKO – GAIA CONSULTING OY

### **Merituulivoimaloiden elinkaari:**

- Minkäläinen on merituulivoimalan elinkaari?
- Suomeen rakennettujen merituulivoimaloiden tulee kestää pohjoisia olosuhteita, miten tähän haasteeseen on pystytty vastaamaan?
- Tullaanko merituulivoimalat purkamaan kokonaan vai jätetäänkö osa perustuksista mereen?
- Purettujen merituulivoimaloiden kierrätys? Miten paljon pystytään kierrättämään?

### **Merituulivoimaloiden ympäristövaikutukset:**

- Miten merituulivoimaloiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia arvioidaan?
- Miten merituulivoimalan sijoituspaikkaa suunniteltaessa otetaan huomioon ympäristövaikutukset?
- Miten merituulivoimaloiden rakentaminen vaikuttaa Itämeren ekosysteemiin?
- Miten luonto palautuu merituulivoimalan purkamisen jälkeen?
- Merituulivoimaloiden kumulatiiviset vaikutukset?
- Mitä Itämeren lämpenemisestä seuraa?
- Miten Itämeren kestävä käyttö voidaan tulevaisuudessa varmistaa?

### **Merituulivoiman tulevaisuuden näkymät Suomessa:**

- Miten tuulivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta tulee tulevaisuudessa muuttumaan?
- Minkälaisena näette suomalaisen merituulivoiman tulevaisuuden?
- Tuulivoimaloiden roottorien halkaisija sekä napakorkeus ovat kasvaneet ja niiden ennustetaan kasvavan myös tulevaisuudessa, paljonko tuulivoimalat voivat vielä kasvaa suuremmiksi?
- Minkälaisia ratkaisuja on suunnitteilla sähkön varastointiin?