

Tuulivoimainfo

Kajaanin teknillinen seura ry

12.6.2025

Jouko Putkonen



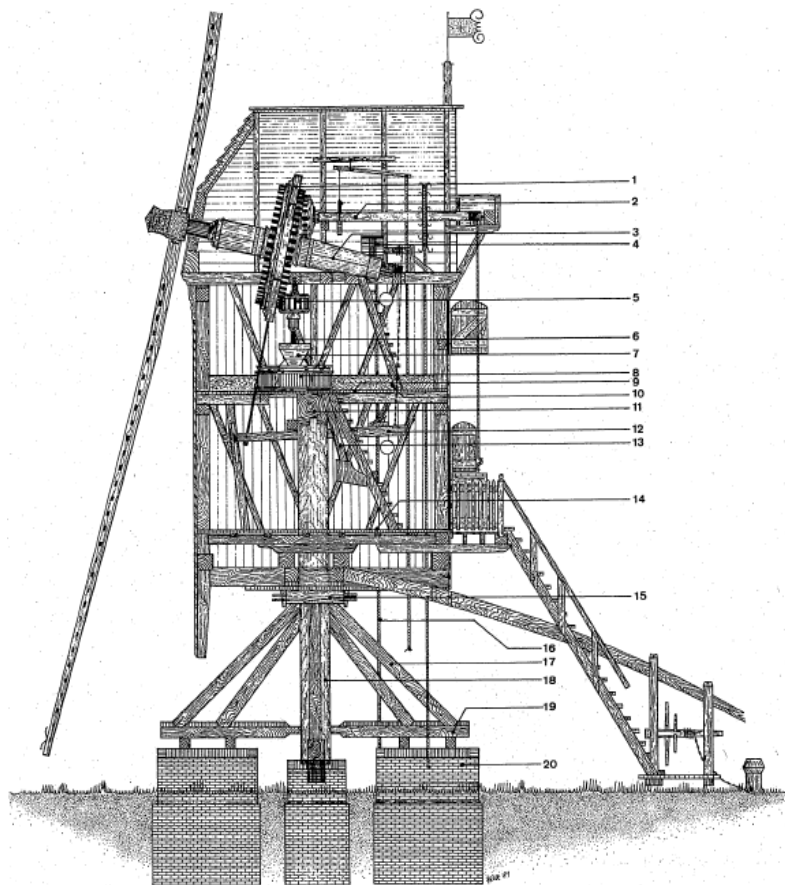
Tuulesta energiaa, tuulivoimateknologian johdanto

- Tuulivoimalan peruskäsitteitä
- Kapasiteetin kehitys
- Projektiesimerkkejä
- Kustannusjakauma
- Tuulivoima versus sähkönkulutus
- Tulevaisuuden näkymät

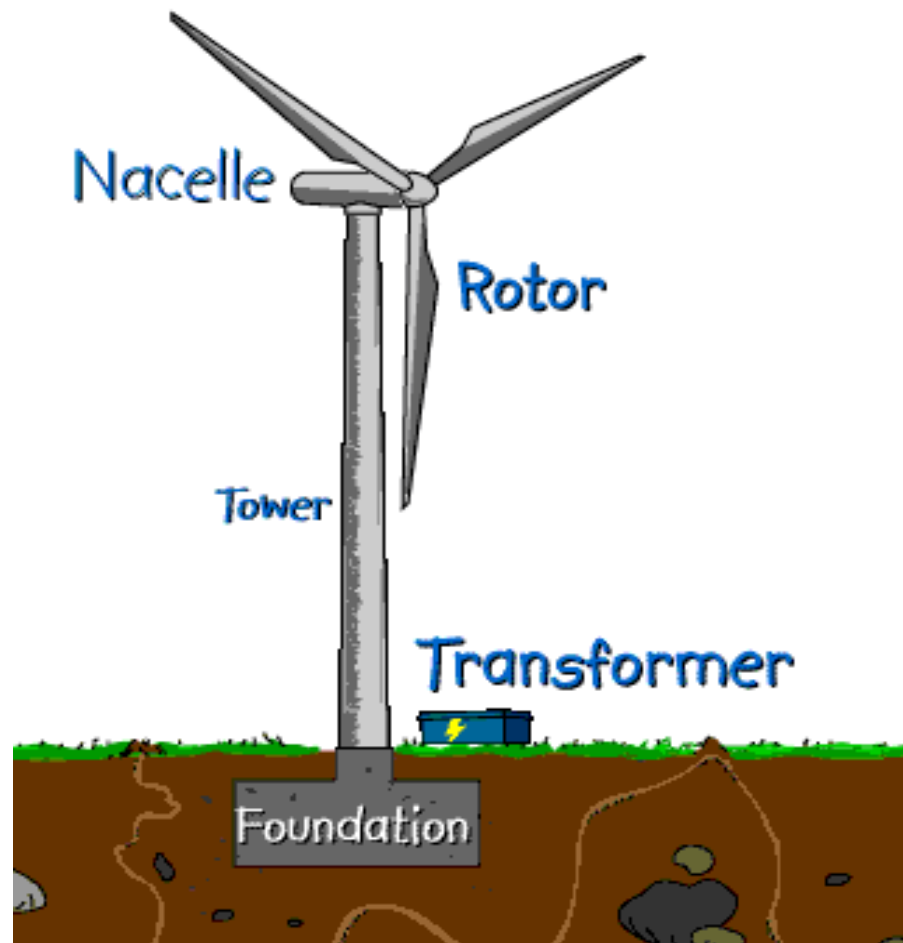


Tuulimylly vai tuulivoimala? Tuuliturbiini? Lapa vai siipi?

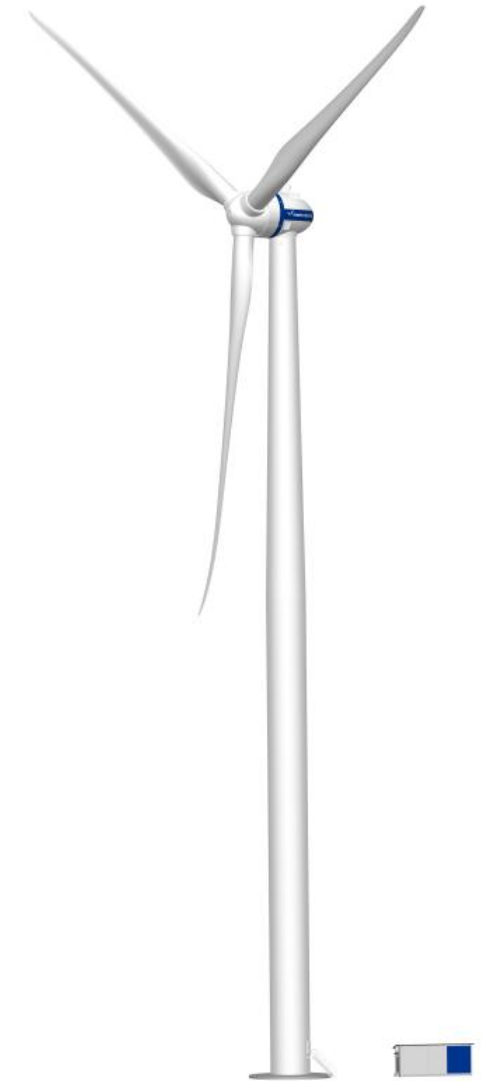
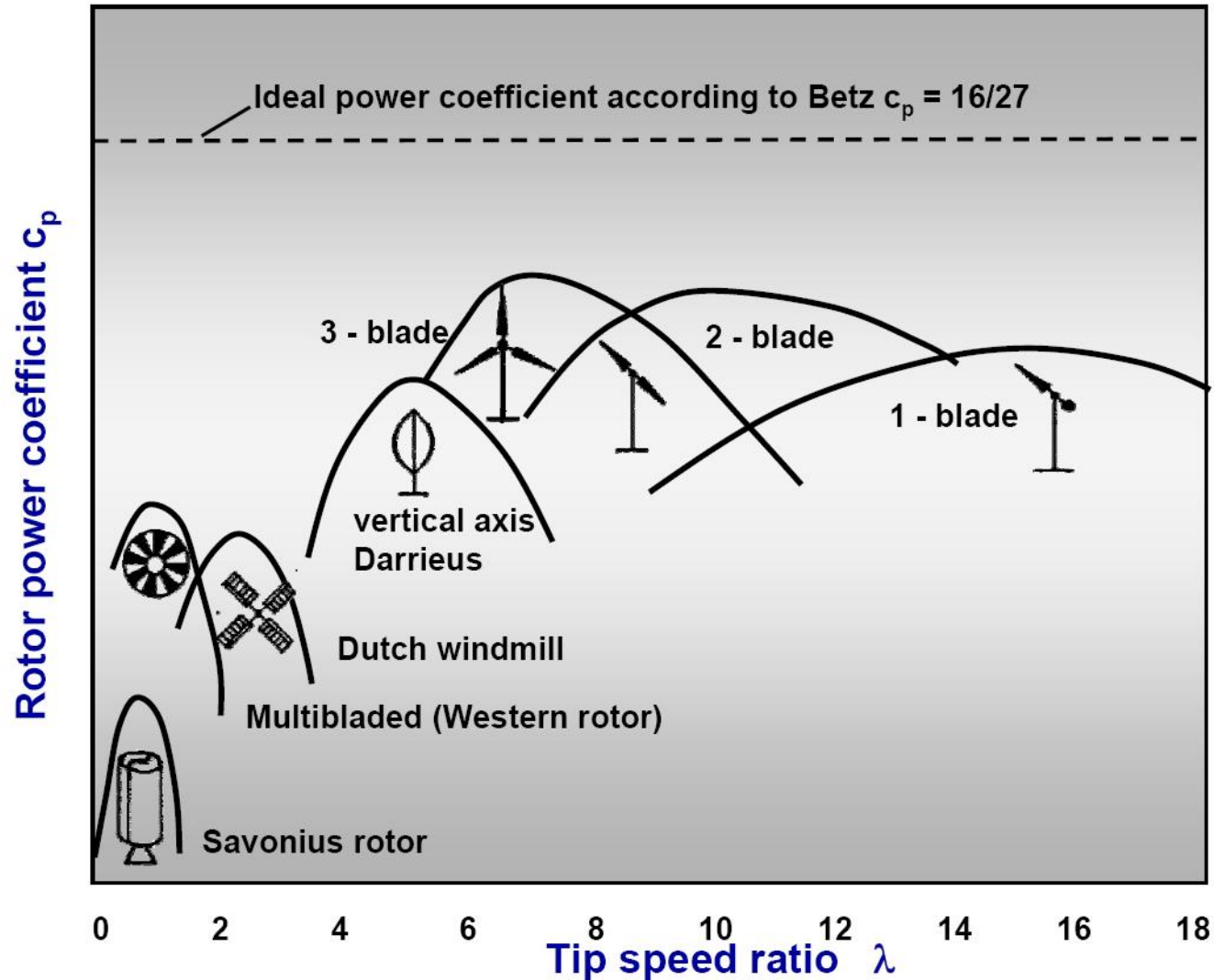
Tuulimylly



