



# Merituulipuiston kantaverkkoliityntä

Offshore wind farm grid connection

Ville Leino

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Toukokuu 2024

Kestävä energia

**Leino, Ville**

## **Merituulipuiston kantaverkkoliityntä**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2024**, 70 sivua

Kestävän energian tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö ylempi AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

## **Tiivistelmä**

Merituulipuiston rakentaminen on laaja kokonaisuus, joka sisältää suunnittelun, luvituksen, rakentamisen eri vaiheet ja liittämisen sähkön kantaverkkoon. Kantaverkkoliitynnällä siirretään puistossa tuotettu energia kuluttajille.

Työn tavoitteena oli tuottaa tietoa merituulipuiston liittämisestä sähkön kantaverkkoon sekä määritellä kriteereitä merikaapelin rantautumispaikan valinnalle ja maalle rakennettavan kantaverkkoyhteyden reitinvalinnalle. Työssä selvitettiin ja kuvattiin liityntäprosessin nykytilanne ja tunnistettiin mahdolliset muutokset sekä kehitystarpeet tulevaisuudessa. Merikaapelin rantautumispaikan valintaan kehitettiin pisteytystyökalu, jota voidaan jatkokehittää esimerkiksi tekoälyn kehittyessä.

Työn johtopäätöksiä todettiin merituulipuiston liittämisen kantaverkkoon olevan laaja kokonaisuus, johon sisältyy runsaasti muuttujia, jotka tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kehityksen nopeudesta johtuen tietyt hallinnolliset prosessit eivät ole pysyneet mukana kehityksen tahdissa ja ne vaativat jatkokehitystä, jolla sovitaan yhteen ja turvataan niin yhteiskunnan kuin hankekehittäjän intressit. Näihin kehitystyöihin on jo osin ryhdytty.

## **Avainsanat (asiasanat)**

Sähköverkot, tuulienergia, merituulivoima, sähkönsiirto, maankäyttö, kaavoitus, merikaapelit, voimajohdot, energia, vihreä siirtymä, suunnittelu

## **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Liite 1 on salassa pidettävä ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 23.5.2029.

**Leino, Ville**

### **Offshore wind farm grid connection**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, **May 2024**, 70 pages

Degree programme in sustainable energy. Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The construction of the offshore wind farm is a comprehensive project, including planning, permitting, the various stages of construction and connection to the grid. The grid connection will transmit the energy produced in the farm to consumers.

The aim of the work was to provide information on the connection of the offshore wind farm to the main grid and to define criteria for the selection of the offshore cable landing site and the selection of the onshore grid connection. The status of the connection process was studied and described, and possible future changes and developments were identified. A scoring tool was developed for the selection of the submarine cable landing point, which can be further developed, for example, as artificial intelligence develops.

The conclusions of the work were that the connection of the offshore wind farm to the grid is an extensive process, which includes many variables that need to be taken into account already in the planning phase. Due to the speed of development, certain administrative processes have not kept pace with development and require further development to reconcile and safeguard the interests of both society and the project developer. Some of these processes have already taken place.

### **Keywords/tags (subjects)**

electricity grid, wind energy, offshore wind, electricity transmission, land use, zoning, energy, green transition, planning, submarine cables, transmission lines

### **Miscellaneous (Confidential information)**

Annex 1 is confidential and has been removed from the public domain. The reason for the confidentiality is the business or professional secrecy of the company, Section 24, paragraph 17 of the Publicity Act 621/1999. The confidentiality period is five (5) years, expiring on 23.5.2029.

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>8</b>
1.1	Aiemmat tutkimukset .....	8
1.2	Toimeksiantaja .....	9
1.3	Työn tavoitteet ja rajaukset .....	9
<b>2</b>	<b>Merituulivoima</b> .....	<b>11</b>
2.1	Tilanne Euroopassa 2023 .....	11
2.2	Tilanne Suomessa .....	13
2.3	Suomen merialueet .....	15
2.3.1	Aluevedet .....	15
2.3.2	Talousvyöhyke (Exclusive economical zone, EEZ) .....	16
<b>3</b>	<b>Tutkimuskysymykset ja -menetelmät</b> .....	<b>16</b>
3.1	Tutkimuskysymykset.....	17
3.2	Tapaustutkimus eli case study .....	17
3.2.1	Haastattelu .....	18
3.2.2	Kirjallisuuskatsaus .....	19
3.2.3	Tutkimuksen eettisyys .....	20
<b>4</b>	<b>Kantaverkkoliityntä</b> .....	<b>20</b>
4.1	Suomen kantaverkko .....	21
4.2	Ruotsin kantaverkko .....	23
4.3	Liitynnän tekniset vaatimukset .....	24
4.4	Luvitus .....	25
4.4.1	Hankelupa .....	26
4.4.2	Ympäristövaikutusten arviointi (YVA).....	26
4.4.3	Lunastus- ja tutkimuslupa.....	26
4.4.4	Risteämäluvat ja -lausunnot .....	27
4.4.5	Liikenneväylät.....	27
4.4.6	Muut johdot .....	28
4.4.7	Vesistöihin liittyvät luvat .....	29
4.5	Liittymisprosessi .....	29
4.5.1	Liityntäkysely.....	29
4.5.2	Liittymissopimus.....	30
4.6	Merituulipuiston kantaverkkoliityntä muissa Euroopan maissa .....	31
4.6.1	Hollannin malli.....	31
4.6.2	Saksan ja Tanskan mallit .....	32
4.6.3	Ison-Britannian malli.....	33

<b>5</b>	<b>Merituulipuiston sähköverkko.....</b>	<b>34</b>
5.1	Merikaapeli .....	34
5.1.1	Vaihtosähkökaapeli .....	35
5.1.2	Tasasähkökaapeli.....	36
5.2	Merikaapelin rantautumispaikka .....	37
5.2.1	Rantautuminen.....	37
5.2.2	Kytkenä ilmajohtoon .....	38
5.3	Siirtolinja mantereella .....	39
5.3.1	Vaihtosähköilmajohto.....	39
5.3.2	Tasasähköilmajohto.....	41
5.3.3	Suurjännitemaakaapeli .....	42
5.4	Sähköasema .....	42
5.5	Vaihtoehtotarkastelu.....	43
<b>6</b>	<b>Merikaapelin rantautumispaikan valintaan vaikuttavat tekijät .....</b>	<b>44</b>
6.1	Luonnonmaantieteelliset tekijät .....	44
6.1.1	Veden syvyys.....	44
6.1.2	Merenpohja ja maaperä .....	45
6.1.3	Rannan maastonmuodot .....	46
6.1.4	Rantaviivan muoto .....	48
6.1.5	Merijää.....	49
6.2	Rakennettu ympäristö .....	50
6.2.1	Teollisuus ja merenkulku .....	50
6.2.2	Ranta-asutus ja virkistys .....	51
6.2.3	Muu rakennettu ympäristö.....	52
6.3	Luontoarvot.....	53
6.3.1	Suojellut alueet ja biotoopit.....	53
6.3.2	Maisema.....	54
<b>7</b>	<b>Johtopäätökset ja pohdinta .....</b>	<b>55</b>
7.1	Aluekehitys.....	56
7.2	Maankäyttö .....	56
7.3	Liittymisprosessi .....	59
	<b>Lähteet .....</b>	<b>62</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>70</b>
	Liite 1. Merikaapelin rantautumispaikan pisteytystyökalu .....	70

## Kuviot

Kuvio 1: Merituulipuistot Pohjanmeren ja Englannin kanaalin alueella 10.8.2023. ....	12
Kuvio 2: Merituulipuistot Itämeren alueella 10.8.2023 .....	13
Kuvio 3: Suomen aluevesien mahdolliset tuulivoima-alueet .....	14
Kuvio 4: Suunnitellut sähköntuotantohankkeet Suomessa .....	22
Kuvio 5: Kantaverkon kehittämiskohteet 2024–2033 .....	23
Kuvio 6. Merituulipuiston sähköverkko .....	34
Kuvio 7: Vaihto- ja tasasähkökaapelin kuormitettavuus kaapelin pituuden ja jännitteen funktiona .....	35
Kuvio 8: 400 kV kaapelin rantautumispaikka .....	38
Kuvio 9: Voimajohdon johtoalue .....	40
Kuvio 10: Esimerkki kiinteistöjaotuksesta .....	41
Kuvio 11: Kantaverkon 400/110 kV sähköasemalta lähteviä voimajohtoja .....	43
Kuvio 12: Tulvaniitty.....	47
Kuvio 13: Rannan kalliojyrkänteitä .....	48
Kuvio 14: Itämeren jääpeitteen laajuuden vaihtelua .....	49
Kuvio 15: Jäävalleja rannalla.....	50
Kuvio 16: Rantajyrkäne ja suojarakenteita.....	52

## Taulukot

Taulukko 1. Voimalaitosten liityntätavat Suomen kantaverkossa .....	24
Taulukko 2. Ruotsin merituulivoiman kapasiteettialueet .....	30
Taulukko 3. Merikaapeliasennuksen hintatietoja .....	36
Taulukko 4. Sähköasemien tilantarve .....	38
Taulukko 5. Sähkönsiirtorakenteiden kustannuksia rakentamattomilla alueilla .....	39
Taulukko 6. Pohjan koostumus pohjoisen Itämeren alueella .....	46

**Lyhenteet**

AC	Alternating current, vaihtosähkö
DC	Direct current, tasasähkö
EEZ	Exclusive economic zone, talousvyöhyke (merialueilla)
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EU	Euroopan unioni
GW	Gigawatti
HVAC	High Voltage Alternating current, suurjännitteinen vaihtosähkö
HVDC	High Voltage Direct current, suurjännitteinen tasasähkö
MW	Megawatti
SJ	Suurjännite, >45 kV
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
VN	Valtioneuvosto

# 1 Johdanto

Meri- eli offshore-tuulivoiman rakentaminen on käynnistymässä Suomen merialueilla lähimpien vuosien aikana. Eri vaiheissa olevien hankkeiden määrä ja yhteisteho ovat Suomen sähköntuotannon näkökulmasta ennätysmäisiä ja tulevat vain osittain toteutuessaankin muuttamaan oleellisesti koko maan sähköjärjestelmää: tyypillisen merituulipuiston liityntäteho vastaa uutta ydinvoimalaa.

Keskustelu energiamurroksesta, sähkön hinnasta ja vihreästä siirtymästä on käynyt kuumana jo joitakin vuosia, ja uutena aiheena on nousemassa kantaverkon ja voimalinjojen vaikutus ympäristöön sekä yhteiskuntaamme. Tuotetun sähkön siirtäminen loppukäyttäjille vaatii käytännössä jo-kaista merituulipuistoa kohden yhden uuden 400 kilovoltin voimajohtoyhteyden rakentamisen. Voimajohtojen suunnitteluun, luvitukseen ja rakentamiseen kuluva aika, resurssit ja maankäyttölli-set asiat huomioiden yhtälö vaikeutuu: miten pystytään toteuttamaan esimerkiksi viisi samanai-kaista merituulihanketta ja niiden vaatimat kantaverkon vahvistukset? Kuinka paljon kantaverkkoa voidaan ylipäänsä laajentaa ja vahvistaa, ennen kuin haitat kasvavat hyötyjä suuremmiksi? Voi-daanko aluekehityksellä ohjata tuotannon ja kulutuksen investointeja samoille seuduille ja näin vähentää sähkön siirtämisen tarvetta?

Kantaverkkoliityntä muodostaa 10–15 % merituulipuiston kokonaiskustannuksista. Kaapeli- ja voi-majohtoreitin valinta vaikuttaa paitsi puiston rakentamiskustannuksiin, myös rakentamiseen kulu-vaan aikaan. Merituulivoimaloiden ja niiden vaatimien sähkön siirtoyhteyksien toteuttaminen si-sältävätkin suuria teknisiä, ympäristöllisiä ja sosiaalisia haasteita, jotka tulee ottaa huomioon ja pyrkiä minimoimaan jo suunnitteluvaiheessa.

## 1.1 Aiemmat tutkimukset

Merituulivoimaa on rakennettu Pohjanmerelle ja Itämeren eteläosiin aktiivisesti jo reilun kymme-n vuoden ajan. Luonnonolosuhteet pohjoisella Itämerellä ovat kuitenkin hyvin erilaiset ja hank-keisiin liittyvät yhteiskunnalliset toimintamallit vielä vakiintumattomia niin Suomessa kuin Ruotsis-sakin.

Luonteeltaan kantaverkkoliitynnän suunnittelu ja rakentaminen ovat poikkitieteellisistä ja -tek-nistä yhteistyötä, ja aiheeseen liittyvä tutkimus keskittyy yleensä johonkin kapeaan osa-alueeseen



kuten talouteen, maankäyttöön, sähkötekniikkaan tai ympäristövaikutusten arviointiin. Aihetta koskevaa kokonaisuutena ei ole saatavilla varsinkaan suomenkielisenä. Tuulivoiman sosiaalisia vaikutuksia ja hyväksyttävyyttä ovat tutkineet Peltonen, Donner-Amnell ja Nokelainen (Peltonen ja muut, 2024), Janhunen, Hujala ja Pätäri (Janhunen ja muut, 2017) sekä pro gradu - töissään Koponen (Koponen, 2023) ja Hyttinen (Hyttinen, 2019) ja opinnäytetyössään Tapaninen (Tapaninen, 2021). Merituulivoiman kantaverkkoliityntään liittyviä lupa-asioita ovat tarkastelleet Sunila, Bergmann, Isojärvi ja Ekroos (Sunila ja muut, 2018).

## **1.2 Toimeksiantaja**

Opinnäytetyön toimeksiantaja Ramboll on globaali konsultti- ja suunnittelualan yritys, joka tarjoaa asiantuntijapalveluita sekä kestäviä ratkaisuja asiakkailleen ja kumppaneilleen. Yritys työllistää maailmanlaajuisesti noin 18 000 henkilöä, joista Suomessa noin 2500. Suomessa Ramboll toimii laajasti tuulivoimayhtiöiden asiantuntija- ja rakennuttajaorganisaationa. Yrityksen Ruotsin tuulivoimatoiminnot ovat olleet tiiviisti mukana työn toteutuksessa, ja tuloksia voidaan soveltaa niin Suomessa kuin Ruotsissakin, lukuun ottamatta juridisia ja hallinnollisia prosesseja.

## **1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset**

Alkuperäinen ajatus oli tarkastella koko merituulivoimapuiston kantaverkkoon liittymisen prosessia, joka sisältää merikaapelin, sen rantautumispaikan sekä voimajohdon suunnittelun. Työn edetessä havaittiin kuitenkin itse liittymissopimusprosessin sekä merikaapelin rantautumispaikan valinnan olevan vähiten tutkittuja ja tunnettuja osa-alueita. Molempiin liittyy myös suuri määrä muuttujia ja riskitekijöitä, joiden huomiotta jättäminen voi johtaa teknisiin, ympäristöllisiin ja sosiaalisiin haasteisiin, jotka vaikeuttavat ja hidastavat tuulipuiston toteutusta lisäten kustannuksia. Näitä muuttujia ja niiden vaikutuksia haluttiin ymmärtää paremmin sekä kehittää työkaluja niiden hallintaan. Työssä haluttiin myös tutustua Pohjanmeren rannikkovaltioiden käytäntöihin merituulien lupamenettelyissä sekä kantaverkkoliityntöissä ja luoda näin vertailukohta Suomen menetelmien kehittämiseen.

Työn tuloksena kehitettiin Rambollin sisäinen ohjeistus ja pisteytystyökalu rantautumispaikan valintaan. Työkalujen tavoitteena on yhtenäistää ja virtaviivaistaa kaapelin rantautumispaikan valin-

taprosessia ja edelleen parantaa suunnitelmien laatua, tehostaa toimintaa ja helpottaa hankkeiden välistä vertailua. Jatkokehityshankkeissa työkaluja voidaan myös automatisoida ja tekoälyistää.

Työ on suunnattu paitsi yrityksen sisäiseen käyttöön, myös rannikon kunnille ja kaupungeille sekä maakuntaliitoille maankäytön, kaavoituksen ja päätöksenteon tueksi. Yhtä lailla uskon tuulivoimakehittäjien ja -suunnittelijoiden sekä rahoittajien hyötyvän selkeästä katsauksesta nykytilanteeseen ja lähitulevaisuuteen. Maanomistajille, asukkaille ja muille merituulivoiman vaikutusten piiriin jääville toivon työn valaisevan merikaapeliyhteyden ja edelleen kantaverkkoliitynnän suunnitteluun vaikuttavien tekijöiden suurta määrää ja toisinaan vaikeitakin valintoja ihanteellisen reitin valinnassa.

## 2 Merituulivoima

Merituulivoima tarkoittaa merialueille rakennettuja tuulivoimaloita, joiden perustukset tukeutuvat merenpohjaan, tai jotka kelluvat. Merituulen etuja maalle rakennettavaan tuulivoimaan nähden ovat merialueiden voimakkaammat ja tasaisemmat tuulet, mahdollisuus sijoittaa turbiinit kauas asutuksesta (Merituulivoima talousvyöhykkeellä 2023).

Global Wind Energy Councilin mukaan vuoden 2022 loppuun mennessä merituulivoimaa oli asennettu yhteensä 64,3 GW, josta 49 % Kiinaan, 40 % Eurooppaan ja loput 9 % USAan ja Aasiaan. Asennetun tehon ennustetaan kaksinkertaistuvan vuoden 2027 loppuun mennessä, pääpainon säilyessä edelleen Kiinassa ja Euroopassa (Global Wind Report 2023, 95–98, 104–105).

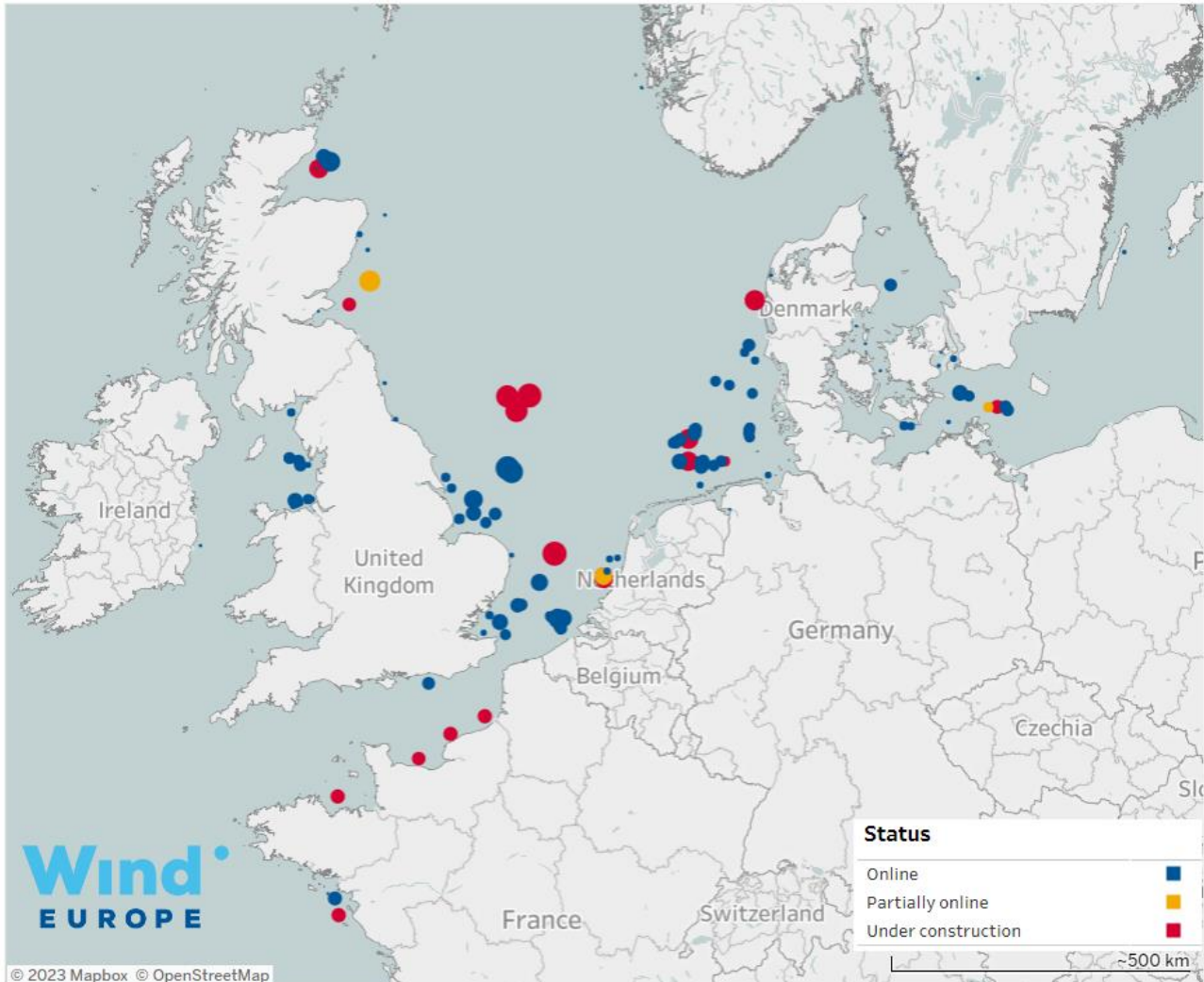
Keskeinen turbiinien tehoon vaikuttava tekijä on voimalan napakorkeus: maanpinnan kitka vaikuttaa olennaisesti tuulen nopeuteen ja pyörteisyyteen n. 300 m korkeuteen asti. Merenpinnan tasaisuuden vuoksi kitkakerros voi olla merellä vain 150 m korkea, tarjoten selvän kilpailuedun maa-alueisiin verrattuna. (Liu, B., Ma, X., Guo, J., Li, H., Ma, Y. Gong, W., 2023). Merikäyttöön tarkoitettujen tuulivoimaloiden tehot vaihtelevat välillä 8–15 MW ja napakorkeudet ovat 160–235 m (Offshore Wind Turbines, 2023; Scaling up the use of offshore wind turbines, 2023).

### 2.1 Tilanne Euroopassa 2023

Vuoden 2022 lopussa Euroopassa oli asennettua merituulivoimaa noin 26 GW, josta n. 80 % sijaitsee Pohjanmerellä. Itämeren asennettu kapasiteetti on noin 1 GW, joka sijoittuu lähes kokonaan meren eteläosaan. Biskajanlahdelle on rakenteilla 1 GW ja Välimerelle noin 100 MW (Offshore renewable energy, 2023).

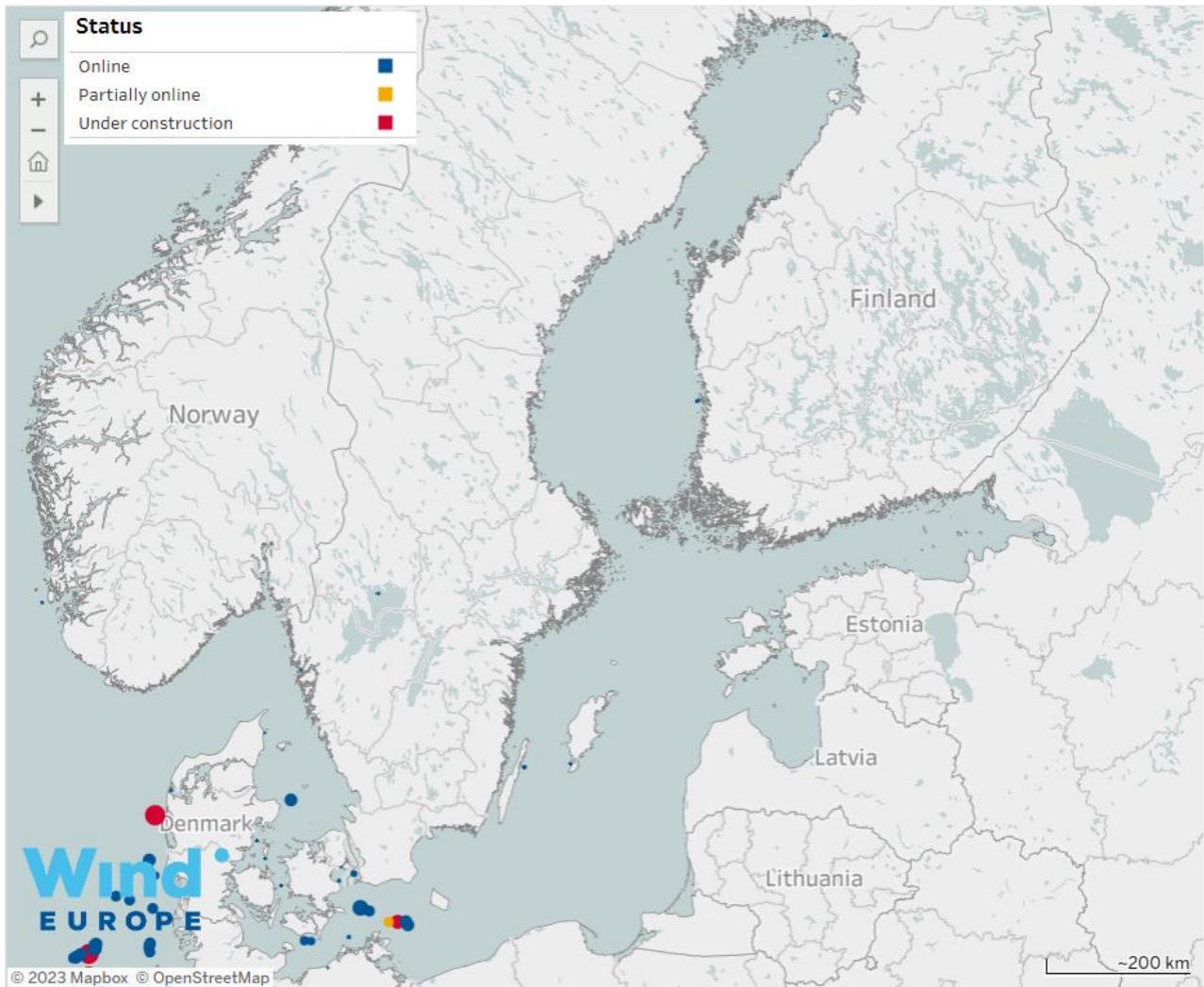
EU:n tavoitteena on asentaa 300 GW merituulivoimaa vuoteen 2050 mennessä: tavoitteen toteutuminen edellyttää noin 800 miljardin euron investointeja. (COM 2020 / 741). EU on varannut vihreän siirtymän hankkeisiin noin 150 mrd. euroa erilaisten rahoitusmekanismien kautta (EU Funding for offshore renewables, 2023).

Tanskan, Belgian, Hollannin ja Saksan hallitukset allekirjoittivat 18.5.2022 Esbjergin julkilausuman, jossa maat sitoutuvat kasvattamaan Pohjanmeren tuulivoimatuotannon 65 GW:iin vuoteen 2030 mennessä, ja 150 GW:iin vuoteen 2050 mennessä (The Esbjerg Declaration, 2022).



Kuvio 1: Merituulipuistot Pohjanmeren ja Englannin kanaalin alueella 10.8.2023.

(European Offshore Wind Farms Map 2023)



Kuvio 2: Merituulipuistot Itämeren alueella 10.8.2023

(European Offshore Wind Farms Map 2023)

## 2.2 Tilanne Suomessa

Suomessa oli toukokuussa 2023 asennettua merituulivoimaa 71 MW. Asennettu kapasiteetti sijaitsee Porin Tahkoluodon ja Kemin Ajoksen merituulipuistoissa (Tahkoluodon merituulipuisto 2023, Ajos, Kemi 2023). Suomen Tuulivoimayhdistyksen (2023) mukaan eri vaiheissa olevia hankkeita oli vireillä yhteensä 32, sisältäen yhteensä 3169 voimalaa ja 57,6 GW asennettua tehoa. Tulevista hankkeista pisimmällä on aluevesille sijoittuva Korsnäs, jonka kehittämisoikeudet myytiin huutokaupassa Vattenfallille. Hankkeessa on käynnissä ympäristövaikutusten arviointi ja puiston arvioidaan olevan käytössä aikaisintaan 2020-luvun lopussa.

Kantaverkkoyhtiö Fingridin arvion mukaan vuonna 2035 mennessä merituulivoimaa on asennettu vähimmillään 1 GW ja enintään 15 GW. Vuoteen 2045 mennessä merituulivoimaa olisi vähintään 1 GW ja enintään 32 GW (Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023, 2023, 14; Kantaverkon kehittämissuunnitelma, 2023, 19).

Merituulivoiman tavoitteet Suomessa pohjautuvat ilmastolakiin, joka määrittelee kansalliset päästövähennystavoitteet yleisellä tasolla (Ilmastolaki 423/2022). Yksityiskohtaisempia toimia määritellään kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa, joka toteaa Suomessa olevan hyvät edellytykset merituulivoiman rakentamiselle. Tavoitteena on ensimmäisten teollisen kokoluokan merituulivoimaloiden käyttöönotto vuoteen 2030 mennessä (Hiilineutraali Suomi 2035, 200–201, 2022).

Petteri Orpon hallitusohjelman tavoitteiksi on määritetty merituulivoiman kunnianhimoisen kasvattaminen: konkreettisia lukemia esim. voimaloiden määristä tai tehoista tai menettelyitä rakentamisen tueksi ei kuitenkaan ole esitetty (Vahva ja välittävä Suomi: Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023, 139–140).

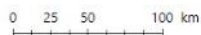
## Aluevesien mahdolliset tuulivoima-alueet

Suomen aluevedet soveltuvat hyvin merituulivoiman rakentamiseen.

- |  |   |
|--|---|
| 1. Alue: <b>noin 120 km<sup>2</sup></b><br>Siikajoki, Hailuoto | 4. Alue: <b>noin 180 km<sup>2</sup></b><br>Närpiö             |
| 2. Alue: <b>noin 220 km<sup>2</sup></b><br>Raahen, Siikajoki   | 5. Alue: <b>noin 180 km<sup>2</sup></b><br>Kristiinankaupunki |
| 3. Alue: <b>noin 160 km<sup>2</sup></b><br>Pyhäjoki, Raahen    |   |



Copyright/taustakartta: Esri Finland



Kuvio 3: Suomen aluevesien mahdolliset tuulivoima-alueet

(Aluevesien mahdolliset tuulivoimahankkeet 2023)

## 2.3 Suomen merialueet

Suomen valtio omistaa noin 2,8 miljoonaa hehtaaria merialuetta. Alueita hallinnoi Metsähallitus, joka mm. tekee käyttöoikeus- ja vuokrasopimukset eri toimintojen alueille ja toimii hankekehittäjänä viidelle valtioneuvoston hyväksymälle merituulihankkeelle (Metsähallituksen hallinnassa olevat merialueet 2023, Merituulivoimahankkeemme 2023).

Vallitsevan geopoliittisen tilanteen vuoksi tuulivoimakehittäjien mielenkiinto kohdistuu erityisesti Ahvenanmaasta pohjoiseen sijoittuville merialueille, joiden olosuhteet poikkeavat merkittävästi eteläisen Itämeren tai Pohjanmeren olosuhteista erityisesti merenpohjan, rannikon muodon ja jääolosuhteiden osalta. Suomenlahden ja Saaristomeren olosuhteet ovat verrattavissa edellä mainittuihin pohjoisiin merialueisiin. Ruotsin ja Suomen rannikoiden erityispiirre on myös runsas kesäasutus, joka asettaa omat maankäytölliset ja sosiaaliset rajoitteensa.

### 2.3.1 Aluevedet

Merialueen vyöhykkeet ja hallinnointi jaetaan sisäisiin ja ulkoisiin aluevesiin (aluemereen) sekä talousvyöhykkeeseen (EEZ, exclusive economical zone). Sisäiset aluevedet ulottuvat merialueen uloimpien maastonkohtien kuten saarten tai luotojen muodostamalta viivalta mantereen rantaan. Ne ovat pääosin yksityisomistuksessa ja osakaskuntien hallinnassa.

Ulkoiset aluevedet eli aluemerit sijoittuu talousvyöhykkeen ja sisäisten aluevesien väliin. Ne ulottuvat 12 merimailin etäisyydelle sisäisten aluevesien ulkorajan perusviivasta ja ovat suurilta osin Metsähallituksen hallinnassa (Merituulivoima talousvyöhykkeellä 2023).

Aluevedet kuuluvat hallinnollisesti kyseisen mantereella sijaitsevan kunnan tai kaupungin alueeseen, jolloin kaavoituksesta ja lupien myöntämisestä vastaa kyseinen kunta (L463/1956 Suomen aluevesien rajoista; Kuntalaki 410/2015). Aluevesien läpi kulkevan kaapelin sijoittaminen edellyttää Puolustusvoimien pääesikunnan myöntämää tutkimus- ja kartoittamislupaa (Aluevalvontalaki 755/2000, 12§).

### 2.3.2 Talousvyöhyke (Exclusive economical zone, EEZ)

Ulkoisten aluevesien ulkopuolella sijaitseva talousvyöhyke käsittää Suomen aluemereen välittömästi liittyvän merialueen, jonka ulkoraja määräytyy kansainvälisten sopimusten mukaisesti ja jonka ulkorajan sijainti osoitetaan valtioneuvoston asetuksella. (Metsähallituksen hallinnassa olevat vesialueet 2023)

Talousvyöhykkeellä sovelletaan lakia Suomen talousvyöhykkeestä (1058/2004), joka poikkeaa osin muusta lainsäädännöstä Suomen valtion omistamilla vesi- ja maa-alueilla. Myös tuulivoiman luvitusprosessi on erilainen kuin mantereella: talousvyöhykettä ei kaavoiteta eikä rakentaminen vaadi rakennuslupaa. Niiden sijaan hanke tarvitsee valtioneuvoston suostumuksen tutkimiseen ja rakentamiseen. Puolustusministeriö ottaa kantaa hankkeen hyväksyttävyyteen haettaessa alueen tutkimus- ja hyödyntämislupia. Muiden vesialueille sijoittuvien puistojen tapaan rakentaminen vaatii myös vesiluvan (Merituulivoima talousvyöhykkeellä 2023).

Petteri Orpon hallitus on käynnistänyt Työ- ja elinkeinoministeriössä lakivalmistelun merituulivoimasta talousvyöhykkeellä: lain tarkoitus on mm. selkiyttää talousvyöhykkeellä tarvittavaa luvitusta ja varmistaa maan kokonaisuus merituulivoiman kehityksessä (TEM033:00/2023). Lainsäädäntötyöhön liittyen valtioneuvosto teki toukokuun 2024 alussa kielteisen päätöksen 16:sta talousvyöhykkeen merituulivoimaa koskevaan hyödyntämishakemukseen. Päätös ei estä merituulivoiman kehittämistä, mutta hankkeista halutaan päättää vasta kun talousvyöhykettä koskeva lainsäädäntö ja kaikille toimijoille yhteiset, selkeät pelisäännöt ovat valmistuneet (Talousvyöhykkeen tuulivoimasääntelyä täsmennetään, 2024).

## 3 Tutkimuskysymykset ja -menetelmät

Tiedonhankinnan menetelmiksi valikoituivat kirjallisuuskatsaus, jossa korostuivat virallislähteet ja alan yritysten julkaisut, sekä asiantuntijahaastattelut. Käytännön kenttätöitä tehtiin helmikuussa 2024 kiertämällä erään esiselvitysvaiheessa olevan hankkeen mahdollisia kaapelin rantautumispaikkoja.



### 3.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymysten määrittely tulisi tehdä ennen varsinaista tiedonkeruuta. Hirsjärvi, Remes ja Sajavaara toteavat itse ongelman ratkaisemisen olevan kuitenkin usein helpompaa kuin tutkimuskysymysten ja -ongelman asettamisen. Kysymykset olisikin löydettävä työn tavoitteista (2007, 121–122).

Tutkimuskysymykset muodostuivat Ramboll Finlandissa käynnissä olevissa merituulihankkeissa havaittujen seikkojen ja ongelmien pohjalta. Työssä haluttiin selkeyttää ja yhdenmukaistaa merikaapelireitin, kaapelin rantautumispaikan ja voimajohtoliitynnän suunnittelukäytäntöjä ja parantaa näin suunnitelmien laatua ja tehostaa työskentelyä. Tämän perusteella tutkimuskysymyksiksi muodostuivat:

1. Mitkä tekijät vaikuttavat merituulipuiston kantaverkkoliitännään?
2. Miten valitaan ja optimoidaan liityntäkaapelin rantautumispaikka?

Kysymysten avulla pyrittiin tuottamaan selkeä ymmärrys kantaverkkoliityntäprosessin haasteista ja tuottamaan konkreettisia ratkaisuja kehitystyöhön.

### 3.2 Tapaustutkimus eli case study

Case studylla eli tapaustutkimuksella paneudutaan syvällisesti ja yksityiskohtaisesti tutkittavaan tapaukseen oikeassa ympäristössä ja tilanteessa, jolloin myös saavutetaan kokonaisvaltaisempi ymmärrys tarvittavista kehittämistoimista. Tutkittavia kohteita on tyypillisesti vain yksi, joka valitaan käytännön elämästä nousevan tarpeen ja kehitystyön pyrkimysten mukaan (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 51–54).

Toimeksiantajalla on käynnissä useita esiselvitys- ja suunnitteluvaiheessa olevia merituulihankkeita, joista valikoitiin kaksi tukemaan tätä työtä. Hankkeet ovat luonteeltaan samankaltaisia ja kohdistuvat samoihin alueisiin, joten tulokset on varsin helppo yleistää koskemaan kaikkia pohjoisen Itämeren merituulihankkeita.

### 3.2.1 Haastattelu

Haastattelut ovat olennainen tiedonkeruumenetelmä tutkimus- ja kehittämistöissä, mahdollistaen nopean syvällisen tiedon hankinnan kohteesta. Erityisesti vähän tutkituissa kohteissa haastattelut avaavat mahdollisuuden uusien näkökulmien löytämiseen (Ojasalo ym. 2014, 106). Tapaustutkimuksen tiedonkeruumenetelmänä haastattelut tarjoavat asiantuntijalle tilaisuuden tutkittavan ilmiön syvällisempään kuvaukseen ja selittämiseen. Samalla ne voivat tukea havainnointia antamalla lisätietoa tilanteen juurisyyistä (Hirsjärvi ym. 2007, 198–200; Ojasalo ym. 2014, 54–56).

Haastattelut toimivat myös tukena havainnoinnille. Asiantuntijahaastattelut tukevat havainnointia, kun taas keskustelut suorittavien työntekijöiden kanssa täydentävät havainnoita. Haastatteluissa käytetään joustavuutensa ansiosta puolistrukturoitua tai syvähaastattelua.

Puolistrukturoitu, eli teemahaastattelu on laadullisen tutkimusmenetelmän tiedonkeruutapa, jossa poimitaan tutkimusongelman keskeiset teemat sekä alueet, joihin haastattelu tukeutuu. Kysymykset tehdään ennakkoon, mutta niiden järjestystä voidaan muuttaa tarpeen mukaan. (Ojasalo ym. 2014, 107–109; Vilka 2005, 100–104). Teemahaastattelun onnistumisen ratkaisee tutkijan taito ohjata haastattelua sekä tuntemus tutkittavasta ilmiöstä. Parhaimmillaan haastattelu on keskustelutilanne, jossa haastateltava kertoo aiheesta vapaasti.

Syvähaastattelu keskittyy luottamukselliseen vuorovaikutukseen pyrkien lisäämään syvällistä ymmärrystä tutkittavasta aiheesta. Teemalista laaditaan etukäteen ja tarvittaessa haastatteluun nostetaan uusia teemoja. Syvähaastattelu ei ole laadullisen tutkimuksen synonyymi, vaikka se onkin yksi laadullisen tutkimusmenetelmän aineistonkeruumenetelmistä (Ojasalo ym. 2014, 107–110; Vilka 2005, 100).

Analysoitaessa kerättyä haastatteluaineistoa pyritään löytämään yhteyksiä sovellettuun teoriaan ja lopuksi palataan tarkastelemaan muodostunutta kokonaiskuvaa. Vaikka haastattelujen laajuus ja kappalemäärä vaikuttavat kerätyn aineiston käsittelyyn, ei tässäkään määrä korvaa laatua. Mitä avoimempi haastattelu tehdään, sen enemmän aineistoa tulee käsitellä laadullisen tutkimuksen menetelmillä (Ojasalo ym. 2014, 108–112).

Merituulipuistoihin liittyvä akateeminen tutkimus keskittyy yleensä tiettyyn pieneen osa-alueeseen kuten geotekniikkaan tai tuulidataan. Yksityiskohtaisen tiedon kokoamisessa yleiskuvaksi asiantuntijoiden haastattelut ja henkilökohtaiset tiedonannot ovatkin tärkeässä roolissa.

Haastatteluita tehtiin yhteensä 7 kappaletta, joista 4 Rambollin asiantuntijoille, 2 Pohjois-Pohjanmaan ja Satakunnan maakuntaliitoille ja yksi kantaverkkoyhtiö Fingridille. Eturistiriitojen välttämiseksi merituulihankekehittäjiltä ei pyydetty haastatteluita. Metsähallitus ei vastannut haastattelupyyntöön. Lähes valmis työ lähetettiin luettavaksi ja kommentoitavaksi haastatelluille henkilöille.

### 3.2.2 Kirjallisuuskatsaus

Tärkeimpinä hakukoneina olivat Janet Finna ja Rambollin käytössä oleva EBSCO Host. Kotimaisten korkeakoulujen julkaisuita haettiin järjestelmällisesti Aaltodocista, LUTPUBista, Osovasta, Theseuksesta ja Trepostista. Ulkomaisista lähteistä tärkeäksi osoittautuivat World Maritime Universityn ja Chalmers Tekniska Högskolanin julkaisuarkistot. Johtuen Euroopan hallitsevasta asemasta tuulivoimakkehityksessä, lähteiksi valikoitui pääosin eurooppalaisia lähteitä.

Lähteiden luotettavuuden arviointi oli suhteellisen helppoa. Virallislähteet ovat määrääviä ja lähtökohtaisesti luotettavia sellaisenaan, samoin kuin vertaisarvioitujen akateemisten aikakauslehtien artikkelit. Myös puhtaasti teknistä informaatiota sisältävät valmistajien white paperit arvioitiin yleisesti ottaen luotettaviksi. Opinnäytteet ja pro gradut tarjosivat hyvän synteesin aiheesta ja ohjasivat lähdeluetteloillaan alkuperäislähteiden pariin. Yleisten aikakausi- ja sanomalehtien julkaisuita käytettiin muodostamaan kuvaa merituuleen kohdistuvasta yleisestä ilmapiiristä.

Epäluotettaviksi lähteiksi arvioitiin mm. tiettyjen fossiilisten polttoaineiden eturyhmien julkaisut. Erityisesti USA:ssa vastakkainasettelu uusiutuvan ja fossiilisen energian välillä on huomattavan voimakasta ja ”argumentit” pystyy ampumaan alas suomalaisella peruskoulufysiikalla. Toisaalta myös tuuli- ja vetytalouden kannattajilla nousee esiin yltiöoptimistisen epärealistisia ajatuksia, jotka olisi parempi jättää kirjoituspöydälle eikä möläyttää julkisuuteen. Myös sosiaalisen median ja blogien sisältö voi olla mitä tahansa eikä niitä käytetty lähteinä.

### 3.2.3 Tutkimuksen eettisyys

Tutkimus tehtiin työelämälähtöisesti ja itsenäisesti energiatekniikan koulutusohjelman puitteissa. Valittu aihe oli ajankohtainen kohdeorganisaatiossa ja siihen oli mahdollisuus paneutua perusteellisesti. Tutkimuseettisiä ohjeita ja hyvän tieteellisen käytännön periaatteita tarkasteltiin erityisesti liittyen opinnäytetyön luottamuksellisuuteen ja mahdollisiin yrityssalaisuuksiin. Tutkimus ei sisältänyt EU:n yleisen tietosuoja-asetuksen (2016/679) eli GDPR:n alaisten henkilötietojen käsittelyä eikä vaatinut lupia tai sopimuksia kohdeorganisaation kanssa. Tutkimuksen tekijä oli kytköksissä kohdeorganisaatioon työntekijänä, mutta tämä ei vaarantanut tutkimuksen neutraaliutta tai raportoinnin puolueettomuutta. Tutkimuksessa noudatettiin tieteellisesti päteviä ja eettisesti kestäviä tiedonkeruumenetelmiä, ja erityistä huomiota kiinnitettiin tietojen tarkkuuteen. Opinnäytetyö toimi oppimisprosessina, joka edisti opiskelijan asiantuntemusta ja ammatillista osaamista valitulla asiantuntijuuden ja tutkimuskohteen osa-alueella. Ohjaaja osallistui aktiivisesti tutkimuksen eri vaiheisiin. Tutkimuksen sisältö tarkastettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulussa tietojen luvattoman käytön estämiseksi

## 4 Kantaverkkoliityntä

Sähkömarkkinalain 588/2013 20 § ja 21 § mukaan sähköverkon haltijan tulee kohtuullista korvausta vastaan liittää toiminta-alueellaan olevat tai sille rakennettavat sähkönkäyttö- ja tuotantopaikat verkkoonsa ja tarjota sähköverkkopalveluita avoimesti ja tasapuolisesti (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 20 ja 21 §). Liittämisehtojen ja teknisten vaatimusten on oltava avoimia ja tasapuolisia, liittamisestä saa periä kohtuullisen korvauksen ja liittämisen tulee tapahtua 24 kk kuluessa liittämispöytäkirjan tekemisestä, jos se on teknisesti kohtuullisesti mahdollista.