Tuulivoimala



Tip speed ratio and power coefficient



Power from the wind

- The power that can be captured from the wind with a wind energy converter is:

$$P = 0,5 \times \rho_{\text{air}} \times C_p(\lambda, \phi) \times A \times v_{\text{wind}}^3$$

P power captured from the wind [W]

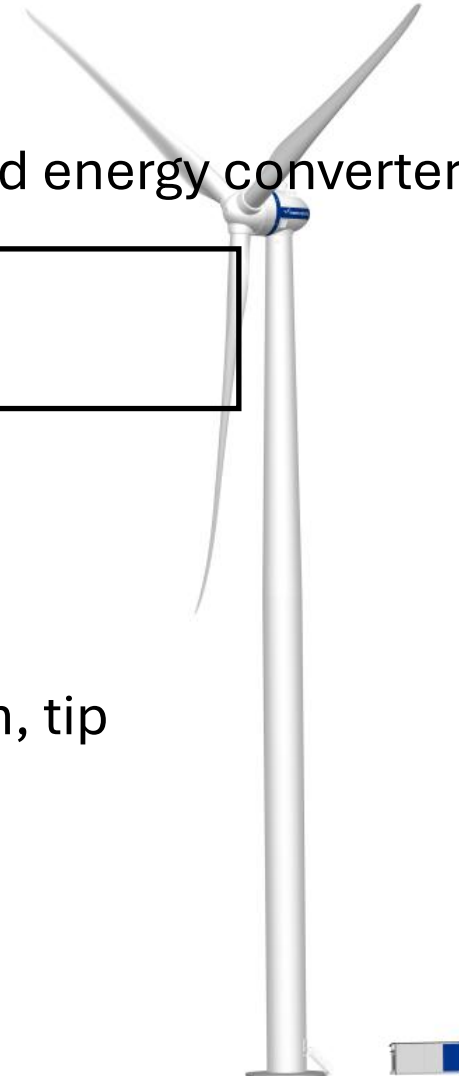
ρ_{air} mass density of the air [kg/m^3]

According to IEC 61400 shall be used $\rho_{\text{air}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$ at 15°C

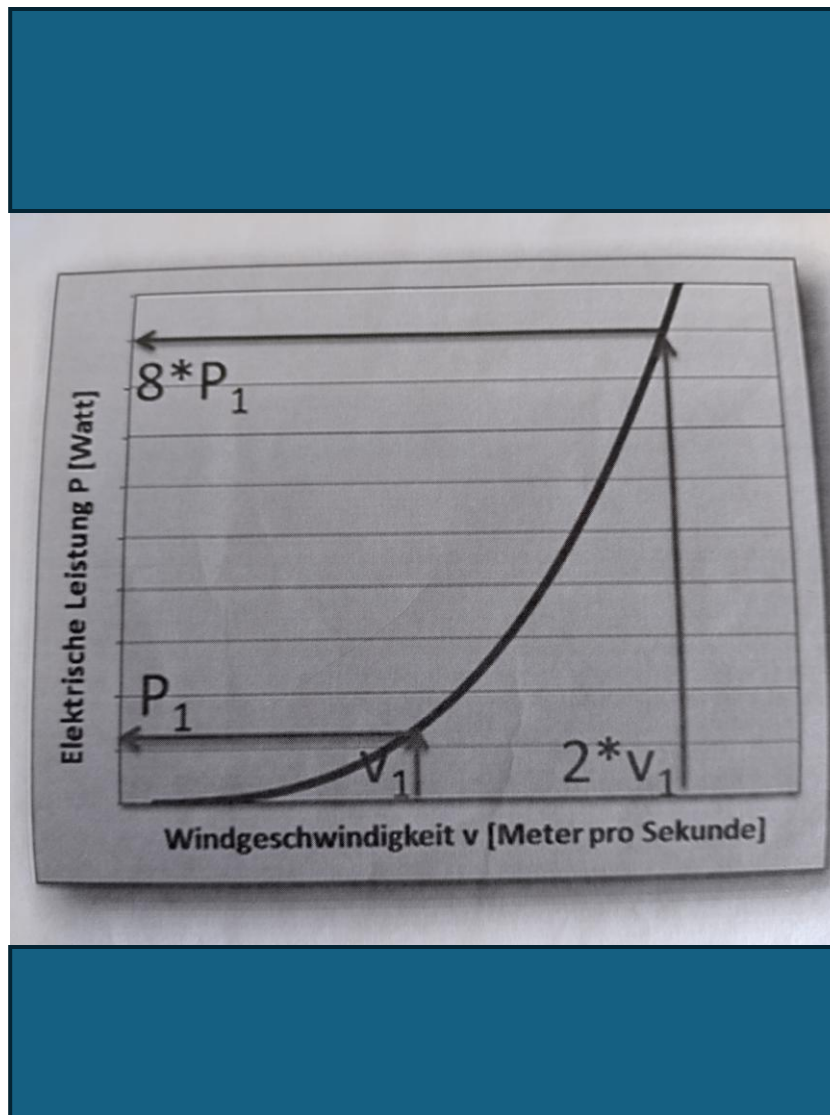
C_p power coefficient that depends on the blade design, tip speed ratio λ and pitch angle ϕ

A rotor effective area [m^2]

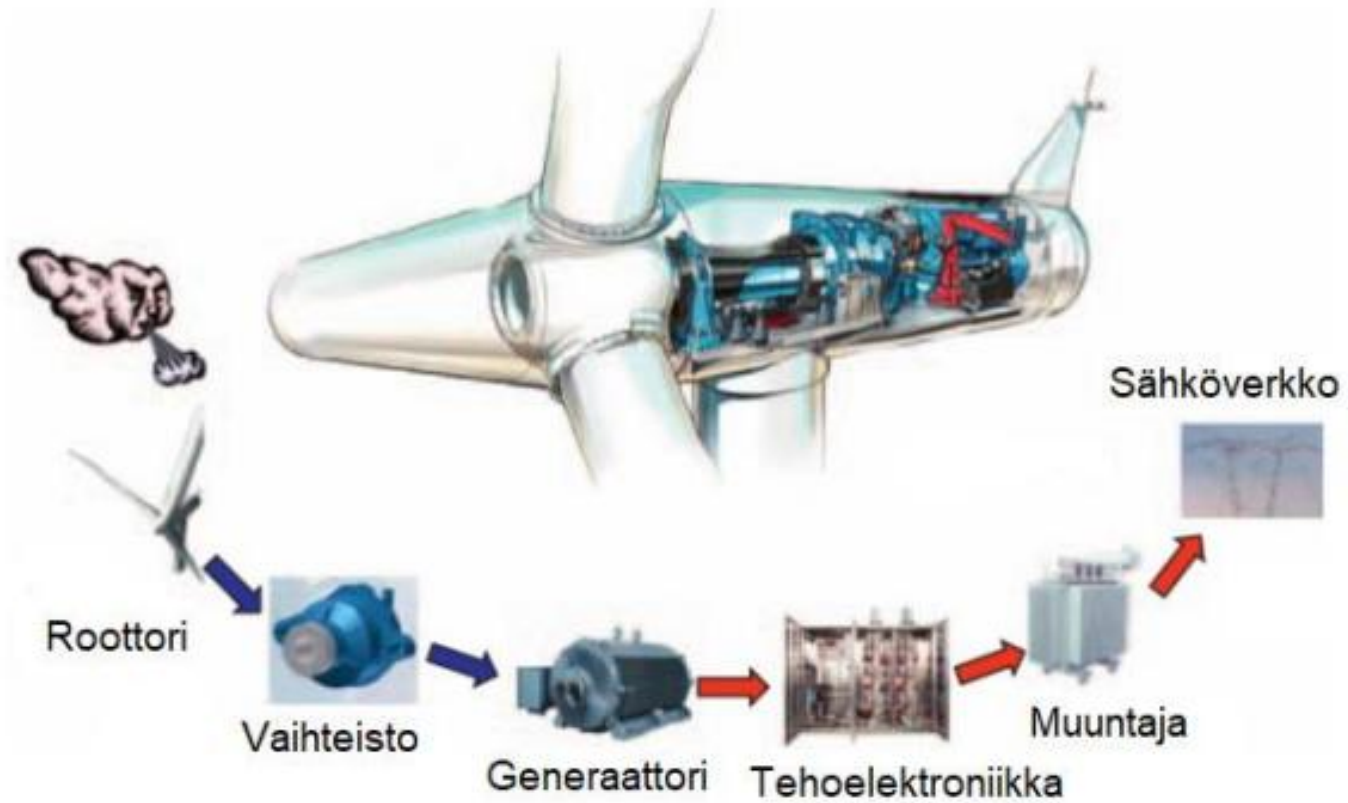
v_{wind} wind speed [m/s]