23.3.2023 voimaan on astunut sähkömarkkinalain muutos 20 a §, joka toisaalta estää verkonhaltijaa vetoamasta voimalaitoksen liittymistilanteessa verkon riittämättömään siirtokapasiteettiin nyt tai tulevaisuudessa, ja toisaalta antaa verkonhaltijalle mahdollisuuden asettaa yleisestä käytännöstä poikkeavia ehtoja, joilla varmistetaan liittymän rakentaminen ajallaan sekä verkon käyttövarmuus (L 588/2013, 20 a §). Muutoksella on haluttu helpottaa energiajärjestelmän siirtymää kohti uusiutuvia lähteitä. Lisäksi Työ- ja elinkeinoministeriö on asettanut 5.4.2024 työryhmän laatimaan esityksen sähkömarkkinalain uudistamiseksi. Uudistuksessa tarkastellaan uusiksi kanta- ja

jakeluverkkoon liittymisen vastuita, toimijoiden kehittämisvelvollisuuksia sekä sähköverkkolupasääntelyä. Esiityksen tulisi olla valmis marraskuun 2024 loppuun mennessä (Sähkömarkkinalakia uudistava työryhmä helpottamaan sähköntuottajien ja teollisuuden investointien verkkoliityntöjä, 2024).

#### **4.1 Suomen kantaverkko**

Sähkömarkkinalain 13 § määrittelee kantaverkoksi nimellisjännitteeltään vähintään 110 kV siirto- johdoista, sähköasemista ja muista laitteistoista muodostuvan yhtenäisen, valtakunnallisen sähkön siirtoverkon, sekä kantaverkonhaltijan hallinnassa olevat vähintään 110 kV rajayhdysjohdot (L 588/2013). Luonteeltaan kantaverkkotoiminta on luonnollinen, valtiovallan valvoma monopoli. Ahvenanmaata lukuun ottamatta Suomen kantaverkko-operaattorina toimii Fingrid Oyj, jonka pääomistajia ovat Suomen valtio, Huoltovarmuuskeskus ja Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen yhteenseläsketulla 88 % ääniosuudella (Osakkeet ja osakkeenomistajat, 2023).

Fingrid kuuluu eurooppalaisten kantaverkko-operaattoreiden ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) -yhteistyöryhmittymään. ENTSO määrittelee tehtäväkseen taata Euroopan laajuisen sähköverkon turvallisuus sekä sähkömarkkinoiden toimivuus kaikissa olosuhteissa (ENTSO-E Mission statement, N.d.). Sähkömarkkinoiden osalta Suomi kuuluu yhteispohjoismaiseen sähkömarkkina-alueeseen yhdessä Ruotsin, Tanskan ja Norjan kanssa. Alue on jaettu yhteensä 12 hinta-alueeseen, joista 1 on Suomessa, 4 Ruotsissa, 5 Norjassa ja 2 Tanskassa.

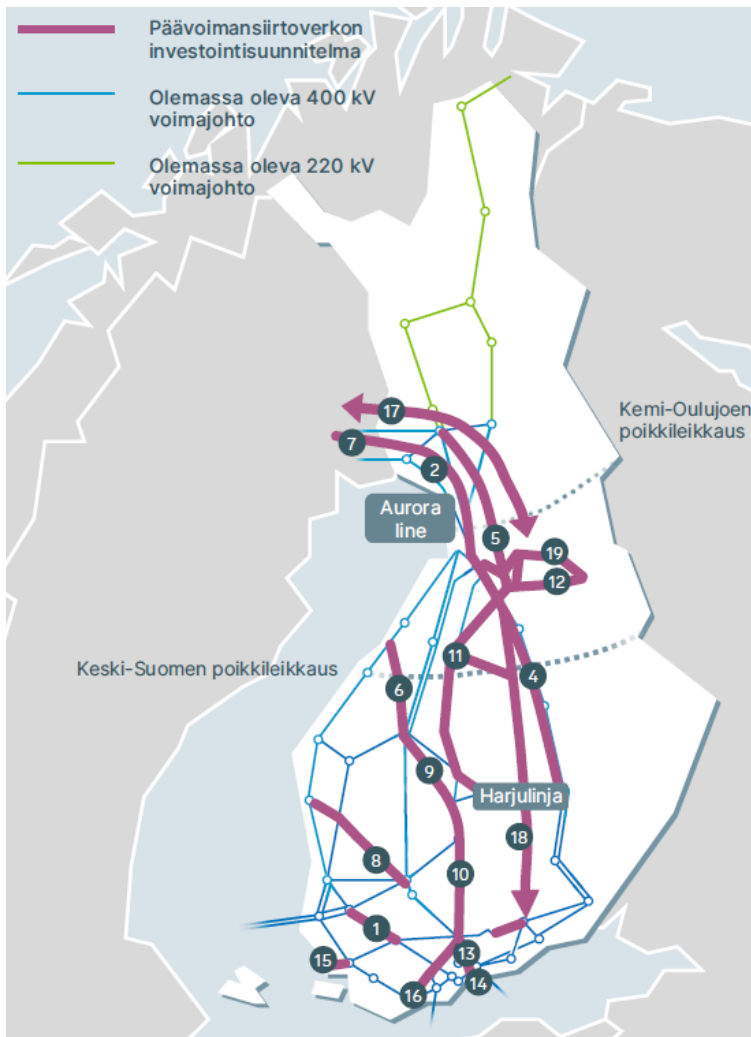
Kantaverkon neljä pääsiirtolinjaa kulkevat pohjois-eteläsuunnassa suuren tuotannon ja pienen kulutuksen Pohjois-Suomesta kohti tiheimmin asuttua etelää, jossa kulutetaan noin 2/3 kaikesta sähköstä. Rakenne juontaa juurensa 1950-luvulta, jolloin pohjoisen suuret joet valjastettiin sähköntuotantoon. Tilanne pysyi melko stabiilina aina 2010-luvulle asti, jolloin uusiutuvan energiantuotannon voimakas lisääntyminen johti kahden uuden etelä-pohjoissuuntaisen pääyhteyden rakentamiseen (Kantaverkon historia ja laajeneminen, 2023; Pääsiirtolinjat ja poikkileikkaukset, 2023). Kuviossa 4 esitetään kaikki alkuvuonna 2024 vireillä olleet sähkön tuotantohankkeet. Suurin osa sijoittuu Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalle lisäten epäsuhtaa pohjoisen tuotannon ja etelän kulutuksen välillä.



Kuvio 4: Suunnitellut sähkötuotantohankkeet Suomessa

(Verkkokiikari 2024)

Suunniteltu merituulivoimatuotanto keskittyy Suomessa Ahvenanmaan pohjoispuolisille merialueille voimistaen entisestään epäsuhtaa tuotannon ja kulutuksen välillä. Fingridin arvion mukaan pohjois-eteläsuuntaisten voimalinjojen määrä kasvava 5:stä 11:sta vuoteen 2033 mennessä. Rahallisten investointien arvioidaan olevan yhteensä n. 4 miljardia euroa: hyvä vertailukohta saadaan vuosien 2013–2022 investoinneista, jotka olivat noin 1,5 miljardia euroa (Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024–2033, 2023, 16–22, 66, 68). Investoinneista 30 % tullaan sijoittamaan uudelle johtokadulle, 30 % nykyisen johdon rinnalle ja 40 % samalle johtokadulle vanhan kanssa. Tämä tarkoittaa noin 2000 km uuden johtokadun raivaamista, joka vastaa noin 6500 ha metsäpinta-alan katoamista (Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024–2033, 68).



Kuvio 5: Kantaverkon kehittämiskohteet 2024–2033

(Kantaverkon kehittämissuunnitelma, 2023, 18)

Edellä mainitut investoinnit eivät ota huomioon merituulivoiman lisääntymistä ja siitä aiheutuvia kantaverkon vahvistuksia. Fingridin Merellä tuulee-skenaarion toteutuminen täysimääräisenä edellyttäisi investointisuunnitelman lisäksi noin 1500 km uutta 400 kV voimajohtoa ja lisäksi merituulipuistojen liityntäjohtot.

## 4.2 Ruotsin kantaverkko

Vertailukohtana Ruotsin kantaverkon rakenne, nykytilanne ja tulevaisuus ovat hyvin samankaltaiset kuin Suomessa: mm. tuotannon ja kulutuksen epäsuhta etelän ja pohjoisen välillä sekä runsaat verkon vahvistustarpeet. Vuosina 2024–2033 Svenska Kraftnät tulee rakennuttamaan uusia voimajohtoja n. 1500 km ja saneeraamaan vanhoja n. 2500 km. Verkkoinvestointien arvioidaan olevan

1–2 mrd. euroa vuodessa eli Suomeakin suuremmat. Tärkeimpänä saneerauskohteena on sähkömarkkina-alueiden 2 ja 3 välinen NordSyd-yhteys. Merituulen liityntäkyselyitä on sisällä 117 GW, joista noin puolet on Itämeren eteläosiin loppujen jakautuessa tasaisesti Itämeren pohjoisosiin ja Kattegatiin (Grid development plan, 2023).

Suomesta poiketen Ruotsi on jaettu neljään sähkömarkkina-alueeseen SE1-4. Sähkön tukkuhinta on edullisin Pohjois-Ruotsissa (SE1) ja kalleinta etelässä (SE4). Ruotsin kantaverkkoyhtiö Svenska Kraftnät pyrkii lisäämään menettelyllä investointeja sähköntuotantoon alueilla, joilla hinta on korkein (Så fungerar elprisområden, 2023).

### 4.3 Liitynnän tekniset vaatimukset

Sähkön kulutus- ja tuotantokohteiden liityntätavat kantaverkkoon määritetään Fingridin Yleisissä liittymisehdoissa YLE2021. Tuotantokohteiden liittymistapaan vaikuttaa ensisijaisesti liitettävä teho: oletusarvoinen liityntätapa on kytkinlaitoksen katkaisijakenttä mutta myös taulukossa 1 esitetyt muut kytkentätavat ovat mahdollisia. Suurin sallittu liitettävä teho yhteen liityntäpisteeseen eli ns. mitoittava vika on 1300 MW: rajauksella varmistetaan kantaverkon stabiilius suuren tuotannon kytkeytyessä äkillisesti irti. Tätä suuremmat liittymistehot tulee jakaa kahteen tai useampaan liityntäpisteeseen (Yleiset liittymisehdot YLE2021, 2021, 6–11). Käytännössä merituulipuistot liitetäänkin aina kantaverkon 400 kV kytkinlaitokseen.

Taulukko 1. Voimalaitosten liityntätavat Suomen kantaverkossa

Teho (MW)	Voimalaitoksen tyyppi	Liityntätapa	Jännitetaso (kV)
< 5	Tahtikone	Kytkinlaitos tai johdonvarsi	110
≤ 63	Suuntaajakytketty	Kytkinlaitos tai johdonvarsi	110
< 250	Kaikki	Kytkinlaitos	110
> 250...1300	Kaikki	Kytkinlaitos	400



Fingridin yleisten liittymisehtojen mukaan suurjännitteisen liittynnän on oltava valmis 36 kk kuluessa liittymissopimuksen allekirjoittamisesta. Kuitenkin 400 kV liittynnällä tehtävistä kohteista voidaan laatia aiesopimus hankkeen YVA-ohjelman julkaisun jälkeen. Hankkeen edettyä laaditaan hankesopimus, jolla Fingrid rakentaa hankkeen vaatiman uuden sähköaseman ja liittymismaksu lankeaa asiakkaan maksettavaksi.

Taatakseen kantaverkon luotettavan toiminnan kaikissa tilanteissa Fingrid on käynnistänyt projektin, jossa määritettiin Suomen länsirannikolle kuusi merituulivoiman liityntäpistettä Raisioon, Ulvilaan, Närpiöön, Vaasaan, Raaheen ja Inkooseen. Liittymispisteet ovat vain sähköteknisin perustein määritetyjä paikkoja, eikä niissä ole huomioitu esim. aluekehitystä. Paikkojen sijaintia tarkennetaan kesän 2024 aikana sidosryhmiltä saadun palautteen perusteella (Ihamäki 2024; Merituulivoiman alustavat liityntämahdollisuudet Fingridin kantaverkkoon 2030-luvulla, 2024).

Sähköverkko mitoitetaan aina siinä esiintyvän suurimman hetkellisen tehon mukaan. Tuulivoiman tuotanto ja hetkelliset tehot vaihtelevat voimakkaasti, ja tämä yhdistettynä tuotannon ja kulutuksen voimakkaaseen alueelliseen epäsuhtaan voi johtaa tarpeettoman järeän verkon rakentamiseen. FG:n näkemyksen mukaan kantaverkkoa ei voikaan vahvistaa loputtomasti. mm. taloudellisista ja maankäytöllisistä syistä, vaan verkon käyttöä tulee tehostaa ja tuotantoa sekä kulutusta ohjata samoille alueille (Ihamäki 2024). Verkkoa voidaan myös vahvistaa esim. rakentamalla sähköasemille rinnakkaiskondensaattoreita kompensoimaan verkon loistehoa.

#### **4.4 Luvitus**

Voimajohdon rakentaminen ei vaadi maankäyttö- ja rakennuslain mukaista rakennuslupaa. Sen sijaan hankkeelle tulee hakea Energiaviraston hankelupa. Lisäksi liittynnän mahdollistavan yhteyden suunnitteluun ja rakentamiseen on haettava tiettyjä lupia, jotka esitellään seuraavissa luvuissa. Luvituksesta johtuen kokonaan uuden voimajohdon rakentaminen kestää Suomessa 5–7 vuotta. Ruotsissa kesto on ollut pahimmillaan 15 vuotta, jonka Svenska Kraftnät pyrkii puolittamaan (Grid development plan, 20, 2023).

#### **4.4.1 Hankelupa**

Suomessa Energiavirasto valvoo 110 kV ja korkeampien jännitetasojen sähköjohtojen rakentamista. Hakemuksesta virasto voi myöntää hankeluvan johdon rakentamiselle, jos se on tarpeellista sähkön siirron turvaamiseksi. Hankelupahakemuksen liitteeksi tarvitaan voimajohdon yleissuunnitelma, lausunto verkonhaltijalta jonka verkkoon johto on tarkoitus liittää, lausunto vastualueen jakeluverkonhaltijalta sekä selvitys johdon ympäristövaikutuksista ja soveltuvuudesta alueen maankäyttöön. Hankelupa on voimassa viisi vuotta ja se on siirtokelpoinen, eli se voidaan siirtää toiselle taholle esim. hankkeen myynnin yhteydessä (Ohje suurjännitejohdon hankeluvan hakemiseen, 2023).

#### **4.4.2 Ympäristövaikutusten arviointi (YVA)**

Ympäristövaikutusten arviointi eli YVA-menettely perustuu lakiin ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (252/2017) sekä valtioneuvoston asetukseen ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (VNa 277/2017). Menettelyllä pyritään estämään tai vähentämään hankkeiden ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Lain liitteen 1 kohta 8 c edellyttää YVAa maanpäällisiltä voimajohtohankkeilta, joiden nimellijännite on vähintään 220 kV ja pituus vähintään 15 km (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017). Muissa tapauksissa YVA on tarveharkintaan perustuva, ELY tekee erillispäätöksen hankkeesta annetun selvityksen pohjalta.

#### **4.4.3 Lunastus- ja tutkimuslupa**

Voimajohtohankkeiden maantieteellisestä koosta johtuen maankäytölliset asiat ratkaistaan pääsääntöisesti käyttöoikeuden lunastuksella, josta säädetään lunastuslaissa 603/1977 (Laki kiinteän omaisuuden ja erityisten oikeuksien lunastuksesta 603/1977). Hyvin lyhyissä ja vain muutamia maanomistajia koskevissa hankkeissa voidaan myös soveltaa maan vuokraamista tai vapaaehtoisia maakauppoja.

Voimajohdon rakentamiseen vaadittavan lunastusluvan myöntää valtioneuvosto yleisistunnonaan. Jos lunastuslupaa ei vastusteta tai kysymys on vähemmän tärkeästä yleisen tai yksityisen edun lunastuksesta, lupahakemus käsitellään Maanmittauslaitoksessa (L 603/1977, 5 §). Ennen lunastustoimitusta on asianosaisille annettava mahdollisuus lausua mielipiteensä hankkeesta.

Tyypillisesti lunastuslupaa haettaessa haetaan ennakkohaltuunottolupaa, joka mahdollistaa töiden aloittamisen ennen varsinaisen lunastustoimituksen valmistumista. Yleensä on tarpeen hakea Maanmittauslaitokselta myös tutkimuslupa esim. voimajohtopylväiden pohjatutkimuksia varten. Tutkimukset tulee suorittaa aiheuttamatta ympäristölle tarpeetonta haittaa (L 603/1977, 58–60 §, 84–86 §).

#### **4.4.4 Risteämäluvat ja -lausunnot**

Risteämäluvilla ja -lausunnoilla tarkoitetaan toisen johdonomistajan myöntämää lupaa tai rakennustöissä sovellettavia ohjeita johtoristeämän toteuttamiseen. Risteämäluvat ja -lausunnot perustuvat johdonomistajan lakisääteisiin velvollisuuksiin.

#### **4.4.5 Liikenneväylät**

Tieliikenneväylien risteämälausunnoista ja sijoitusluvista vastaavat yleisten teiden osalta ELY-keskukset ja yksityisteiden osalta tiekunnat tai maanomistajat. Peruseriaatteena sijoituslupa tulee hakea aina, kun maakaapeli tai ilmajohto sijoitetaan tiealueelle. Yksityiskohtaiset tiedot menettelyistä kuvataan Liikenneviraston (nyk. Väylä) ohjeessa 3/2018 Sähkö- ja telejohdot ja maantiet (Sijoituslupa sähkö, tele, kaukolämpö ja maakaasu, 2024). Yksityisteiden osalta sijoittamisesta sovi-  
taan tiekunnan tai maanomistajien kanssa.

Rautatiealueelle sijoitettavista rakennelmista ja laitteista on sovittava kirjallisesti Väyläviraston kanssa. Sopimus voidaan tehdä, jos käyttöoikeuden myöntämisestä tai toimenpiteestä ei aiheudu vaaraa liikenteelle eikä merkittävää haittaa radanpidolle, ja mikäli työn tai laitteiston sijoittaminen ei ole mahdollista tyydyttävästi ja kohtuullisin kustannuksin muulla tavoin. Johdon, rakennelman tai laitteen sijoittaja ja käyttöoikeuden saaja vastaa tällöin sijoitettujen laitteiden rakentamisesta ja kunnossapidosta, ja on myös velvollinen kustannuksellaan tekemään Väyläviraston vaatimat muutokset tai siirtämään taikka poistamaan laitteen, jos sen käyttämisestä aiheutuu ennakoimattomia vaaroja liikenteelle tai merkittävää haittaa radanpidolle (Ratalaki 36 §).

Sijoitustyön luonteesta riippuen tietyt vaiheet saattavat edellyttää sähköradan ajolankojen jännitteettömäksi tekemistä tai rautatieliikenteen keskeyttämistä. Katkojen mahdollisuus on selvitettävä

suunnitteluvaiheessa, ja niiden ajoitus ja kesto on sovittava hyvissä ajoin. Kokemusperäisesti voidaan todeta sähkö- ja liikennekatkojen saamisen olevan varsin hidas prosessi erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä rataosuuksilla: maakaapelin poraus radan ali on huomattavasti helpompi ja nopeampi vaihtoehto.

Rautatiealueelle sijoitettavien rakennelmien, laitteiden ja johtojen sijoittamisessa on noudatettava Väyläviraston antamia ohjeita, erityisesti Radanpidon turvallisuusohjeita (TURO) ja tarvittaessa muita rakennustyöhön liittyviä ohjeita.

#### **4.4.6 Muut johdot**

Muiden johtojen kanssa tapahtuviin risteämiin haetaan lausunnot ja luvat kyseisen johdon omistajalta. Erityisesti kaivettaessa maakaapelia kaupunkimaisilla alueilla on tärkeää selvittää kaikkien johtojen omistajat kalliiden vaurioiden välttämiseksi.

Sähköjohtojen osalta maa jakautuu kantaverkkoon ja jakeluverkkoon. Kantaverkon lausunnot antaa Fingrid ja jakeluverkkojen kyseisen vastuualueen jakeluverkonhaltija. Joissakin tapauksissa voi olla myös yksityisiä, esim. teollisuuslaitosten tai tuulipuistojen liityntäjohtoja, joiden lausunnot antaa kyseisen johdon omistaja. Johtoihin kuuluu sekä ilmajohtoja että maakaapeleita jännitetasoissa 0,4–400 kV. Teleoperaattoreiden johdot kulkevat valtaosaltaan maakaapeleina. Sekä sähkön että telen sijaintitiedot ovat hyvin saatavilla kaupallisista sijaintitietopalveluista.

Vesijohdot omistaa paikallinen vesilaitos tai vesiosuuskunta. Kokemusperäisesti voidaan arvioida vesilaitosten yhteystietojen olevan hyvin saatavilla ja verkostojen pääsääntöisesti hyvin kartoitettuja. Haja-asutusalueiden vesiosuuskunnissa on puolestaan suuria eroja niin tavoitettavuuden kuin johtojen sijaintitietojen suhteen: asioiden selvittäminen voi viedä suunnittelijalta huomattavasti aikaa ja vaatia maastokäyntiä pelkästään yhteystietojen saamiseksi.

Kaasuputket omistaa joko paikallinen kaasunjakeluyhtiö tai maakaasun runkoverkkoa hallinnoiva Gasgrid Finland Oy. Kaukolämpöjohdot omistaa paikallinen kaukolämpöyhtiö.

#### 4.4.7 Vesistöihin liittyvät luvat

Voimajohdon alittaessa vesistön tulee johdolle hakea vaihtoehtoisesti vesilain mukainen vesilupa, tai johto voidaan sijoittaa vesialueelle suoraan lain nojalla. Luvan tarve määräytyy hankkeen vaikutusten mukaan: jos hankkeen vaikutukset ympäristölle ovat pieniä, esim. suuntaporausta käytettäessä, ei lupaa tarvitse hakea. Kuitenkin kaapelin sijoittaminen yleiseen kulkuväylään tai uittoväylään edellyttää aina vesilupaa (L 587/2011, 2. luku 3 §).

Hankkeesta on ilmoitettava vesialueen omistajalle sekä vesilain valvontaviranomaiselle (Aluehallintovirasto) 60 vuorokautta ennen aiottua aloittamisajankohtaa.

Vesiväylien risteämäläusuntotarvetta arvioidaan väylän purjehdus- ja kulkukelpoisuuden mukaan. Voimajohdon ylittäessä yleisen vesikulkuväylän tulee risteämäläusunto hakea väylän omistajalta: valtion hallinnoimien väylien lausunnoista huolehtii Väylävirasto. Yleisten väylien ulkopuolisilla purjehduskelpoisilla vesillä risteämäläusunto haetaan Traficomilta (Liikenne- ja viestintäviraston toiminta viranomaisasioissa, 2021).

### 4.5 Liittymisprosessi

Kantaverkkoliityntä suunnitellaan aina Fingridin ja liittyjän yhteistyönä. Valmista liityntäpistettä ei välttämättä ole, vaan se joudutaan rakentamaan kokonaan uutena tai laajentamaan olemassa olevaa sähköasemaa. Liitynnästä Fingrid veloittaa liittymismaksun, jolla katetaan verkon laajennus- ja vahvistuskustannukset. Jos liityntää varten joudutaan rakentamaan uusi sähköasema, veloittaa Fingrid asiakkaalta liittymismaksun jokaisesta rakennettavasta katkaisijakentästä. Jos samaan asemaan tulee muita liityntöjä rakentamista seuraavan 10 vuoden aikana, hyvittää Fingrid ensimmäiselle asiakkaalle alkuperäisen liittymismaksun vähennettynä ensimmäisen asiakkaan käytössä olevilla katkaisijakentillä.

#### 4.5.1 Liityntäkysely

Fingridille esitetään liityntäkysely, jolla selvitetään mahdollinen liittymispaikka ja saatavilla oleva liityntäkapasiteetti. Käynnissä olevista maatuuli- ja aurinkovoimahankkeista johtuen vapaan kapasiteetin tilanne muuttuu nopeasti ja ennustettavuus on työn kirjoitushetkellä hyvin huono. Liityntäkysely itsessään ei vielä takaa liitettävyyttä verkkoon.

Keväällä 2024 Suomen länsirannikon vapaa liityntäkapasiteetti alkoi Porista jatkuen kohti etelää. Käytännössä uuden merituulipuiston rakentaminen edellyttää uuden 400 kV voimajohtoyhteyden rakentamista jostakin länsirannikolla sijaitsevasta liityntäpisteestä Pori-Tampere-Lahti-linjan eteläpuolelle.

#### 4.5.2 Liittymissopimus

Liittymissopimuksen edellytyksenä ovat myönnetyt ja lainvoimaiset luvat ja hankkeen suunnittelu. Liittymissopimuksen allekirjoittamisen jälkeen suurjännitteisen liitynnän tulee olla valmis 36 kk kuluessa. Aikarajan ylittyessä kantaverkonhaltijalla on oikeus irtisanoa sopimus ja vapauttaa verkon kapasiteetti muiden toimijoiden käyttöön.

Merituulikehittäjän näkökulmasta nykytilanne on erittäin riskialtis: merituulipuiston suunnittelu ja rakentaminen kestävät useita vuosia ja vaativat huomattavia pääomapanoksia. Kuitenkaan operaattorilla ei ole sopimuksellista varmuutta kantaverkkoliitynnän ja riittävän kapasiteetin saamisesta heti ensimetreiltä alkaen.

Erona Suomeen, Ruotsin merialueet on jaettu yhdeksään kapasiteettialueeseen, joiden aluekohtaiset liityntätehot on esitetty taulukossa 2. Jokaiselle alueelle on varattu vähintään yksi kantaverkon liityntäpiste merituulivoimaa varten ja kapasiteettialueen vaatimat verkon muutos- ja kehitystyöt aikatauluineen on julkistettu (Ny anslutningsprocess för havsbaserad vindkraft, 2023, 20, 50–57).

Taulukko 2. Ruotsin merituulivoiman kapasiteettialueet

(Ny anslutningsprocess för havsbaserad vindkraft, 2023)

Alue	Kapasiteetti (MW)
1 N Västerhavet	1200
2 Kattegatt	1500
3 Sydvästra Östersjön	2850
4 Sydöstra Östersjön	1600
5 Mellersta Östersjön 1	1500
6 Mellersta Östersjön 2	1500

7 Norra Östersjön	1000
8 Bottenhavet / Tierp	1000
8 Bottenhavet / Söderhamn	1000
8 Bottenhavet / Hudiksvall	1400
9 Bottenviken	1400
Yhteensä	14 450

Saksan energia-asioista vastaava virasto Bundesnetzagentur on puolestaan verkon kehittämissuunnitelmassaan vuosille 2037–2045 julkaissut 35 merituulivoiman liityntäpistettä. Näistä 31 sijaitsee Pohjanmeren ja 4 Itämeren rannikolla. Pohjanmeren liityntäpisteiden kapasiteetti on 2000 MW 525 kV tasajännitteellä ja Itämeren 300 MW 220 kV vaihtojännitteellä. Virasto arvioi merituulivoiman lisääntyvän pelkästään Saksan merialueilla 50 GW:iin vuoteen 2037 mennessä, ja 70 GW:iin vuoteen 2045 mennessä: Itämeren osuus tästä on vain 4–5 GW (Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für die Zieljahre 2037/2045, 2024, 10–11, 420–424).

## 4.6 Merituulipuiston kantaverkkoliityntä muissa Euroopan maissa

Euroopan eri maat ovat ottaneet erilaisia lähestymistapoja merituulen suunnittelu-, rakennus- ja kantaverkkoliityntäprosessiin. Seuraavassa esitellään Pohjanmeren rantavaltioiden pl. Norjan ja Belgian mallit.

### 4.6.1 Hollannin malli

Hollannissa valtio valmistelee ja luvittaa kaikki merituulipuistoalueet ja myy ne hankekehittäjälle, samaan tapaan kuin Suomen aluevesillä. Suomen kantaverkkoliitynnästä poiketen Hollannin kantaverkko-operaattori TenneT rakentaa merisähköaseman, merikaapelin mantereelle sekä liitynnän mantereen kantaverkkoon. Lähellä rantaa sijaitsevat puistot kytketään 700 MW vaihtosähköiseen merisähköasemaan, josta sähkö siirretään 220 kV kaapelilla mantereen verkkoon. Kauempana merellä olevat puistot kytketään 400 MW muunto/tasasuuntausasemaan, josta sähkö siirretään mantereelle 220 kV kaapelilla. TenneT:in seuraava kehitysaskel on 2 000 MW muunto/tasasuuntausasema merelle, josta sähkö siirretään mantereelle 525 kV tasasähkökaapelilla.

Merelle rakennettavat sähköasemat ovat vakiokokoisia ja- mallisia, jolloin saavutetaan kustannus- säästöjä. Samoin kantaverkko-operaattori voi tehdä suuria hankintasopimuksia hinnoilla, joihin pienemmillä toimijoilla ei ole mahdollisuutta (Tennet offshore. Driving the European energy transi- tion from the North Sea, 2024). Mallin kiistattomana etuna on myös mahdollisuus rakentaa topo- logisesti järkevää sähköverkkoa merelle ja vähentää rannalle tulevien kaapeleiden määrää. Muissa maissa käytettävä ”oma kaapeli joka puistolle”-malli synnyttää säteittäistä verkkoa, jossa on run- saasti kaapeleita ja rantautumispaikkoja.

Hollannin sähkönkulutus keskittyy pienelle alueelle lähellä rannikoita eikä pitkille siirtolinjoille ole tarvetta, jolloin kantaverkko-operaattorilla on käytettävissään investointivaroja merialueiden säh- köverkon kehittämiseen. Yleisenä tavoitteena on myös muodostaa Pohjanmeren alueelle euroop- palainen superverkko, jossa merituulipuistot voisivat toimia merellisinä solmupisteinä ja olla kyt- kettyinä useampaan maahan.

#### **4.6.2 Saksan ja Tanskan mallit**

Samoin kuin Hollannissa, Saksassa valtio valmistelee ja luvittaa kaikki merituulipuistoalueet ja myy ne hankekehittäjälle. Alueen suunnitteluun kuuluu myös merikaapelireittien suunnittelu ja luvitta- minen, toisin kuin Suomessa, jossa hankekehittäjä joutuu tekemään tämän omalla kustannuksel- laan. Kantaverkko-operaattori osoittaa ja rakentaa mantereella sijaitsevat liittymispisteet sekä te- kee kantaverkon vaatimat vahvistustyöt. Huomattavaa on, että tasasähköyhteyksiä käytettäessä kantaverkko-operaattori rakentaa myös mantereen vaihtosuuntaaja-asemat (Regulations and pro- cedures for offshore wind power in Denmark, Finland, Germany and the United Kingdom / Eng- land, 2024). Hollannin malliin verrattuna Saksassa tuulivoimaoperaattori rakentaa omalla kusan- nuksellaan koko merellä tarvittavan sähköverkon.

Uusiutuviin energianlähteisiin siirtymisen seurauksena Saksan kantaverkossa on samaa etelä-poh- joissuuntaisten siirtoyhteyksien ruuhkautumista kuin Suomessa ja Ruotsissa. Yhteyksiä vahviste- taan, mutta töiden hitaus on ajoittain estänyt Pohjanmeren tuulikapasiteetin täysimääräistä käyt- töä (Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für die Zieljahre 2037/2045, 2024).

Tanskassa on sovellettu kahta eri liityntämallia. Kriegers Flak-puistossa kantaverkko-operaattori Energinet rakensi yhteyden merisähköasemaa myöden, mutta myöhemmissä puistoissa käytetään



samaa mallia kuin Saksassa eli tuulivoimaoperaattori rakentaa koko kantaverkkoliitynnän mantee-reella sijaitsevalle liityntäpisteelle asti (Regulations and procedures for offshore wind power in Denmark, Finland, Germany and the United Kingdom / England, 2024).

#### 4.6.3 Ison-Britannian malli

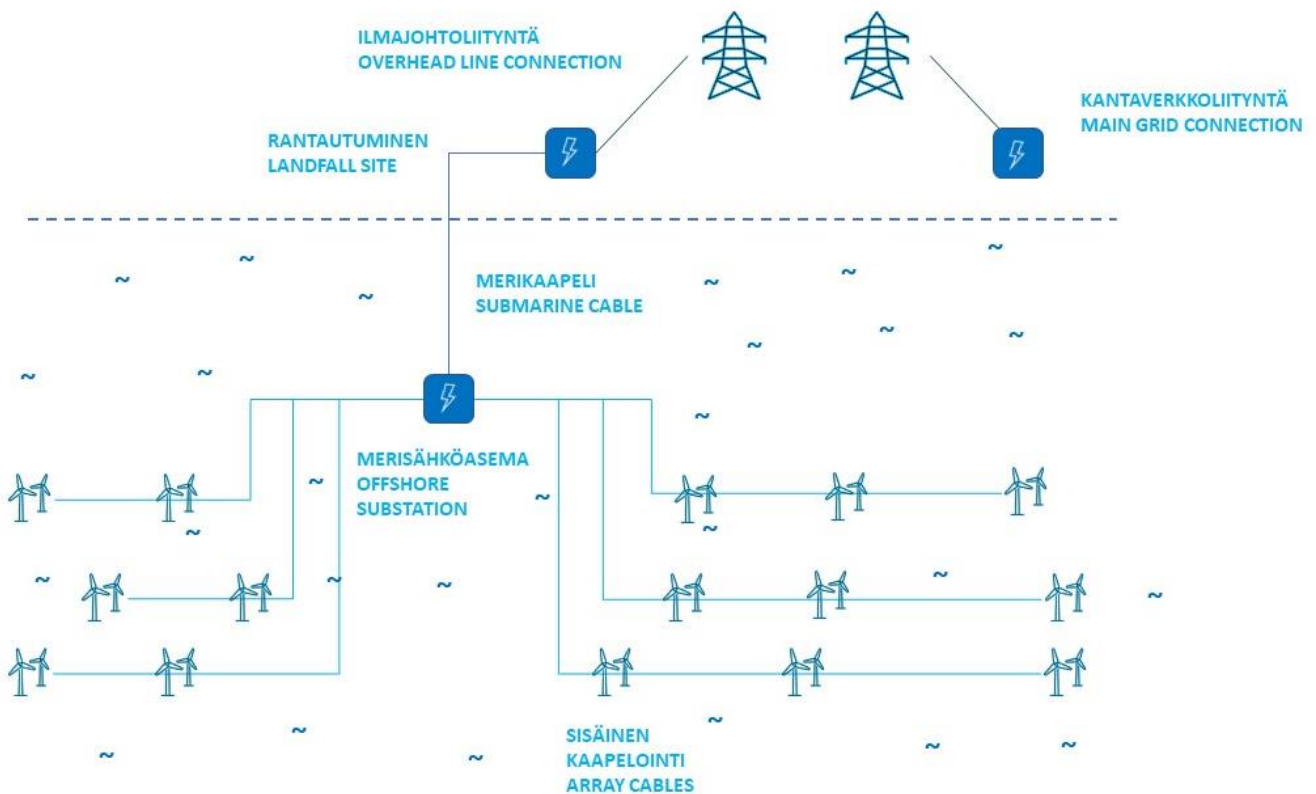
Isossa-Britanniassa valtionyhtiö The Crown Estate vastaa merialueiden vuokraamisesta tuulivoima-operaattoreille. Alueet jaetaan huutokauppakierroksissa, joihin ei sisälly kantaverkkoliityntään tarvittavia merikaapelireittejä eikä rantautumispaikkoja, vaan operaattorit suunnittelevat nämä itsenäisesti ja tekevät sopimukset suoraan kantaverkko-operaattorin kanssa first come, first served-periaatteella (Regulations and procedures for offshore wind power in Denmark, Finland, Germany and the United Kingdom / England, 80–86, 2024).

Mallin seurauksena kantaverkko-operaattorille on toimitettu n. 1500 liityntähakemusta, jotka ovat ruuhkauttaneet käsittelyn ja aiheuttaneet vuosien pituisia käsittelyaikoja. Lisäksi malli tuottaa säteittäisen verkon, jossa sähkön tuotantoa ei ole kohdistettu kulutuksen mukaan ja verkkoja on jouduttu vahvistamaan huomattavasti (Riley, N., 2023). Malli herättää vahvoja mielleyhtymiä Suomen nykyiseen tilanteeseen, jossa Metsähallitus vastaa aluevesille rakennettavien puistojen alkukehityksestä, minkä jälkeen operaattorit toimivat enemmän tai vähemmän itsenäisesti mm. kantaverkkoliitynnän suhteen. Lisäksi Fingridillä on jonossa yli 70 GW merituulen liityntäkyselyitä: toteutukseen arvioidaan tulevan kuitenkin enintään alle 10 GW vuoteen 2030 mennessä.

Mallin ongelmia on ryhdytty korjaamaan Holistic Network Design-projektilla, jossa tuulipuistot otetaan kiinteäksi osaksi kantaverkkoa ja meriyhteyksiä hyödynnetään myös rannikon suuntaisesti, ei vain kohti rannikkoa. Lisäksi rakenteilla on Strategic Spatial Energy Plan, jossa määritellään energian tuotanto- ja käyttöalueet ja niiden kehittäminen lähitulevaisuudessa. Suunnitelma tähtää erityisesti ennustettavuuden parantamiseen (Regulations and procedures for offshore wind power in Denmark, Finland, Germany and the United Kingdom / England, 80-86, 2024).

## 5 Merituulipuiston sähköverkko

Merituulipuiston sähköjärjestelmä koostuu puiston sisäisestä kaapeloinnista (*array cables*), merisähköasemasta (*offshore substation*), liityntäkaapelista (*export cable*) ja kantaverkkoliitynnästä (*Point Of Connection, POC*). Rakenne on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Merituulipuiston sähköverkko

(Leino, 2024)

Puiston sisäisessä kaapeloinnissa käytetään yleisimmin 33 tai 66 kV vaihtosähköä, tulevaisuudessa myös 123 kV. Merisähköasemalla puiston sisäisen kaapeloinnin jännite nostetaan liityntäkaapelille sopivaan tasoon. Jos käytössä on tasasähkökaapeli, puiston tuottama sähkö myös tasasuunnataan.

### 5.1 Merikaapeli

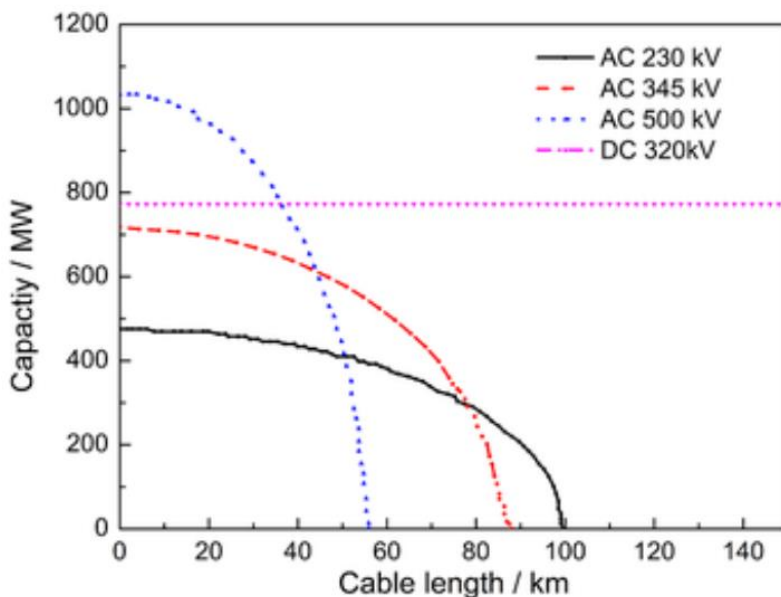
Merituulipuisto liittyy mantereella sijaitsevaan sähkön kantaverkkoon yhdellä tai useammalla suurjännitteisellä liityntäkaapelilla (*export cable*), joiden lukumäärä riippuu siirrettävästä tehosta

ja käytettävästä jännitteestä. Huoltovarmuussyistä kahta liittymiskaapelia on pidettävä vähimmäisvaatimuksena: yhden kaapelin varassa oleva tuulipuisto menettää koko tuotantonsa kaapelin vaurioituessa, kun taas vähintään kaksi kaapelia mahdollistaa käytön osateholla.

Merikaapeli painaa poikkipinta-alasta riippuen 50–80 kg/m ja käsittely onnistuu vain tarkoitukseen tehdyillä aluksilla. Asennuksessa tulee ottaa huomioon paitsi rakennustekniset seikat, myös mm. luontoarvot sekä merenkulun väylänpidon, alusliikenteen ja turvallisuuden asettamat vaatimukset, jotka on koottu keskeisiltä osiltaan Traficom ja Väyläviraston yhteiseen ohjeeseen ”Merituulivoiman ja merenkulun sekä merenkulun infrastruktuurin yhteensovittaminen” (TRAFICOM/575684/03.04.01.01/2023).

### 5.1.1 Vaihtosähkökaapeli

Alle 70 km siirtoetäisyyksillä käytetään pääsääntöisesti vaihtosähkökaapeleita tekniikan suhteellisen edullisuuden vuoksi. Siirtomatkan kasvaessa kaapelin kapasitanssi alkaa rajoittaa siirtotehoa merkittävästi: kuvio 7 havainnollistaa poikkipinnaltaan saman kaapelin mahdollisia siirtoetäisyyksiä eri jännitetasoilla.



Kuvio 7: Vaihto- ja tasasähkökaapelin kuormitettavuus kaapelin pituuden ja jännitteen funktiona

(Wang ja muut, 1389, 2021).

Työn kirjoitushetkellä 275 kV on korkein jännitetaso, jolle tarkoitettuja vaihtosähköisiä merikaapeleita on saatavilla suurina pituuksina. Kreikassa on käytössä Rion ja Antirrion saarten välillä 50 km pituinen 400 kV kaapeli, josta 18 km kulkee merikaapelina (Rio-Antirrion Interconnection, N.d.). Tanskan ja Ruotsin välille on rakenteilla 42 km pituinen 400 kV kaapeliyhteys, josta 30 km kulkee merikaapelina ja 18 km maakaapelina (Hellenic Cables signed a contract with Energinet to deliver high-voltage cables for an electrical interconnection, 2024). Lähellä rantaviivaa sijaitseva puisto voidaankin ainakin teoriassa liittää suoraan kantaverkkoon ilman muuntajia, joskin tätä on tehty vain pienitehoisissa puistoissa. Jos liityntäkaapelissa käytetään muuta kuin kantaverkon jännitettä, tulee se muuntaa samaksi viimeistään liityntäpisteellä.

### 5.1.2 Tasasähkökaapeli

Tasasähköiset merikaapelit ovat usein yksinapaisia monopole-kaapeleita, jolloin varsinainen kaapeli toimii plus- eli menojohtimena ja merivesi miinus- eli paluujohtimena. Tasasähkökaapeleissa ei esiinny kapasitanssin aiheuttamaa siirtotehon heikentymistä etäisyyden kasvaessa ja ovat laajalti käytössä pitkien matkojen sähkönsiirrossa.

Työn kirjoitushetkellä 525 kV on korkein jännitetaso, jolle tarkoitettuja tasasähkökaapeleita on saatavilla suurina pituuksina. Jännitetaso on käytössä jo useissa kaapeliyhteyksissä mm. Saksassa, Hollannissa ja Skotlannissa (525 kV XLPE DC Cable Systems, 2020). Suomen ja Ruotsin välinen Fenno-Skan 2-yhteys käyttää 500 kV tasajännitettä. 275 kV vaihtosähköön verrattuna 525 kV tasasähkökaapelilla on noin kaksinkertainen tehonvälityskapasiteetti.

Merikaapeliasennusten hintatietoja on rajoitetusti saatavilla, koska jokainen hanke on yksilöllinen ja hanketiedot usein luottamuksellisia. Suuntaa antavia lukuja on kerätty taulukkoon 3.

Taulukko 3. Merikaapeliasennuksen hintatietoja

(ABB lands \$ 100 m contract, 2015; Latest news: Final cable test complete for National Grid's Viking Link interconnector, 2023)

Hanke	Pituus (km)	Hinta (M€)	Hinta M€/km
-------	-------------	------------	-------------

Kriegers Flak 220 kV AC	100	89	0,9
Viking Link 525 kV DC	765	1990	2,6
North Sea Link 515 kV DC	720	2000	2,8
COBRACable 320 kV DC	325	580	1,8

Tasasähköyhteyden kytkeminen kantaverkkoon edellyttää erillisen konvertteri- eli vaihtosuuntaaja-aseman rakentamista, joka kasvattaa yhteyden hinnan noin kolminkertaiseksi vaihtosähköyhteyteen verrattuna (High voltage direct current electricity 2023). Toisaalta tasasähköyhteyden mahdollistama korkeampi jännite vähentää tarvittavien merikaapeleiden kappalemäärää ja toisaalta tehohäviöitä, joka tasaa kustannuseroa vaihtosähköisiin järjestelmiin nähden.