Tuulennopeus x 2 → Teho x 8

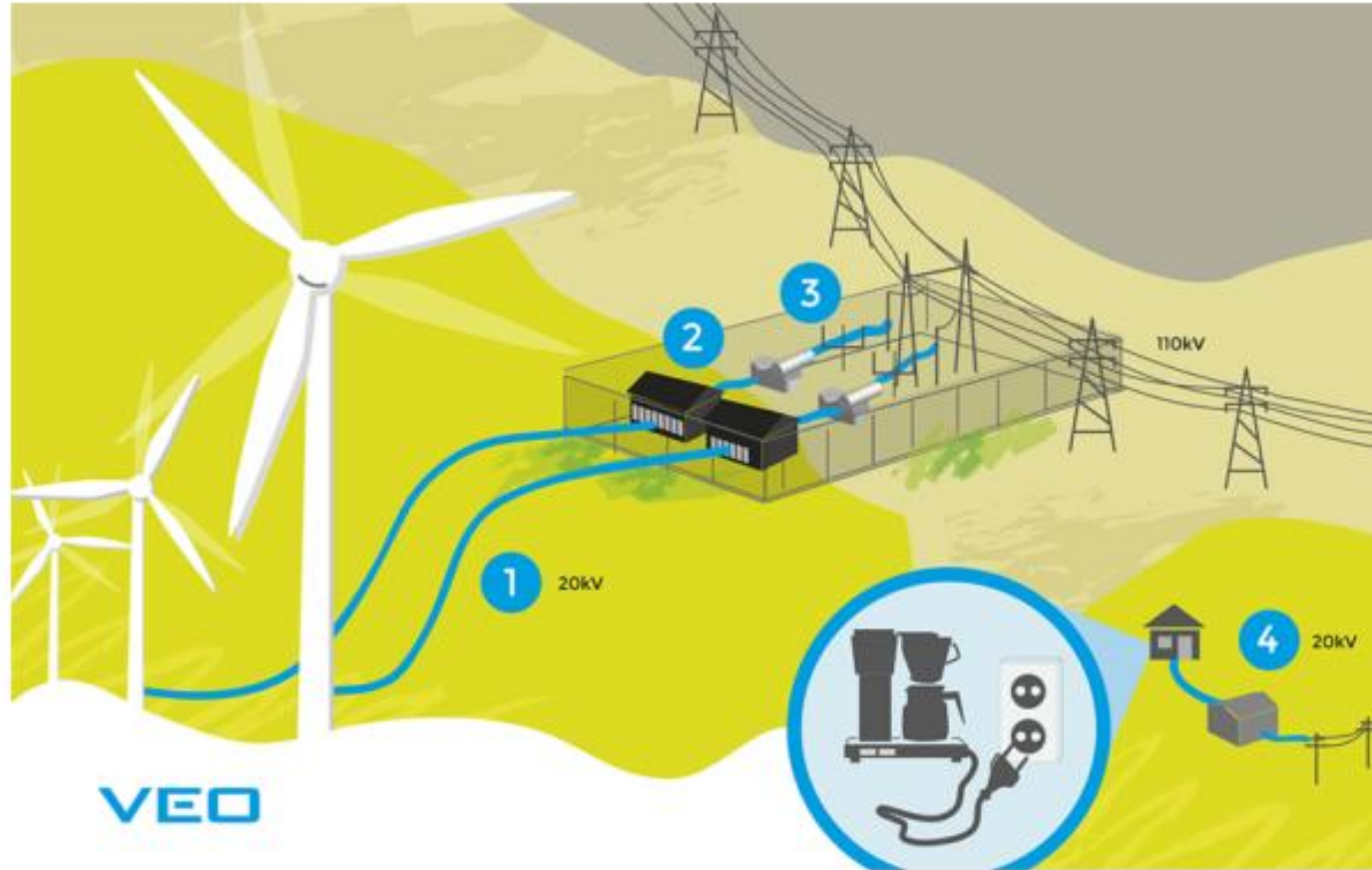


Tuuliturbiinin rakenne



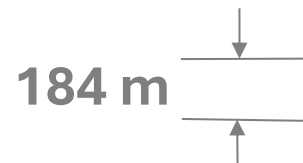
Kuva 2 Vaaka-akselisen tuuliturbiinin voimansiirron tyypillinen rakenne. Mukailen (Hansen 2017, s. 146)

Energian matka tuulesta töpseliin

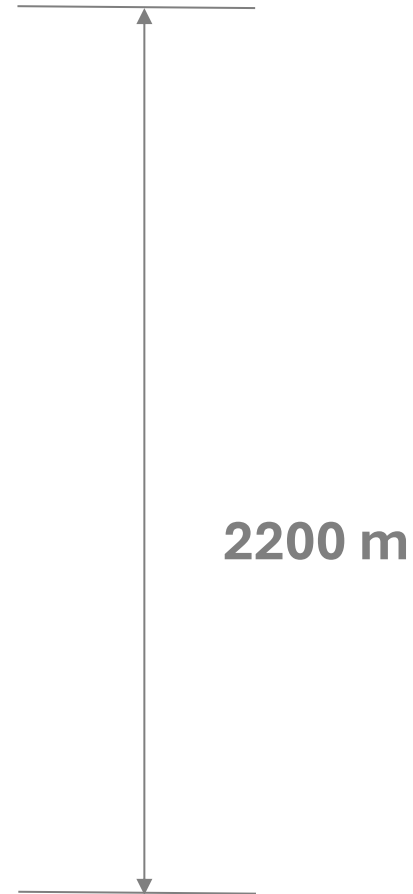


Tuuliturbiinissa tuotettava jännite on yleensä 690 voltia. Sähkö muunnetaan ja siirretään sitten 20 kilovoltin jännitteellä tuulivoimalan sähköasemalle, josta se siirtyy 110 kilovoltin kantaverkkoon.

Vaaka- versus pystyakselinen

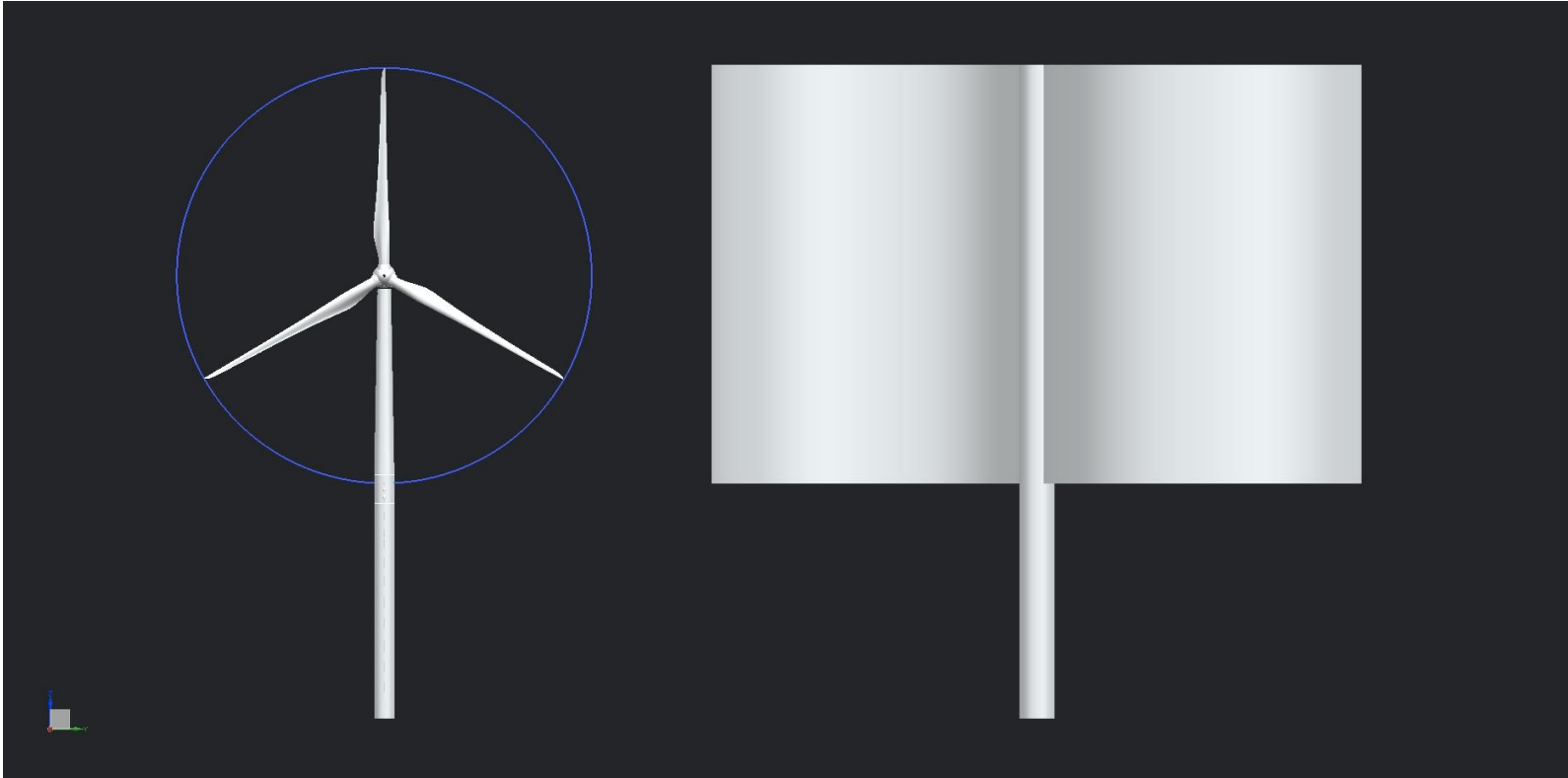


- Horisontaalinen
- Roottorin halkaisija 118 m
- Pyyhkäisyala 11 000 m²
- $C_{pmax} = 0,50$



- Vertikaalinen
- Roottorin halkaisija 10 m
- Pyyhkäisyala 22 000 m²
- $C_{pmax} = 0,25$

Vaaka- versus pystyakselinen



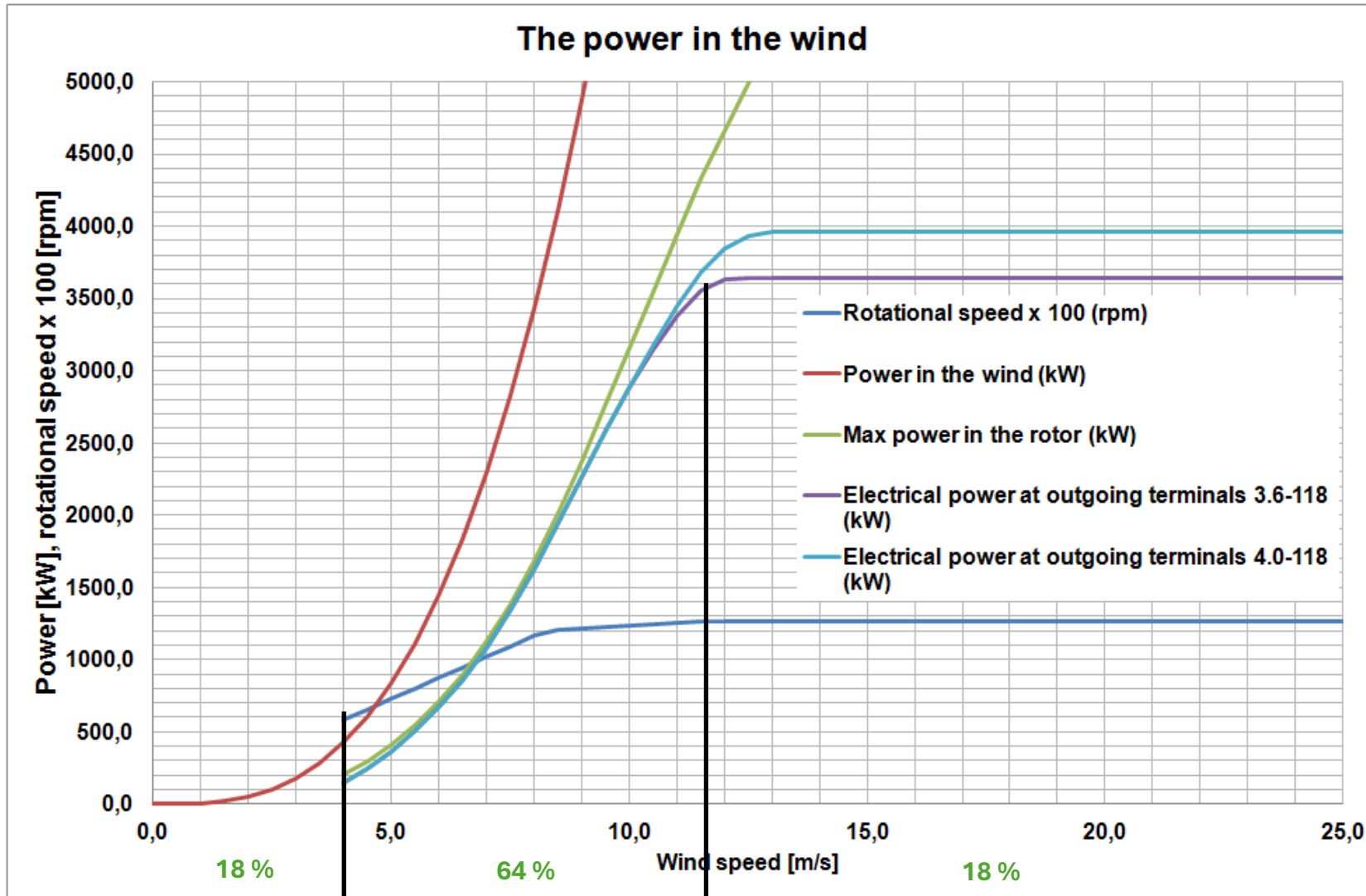
- Horisontaalinen
- Roottorin halkaisija 118 m
- Pyyhkäisyala 11 000 m²
- $C_{pmax} = 0,50$