## 5.2 Merikaapelin rantautumispaikka

Merikaapeli tuodaan mantereelle rannassa, joka soveltuu kaapeli-asennukseen niin meren kuin mantereen puolella. Rantautumispaikan valintaan vaikuttavia tekijöitä käsitellään yksityiskohtaisemmin kappaleessa 7.

### 5.2.1 Rantautuminen

Rantautumiskohdassa kaapeli asennetaan riittävän syväälle ja suojataan yleensä mekaanista kuluusta vastaan muoviputkella, betonilla tai muulla tarkoitukseen soveltuvalla mekaanisella suojalla. Rantautuminen voidaan toteuttaa kaivamalla tai suuntaporaamalla: kivisillä alueilla suuntaporaus ei yleensä onnistu, vaan reitti joudutaan kaivamaan ja louhimaan. Kaapelikaivannon pohjan tulee olla tasainen ja pysty- sekä vaakasuuntaisten kaarresäteiden kaapelille sopivat. Kaivannon syvyys on tyypillisesti noin 1,5 m, tyrskyjen ja jään voimakkaassa vaikutuspiirissä olevalla rannalla 1,5–3 m. Pohjan leveyden määrää asennettavien kaapeleiden määrä ja käytettävä jännite: tyypillinen etäisyys 275–400 kV jännitteillä on 2–3 m. Kaivannon lopputäyttö tulee tehdä materiaalilla, joka ei lähde liikkeelle rantatyrskyjen ja vedenkorkeuden vaihtelun mukana.



Kuvio 8: 400 kV kaapelin rantautumispaikka

(NKT completes upgrade of high-voltage power link connecting Denmark and Sweden, 2020)

Rantautumispaikan ja ilmajohtoliittynän välisen etäisyyden ylittäessä noin 500 m on perusteltua muuttaa merikaapeli maakaapeliksi erillisessä jatkostilassa, jonka työnaikainen tilantarve on noin 20 x 20 m. Jatkostila tulee sijoittaa niin korkealle, ettei meri- tai pohjavesi pääse tunkeutumaan sinne.

### 5.2.2 Kytkenä ilmajohtoon

Merikaapelissa käytettävästä jännitteestä riippuen rantautumiskohdan lähellä voi sijaita kytkin- tai muuntoasema, jossa kaapeli liitetään ilmajohtoverkkoon. Kytkinaseman tyypillinen tilantarve yhdelle voimajohtolle on noin 60 x 60 m ja muuntoaseman 100...250 x 100...250 m riippuen päämuuntajien lukumäärästä.

Taulukko 4. Sähköasemien tilantarve

Laitos	Tilantarve
400 kV AC kytkinasema merikaapelista ilmajohtoon, yksi voimajohto	60 x 60 m
275 kV/400 kV AC muuntoasema, liityntä ilmajohtoon. 3 päämuuntajaa á 400 MW	200 x 200 m

Maisemallisista syistä merikaapelin liitäntä ilmajohtoon on syytä tehdä riittävän kaukana rannasta, vähintään 200–500 m, jolloin voimajohdon pylväät sulautuvat paremmin ympäristöönsä eivätkä nouse häiritsevänä esiin.

### 5.3 Siirtolinja mantereella

Yhteys merikaapelin rantautumispaikasta kantaverkon liityntäpisteeseen toimivalle kytkin- tai muuntoasemalle toteutetaan pääsääntöisesti ilmajohtona sen edullisten rakennuskustannusten vuoksi. Kuitenkin mm. maankäytölliset ja maisemalliset syyt voivat edellyttää maakaapelointia.

Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista linjaa energiahuollon kanalta keskeisten voimajohtojen ja kaasuputkien toteuttamismahdollisuuksien turvaamisen käyttäen ensisijaisesti jo olemassa olevia johtokäytäviä (Vn.p. valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista, 2017).

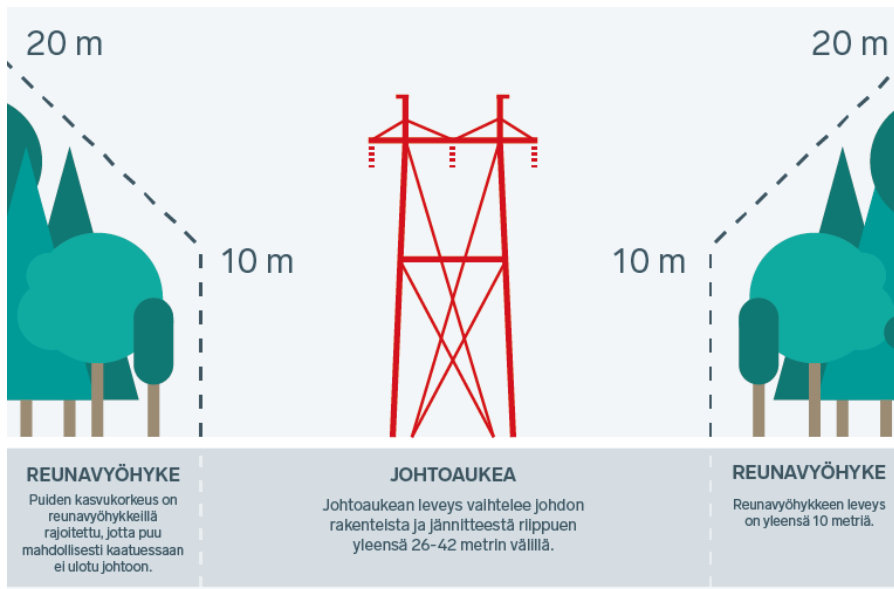
Taulukko 5. Sähkönsiirtorakenteiden kustannuksia rakentamattomilla alueilla

Rakenne	Kustannus M€/km
400 kV ilmajohto	0,4...0,8
275...400 kV AC merikaapeli	1...3
400 kV maakaapeli	3...6

#### 5.3.1 Vaihtosähköilmajohto

Vaihtosähköinen ilmajohto eli voimajohto on ollut sähkövoimansiirron perusratkaisu alusta alkaen. Tekniikka on koeteltua ja vakiintunutta sekä suurista volyyymeista johtuen suhteellisen edullista. Kuviosta 9 nähdään 400 kV voimajohdon johtoalueen olevan tyypillisesti 62 m leveä, josta avoimen johtoaukean osuus on 42 m. Harustettujen voimajohtopylväiden tyypillinen korkeus on 26–36 m ja vapaasti seisovien teräsristikoiden 30–40 m. Voimajohtoaukea on puuvapaa alue, ja reuna-  
vyöhykkeillä puuston korkeus on rajoitettu. Johtoalue on rakennusrajoitusaluetta, jolle ei saa rakentaa mitään ilman johdonomistajan lupaa.

Toisinaan julkisessa keskustelussa esiintyy virheellinen väite, jonka mukaan kahden eri toimijan liittymisjohtoja ei saisi sijoittaa samaan pylvääseen ja johtoaukkoon. Sen sijaan liittymisjohto ei saa yhdistää sähkön tuotantoa ja kulutusta suoraan toisiinsa kulkematta välillä kanta- tai jakeluverkon kautta (Ihamäki 2024).

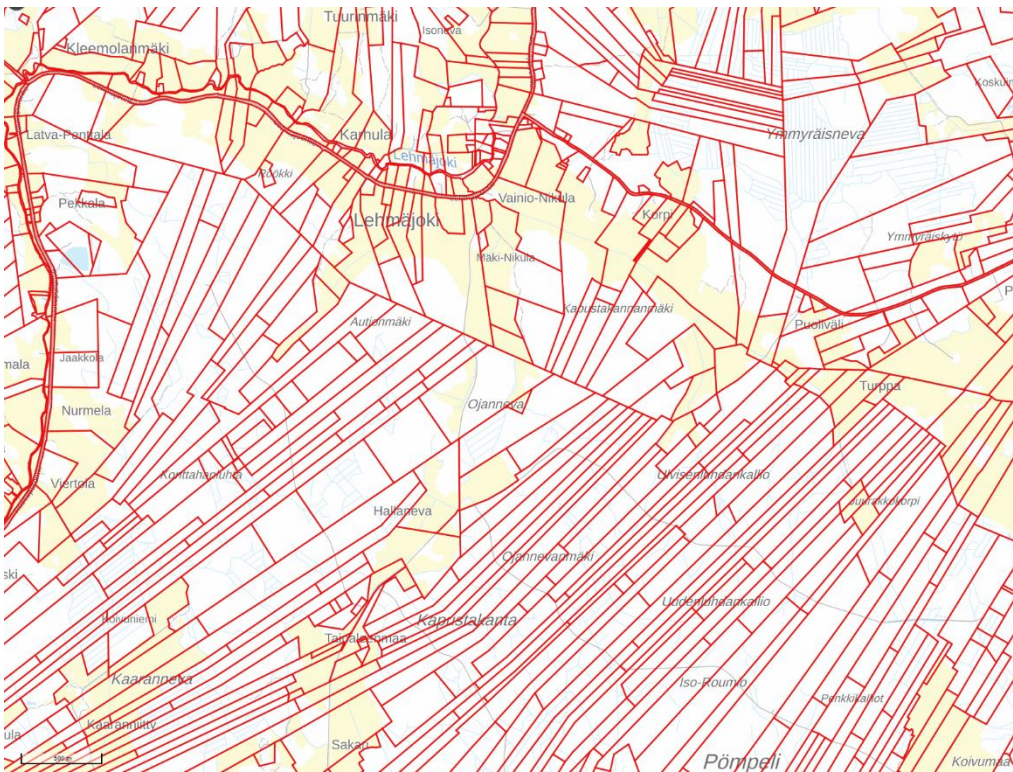


Kuvio 9: Voimajohdon johtoalue

(Johtoalue, N.d.)

Suomen maanomistus muodostuu suurilta osin yksityisten maanomistajien pienehköistä kiinteistöistä, jotka ovat maankäyttöhistoriallisista syistä yleensä pitkiä ja kapeita, kuten kuviossa 10 esitetään. Pahimmassa tapauksessa kapealle kiinteistölle pitkittäin sijoittuva voimajohto estää kokonaan metsänkasvatuksen ja samalla alueen hyötykäytön, vaikka kiinteistö jääkin maanomistajan haltuun: tämä on omiaan herättämään sosiaalista vastustusta, kuten jo Pohjois-Suomessa on tapahtunut (Kylmänen & Malinen 2024; Merituulella tuotetun sähkön siirto herättää huolta mantelella, 2023). Peltoviljely ja laiduntaminen ovat mahdollisia myös voimajohtoalueella, mutta ongelmia muodostavat huonosti sijoitetut pylvääet ja maatalouskoneiden kasvanut koko sekä peltojen kastelu (Nummela 2024).





Kuvio 10: Esimerkki kiinteistöjaotuksesta

(Paikkatietoikkuna 2024)

Maankäyttöliisten haittojen lisäksi voimajohdot aiheuttavat maisemahaittaa sekä vaikutuksia luonnolle: erityisesti voimajohdot aiheuttavat biotooppien pirstaloitumista, reunavaikutuksen lisääntymistä sekä jonkin verran vaaraa erityisesti petolinnuille. Toisaalta johtoauekille voi syntyä tärkeitä paahdeympäristöjä, jotka ovat monin paikoin kadonneet luonnosta maanviljelyksen ja laidunnuksen loputtua.

### 5.3.2 Tasasähköilmajohto

Tasasähköilmajohto on rakenteeltaan samankaltainen vaihtosähköisen kanssa, mutta kolmen vaihejohtimen sijasta käytetään yhtä tai useampaa plus- eli menojohtinta. Miinus- eli paluujohtimet voidaan sijoittaa samaan pylvääseen menojohtimen kanssa, tai rakentaa erillinen linja. Maankäytöllisesti tasasähköjohto on samanlainen vaihtosähköjohtoon kanssa.

### 5.3.3 Suurjännitemaakaapeli

Mantereen osuus voidaan toteuttaa myös vaihto- tai tasasähköisenä suurjännitekaapelointina. Tällöin tilantarve on selvästi ilmajohtoa pienempi, joka mahdollistaa liitynnän tuomisen rakennettujen alueiden lävitse. 400 kV maakaapelille lunastetaan yleensä 8–10 m leveä johtoalue ja lisäksi 10 m leveä kaapeliasennuksen ja työmaaliikenteen vaatima työnaikainen haltuunottoalue, joka vapautetaan muuhun käyttöön työn päätyttyä. Kaapelialueelle ei voi rakentaa pysyviä rakenteita, mutta esimerkiksi viherrakentaminen on sallittua. Suurjännitteisten maakaapeleiden asennustavaksi on Suomessa vakiintunut n. 1,5 m syvä kaapelikaivanto, jossa kaapelit suojataan betonilaatoilla tai vaihtoehtoisesti asentamalla muoviputkiin. Kaapelit asennetaan yleensä kolmiomuotoon, jolloin kaivannon pohjan leveys on yhdellä kaapelilla n. 1,5 m ja kahdella 2,5–3 m. Tasoon asennettaessa kaapeleiden etäisyys toisistaan on tyypillisesti 1–1,5 m, jolloin kaivannon pohjan leveys on yhdellä kaapelilla 4–5 m.

Rajoittavana tekijänä on kaapeloinnin noin kymmenen kertaa ilmajohtoa suurempi kustannus sekä jo aiemmin mainitut tekniset rajoitteet erityisesti siirtomatkan kasvaessa.

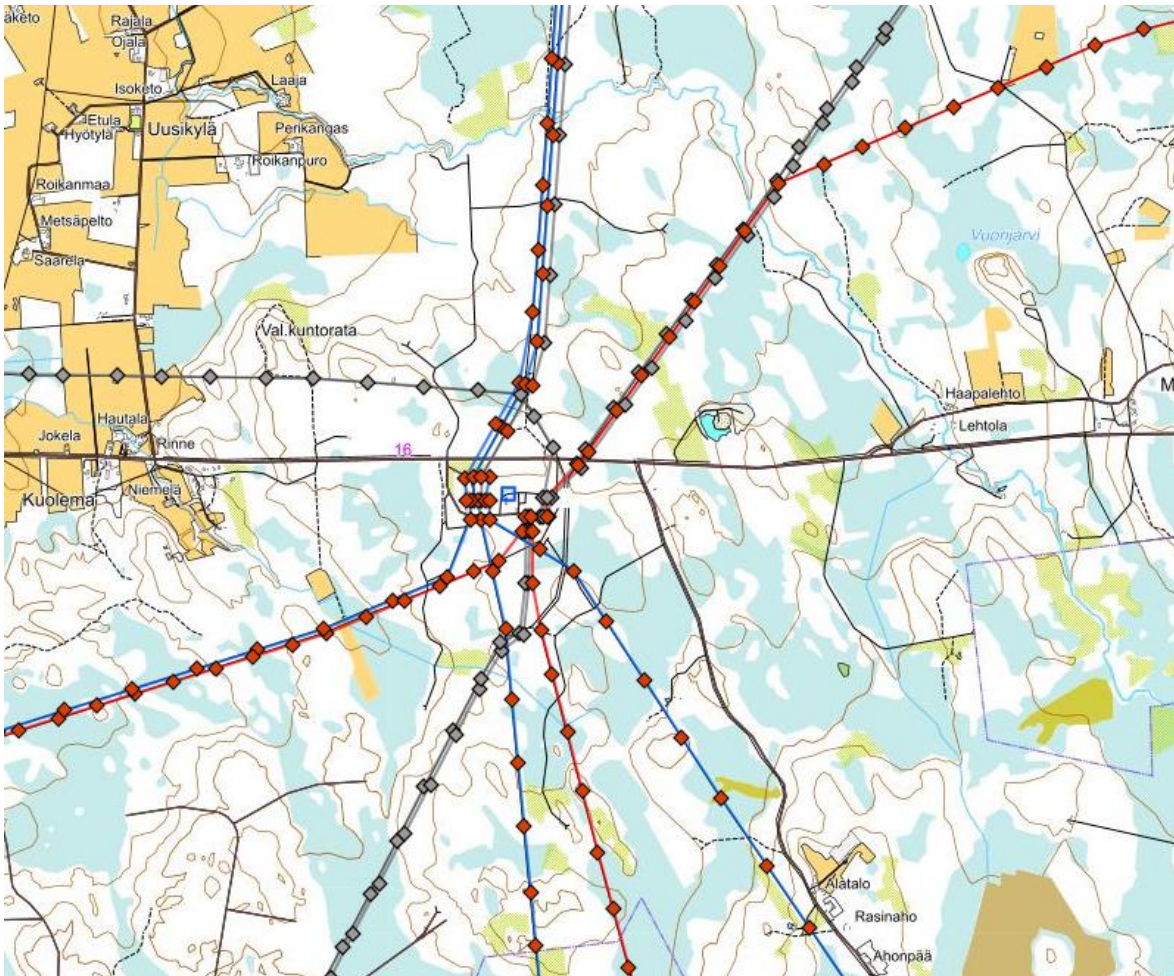
## 5.4 Sähköasema

Tuulipuiston liityntä kantaverkkoon tapahtuu sähköasemalla, josta käytetään myös nimityksiä kytkinasema tai muuntoasema. Nimitystä kytkinasema käytetään sähköasemasta, jolla ei ole muuntajia vaan pelkkä kytkinlaitteisto.

Jos merituulipuiston ja siirtolinjan jännite on sama kuin kantaverkossa, voidaan liityntä tehdä kytkinasemalla ilman muuntajaa. Jos siirtolinjan jännite poikkeaa kantaverkosta, välille tarvitaan muuntaja. Tasasähköistä siirtolinjaa käytettäessä sähkö vaihtosuunnataan konvertteriasemalla ennen kantaverkkoon syöttämistä.

Sähköaseman suhteellisen pienestä tilankäytöstä ja vähäisistä suorista ympäristövaikutuksistaan huolimatta sen maankäytölliset kerrannaisvaikutukset koetaan mittavina ja haitallisina. Uutta asemaa perustettaessa sinne yhdistetään yksi tai korkeintaan muutamia voimajohtoja, mutta liittymispisteinä toimiessaan asema ”houkuttelee” uusia johtoja ja lopulta tilanne voi muistuttaa kello-  
taulua, kuten kuviosta 11 nähdään. Tilanne koetaankin vaivihkaisena hivuttautumisenä, jonka

pitkäaikais- ja kerrannaisvaikutuksiin voi olla vaikeaa varautua kaavoituksessa (Kylmänen, E. ja Malinen, R. 2024; Nummela, A. 2024).



Kuvio 11: Kantaverkon 400/110 kV sähköasemalta lähteviä voimajohtoja

(Verkkokiikari 2024)

Merituulipuistoa suunniteltaessa on kiinnitettävä huomio kantaverkon asettamaan 1300 MW tehorojoitukseen liityntäpistettä kohden. Ongelmaa voidaan kiertää jakamalla puiston syöttö kahdelle tai useammalle liityntäpisteelle.

## 5.5 Vaihtoehtotarkastelu

Tasasähköliitynnän etuina ovat korkea jännite ja tehonsiirtokyky, joka ei heikkene kaapelin pituuden kasvaessa. Korkean jännitteen vuoksi kaapeleiden määrä on vähäinen ja kaapelireitti kapea.

Haittapuolena on tasa- ja vaihtosuuntaaja- asemista johtuva vaihtosähköjärjestelmää korkeampi rakentamiskustannus sekä suurempi tilantarve.

Vaihtosähköliitynnän etuina ovat vanha, koeteltu tekniikka ja tasasähköjärjestelmää matalammat rakentamiskustannukset. Heikkouksia ovat kaapelin pituuden mukaan laskeva tehonsiirtokyky sekä matalampi käyttöjännite, jonka vuoksi joudutaan käyttämään useampia kaapeleita. 400 kV merikaapeleita ei ole saatavilla suurina pituuksina.

## 6 Merikaapelin rantautumispaikan valintaan vaikuttavat tekijät

Merikaapelin rantautumispaikan valintaan vaikuttavat tekijät jaettiin kolmeen osa-alueeseen: luonnonmaantieteellisiin, rakennetun ympäristön ja luontoarvotekijöihin. Tarkastelu kohdistettiin lähimerivyöhykkeeseen (*nearshore*), rantaviivaan (*shoreline*) sekä rantaviivan ja voimajohtoliitynnän väliin jäävään alueeseen. Lähimerivyöhykkeeksi katsotaan merikaapelin tulosuunnassa sijaitseva, rantaviivasta puolen kilometrin etäisyydelle ulottuva merialue. Tarkastelua käytettiin pohjana yrityksen sisäiselle rantautumispaikan pisteytystyökalulle.

### 6.1 Luonnonmaantieteelliset tekijät

#### 6.1.1 Veden syvyys

Avomerikelpoisen kaapelinlaskualuksen (*Cable Laying Vessel, CLV*) syväys on tyypillisesti 5–7 metriä ja pituus 80–100 m. Aluksen ympärillä pitää olla riittävästi tilaa aluksen liikkeitä varten (Maersk Connector, N.d.; Leonardo da Vinci, N.d.). Suomen rannikon ahtaissa ja matalissa vesissä tämä asettaa huomattavia rajoituksia mahdollisen rantautumispaikan valinnalle.

Kaapeli vedetään alukselta maihin sijoitetulla vinssillä tai apuveneellä. Tyypillisesti kaapeli kellutetaan ilmatyynyillä, jotka poistetaan laskettaessa kaapeli meren pohjaan. Vetopituuden kasvaessa operaation riskit kasvavat ja erityisesti reitille tulevat mutkat vaikeuttavat kaapelinvetoa.

Suomalaiset sähköasennusstandardit eivät ota suoraan kantaa nimellisjännitteeltään yli 52 kV maa- ja vesistökaapeleiden asennuksiin, vaan kehottavat tapauskohtaiseen harkintaan ja suunnitteluun. Vakiintuneen käytännön mukaan kaapeli suojataan tarkoituksenmukaisella mekaanisella

suojauksella vähintään kahden metrin vesisyvyyteen asti. Lopullinen asennussyvyys meren pohjassa vaihtelee pinta-asennuksesta noin kahden metrin syvyyteen riippuen ympäristöolosuhteista ja halutusta kaapelin suojaustasosta esim. jää- ja ankkurointivahinkoja vastaan. Merenkulun ja veneilyn välillä Traficom edellyttää asentamaan kaapelin vähintään varmistetun vesisyvyyden alapuolelle ja painottamaan niin, ettei kaapeli missään tilanteessa nouse sen yläpuolelle (Ilmajohtojen sekä kaapeleiden ja putkijohtojen asettaminen vesialueella, 2021).