- Vertikaalinen
- Roottorin halkaisija 185 m
- Pyyhkäisyala 22 000 m²
- $C_{pmax} = 0,25$

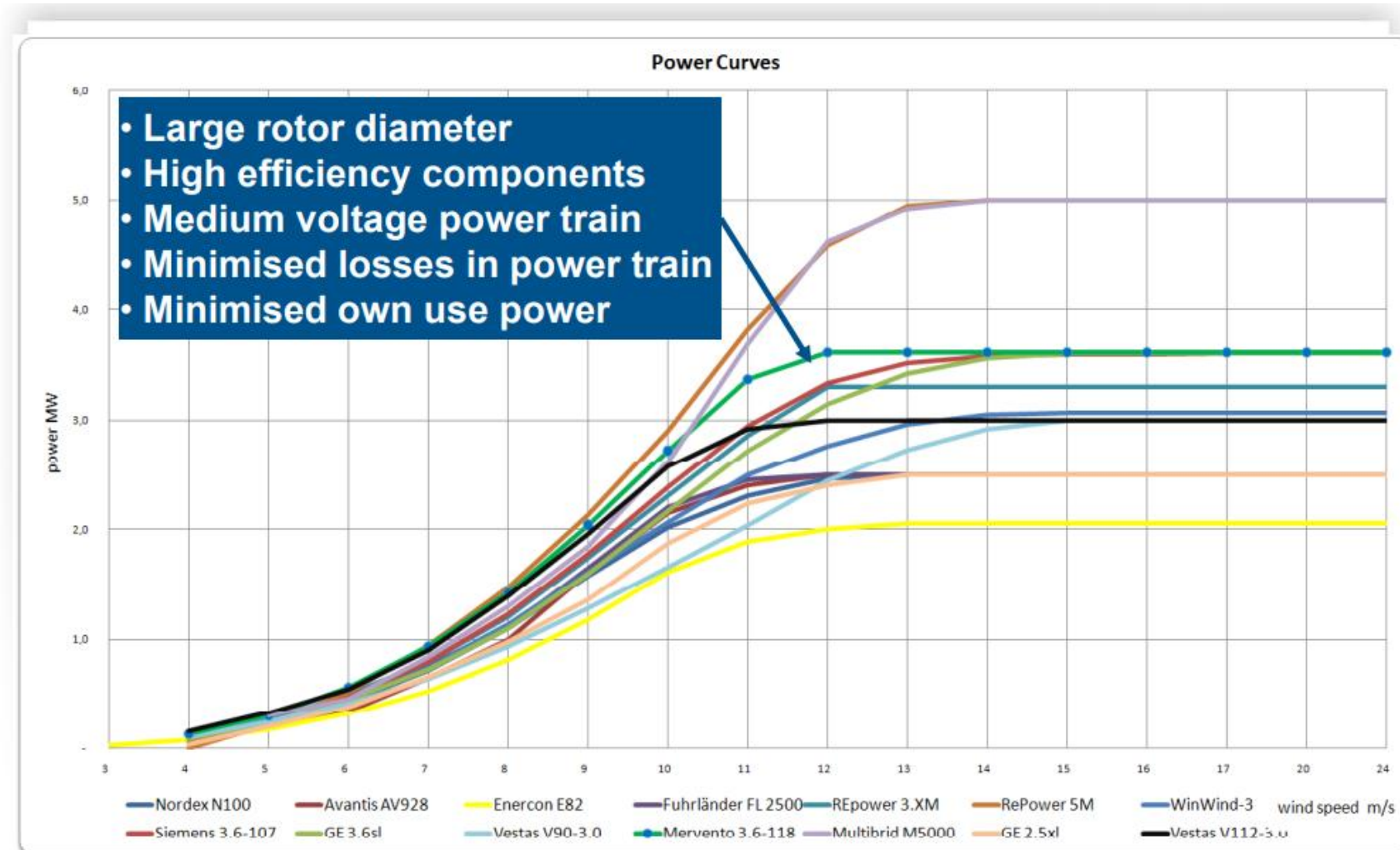
Vaihdelaatikko vai suoraveto?

Vaihdelaatikko	Suoraveto
+ Pienempi paino + Pienempi koko	+ Korkeampi kokonaisteho + Matalampi melutaso + Pienempi tärinä + Luotettavuus + Soveltuvuus kylmään ilmanalaan + Komponenttien lyhyempi toimitusaika
- Melu - Luotettavuus - Maine - Käytettävyys - Time-to-market	- Paino - Koko - Kuljetus/logistiikka - Asennus

Power output versus wind speed



Power curve



Tuulivoimalan kapasiteetti

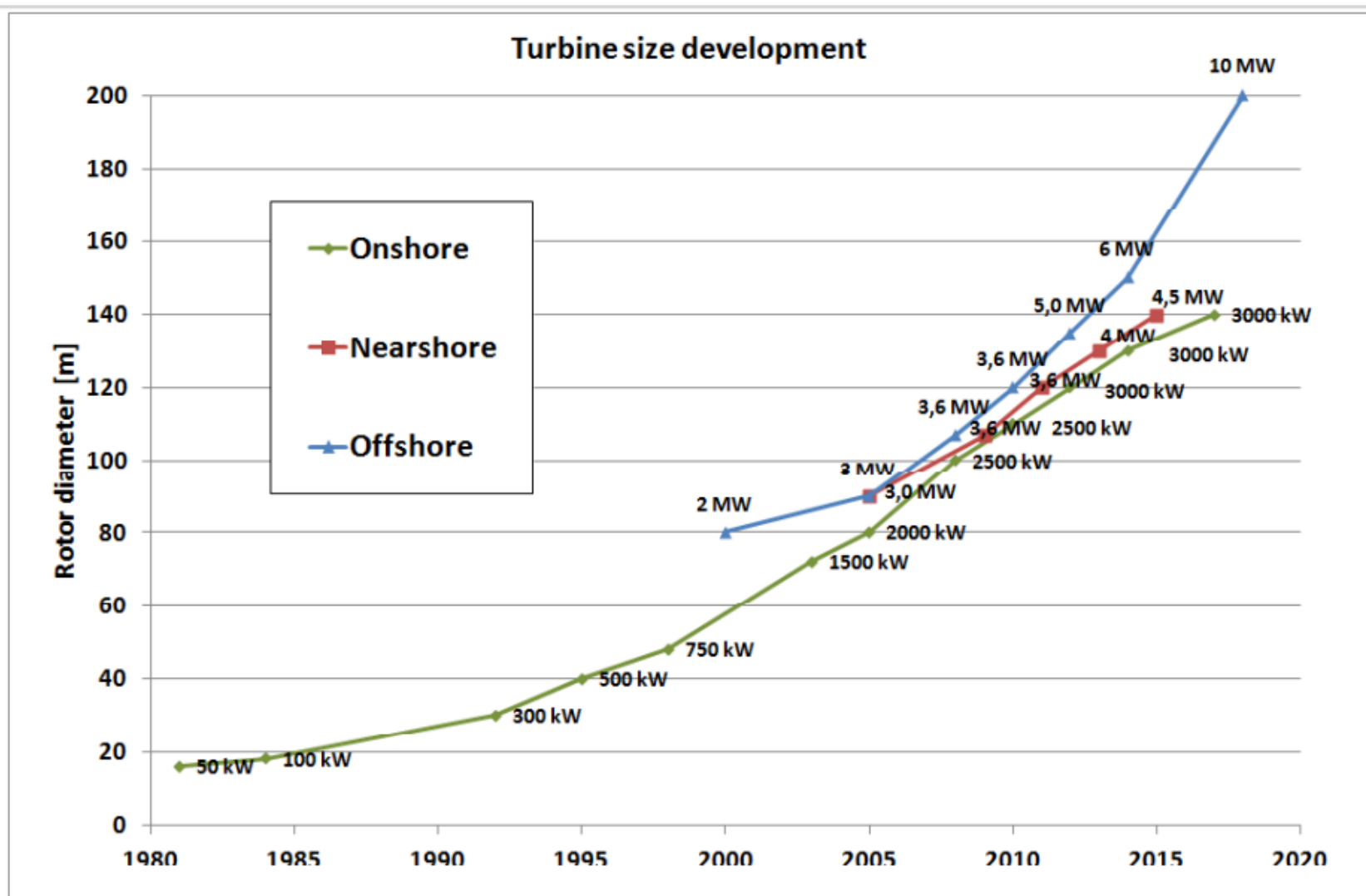
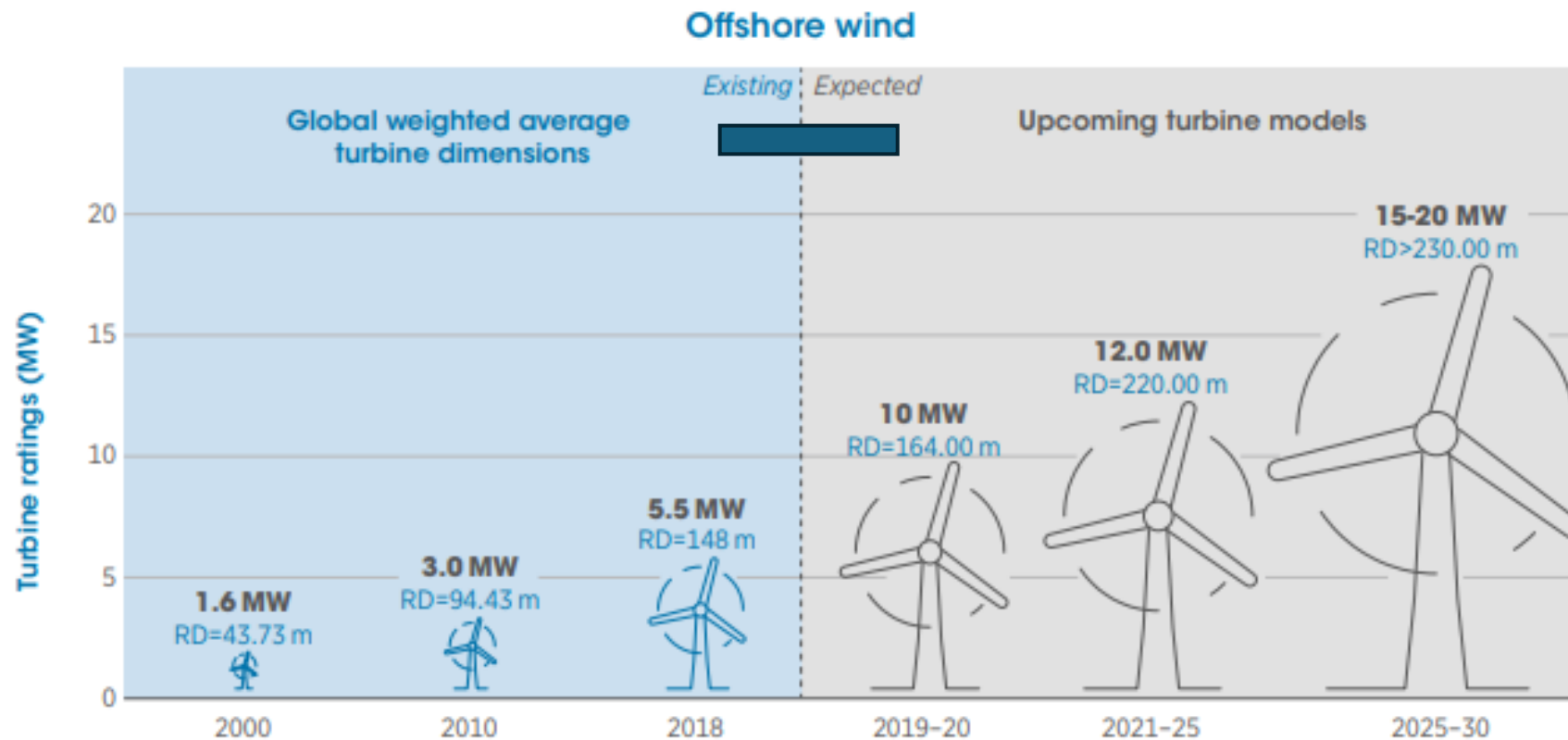