Itämeren alueen erityispiirre on maanpinnan kohoaminen jääkauden jälkeen. Suurimmillaan kohoaminen on Perämeren rannikolla, n. 90 cm / 100 vuotta, ja Suomen etelärannikollakin n. 40 cm / 100 vuotta. Ilmaston lämpenemisestä johtuvan vedenkorkeuden nousun ennustetaan olevan seuraavan 100 vuoden aikana Suomen etelärannikolla maankohoamista suurempaa: Perämerellä maankohoaminen säilynee vedenpinnan kohoamista suurempana (Vedenkorkeusvaihtelut Suomen rannikolla, 2021). Kohoaminen aiheuttaa jatkuvaa vesiväylien ruoppaustarvetta, joka voi tuottaa ongelmia kaapeleiden kanssa muutaman vuosikymmenen aikajänteellä.

Itämerellä kaapelin ylikuumentuminen ei ole yleensä ongelma, mutta matalissa liejupohjaisissa merenlahdissa, joissa veden vaihtuvuus on vähäistä, tulee veden todellinen lämpötila tarkastella huolellisesti. Liian matalaksi arvioitu lämpötila voi johtaa loppukesällä kaapelin liialliseen lämpenemiseen ja tehonrajoitukseen.

### **6.1.2 Merenpohja ja maaperä**

Itämerelle tyypillinen piirre on pohjan epätasaisuus erityisesti Saaristomerellä ja Merenkurkun alueella. Epätasaisuus vaikeuttaa kaapeliasennusta ja tuottaa lisäkustannuksia, kun merenpohjaa joudutaan tasaamaan ja etsimään vaihtoehtoisia reittejä. Saaristomerellä ja Suomenlahdella pehmeät pohjamateriaalit, kuten lieju ja siltti ovat yleisimmät, kun taas pohjoisempana moreenipohjat ovat hallitsevia. Hiekka- ja sorapohjia on yleisesti vain Perämerellä. Merigeologian tuntemus Ahvenanmaan pohjoispuolisilta merialueilta on vaihtelevaa ja paikoin puutteellista: Selkämeren ja Perämeren pohjista tunnetaan tarkasti vain noin 5 %. Taulukkoon 6 on koottu tiedot pohjoisen Itämeren eri osien pohjan koostumuksesta (Suomen merialueiden merenpohja on välillä kuin vuoristorataa, 2020).

## Taulukko 6. Pohjan koostumus pohjoisen Itämeren alueella

(Suomen merialueiden merenpohja on välillä kuin vuoristorataa ,2020)

Alue	Hiekka ja sora %	Moreeni %	Kova savi %	Pehmeä savi ja lieju %	Paljas kallio %
Suomenlahti	5	15	25	40	15
Saaristomeri	2	5	25	50	15
Selkämeri	<5	40	26	<20	15
Merenkurkku	<1	60	<5	>20	<5
Perämeri	20	20	30	<30	<5

Pehmeät ainekset soveltuvat yleensä hyvin kaapeli-asennukseen, joskin ne ovat herkkiä eroosiolle ja virtauksille, jotka voivat muokata rantaviivaa nopeasti ja joko haudata asennettua merikaapelia syvemmälle, tai vaihtoehtoisesti paljastaa sen kokonaan. Meren ja mereen laskevien jokien virtaukset kuljettavat sedimenttejä ja saattavat joko kerätä kaapelin päälle lisää materiaalia tai paljastaa sen. Suurista kivenlohkareista tai kiintokalliosta koostuva ranta on pääsääntöisesti sopimaton kaapeli-asennukseen: kallion louhinta tai kaapelin suojaaminen betonirakenteilla on kallista ja aiheuttaa usein kohtuutonta maisemahaittaa etenkin luonnontilaisilla alueilla.

Rantautumispaikkaa valittaessa on selvitettävä mahdolliset pohjassa olevat haitta-aineet, joita on päätynt vesistöihin teollisuuden päästöinä ja yhdyskuntajätteinä aiempina vuosikymmeninä.

### 6.1.3 Rannan maastonmuodot

Vuorovesialue (*intertidal zone*) tarkoittaa ranta-aluetta, joka jää vuoroin veden alle ja kuiville vuoroveden noustessa ja laskiessa. Pohjoisella Itämerellä vuorovesi-ilmiötä ei ole havaittavissa, mutta liikkuvien matalapaineiden ja länsituulten aiheuttama vedenpinnan korkeusvaihtelu on Pohjanlahden ja Suomenlahden pohjukoissa jopa kolme metriä (Hutchinson, S., Hawkins, L.E. 2008, 220–224; Vedenkorkeusvaihtelut Suomen rannikolla, 2021). Loiville rannoille muodostuu tulvaniittyjä,

jotka voivat olla maa- ja vesirakennusteknisesti erinomaisia rantautumispaikkoja kaapelille. Tulvaniityt ovat kuitenkin luontoarvoiltaan runsaita ja lailla suojeltuja (Luonnonsuojelulaki 9/2023). Lisäksi maaperä voi olla upottavaa ja edellyttää ponttoneilla varustettujen kaivinkoneiden käyttöä.



Kuvio 12: Tulvaniitty

(Leino 2023)

Rantojen avoimet hiekkadyynit ovat luonnonsuojelulain mukaisia harvinaisia ja uhanalaisia luontotyyppinä, joita ei saa hävittää eikä heikentää (Luonnonsuojelulaki 9/2023)

Rantajyrkänteet voivat estää kaapelin rantautumisen ja yhteyden sisämaahan kokonaan. Pehmeästä maalajista koostuvaan jyrkänteeseen voidaan kaivaa aukko: tämä aiheuttaa maisemallista haittaa, lisää kustannuksia ja edistää rannan eroosiota. Kokemuspäisesti voidaan sanoa yli 5 m korkean rantajyrkänteen vaikeuttavan työskentelyä oleellisesti ja yli 15 m korkean jyrkänteen tekevän paikan käyttökelvottomaksi. Suomen rannikolle tyypilliset avokalliojyrkänteet estävät pääsääntöisesti merikaapelin rantautumisen: työskentely kalliolla on vaikeaa tai mahdotonta ja maisemahaitta kasvaa yleensä sietämättömäksi.



Kuvio 13: Rannan kalliojyrkänteitä

(Leino 2024)

Tyrskyjen ja virtavesien aiheuttama eroosio voi muokata pehmeistä maa-aineksista koostuvaa rantaviivaa nopeasti. Suomen rannoilla eroosio on vähäistä ja liittyy yleensä laivojen peräaaltoihin vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä.

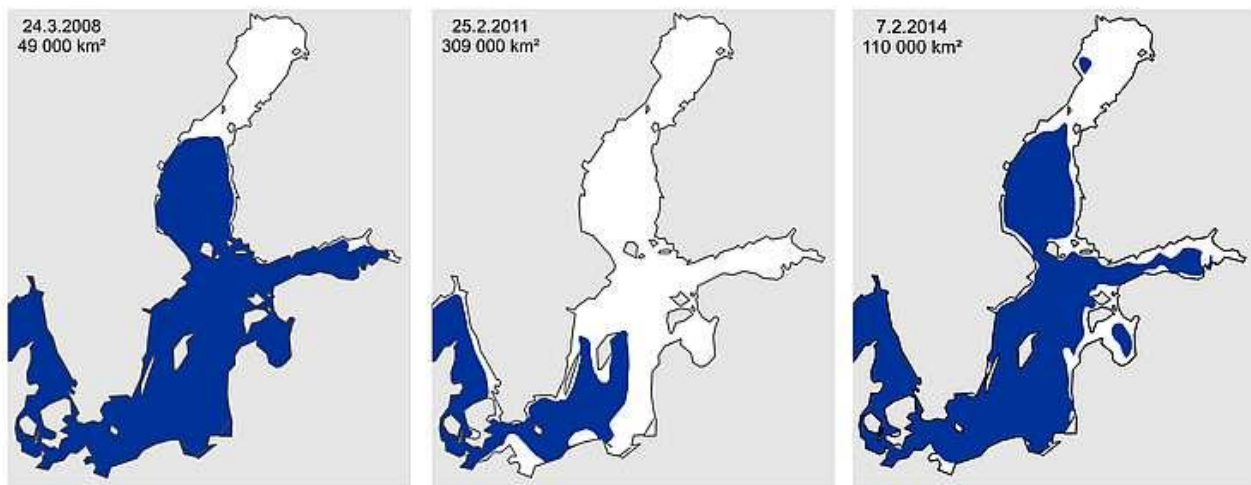
#### 6.1.4 Rantaviivan muoto

Ihanteellisessa rantautumispaikassa rantaviiva on suora tai loivasti sisään- tai ulospäin kääntyvä, eikä ulapan puolella ole esteitä, jolloin kaapelinlaskualue pääsee lähestymään rantaa kohtisuoraan. Edellä mainittu toteutuu helposti Pohjanmerellä tai Itämeren eteläosissa, mutta pohjoisen Itämeren rannikko on suurelta osin saarten sekä luotojen täplittämää ja kaapelin tuonti avomereltä rannalle vaatii mutkittelua. Ulostyöntyvät niemet ovat pääsääntöisesti soveltuvia, mutta ne ovat yleensä rakennettuja tai maastonmuodot ja kalliainen maaperä eivät sovellu kaapelin rantautumispaikaksi. Lahdet ja poukamot tarjoavat suojaisen asennuspaikan, mutta veden mataluus ja pohjan pehmeys voivat tuottaa ongelmia.



### 6.1.5 Merijää

Itämeri jäätyy joka vuosi, mutta jään määrä vaihtelee suuresti alueittain ja vuosittain. Kokonaan jäätyvät alue Merenkurkusta pohjoiseen, saariston rajaama rannikko Uudenkaupungin ja Vaasan välillä sekä Suomenlahden pohjukka Loviisasta itään. Selkävedet Tukholma-Tallinna-linjan pohjoispuolella jäätyvät vaihtelevasti 75–90 % todennäköisyydellä. Jäätalvi kestää Kemissä 6–7 kuukautta ja Vaasan ja Hangon välisillä alueilla 4–5 kuukautta. Jäiden lähtö käynnistyy Suomen etelärannikolla noin maaliskuun puolivälissä ja Perämerellä huhtikuun puolivälissä (Leppäranta, P. 2021, 167–169, 173).



Kuvio 14: Itämeren jääpeitteen laajuuden vaihtelua

(Jäätalvi Itämerellä, 2022)

Merijää jaetaan paikoillaan pysyvään kiintojähän ja liikkuvaan ajo- ja ahtojähän. Tasainen ja ehyt kiintojää muodostuu rannikoille ja saaristoon, jossa jää voi kiinnittyä rantaviivaan, saariin ja kareihin. Ajojää syntyy kiintojään reunan rikkoutuessa erikokoisiksi jäälautoiksi tuulen, virtausten ja merenpinnan korkeusvaihtelun seurauksena. Lautat liikkuvat tuulen ja merivirtojen mukana ja voivat muodostaa jopa metrien korkuisia ahtojäävalleja lauttojen puristuessa toistensa alle ja päälle: Arkhimedeen lain mukaan kelluvasta jäädästä vain 1/10 on vedenpinnan yläpuolella: korkein Itämerellä mitattu vapaassa vedessä kellunut ahtojäävälli oli 3,5 m korkea ja 28 m syvä (Leppäranta, P. 2021, 190–203).

Ahtojäiden mahdollinen vaikutus kaapelin rantautumispaikkaan on arvioitava tarkasti. Suomen vallitsevasta tuulensuunnasta (länsilounas) johtuen erityisesti etelän ja lännen suunnille avautuvat

niemet ovat alttiina ahtojäiden vaikutukselle. Tuulen painama jäävalli voi kasvaa rannalla metrien korkuiseksi, kaapia merenpohjaa syvältä ja kulkeutua kymmeniä metrejä sisämaahan vieden tielleen osuvia rakenteita mukanaan. Myös Itämeren vedenkorkeuden vaihtelut voivat tuottaa tilanteen, jossa matalan veden aikana ranta jäätyy pohjaan asti ja veden noustessa jää ottaa mukaansa maa-ainesta. Kaapeli tuleekin upottaa tällaisissa paikoissa riittävän syväälle ja lisäksi suojata esim. vahvalla yhtenäisellä muoviputkella tai betonilla.



Kuvio 15: Jäävalleja rannalla

(Leino 2024)

## 6.2 Rakennettu ympäristö

### 6.2.1 Teollisuus ja merenkulku

Rakennettu ympäristö voi vaikeuttaa huomattavasti kaapelin rantautumispaikan valintaa. Esimerkiksi satama-alueen laita voi soveltua rantautumiseen, mutta tiheä rakennuskanta ja suuret kestopäällystealueet voivat estää siirtolinjan rakentamisen kohti kantaverkkoa, tai ainakin nostaa sen kustannuksia huomattavasti verrattuna rakentamattomaan ympäristöön. Toisaalta rantautumispaikan sijoittuminen jo rakennettuun teollisuusympäristöön vähentää luontoon ja virkistys- ja asuinalueisiin kohdistuvaa lisärasitusta. Kaapeleiden sijoittaminen merenkulun väylille ja niiden

välittömään läheisyyteen vaikeuttaa mm. väylien ruoppaamista ja muuta ylläpitoa, sekä lisää kaapeleiden vaurioitumisriskiä aluksen pudottaessa ankkurinsa tai ajautuessa sivuun väylältä (Utriainen, M., 2024). Kaapelin sijoittaminen väylille edellyttää aina väylänpitäjän lupaa, joka käsitellään vesiluvan yhteydessä.

### 6.2.2 Ranta-asutus ja virkistys

Suomen rannoille on tyypillistä runsas pysyvä ja kausiasutus. Aukkaan näkökulmasta merikaapelin ja siirtolinjan rakentaminen aiheuttavat ohimenevää työnaikaista haittaa kuten liikennettä, melua, pölyä ja veden samentumista. Rakennustyöt tuleekin ajoittaa aktiivisimman kesämökkikauden ulkopuolelle syyskuun ja huhtikuun välillä. Voimajohdot ja merikaapeli eivät vaadi jatkuvaa huoltamista, joten ylläpidon aiheuttama häiriö voidaan katsoa vähäiseksi ja tilapäiseksi. Muita voimalinjoihin liitettyjä huolia ovat mm. huoli maisemasta, kiinteistöjen arvon laskusta sekä sähkö- ja magneettikenttien vaikutuksista ihmisten terveyteen.

Maisemaan liittyviä asioita käsitellään tarkemmin työn luvussa 6.3.2. Kiinteistön arvon laskua voidaan mitata konkreettisilla käytettävyyden rajoittumisesta, esim. metsätalouden estymisestä johtuvilla syillä sekä ympäristön viihtyisyyden heikentymisestä johtuvilla syillä eli immissiohaitoilla. Yleisen periaatteen mukaan voimajohdon rakentamisesta aiheutuva haitta korvataan täysimääräisenä. Konkreettisten menetysten osalta käytetään Maanmittauslaitoksen ohjeita ja taulukoita. Immissiohaittojen vaikutusta kiinteistöjen hintoihin ovat tarkastelleet diplomityössään Papinsaari (Papinsaari, 2014) ja pro gradu - työssään Konttajärvi (Konttajärvi, 2019). Immissiohaittojen korvausten määrittelyssä käytetään yleisesti Maanmittauslaitoksen julkaisua ”Maisemahaitoista ja niiden käsittelystä maanmittaustoimituksissa 99/2006” (Rahkila, P., Carlson, E., Hiironen, J. 2006). Tutkimusten mukaan uuden voimajohdon kiinteistön arvoa alentava vaikutus on 7–12 % alle 20 m etäisyydellä johdosta, 4–7 % alle 40 m etäisyydellä ja loppuu täysin noin 150 m etäisyydellä johdosta.

Sähkö- ja magneettikenttien vaikutuksesta ihmisen terveyteen ei ole tutkimusnäyttöä. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti Säteilysurvakeskus suosittelee rakentamaan uudet voimajohdot niin, ettei 0,4 mikrotieslan ( $\mu\text{T}$ ) magneettikenttää ylitetä rakennuksissa, joissa oleskellaan jatkuvasti. Useimmiten voimajohtojen rakennusrajoitusalueen reunalla magneettikenttä on pudonnut jo alle suositustason (Sähköverkot synnyttävät sähkö- ja magneettikenttiä, N.d.).

### 6.2.3 Muu rakennettu ympäristö

Kaapelin rantautumispaikan välittömässä läheisyydessä sijaitsevat yhdyskuntatekniset rakenteet kuten vilkkaat liikenneväylät, muut kaapelit ja putkijohdot sekä rantojen tuki- ja suojarakenteet voivat aiheuttaa hidasteita ja lisäkustannuksia liittynnän rakentamiselle.

Rantarakenteilla kuten aallonmurtajilla, laitureilla, penkereillä, tukiseinillä ja padoilla estetään luonnollisten sekä meriliikenteen aiheuttamien virtausten ja tyrskyjen aiheuttamaa eroosiota ja sedimenttien siirtymistä sekä mahdollistetaan vesiliikenne. Rakenteet voivat vaikeuttaa tai estää kaapelin rakentamisen kokonaan, ja rakenteiden moninaisuudesta johtuen niiden aiheuttama haitta tulee arvioida tapauskohtaisesti. Esimerkiksi teräsponttiseinä vaatii vähimmilläänkin vedenalaista työskentelyä sopivan läpiviennin tekoon tai vaihtoehtoisesti kaapelin kannakointiin seinää pitkin ylös vedestä. Samoin kaapelireitin rakentaminen kivilouheesta tai betonielementeistä rakennettuun aallonmurtajaan voi olla hyvin kallista.



Kuvio 16: Rantajyrkäne ja suojarakenteita

(Leino 2022)

Virkistysalueita ovat kaupunkien ja kuntien sekä virkistysalueyhdistysten hallinnoimat ja ylläpitämät alueet sekä reitit rakennetuilla tai luonnontilaisilla alueilla. Virkistysalueiden lisäksi on suuri määrä paikallisia liikunta- ja ulkoilupaikkoja. Alueet eivät suoranaisesti estä kaapelin rantautumista, mutta alueille tehtävät rakennustyöt herättävät helposti sosiaalista vastustusta, joka voi johtaa valituksiin ja hankkeen viivästymiseen. On myös imagollisesti kyseenalaista rakentaa kaapeliteitä luonnontilaisen virkistysalueen läpi ja samalla väittää tuulivoimaa ympäristöystävälliseksi. Tietoa alueista saa Jyväskylän Yliopiston ylläpitämästä LIPAS-tietopalvelusta.

Arkeologisen kulttuuriperinnön olemassaolo vedessä ja maalla tulee tarkastaa reittisuunnittelun yhteydessä Museoviraston muinaisjäännösrekisteristä ja tarvittaessa pyydettävä lausunto. Kohteet eivät välttämättä estä rakentamista, mutta voivat edellyttää arkeologista tutkimusta ennen töitä ja valvontaa työn aikana (Maankäyttö ja arkeologiset kohteet, N.d.).

### **6.3 Luontoarvot**

Merituulivoimabuuri on käynnistänyt Suomessa huomattavan määrän meri- ja rannikkoalueisiin kohdistuvia ympäristövaikutusten arviointeja ja meriluontoa koskeva tieto lisääntyy nopeasti. Aiempi totuus voi muuttua yhdessä yössä ja hankekehittäjiä on oltava valmiita muuttamaan suunnitelmia nopealla aikataululla. Merituulivoiman kehitystyössä korostuvat luontoarvojen selvittäminen ja arvioiminen sekä aktiivinen vaihtoehtojen hakeminen. Kaikki suojelualueet eivät estä kehittämistä ja rakentamista: esimerkiksi linnustonsuojelualueen läpi on todennäköisesti mahdollista rakentaa merikaapeli, mutta merenpohjan suojelualueelle ei. Kaapelin kaivaminen rantaniityn läpi on kyseenalaista varsinkin kasvukaudella, mutta talvityöt tai suuntaporaus voivat onnistua.

#### **6.3.1 Suojellut alueet ja biotoopit**

Luonnonsuojelualueista tärkeimpiä ovat Natura 2000-verkostoon kuuluvat alueet, kansallispuistot, luonnonpuistot sekä linnuston- ja nisäkkäidensuojelualueet. Tiukimmin suojeltuja ovat luonnonpuistot, jotka on perustettu tieteellisiin tarkoituksiin ja jotka säilytetään luonnontilaisina. Meri- ja rannikkoalueilla ei sijaitse luonnonpuistoja.

Natura 2000-alueiden tavoitteena on tärkeiden luontotyyppien ja luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen: alueilla voidaan sallia toiminta, joka ei uhkaa suojeltavia luonnonarvoja. Suomen pinta-alasta noin 13 % kuuluu Natura-verkostoon.

Jokainen kansallispuisto perustetaan jotakin tiettyä tarkoitusta varten omalla suojelupäätöksellä, jossa määritellään puiston alueella sallitut toiminnot. Peruseriaatteena on alueen ja maiseman säilyttäminen luonnontilaisena kulttuuriympäristö huomioon ottaen. Esimerkiksi Selkämeren kansallispuisto on perustettu vedenalaisen luonnon suojelemiseksi ja merenpohjan muokkaaminen on kielletty. Kansallispuistoja hallinnoi Metsähallitus, joka voi myöntää tiettyjä lupia puiston alueella tapahtuviin toimiin. On kuitenkin epäselvää, mihin asti Metsähallituksen toimivalta riittää vai joudutaanko tekemään lakimuutoksia. Toisaalta AVI on antanut lupia kaapelasennuksiin Itäisen Suomenlahden ja Tammisaaren saariston kansallispuistoissa (ESAVI 316/2020): päätöksissä viitataan Metsähallituksen myöntämään lupaan sijoittaa kaapeleita alueelle.

Merialueilla on runsaasti linnuston- ja nisäkkäidensuojelualueita, jotka ovat rauhoitettuja lisääntymisaikana, yleisimmin 15.4.–31.8. Rauhoitusajan ulkopuolella on useimmiten mahdollista työskennellä ja tehdä toimia, jotka eivät heikennä rauhoituksen perusteena olevia luontoarvoja.

Merikaapelin rantautumispaikan näkökulmasta luonnonsuojelulain nojalla suojeltuja luontotyyppisiä ovat hiekkarannat, jalopuumetsiköt, pähkinäpensaikot, tervaleppämetsät, merenrantaniityt, rannikon metsäiset dyynit, meriajokaspohjat ja suojaisat näkinpartaispohjat (Lsuojelul. 9/2023, 64 §). Lisäksi Suomessa esiintyy 20 erilaista EU:n luontodirektiivin mukaista meren ja rannikoiden luontotyyppiä, jotka ovat osittain samoja kuin luonnonsuojelulaissa mainitut (Luontodirektiivin luontotyyppit, 2022).

### **6.3.2 Maisema**

Suomen rannikot ovat maisemallisesti vaihtelevia ja valtaosaltaan puuston ja metsän peittämiä. Metsämaisemaan raivattu merikaapelin rantautumispaikka ja voimajohto rikkovat rantaviivan ja näyttävät mereltä katsottuna epämiellyttäviltä. Rantautumispaikan aiheuttama maisemahaitta on kuitenkin paikallinen ja oikein tehdyllä maisemasuunnittelulla ja maisemoinnilla se saadaan yleensä sopeutumaan ympäristöönsä.

Voimajohto on maisemaa hallitseva tekijä. Merenrantavyöhykkeen puusto on yleensä matalaa ja mereltä katsottuna voimajohtopylväät voivat nousta esiin sisämaata häiritsevämällä tavalla johtuen pidemmästä näkemäalueesta ja Suomen rantojen pääosin luonnollisesta ilmeestä. Kaapelin kytkentä ilmajohtoon tulee tehdä aina riittävän kaukana rantaviivasta (200–500 m), jotta kokonaisuus saadaan sopeutumaan ympäristöönsä. Erityisesti rakennetussa ympäristössä voidaan myös käyttää ns. maisemapylväitä tuomaan alueelle arkkitehtoninen elementti.

Maisemasta puhuttaessa on pidettävä mielessä, että tuulivoimaloiden aiheuttama maisemahaitta koetaan usein yhtenä suurimmista haitoista, joka aiheuttaa myös eniten sosiaalista vastustusta. Näin ollen maisemasuunnitteluun panostettu aika ja resurssit voivat olla hyvin tuottavia investointeja (Hyttinen, 2019; Peltonen ja muut, 2024; Janhunen ja muut, 2017).

## 7 Johtopäätökset ja pohdinta

Tekijän tietämys ja osaaminen kehittyi työn aikana suuresti ja valittu aihe osoittautui kaikin tavoin hyödylliseksi ja kiinnostavaksi. Alan nopeasta kehityksestä johtuen työtä on pidettävä eräänlaisena benchmarkina, jonka pohjalta jatketaan osaamisen kehittämistä niin henkilökohtaisella kuin yrityksenkin tasolla.

Työn aikana on käynyt selväksi, että merituulivoiman kehitys on ollut nopeampaa kuin siihen liittyvän lainsäädännön ja käytänteiden kehittäminen. Sinänsä tilanne on tuttu monista muistakin kehittyvistä teknologioista, ja Pohjanmeren rantavaltiot ovat käyneet läpi tämän prosessin kukin vuorollaan. Keskeisimmät kehitystarpeet liittyvät kantaverkon liityntäprosessiin, talousvyöhykkeellä tapahtuvan rakentamisen luvittamiseen ja verotukseen sekä maankäyttöön ja aluekehitykseen.

Merituuleen liittyvä lainsäädäntö tulee päivittää nopeasti mutta myös huolellisesti vastaamaan nykyistä tilannetta. Nykyisessä taloustilanteessa Suomi tarvitsee kipeästi uusia teollisia investointeja, emmekä voi jäädä odottelemaan ja katselemaan rahojen valumista muihin maihin. Hitaat luvitusprosessit mainitaan usein teollisia investointeja estävinä tekijöinä. Hallituksen kaavailemat henkilöstövähennykset näyttävätkin huolestuttavilta: pysyykö byrokratia ennallaan mutta lupakäsittelijöiden määrä vähenee?

## 7.1 Aluekehitys

Kuten jo aiemmin todettiin, tuotannon ja kulutuksen alueellinen epäsuhta voi johtaa tarpeettomaan suuriin sähköverkkoinvestointeihin. Puhtaasti energia- ja sähkötekniisessä mielessä runsaasti energiaa kuluttavat investoinnit tulisivat saada ohjattua maan länsi- ja pohjoisosiin lähelle tuotantoa, jolloin verkkoon kohdistuvaa kuormitusta saadaan tasattua. Ihanteellisessa tilanteessa merituulivoimaa rakennettaisiin Suomenlahdelle tasaamaan etelän suurta kulutusta, mutta maanpuolustuksellisista syistä tämä on toistaiseksi mahdotonta. On myös kyseenalaista, olisiko yksikään hankekehittäjä halukas investoimaan potentiaalisesti hyvin riskialttiille merialueelle.

Ohjauksella voidaan vaikuttaa alueiden kehitykseen ja koko yhteiskunnan rakenteisiin: mikään luonnonlaki ei pakkaa Suomen väestöä etelärannikolle, vaan alueiden vetovoima syntyy ja katoaa muun muassa koulutus- ja työllistymismahdollisuuksista. Vanha hokema yhden teollisen työpaikan tuottamasta kolmesta muusta työpaikasta ei myöskään ole menettänyt totuuspohjaansa.

Usein esitetty huolenaihe on Suomen muuttuminen Euroopan energiareservaatiksi, jossa tuotetaan halpoja raaka-aineita kuten energiaa ja vetyä, joita ulkomaiset sijoittajat jalostavat arvokkaammiksi tuotteiksi ja haitat jäävät Suomen veronmaksajille. Huoli ei ole perusteeton: kunnilla on verotusoikeus omalla alueellaan (KiinteistöveroL 654/1992) ja kuntarajat jatkuvat aluevesirajalle asti (L 483/1996), jolloin talousvyöhykkeellä sijaitsevat voimalat eivät ole kiinteistöverotuksen piirissä. Voimajohdot eivät ole kiinteistöveron piirissä, mutta sähköasemat ovat. Yhteisövero kannetaan myös talousalueelle sijoitetuista voimaloista, samoin kuin kantaverkkomaksut. On myös muistettava, että sähköverkon tuotanto ja kulutus ovat koko ajan tasapainossa, ja sähkövero kannetaan jokaisesta kulutetusta megawattitunnista. Näin ollen kaikki lisätty tuotanto lisää myös sähköverokertymää.

## 7.2 Maankäyttö

Voimajohtojen voimakasta lisääntymistä ei voi jättää tapahtuvaksi ”omalla painollaan” eikä väistämättömänä luonnonlakina, vaan asiaa tulee ohjata määrätietoisesti. Sähköverkkojen rakentamisen koordinoimattomuus on tunnistettu myös kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa (Hiilineutraali Suomi 2035, 52, 2022).



Vaikka Suomessa on näennäisen runsaasti tilaa voimajohdoille, pitäisi meidän kysyä, onko uusi johto ylipäättään pakko rakentaa, vai voidaanko käyttää jotain muuta keinoa? Lyhytaikaisia tehoheilahduksia voidaan tasata ympäri verkkoa sijoitettavilla akkuvarastoilla ja johtojen kuormitettavuutta parantaa sähköasemien yhteyteen lisättävillä loistehon kompensointiratkaisuilla. Julkisudessa on myös ollut runsaasti esillä vedyn tuotanto ja siirto putkistoja käyttäen. Yksi 1200 mm vetyputkisto pystyykin siirtämään n. 13 GW tehon, joka vastaa 15:sta 400 kV voimalinjaa. Vetyinfrastrukturi on kuitenkin vasta alkutekijöissään ja elektrolyysin hyötysuhde hyvin matala, jota tosin pystytään parantamaan hukkalämmön hyödyntämisellä. Tämä edellyttää luonnollisesti laitosten rakentamista paikkoihin, joissa on mahdollisuus lämmön hyödyntämiseen esim. kauko- tai prosessilämpönä.

Vedyntuotannosta puhuttaessa on mietittävä jo seuraavia askelia. Vetyä käytetään teollisuuden tarpeisiin n. 95 miljoonaa tonnia joka vuosi: se on raaka-aine, ei energian siirtoaine, saati liikennepolttoaine. Tulevaisuudessa runsaasti vetyä tuottava Suomi voisi olla uusi kestävä kemianteollisuuden suurvalta mm. akkukemikaaleissa ja lannoitteissa. Nyt kuitenkin julkinen keskustelu pyörii vedyn polttoainekäytön ja Keski-Eurooppaan suuntautuvien kaasuputkien ympärillä. Oireellista on, että European Hydrogen Backbone-visiossa vedyn kulutus keskittyy Saksaan ja Benelux-maihin ja EU:n reunavaltioiden rooli on olla vedyn tuottajia. Suomalaisen keskustelun fokus tulisi siirtää nyt jo ennen vetytalouden alkua Suomessa tuotettavien korkeamman jalostusasteen vetytuotteisiin ja mahdollisuuksiin, eikä nähdä vetyä sinällään vientituotteena, vielä vähemmän tukehtua lillukanvarsiin pyörimällä marginaalisen liikennepolttoainekäytön ympärillä. Miksi toistaisimme paperiteollisuuden historiaa tuottamalla halpoja bulkkituotteita kun pystymme parempaan?

Sähkömarkkinalaki sallii useamman toimijan sijoittavan liittymisjohtonsa samaan pylvääseen. Ihanetilanteessa hankekehittäjät ja siirtoverkkoyhtiöt tekevät yhteistyötä hankkeiden alkumetreiltä lähtien rakentaen voimalinjansa useamman virtapiirin yhteiskäyttöpylväisiin, minimoiden näin maankäytön. Valitettavasti ainakin maatuulen kohdalla hankkeiden eriaikaisuus ja riippumattomuus toisistaan on tuottanut tähän huomattavia käytännön haasteita ja suoranaisia esteitä. Olemassa olevan linjan muuttaminen yhteiskäyttöiseksi puolestaan vaatii vanhan linjan purkamisen ja uusien pylväiden rakentamisen tilalle, joka tuottaa paitsi ylimääräisiä rakentamiskustannuksia,

myös tuotannon keskeytymisestä aiheutuvia tappioita. Näin ollen päivitysvaihtoehto voi tulla kyseeseen vain kohteissa, joissa vanha johto on joko käyttöikänsä päässä, tai erittäin korkea maan hinta kompensoi muutostyöt ja sähkö on mahdollista siirtää vaihtoehtoista yhteyttä pitkin.

Merikaapeleiden ja rannikon siirtolinjojen osalta on vielä mahdollista toimia toisin. Merituulipuistojen kantaverkkoliityntäpisteet tulee osoittaa ja saattaa kaavoihin mahdollisimman pian. Seuraavana askeleena merikaapeleille tulee kaavoittaa perustellut rantautumispaikat sekä siirtojohtojen käytävät enimmäisleveyksineen. Luonnonsuojelualuiden – erityisesti Selkämeren kansallispuiston – osalta on käytävä yhteiskunnallinen keskustelu: perustetaanko esim. merikaapelikäytäviä alueiden läpi ja määritellään näille kaapeleiden enimmäismäärät, jottei tulevaisuudessa jouduta tilanteeseen, jossa merikaapelit lisääntyvät yksi kerrallaan, ”hivuttautumalla” alueille rikkoen kokonaisuuden, samaan tapaan kuin voimajohdot sähköasemien ympäristössä. Näillä toimilla lisätään hankkeiden ennakoitavuutta ja sosiaalista hyväksyttävyyttä. Vastuullisina tahoina näissä ovat valtion organisaatiot, rannikon kunnat, maakuntaliitot sekä kantaverkkoyhtiö Fingrid.

Voimalinjojen nykyisiä pylväsrakenteita tulee tarkastella kriittisesti sekä kehittää ja mahdollistaa useamman virtapiirin voimajohtojen käyttämistä erityisesti 400 kV:lla. Vaikeampi ratkaistava on nykyisen 1300 MW maksimitohon / virtapiiri / liittymispiste kasvattaminen. Suurjänniteverkon maakaapelointi ei ole kokonaisratkaisu aiemmin työssä mainituista syistä, mutta sen käyttöä tulee lisätä etenkin maisemallisesti arvokkaissa ympäristöissä. Muuten maisemahaittaa voidaan vähentää siirtolinjan oikealla suunnittelulla: viedään merikaapelin liityntäpiste ilmajohtoon riittävän kauas rantaviivasta ja sijoitetaan voimajohto maisemallisesti järkevään paikkaan kuten painanteeseen eikä mäkien päälle.

On myös tutkittava aktiivisesti sähkötekniisiä vaihtoehtoja voimajohtojen lisäämiselle: kylmä ja tuulinen ilmastomme mahdollista voimajohtojen dynaamisen kuormituksen hyödyntämisen (DLR, Dynamic Line Rating). Perinteisesti voimajohdon suurin sallittu kuormitettavuus on määritetty konservatiivisesti yhden vakio-olosuhteen, yleensä tynnen ja lämpimän sään mukaan. Kylmässä ja tuulisessa säässä johto kuitenkin jäähtyy voimakkaasti ja todellinen kuormitettavuus on jopa kaksinkertainen laskennalliseen arvoon nähden. Dynaamisen kuormituksen järjestelmiä on ollut saatavilla jo 1990-luvun alusta lähtien, mutta ne ovat alkaneet yleistyä vasta nyt.

Peräänkuulutan kaikessa tilaajan vastuuta: jos tilataan aina halvinta ja samaa kuin aina ennenkin, saadaan sen mukaista jälkeä. On sanahelinää puhua vihreästä siirtymästä ja kestävästä kehityksestä, jos ainoa vaihtoehto sähkön siirroksi on viivoittimella vedetty, heti merenrannasta alkava ja runsaasti tilaa vievä harustettu ilmajohto.

### 7.3 Liittymisprosessi

Nykyinen käytäntö, jossa merituulioperaattori ei pysty ennakkovaraamaan ja varmistamaan kantaverkkoliitintä tuottaa huomattavia riskejä rahoittajille ja kehittäjille. Aluevesille aiottujen merituulialueiden kehitysvaiheessa olisikin ollut syytä kiinnittää tarkempaa huomiota kantaverkkoliittymän varmistamiseen. Kantaverkkoliityntä on koko merituulihankkeen kulmakivi: jos tuotettua sähköä ei saada markkinoille, on puiston rakentaminen täysin turhaa.

Ongelma on kaksitahoinen: Merituulioperaattori joutuu kantamaan huomattavan taloudellisen riskin teettäessään ympäristövaikutusten arvioinnit, luvituksen ja tuulipuiston sekä kantaverkkoliittymän suunnittelun ilman sopimuksellista varmuutta mahdollisuudesta liittyä kantaverkkoon aiottussa ajassa ja suunnitellulla teholla. Verkkoyhtiön näkökulmasta kantaverkon varaaminen yhdelle toimijalle on yhtä lailla taloudellinen riski: jos merituulihankkeelle varataan verkosta liitettävyysskapasiteettia, on se pois muilta hankkeilta. Jos merituulihanke myöhästyy tai peruuntuu myöhäisessä vaiheessa, verkkomaksut jäävät saamatta mutta verkon vahvistusinvestoinnit on jo tehty.

Nykyinen sähkömarkkinalaki velvoittaa kohtelemaan kaikkia sähköliittymän tarvitsijoita tasapuolisesti eikä verkkoyhtiö voi määritellä yhtä hanketta toista paremmaksi tai hyödyllisemmäksi. Periaate on hyvä ja kannatettava, mutta soveltuuko se merituulipuiston kaltaiseen jättihankkeeseen, joita toteutuu vain hyvin harvoin? Tulisiko sähkömarkkinalakiin sisällyttää näille suurhankkeille ”ohituskaista”, jolla taattaisiin verkkoliityntä jo hankkeen alkuvaiheessa. Tämä saattaa aiheuttaa myös tarvetta laittaa hankkeita paremmuusjärjestykseen: se tulee tehdä esim. valtioneuvoston myöntäessä suostumusta aluevesille rakennettavalle tuulivoimalle.

Merituulipuiston ja verkkoliittymän suunnittelu-, luvitus- ja rakennusprosessi kestää arviolta kymmenen vuotta ja kantaverkon uuden voimajohdon vastaava noin seitsemän vuotta. Maatuulipuist-

ton tai keskisuuren teollisuuslaitoksen (esim. vedyntuotanto) prosessi vie 2–5 vuotta ja aurinkopuisto voidaan saada käyntiin 2–3 vuodessa. Hankkeiden eritahtisuus vaikeuttaa paitsi verkon kehityksen ennakkointia, myös yhteisjohtojen rakentamista.

Toisinaan keskustelussa vilahtava merituulipuiston saarekekäyttö ilman kytkentää kantaverkkoon esimerkiksi omavaraisen vetytehtaan muodossa ja lopputuotteen vienti markkinoille kaasuputkistoa pitkin kuulostaa utopialta, jonka kaupallisesti mielekäs toteutus on kaukana tulevaisuudessa. Syy on yksinkertainen: tuulivoima on luonteeltaan vaihtelevaa ja sattumanvaraista, eikä teollisten prosessien tarvitsemaa sähköenergiaa ole mahdollista varastoida riittäviä määriä keskeytymätöntä käyttöä varten. Todettakoon myös, että varavoimakoneita ja -laitoksia lukuun ottamatta voimalaitoksia ei suunnitella saarekekäyttöä varten. Esimerkiksi maatuulipuiston käynnistäminen ns. black startina ilman tahdistavaa kantaverkkoyhteyttä ei ole mahdollista.

Sähkönsiirtoverkon osalta keskeisiä asioita näyttäisivät olevan Suomen ja Ruotsin välisten siirtoyhteyksien jatkokehittäminen. Tammikuun 2024 pakkasjakson aikana maiden väliset siirtoyhteydet olivat käytössä täydellä kapasiteetilla. Aurora-linjan lisäksi onkin harkittava uusien merikaapeliyhteyksien rakentamista maiden välille: yhteydet eivät ratkaise siirron ongelmia etelä-pohjoissuunnassa mutta parantavat huoltovarmuutta ja tasaavat sähkön hintavaihteluita. Erityisesti säätövoimana toimiva vesivoima on molemmissa maissa välttämätön vastinpari tuulivoimalle heikkotuulisina aikoina.

Eräs ratkaisu voisi olla merituulipuiston yhdistäminen sekä Suomen että Ruotsin kantaverkkoihin tasasähkökaapeloinnilla, joka toimisi sekä liittymiskaapelina että maiden välisenä rajasiirtoyhteytenä. Järjestelyä rajoittaa EU:n sähkömarkkinadirektiivi, joka määrää rajasiirto- ja muissa sähkömarkkina-alueiden välisissä yhteyksissä oltavan koko ajan vähintään 70 % yhteyden nimelliskapasiteetista sähkömarkkinoiden vapaassa käytössä (EU 943/2019, 16.8 §). Sähkömarkkinadirektiiviin on kuitenkin mahdollista saada poikkeuksia: maailman ensimmäinen merituulipuistojen kautta kulkeva maiden välinen on otettu käyttöön Itämeren Saksan ja Tanskan välisellä alueella sijaitsevassa Kriegers Flak-tuulipuistossa (Sea-Basin ONDP Report. TEN-E Offshore priority corridor: BEMIP offshore grids, 13, 2024). Mahdollisuus tunnistetaan myös Fingridin merituulipuistojen liityntäselvityksessä (Merituulivoiman alustavat liityntämahdollisuudet Fingridin kantaverkkoon 2030-luvulla, 2024).

Mitä ovat ne tekijät, joilla investointeja ja talouskasvua houkutellessaan? Suomi ei ole hyvien kulkuyhteisyyksien päässä, vielä vähemmän tapahtumien keskipisteessä. Korkeasti koulutetun työvoiman silmissä maamme on syrjässä, ilmasto vähemmän houkutteleva ja työmarkkinat sulkeutuneet suomalaisia puhumattomilta henkilöiltä. Sen sijaan kaikkia Pohjoismaita pidetään vakaana ja turvallisena toimintaympäristönä. Tätä mielikuvaa on vahvistettava mm. sujuvilla lupaprosesseilla ja yleisellä investointeihin kannustavalla ilmapiirillä.

Merituulivoimahankkeiden on hyödytettävä ensisijaisesti Suomen taloutta ja yhteiskuntaa, tuulivoimatoimijaa unohtamatta. Talousalueelle rakennettavaan merituulivoimaan ja siihen kytkeytyviin teollisiin hankkeisiin on kehitettävä menettelyt, jotka kannustavat investointeihin ja takaavat valtiolle riittävät tulot vuokrana tai veroina. Missään tapauksessa emme saa toistaa niitä ympäristölle ja luonnolle tuhoisia virheitä, joita takavuosisikymmeninä syntyi teollisuutta edistettäessä, vaan kaiken tulee perustua aitoon kiertotalouteen ja ympäristön hyvinvoinnin parantamiseen.

## Lähteet

525 kV XLPE DC Cable Systems – a key contributor in the green transformation. 2020. NKT Cables. Viitattu 6.2.2024. <https://www.nkt.com/news-press-releases/525-kv-xlpe-dc-cable-systems-a-key-contributor-in-the-green-transformation>

ABB lands \$100m contract for Kriegers Flak cabling. 2015. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2024. <https://www.rechargenews.com/wind/abb-lands-100m-contract-for-kriegers-flak-cabling/1-1-870350>

Ajos, Kemi. Tiedot hankkeesta. 2023. Verkkosivu. OX2. Viitattu 3.12.2023. <https://www.ox2.com/fi/suomi/hankkeet/ajos>

Aluevalvontalaki 755/2000. Annettu 18.8.2000. Viim. muutos 20.2.2023. Viitattu 3.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000755>

Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für die Zieljahre 2037/2045. Maaliskuu 2024. Bundesnetzagentur. Viitattu 21.4.2024. [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2024-03/NEP\\_2037\\_2045\\_Bestaetigung.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2024-03/NEP_2037_2045_Bestaetigung.pdf)

D'Ignazio, M. 2024. Erikoisiasiantuntija, geotekniikka. Ramboll Finland Oy. Haastattelu 10.4.2024.