Figure 29: The average size of offshore wind turbines grew by a factor of 3.4 in less than two decades and is expected to grow to output capacity of 15–20 MW by 2030.



Source: GE Renewable Energy, 2018; IRENA, 2019c, 2016b; MHI Vestas, 2018.

20 megawatin hirviö: Maailman suurin tuulivoimala valmistui - Sähkö riittää lähes 100 000 ihmiselle

Jättimäisen merituulivoimalan on kestävä maailman voimakkaimpia hirmumyrskyjä.



Ennätyksessä ala. Kahdenkymmenen megawatin vasta asennettu tuulivoimala etualalla.

Maailman toistaiseksi suurin tuulivoimala on valmistunut Kiinan eteläiseen Hainanin maakuntaan. Nimellisteholtaan 20 MW tuulivoimalan rakensi Mingyang Smart Energy.

Talouselämä, 11.9.2024

Tuulivoimalatoimittajat top-5

Eurooppa:

Vestas

Siemens Gamesa

Nordex Group

GE Vernova

Enercon

Maailma:

Goldwind

Envision

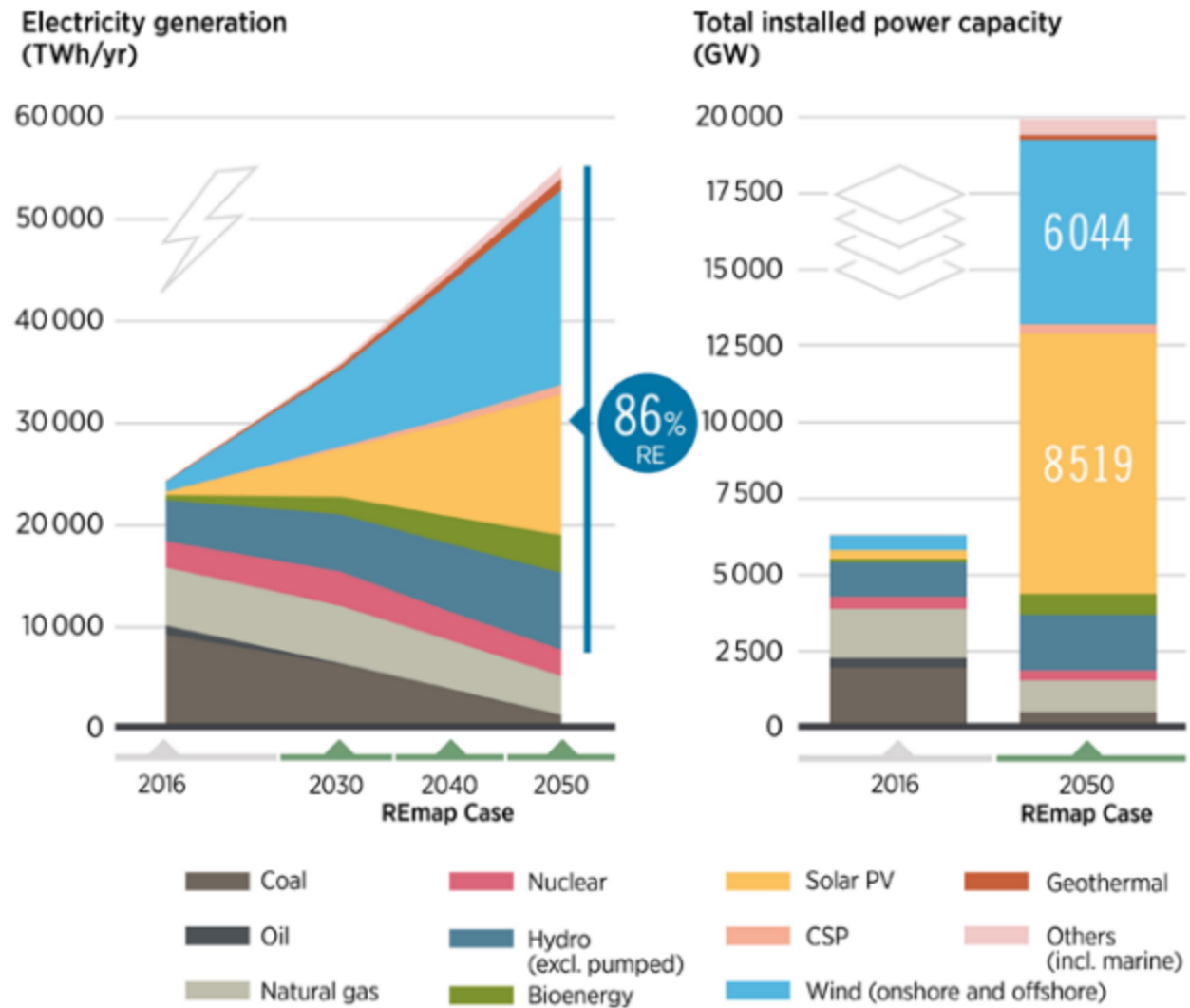
Vestas

Windey

Mingyang (1. offshore)

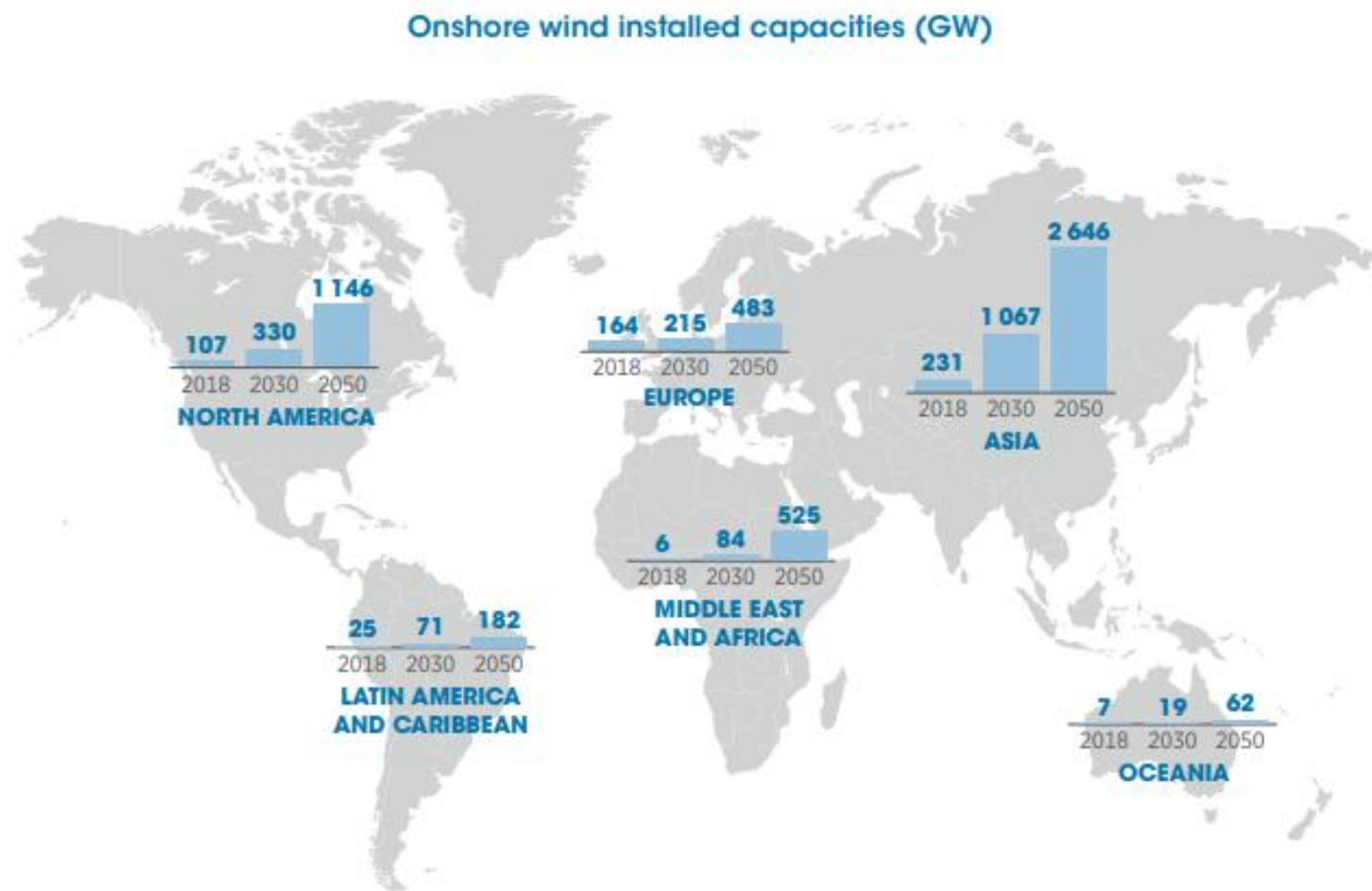
Noin 30 eri tuulivoimalatoimittajaa maailmanlaajuisesti.

Figure 3: Wind would be the largest generating source, supplying more than one-third of total electricity generation needs by 2050.



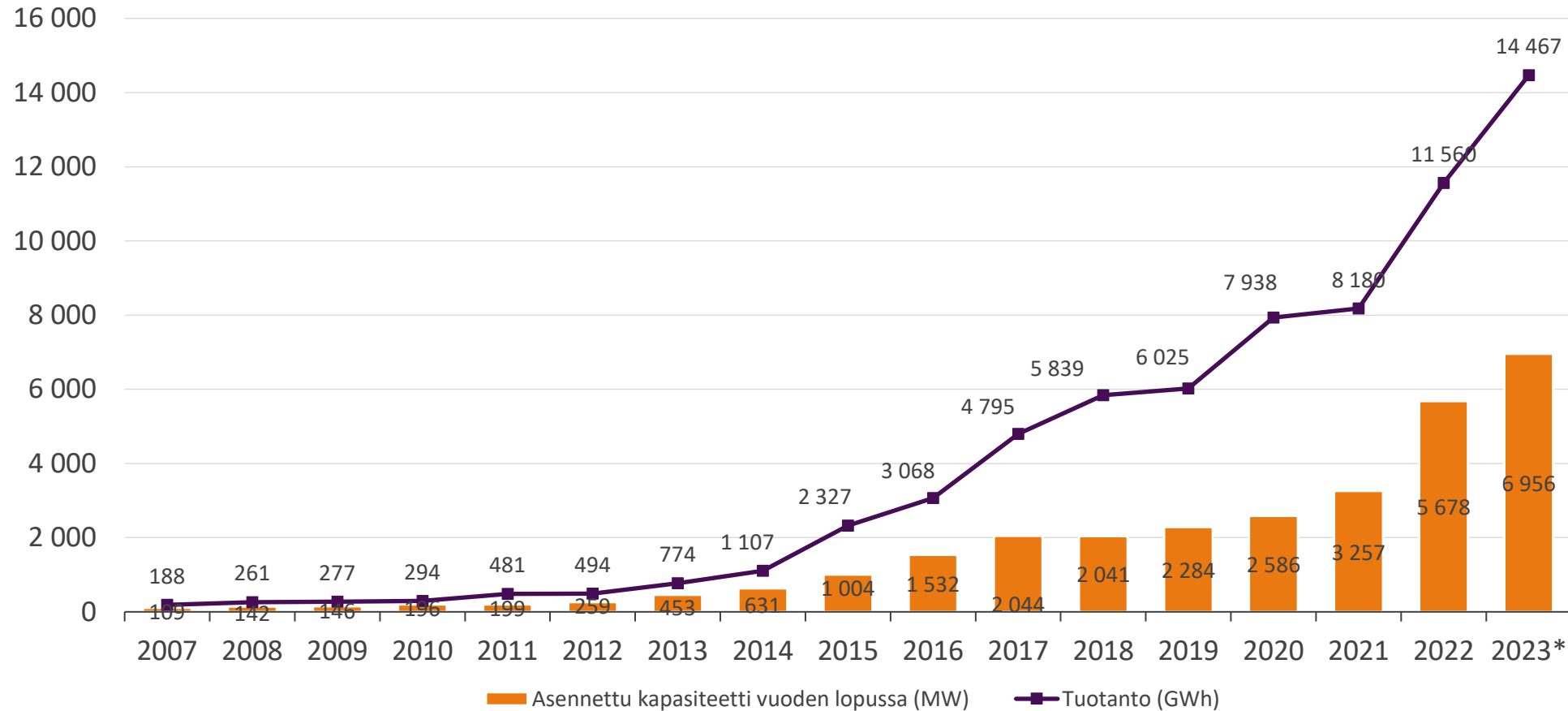
Source: IRENA, 2019a.

Figure 8: Asia would continue to dominate global onshore wind power installations by 2050, followed by North America and Europe.



Tuulivoimatuotannon kehittyminen Suomessa

GWh ja MW



2024:
19 800 GWh
8358 MW
1835 kpl

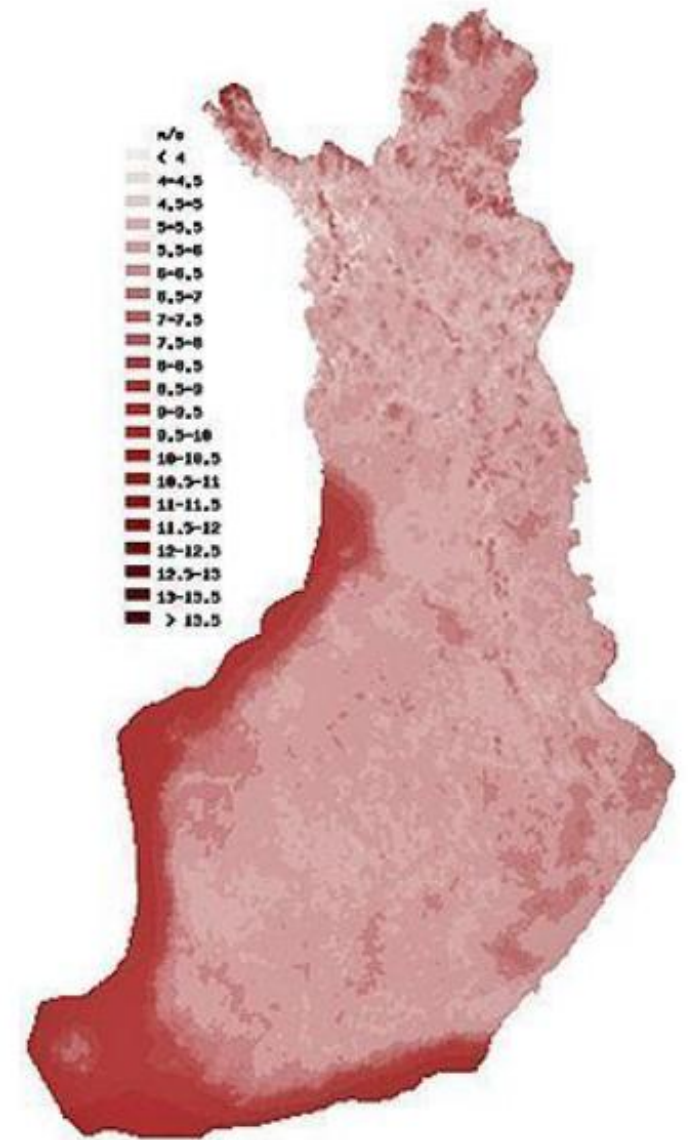
2025 ennuste:
9500 MW
2000 kpl

Suomen tuuliatlas, 2009

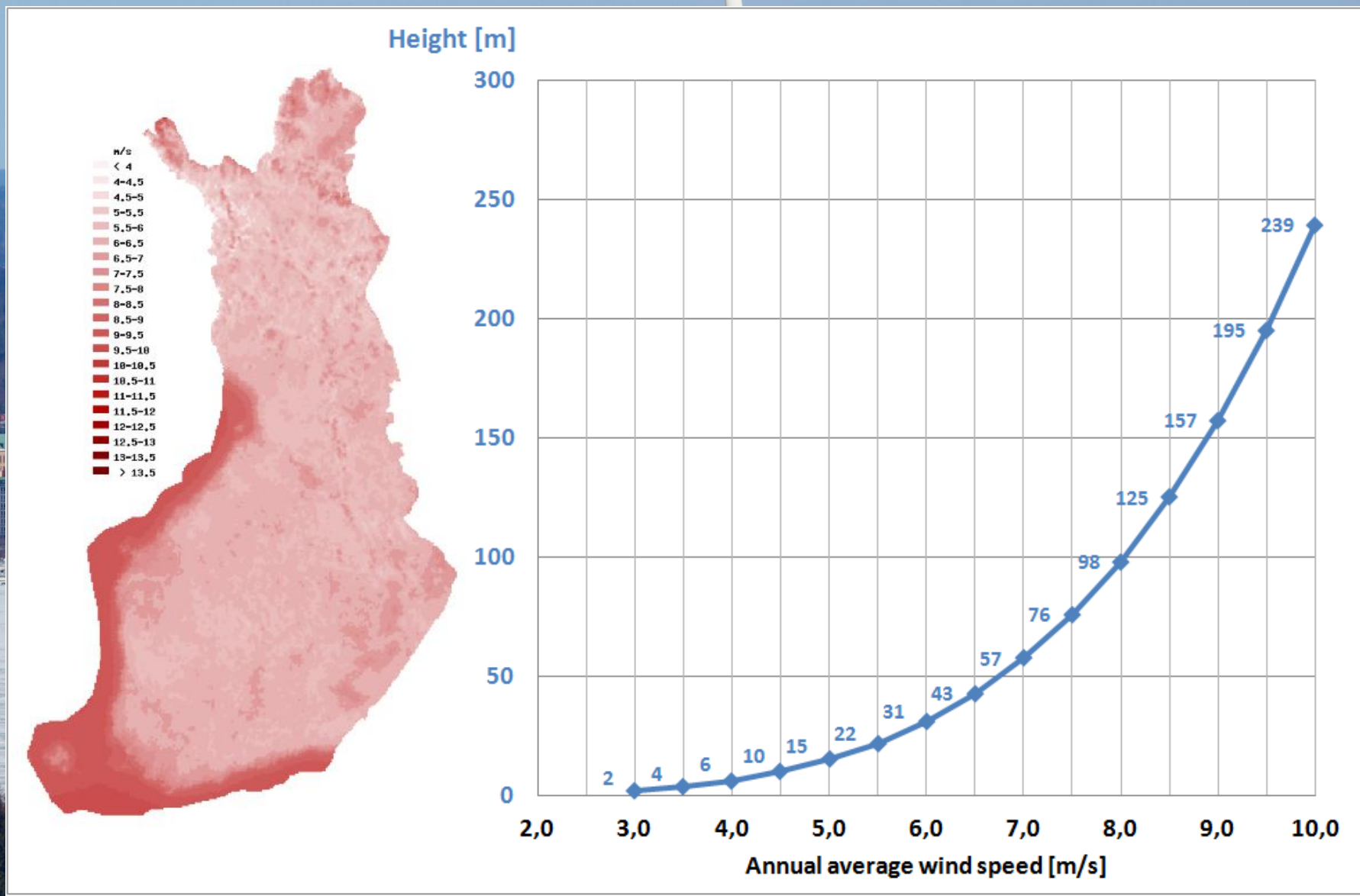
- Mahdollisimman tarkka kuvaus tuuliolosuhteista, kuten tuulen voimakkuudesta, suunnasta ja turbulenttisuudesta alkaen 50 metrin korkeudesta aina 400 metriin saakka vuosi- ja kuukausikeskiarvoina.
- Tulokset 2,5 x 2,5 neliökilometrin karttaruuduissa.
- Rannikoilla ja muilla tuulisilla alueilla mallinnus on tehty vieläkin tarkemmalla 250 metrin tarkkuudella.
- Mallinnusta varten valittiin 72 kuukautta vuosilta 1989–2007