ENTSO-E Mission statement. N.d. Verkkosivu. ENTSO-E. Viitattu 9.1.2024. <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/objectives/>

EU Funding for offshore renewables. 2023. Verkkosivu. Euroopan komissio. Viitattu 28.12.2023. [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/financing/eu-funding-offshore-renewables\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/financing/eu-funding-offshore-renewables_en)

EU:n strategia avomerellä tuotettavan uusiutuvan energian potentiaalin valjastamiseksi ilmasto-neutraalin tulevaisuuden tarpeisiin. COM (2020) 741. 2020. EU:n komissio. Viitattu 28.11.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0741>

Euroopan Parlamentin ja Neuvoston asetus (EU) 2019/943. Euroopan Parlamentti 2019. Viitattu 28.4.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:02019R0943-20220623#toclid18>

Export transmission cables for offshore renewable installations. 2012. The Crown Estate. Viitattu 23.3.2024. <https://www.thecrownestate.co.uk/media/1781/ei-km-in-pc-cables-export-transmission-cables-for-offshore-renewable-installations.pdf>

Global Wind Report 2023. 2023. Verkkosivu. Global Wind Energy Council. Viitattu 28.12.2023. [https://gwec.net/wp-content/uploads/2023/04/GWEC-2023\\_interactive.pdf](https://gwec.net/wp-content/uploads/2023/04/GWEC-2023_interactive.pdf)

Grid development plan. 2023. Svenska Kraftnät. Viitattu 1.5.2024. [https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2024/grid\\_development\\_plan\\_2024-2033.pdf](https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2024/grid_development_plan_2024-2033.pdf)

Hellenic Cables signed a contract with Energinet to deliver high-voltage cables for an electrical interconnection. 22.11.2023. Lehdistötiedote. Hellenic Cables. Viitattu 9.3.2024. <https://www.hellenic-cables.com/news/hellenic-cables-signed-a-contract-with-energinet-to-deliver-high-voltage-cables-for-an-electrical-interconnection/>

Helsingin kaapeli. N.d. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 9.3.2024. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/helsingin-kaapeli/>

High voltage direct current electricity – technical information. N.d. Verkkosivu. National Grid Group. Viitattu 28.11.2023. <https://www.nationalgrid.com/sites/default/files/documents/13784-High%20Voltage%20Direct%20Current%20Electricity%20%E2%80%93%20technical%20information.pdf>

Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 2022. TEM. Viitattu 5.5.2024. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM\\_2022\\_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13.p. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Hutchinson, S., Hawkins, L.E. 2008. Maailman valtameret. Gummerus Kustannus Oy.

Hyttinen, H. 2019. Sitten sitä ei tehdä – Sosiaalinen hyväksyttävyyys tuulivoimahankkeissa. Pro gradu-tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, ympäristöpolitiikan koulutusohjelma. Viitattu 2.4.2024. [https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/21794/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20200041.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/21794/urn_nbn_fi_uef-20200041.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ihamäki, L. 2024. Erikoisasiantuntija, merituulivoima. Fingrid Oyj. Haastattelu 23.1.2024.

Ilmajohtojen sekä kaapeleiden ja putkijohtojen asettaminen vesialueella. 2021. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Viitattu 24.3.2024. [https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ilmajohtojen%20sek%C3%A4%20kaapeleiden%20ja%20putkijohtojen%20asettaminen%20vesialueella\\_lopullinen.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ilmajohtojen%20sek%C3%A4%20kaapeleiden%20ja%20putkijohtojen%20asettaminen%20vesialueella_lopullinen.pdf)

Ilmastolaki 423/2022. Annettu 1.7.2022. Viim. muutos 1.3.2023. Viitattu 5.5.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>

Janhunen, S., Hujala, M., Pätäri, S. 2017. The acceptability of wind farms: the impact of public participation. Journal of environmental policy & planning. 20,2,214-235. Viitattu 6.3.2024. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1523908X.2017.1398638>

Kantaverkon historia ja laajeneminen. 2019. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 9.1.2024. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/Kantaverkon-laajeneminen/>

Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024–2033. 2023. Fingrid Oyj. Viitattu 10.1.2024. [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid\\_kehittamissuunnitelma\\_2024-2033.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_kehittamissuunnitelma_2024-2033.pdf)

Kiinteistöverolaki 654/1992. Annettu 1.8.1992. Viim. muutos 1048/24.11.2023. Viitattu 14.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19920654>

Konttajärvi, S. 2019. Naapuruusoikeudellinen sietokynnys eräiden säädösten mukaisissa menette-lyissä. Pro gradu - tutkielma. Lapin yliopisto, oikeustieteiden koulutusohjelma. Viitattu 23.3.2024. <https://lauda.ulapland.fi/handle/10024/64171>

Koponen, J. 2023. Maa- ja merituulivoiman sosiaalisen hyväksyttävyyden eroavaisuuksia Suo- messa. Pro gradu-tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, yhteiskuntamaantieteen koulutusohjelma. Vii- tattu 14.4.2024. [https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/30284/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20230931.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/30284/urn_nbn_fi_uef-20230931.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kylmänen, E., ympäristöpäällikkö. Malinen, R., maankäyttöpäällikkö. Pohjois-Pohjanmaan liitto. Haastattelu 20.2.2024.

Laki kiinteän omaisuuden ja erityisten oikeuksien lunastuksesta 603/1977. Annettu 29.7.1977. Viim. muutos 1.2.2024. Viitattu 6.2.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/1977/19770603>

Laki kuntarajojen määrittämisestä Suomen aluevesillä 483/1996. Annettu 28.6.1996. Viitattu 14.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960483>

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017. Annettu 5.5.2017. Viim.muutos 11/1.6.2023. Viitattu 30.1.2024

Latest news: Final cable test complete for National Grid's Viking Link interconnector. 2023. Viking- Link. Viitattu 14.3.2024. <https://www.viking-link.com/news/final-cable-test-complete-for-national-grid-s-viking-link-interconnector/>

Leonardo da Vinci. N.d. Esite. Prysmian Group. Viitattu 17.3.2024. [https://www.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/Leonardo da Vinci Datasheet v3def.pdf](https://www.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/Leonardo%20da%20Vinci%20Datasheet%20v3def.pdf)

Leppävirta, M. 2021. Lumen ja jään maa. Tampere: Kustannusosakeyhtiö Vastapaino.

Liikenne- ja viestintäviraston toiminta viranomaisasioissa. Annettu 24.6.2021. Viitattu 6.2.2024. [https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Liikenne-%20ja%20viestint%C3%A4viras- ton%20viranomaistoiminta%20vesiv%C3%A4yl%C3%A4asioissa\\_lopullinen\\_.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Liikenne-%20ja%20viestint%C3%A4viras- ton%20viranomaistoiminta%20vesiv%C3%A4yl%C3%A4asioissa_lopullinen_.pdf)

Liittyminen kantaverkkoon. N.d. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 9.12.2023. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/#liitettavyys>

Liu, B., Ma, X., Guo, J., Li, H., Ma, Y. Gong, W. 2023. Estimating hub-height wind speed based on a machine learning algorithm: implications for wind energy assessment. Atmospheric chemistry and physics, 23, 5, 3181-3193. Viitattu 18.1.2024. [https://acp.copernicus.org/arti- cles/23/3181/2023/acp-23-3181-2023.html](https://acp.copernicus.org/articles/23/3181/2023/acp-23-3181-2023.html)

Luonnonsuojelulaki 9/2023. Annettu 1.6.2023. Viimeinen muutos 1.1.2024. Viitattu 21.2.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2023/20230009>



Luontodirektiivin luontotyytit. 6.4.2022. Verkkosivu. Ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Viitattu 17.3.2024. <https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/luonnon-monimuotoisuus/luontotyyppien-monimuotoisuus/luontodirektiivin-luontotyytit>

Maankäyttö ja arkeologiset kohteet. N.d. Verkkosivu. Museovirasto. Viitattu 14.4.2024. <https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/arkeologinen-kulttuuriperinto/arkeologisen-kulttuuriperinnon-suojelu/maankaytto-ja-arkeologiset-kohteet>

Maersk Connector. N.d. Esite. Maersk Supply Services. Viitattu 17.3.2024. <https://www.maersksupplyservice.com/wp-content/uploads/2020/11/Maersk-Connector-Standard-2020-11.pdf>

Metsähallituksen hallinnassa olevat vesialueet. 2023. Verkkosivu. Metsähallitus. Viitattu 28.12.2023. <https://www.metsa.fi/maat-ja-vedet/yleiset-vesialueet/>

Merituulella tuotetun sähkön siirto herättää huolta mantereella. 24.11.2023. Verkkosivu. YLE Uutiset. Viitattu 21.4.2024. <https://yle.fi/a/74-20061855>

Merituulivoimahankkeemme. 2023. Verkkosivu. Metsähallitus. Viitattu 28.12.2023. <https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/tuulivoima/merituulivoimassa-suuret-mahdollisuudet/tulevat-hankkeet/>

Merituulivoiman alustavat liityntämahdollisuudet Fingridin kantaverkkoon 2030-luvulla. 13.5.2024. Fingrid Oyj. Viitattu 15.5.2024. <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2024/fingrid-selvitti-merituulivoiman-mahdollisuuksia-liittya-kantaverkkoon/>

Merituulivoiman edistäminen. 2024. Valtioneuvoston kanslia. Viitattu 7.4.2024. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165452/VNTEAS\\_2024\\_4.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165452/VNTEAS_2024_4.pdf?sequence=7&isAllowed=y)

Merituulivoima talousvyöhykkeellä. 2023. Verkkosivu. Suomen Tuulivoimayhdistys. Viitattu 3.12.2023. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/merituulivoima/merituulivoimahanke-hankekehitys>

Nummela, A., maakuntainsinööri. Satakunnan liitto. Haastattelu 9.3.2024.

Ny anslutningsprocess för havsbaserad vindkraft. 13.10.2023. Svenska Kraftnät. Viitattu 14.4.2024. <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2023/delrapport-1-havsvind-kapacitet-och-punkter2.pdf>

Offshore renewable energy. 2023. Verkkosivu. Euroopan Unioni. Viitattu 28.11.2023. [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en)

Offshore wind turbines. 2024. Verkkosivu. Vestas Wind Systems A/S. Viitattu 18.1.2024. <https://www.vestas.com/en/products/offshore>

- Ohje suurjännitejohdon hankeluvan hakemiseen. 4.1.2023. Energiavirasto. Viitattu 11.2.2024. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12840318/Ohje+suurj%C3%A4nnitejohdon+hankeluvan+hakemiseen.pdf/69bb4bc1-7f98-ca2b-bbac-4dc1d03a6656/Ohje+suurj%C3%A4nnitejohdon+hankeluvan+hakemiseen.pdf?t=1672835993809>
- Ojasalo, K., Moilanen, T., Ritalahti, J. 2014. Kehittämistyön menetelmät. Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3.p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Osakkeet ja osakkeenomistajat. 2023. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 9.1.2024. <https://www.fingrid.fi/sivut/sijoittajat/osakkeet-ja-osakkeenomistajat/>
- Papinsaari, H. 2014. Voimalinjan vaikutus haja-asutusalueilla olevien asuin- ja lomatoimintatien hintoihin. Diplomityö. Aalto-yliopisto, maankäyttötieteiden laitos. Kiinteistötekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 22.3.2024. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/baaef3a0-5922-4b4f-99b7-bf504c28552f/content>
- Pelikka, P. Johtava asiantuntija, maankäyttö. Ramboll Finland Oy. Haastattelu 26.1.2024.
- Peltonen, L., Donner-Amnell, J., Nokelainen J. 2024. Tuulivoima hyväksyttävyyden nykytila ja näkyvät Suomessa. Joensuu: Itä-Suomen Yliopisto, historia- ja maantieteiden laitos. Viitattu 14.4.2024. [https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/31645/urn\\_isbn\\_978-952-61-4931-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/31645/urn_isbn_978-952-61-4931-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pääsiirtolinjat ja poikkileikkaukset. 2023. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 9.1.2024. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/paasiirtolinjat/>
- Rahkila, P., Carlson, E., Hiironen, J. 2006. Maisemahaitoista ja niiden käsittelystä maanmittaustoimituksissa. Maanmittauslaitos. [https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Nro\\_99\\_maisemahaitoista\\_ja\\_niiden\\_kasittelysta\\_maanmittaustoimituksissa.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Nro_99_maisemahaitoista_ja_niiden_kasittelysta_maanmittaustoimituksissa.pdf)
- Ratalaki 110/2007. Annettu 1.1.2008. Viim. muutos 21.4.2023. Viitattu 11.2.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070110>
- Regulations and procedures for offshore wind power in Denmark, Finland, Germany and the United Kingdom / England. 23.2.2024. Selvitys. Ruotsin hallituksen selvitystyöryhmä. Viitattu 28.4.2024. <https://www.sou.gov.se/contentassets/ac6cb0d4637e433cb406fbbb3860d688/study-2024-02-22-of-regulations-in-denmark-finland-germany-and-the-uk.pdf>
- Riley, N. To realise the UK's offshore wind potential, we must strengthen our electricity grid. 9.10.2023. The New Statesman. Viitattu 28.4.2024. <https://www.newstatesman.com/spotlight/sustainability/energy/2023/10/uk-offshore-wind-potential-strengthen-electricity-grid>
- Rio-Antirion Interconnection. N.d. Verkkosivu. Hellenic Cables. Viitattu 16.3.2024. <https://www.hellenic-cables.com/references/rio-antirion-interconnection/>
- Scaling up the use of offshore wind turbines. 2024. Verkkosivu. Siemens Gamesa Renewable Energy S.A.U. Viitattu 18.1.2024. <https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/offshore>

Sea-Basin ONDP Report. TEN-E Offshore priority corridor: BEMIP offshore grids. Tammikuu 2024. ENTSO-E. Viitattu 21.4.2024. [https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/tyndp-documents/ONDP2024/web\\_entso-e\\_ONDP\\_BEMIP\\_240226.pdf](https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/tyndp-documents/ONDP2024/web_entso-e_ONDP_BEMIP_240226.pdf)

Sijoituslupa sähkö, tele, kaukolämpö ja maakaasu. 5.2.2024. Verkkosivu. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Viitattu 6.2.2024. <https://www.ely-keskus.fi/sahkojohdon-telekaapelin-kaukolampojohdon-ja-maakaasuputken-sijoittaminen>

Sunila, K., Bergmann, I., Isojärvi, P., Ekroos, A. 2018. Legal and policy framework for power transmission and offshore wind power generation in Finland. Helsinki. Aalto University. Viitattu 6.3.2024. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/c60b88b0-3be6-4ae3-9be8-497d193536da/content>

Suomen merialueiden merenpohja on välillä kuin vuoristorataa. 2020. SYKE. Verkkosivu. Viitattu 24.3.2024. [https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Luonto\\_ja\\_sen\\_muutos/Ainutlaatuinen\\_Itameri/Merenpohjan\\_ominaispiirteet](https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Luonto_ja_sen_muutos/Ainutlaatuinen_Itameri/Merenpohjan_ominaispiirteet)

Suomen sähköjärjestelmä. 2023. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 9.12.2023. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/>

Så fungerar elprisområden. 6.6.2023. Verkkosivu. E.ON. Viitattu 9.1.2024. <https://www.eon.se/el/elpriser/elprisomraden>

Sähkömarkkinalaki 588/2013. Annettu 9.8.2013. Viim.muutos 497/23.3.2023. Viitattu 5.1.2024.

Sähkömarkkinalakia uudistava työryhmä helpottamaan sähköntuottajien ja teollisuuden investointien verkkoliityntöjä. 12.4.2024. Verkkosivu. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 21.4.2024. <https://tem.fi/-/tyoryhma-laatimaan-lakiesitysta-lisaantyyvan-sahkontuotannon-ja-kulutuksen-integroimiseksi-sujuvasti-sahkoverkkoihin>

Sähköverkot synnyttävät sähkö- ja magneettikenttiä. N.d. Verkkosivu. Säteilyturvakeskus. Viitattu 18.2.2024. <https://stuk.fi/sahkoverkot-ja-voimajohdot#:~:text=Voimajohdot%20aiheuttavat%20ilmajohtojen%20suurimat%20s%C3%A4hk%C3%B6,nopeasti%2C%20kun%20et%C3%A4isyys%20voimajohdosta%20kasvaa.>

Tahkoluodon merituulipuisto. 2023. Verkkosivu. Suomen Hyötytuuli Oy. Viitattu 3.12.2023. <https://hyotytuuli.fi/tuulipuistot/tahkoluodon-merituulipuisto/>

Talousvyöhykkeen tuulivoimasääntelyä täsmennetään. 2.5.2024. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 5.5.2024. <https://tem.fi/-/talousvyohykkeen-tuulivoimasaantelya-tasmennetaan-valtioneuvostolta-nyt-kielteinen-paatos-nykylain-pohjalta-tehtyihin-hyodyntamishakemuksiin>

Tapaninen, M. 2021. Tuulivoimapuiston sosiaalisten vaikutusten arviointi: Case – Juthskogen. Opinnäytetyö, AMK. Vaasan ammattikorkeakoulu, energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 6.3.2024. <https://www.theseus.fi/handle/10024/501007>

TEM 033:00/2023. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi merituulivoimasta talousvyöhykkeellä. 2.10.2023. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 7.4.2024. <https://tem.fi/hanke?tunnus=TEM033:00/2023>

Tennet offshore. Driving the European energy transition from the North Sea. Huhtikuu 2023. Esite. TenneT TSO GmbH. Viitattu 28.4.2024. <https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2023-05/Brochure%20TenneT%20Offshore.pdf>

The Esbjerg Declaration. 18.5.2022. Julkilausuma. Belgian, Tanskan, Hollannin ja Saksan hallitukset. Viitattu 28.4.2024. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/position-papers/the-esbjerg-declaration-north-sea-as-green-power-plant-of-europe.pdf>

TRAFICOM/575684/03.04.01.01/2023. Merituulivoiman ja merenkulun sekä merenkulun infrastruktuurin yhteensovittaminen. Traficom 2023. Viitattu 6.4.2024. <https://traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/Merituulivoimaohje.pdf>

Tuulivoimahankkeet Suomessa 05/23. 12.5.2023. Verkkosivu. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Viitattu 27.11.2023 [https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoimahankkeet-06\\_2023.pdf](https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoimahankkeet-06_2023.pdf)

Undergrounding high voltage electricity transmission lines. 2015. National Grid. Viitattu 17.2.2024. [https://www.nationalgrid.com/sites/default/files/documents/39111-Undergrounding\\_high\\_voltage\\_electricity\\_transmission\\_lines\\_The\\_technical\\_issues\\_INT.pdf](https://www.nationalgrid.com/sites/default/files/documents/39111-Undergrounding_high_voltage_electricity_transmission_lines_The_technical_issues_INT.pdf)

Utriainen, M. Johtava konsultti, merenkulku ja logistiikka. Ramboll Finland Oy. Haastattelu 3.4.2024.

Vahva ja välittävä Suomi: Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. 20.6.2023. Helsinki: Valtioneuvosto. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165042/Paaministeri-Petteri-Orpon-hallituksen-ohjelma-20062023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 277/2017. Annettu 16.5.2017. Viitattu 30.1.2024.

Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista 14.12.2017. Viitattu 6.2.2024. [https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/VATp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s14.12.2017\\_FI.pdf](https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/VATp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s14.12.2017_FI.pdf)

Vedenkorkeusvaihtelut Suomen rannikolla. 3.11.2021. Verkkosivu. Ilmatieteen laitos. Viitattu 19.1.2024. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/teematieto-vedenkorkeus>

Verkon rakentaminen. N.d. Verkkosivu. Energiavirasto. Viitattu 5.2.2024. <https://energiavirasto.fi/verkon-rakentaminen>

Verkossa 2/2019. 2019. Järvi-Suomen Energia Oy:n asiakaslehti. Mikkeli: Järvi-Suomen Energia Oy. Viitattu 15.1.2024. <https://www.jseoy.fi/wp-content/uploads/2020/04/verkossa-2-20191.pdf>

Voimajohtoalueen lunastus. N.d. Maanmittauslaitos. Viitattu 30.1.2024. [https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/voimajohtoalueen\\_lunastus\\_202008\\_7.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/voimajohtoalueen_lunastus_202008_7.pdf)

Yleiset liittymisehdot YLE2021. 28.12.2021. Fingrid Oyj. Viitattu 23.1.2024. [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkoon/fingrid\\_yle2021.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkoon/fingrid_yle2021.pdf)

Yleistä merituulivoimasta. N.d. Verkkosivu. Suomen Tuulivoimayhdistys. Viitattu 3.12.2023. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/merituulivoima/yleista-merituulivoimasta>

## Kuvalähteet

400 kV kaapelin rantautumispaikka. 14.10.2020. Verkkosivu. NKT Cables. Viitattu 9.3.2024. <https://www.nkt.com/news-press-releases/nkt-completes-upgrade-of-high-voltage-power-link-connecting-denmark-and-sweden>

Aluevesien mahdolliset tuulivoimahankkeet. 2023. Verkkosivu. Metsähallitus. Viitattu 3.12.2023. <https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/tuulivoima/merituulivoimassa-suuret-mahdollisuudet/tulevat-hankkeet/>

European Offshore Wind Farms Map Public. 10.8.2023. Verkkosivu. WindEurope. Viitattu 3.12.2023. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/european-offshore-wind-farms-map-public/>

Fingrid. 9.3.2024. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 9.3.2024. <https://karttapalaute.fingrid.fi/?link=hDzo>

Paikkatietoikkuna. 10.1.2024. Verkkosivu. Viitattu 10.1.2024. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>

Johtoalue. N.d. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 17.2.2024. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/voimajohdot/johtoalue/>

Jäätalvi Itämerellä. 25.3.2022. Verkkosivu. Ilmatieteen laitos. Viitattu 17.2.2024. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/jaatalvi-itamerella>

Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024–2033. 2023. Fingrid Oyj. Viitattu 10.1.2024. [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid\\_kehittamissuunnitelma\\_2024-2033.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_kehittamissuunnitelma_2024-2033.pdf)

Leino, V. Jäävalleja rannalla. 15.2.2024. Viitattu 17.2.2024.

Leino, V. Merituulipuiston sähköverkko. 11.2.2024. Viitattu 11.2.2024.

Leino, V. Rannan kalliojyrkänteitä. 15.2.2024. Viitattu 21.2.2024.

Leino, V. Rantajyrkänne ja suojarakenteita. 14.6.2022. Viitattu 19.1.2024

Leino, V. Tulvaniitty. 14.10.2023. Viitattu 19.1.2024.

Verkkokiikari. 25.1.2024. Verkkosivu. Fingrid Oyj. Viitattu 25.1.2024. <https://karttapalaute.fingrid.fi/?link=Wkgh#>

Wang, W., Yan, X., Li, S., Zhang, L., Ouyang, J., Ni, X. 2021. Failure of submarine cables used in high-voltage power transmission: Characteristics, mechanisms, key issues and prospects. IET Generation, Transmission & Distribution. 2021, 15, 1389. Viitattu 14.4.2024. <https://www.researchgate.net/publication/348827371> Failure of submarine cables used in high-voltage power transmission Characteristics mechanisms key issues and prospects

## **Liitteet**

### **Liite 1. Merikaapelin rantautumispaikan pisteytystyökalu (luottamuksellinen)**