Löytyy: <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/>

Kuva: Motivan sivuilta: [Tuuliatlas – tuulisuustiedot kartalle - Motiva](#)



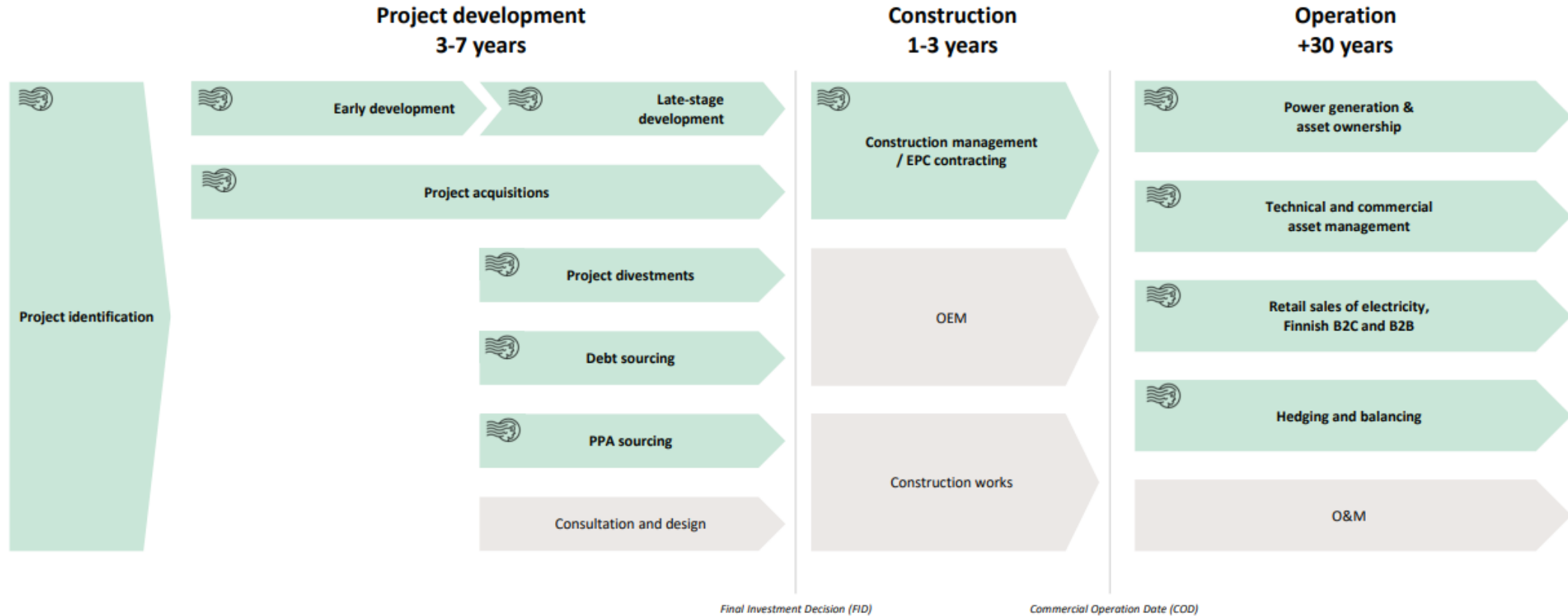
Tuulen keskinopeuden (m/s) jakauma 100 metrin korkeudella 2,5 x 2,5 neliökilometrin tarkkuudella.



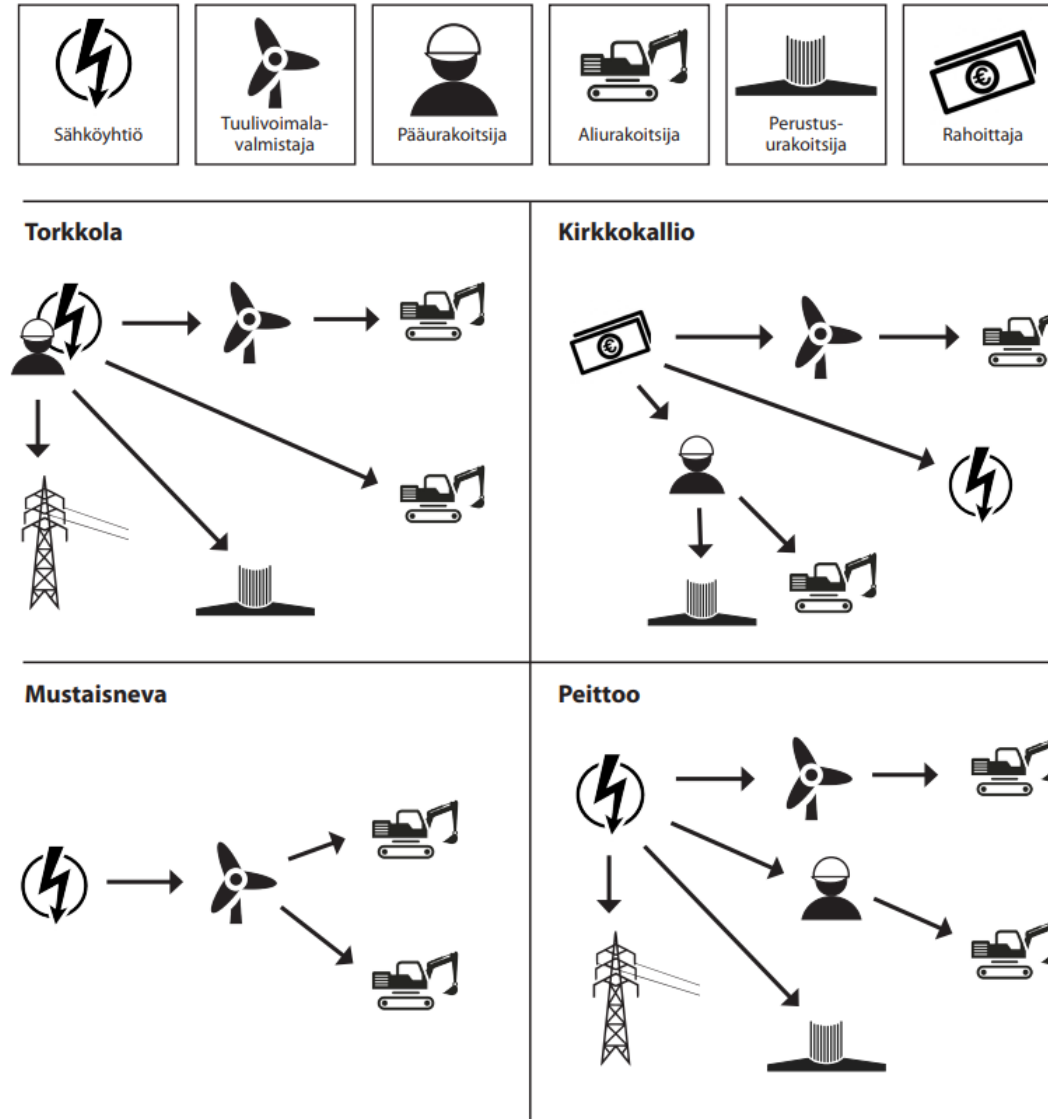
Wind turbine applications

	Onshore	Near shore	Offshore
Wind speed class	III	II	I
Annual average wind speed	6,5 – 7,5 m/s	7,5 – 8,5 m/s	8,5 – 10,0 m/s
Capacity factor	20 – 30 %	30 – 40 %	40 – 50 %
Rotor diameters	90 – 120 m	100 – 120 m	115 – 150 m
Nominal turbine power	1,5 – 3,0 MW	3,0 – 4,0 MW	4,0 – 6,0 MW
Wind power plant cost	1,2 – 1,6 M€/MW	1,4 – 1,8 M€/MW	2,0 – 4,0 M€/MW
Availability	> 90 %	> 95 %	> 98 %
Tower Head Mass	< 140 t	200 – 300 t	300 – 500 t
Generation cost	60 – 90 €/MWh	50 – 70 €/MWh	100 – 200 €/MWh

Tuulivoimaprojektin vaiheet



Toimitusprosessien vertailu

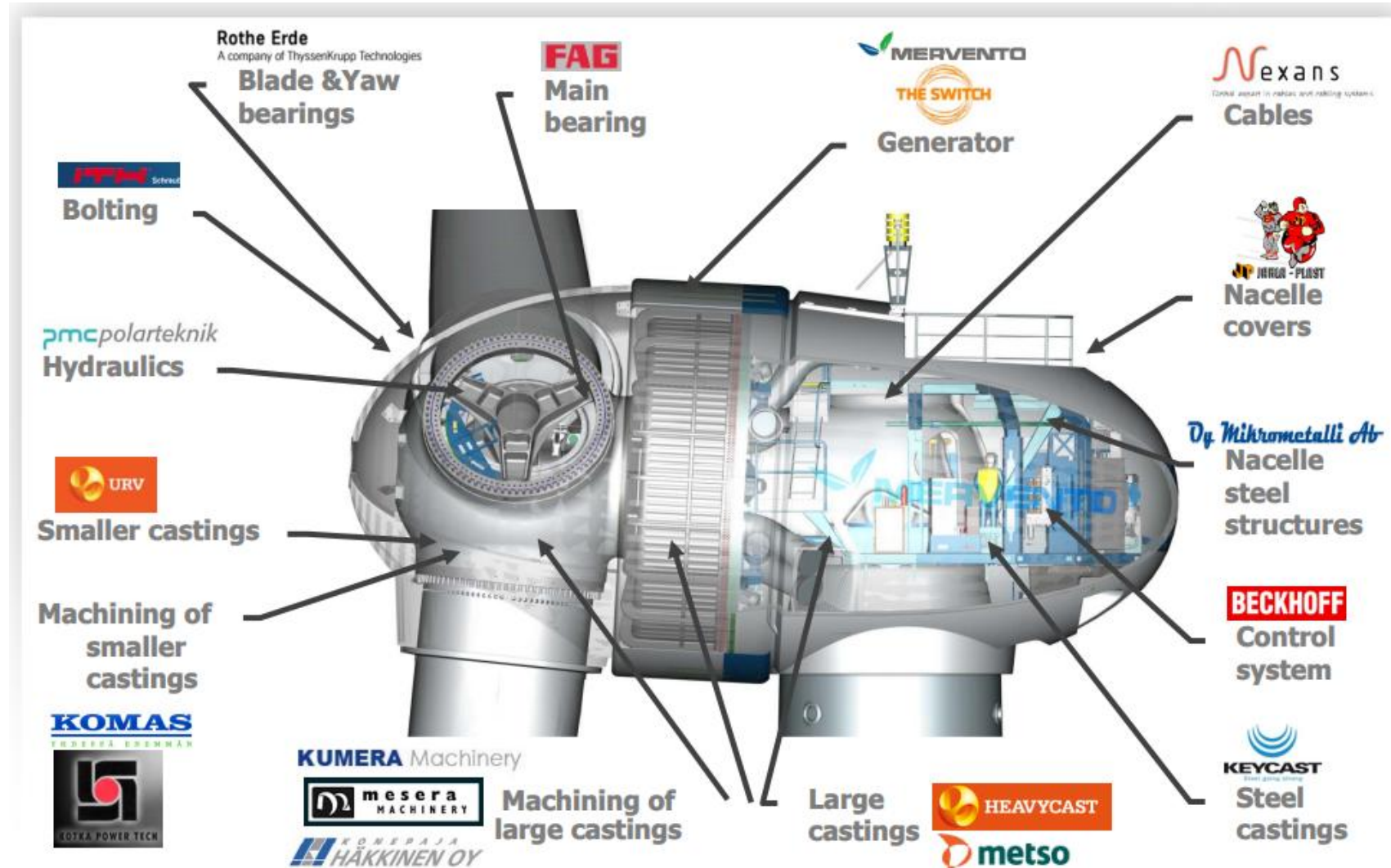


Kuva 6. Eri tuulivoimapaistojen rakentamisessa käytetyt toimintamallit.

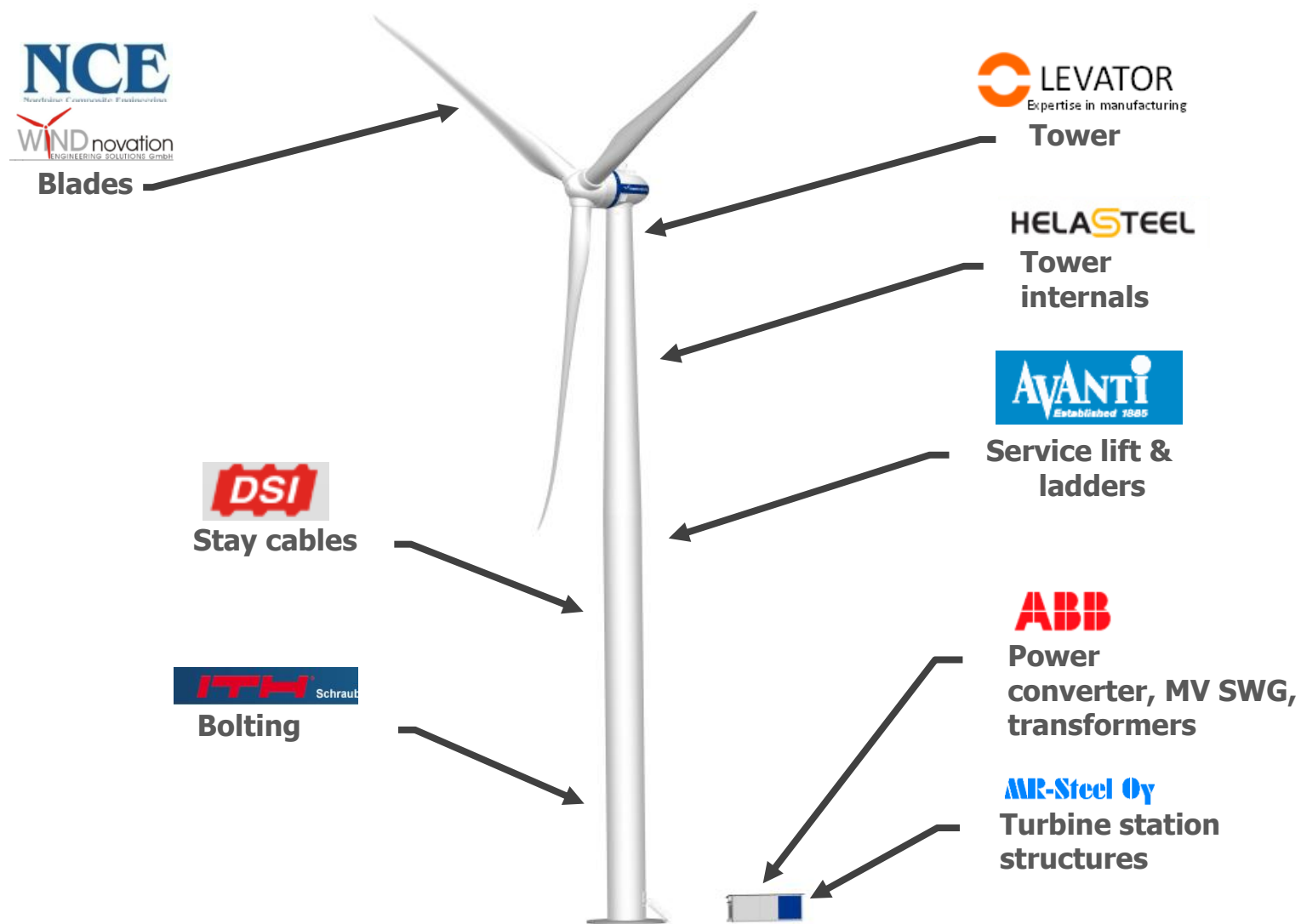
Raportti

Jarmo Viitala, Prizztech Oy
Jouko Putkonen, Prizztech Oy

Esimerkkejä toimittajista, naselli



Esimerkkejä toimittajista



Tuulivoimalan paino- ja mittatietoja

- Korkeus 310–320 m
 - Perustukset $\varnothing$ 25–30 m, 1000 m³ betonia, 2500 t + raudoitus
 - Torni $\varnothing$ 8–10 m, 500 t, noin 30 m/kpl, yht. 5–7 kpl
 - Hub 50 t (valu)
 - Lapa 80 m, 18–20 t
 - Hub + 3 lapaa 110 t
 - Naselli 130 t
- tornin päässä 240 t
- Kierrätysaste jopa 85–90 % (ml. perustus)



Tuulivoimalan perustus

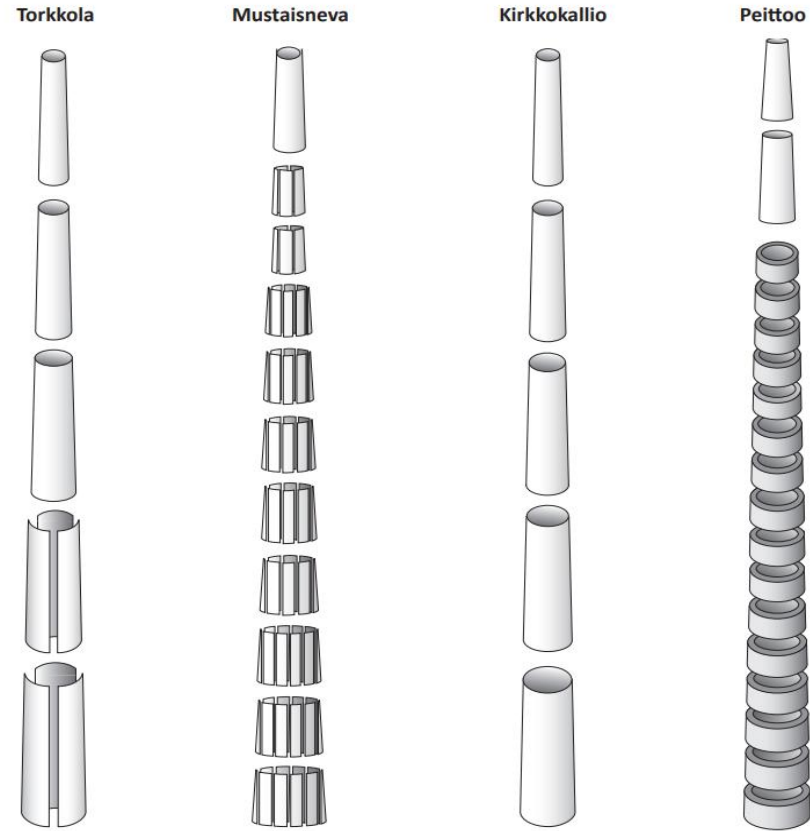


Tuulivoimalan perustus

Tuulivoimaa



Tornien rakenne



Kuva 4. Tarkastelluissa tuulivoimapuistoissa tuulivoimaloiden tornit ovat rakenteeltaan ja rakennustavaltaan erilaisia. Piirroksessa on esitetty tornien rakenteet periaatekuvina.

Torkkolassa käytetty torni on teräsrakenteinen, mutta alimmat osat on jaettu kolmeen lohkoon kuljetuksen helpottamiseksi. Lohkot liitetään yhteen pulttaamalla työmaalla.

Mustaisnevan tornien rakenne poikkeaa huomattavasti kaikista muista rakenteista. Torni kootaan 12 m pitkistä taivutetuista teräslevyistä putken muotoiseksi käyttäen pulttiliitoksia. Kolme alinta lieriötä koostuu kymmenestä levystä, seuraavat viisi kahdeksasta levystä ja kaksi seuraavaa viidestä levystä. Ylimmäiseksi tulee valmis lieriö.

Kirkkokallion tornirakenne muodostuu useasta teräslieriöstä, jotka pultataan yhteen nostovaiheessa. Tornintekijä toimittaa lieriöt valmiina kappaleina tornitehtaalta pystytyspaikalle.

Peittoossa käytettiin ns. hybridirakennetta, jossa tornin alaosa kootaan betonirenkaista ja kaksi ylimmäistä n. 20 metrin osaa ovat teräslieriöitä.

Raportti

Jarmo Viitala, Prizztech Oy
Jouko Putkonen, Prizztech Oy



Torkkolan tuulivoimapuisto

- *16 kpl Vestas 3,3 MW*
- *Napakorkeus 137 m*
- *Roottorin halkaisija 126 m*
- *Pyyhkäisypinta-ala 1,3 ha*
- *Torni on teräsrakenteinen*



Mustaisnevan tuulivoimapuisto

- *9 kpl Lagerwey 2,5 MW*
- *Napakorkeus 120 m*
- *Roottorin halkaisija 100 m*
- *Pyyhkäisypinta-ala 0,9 ha*
- *Torni on teräsrakenteinen ja kootaan taivutetuista teräslevyistä pulteilla*



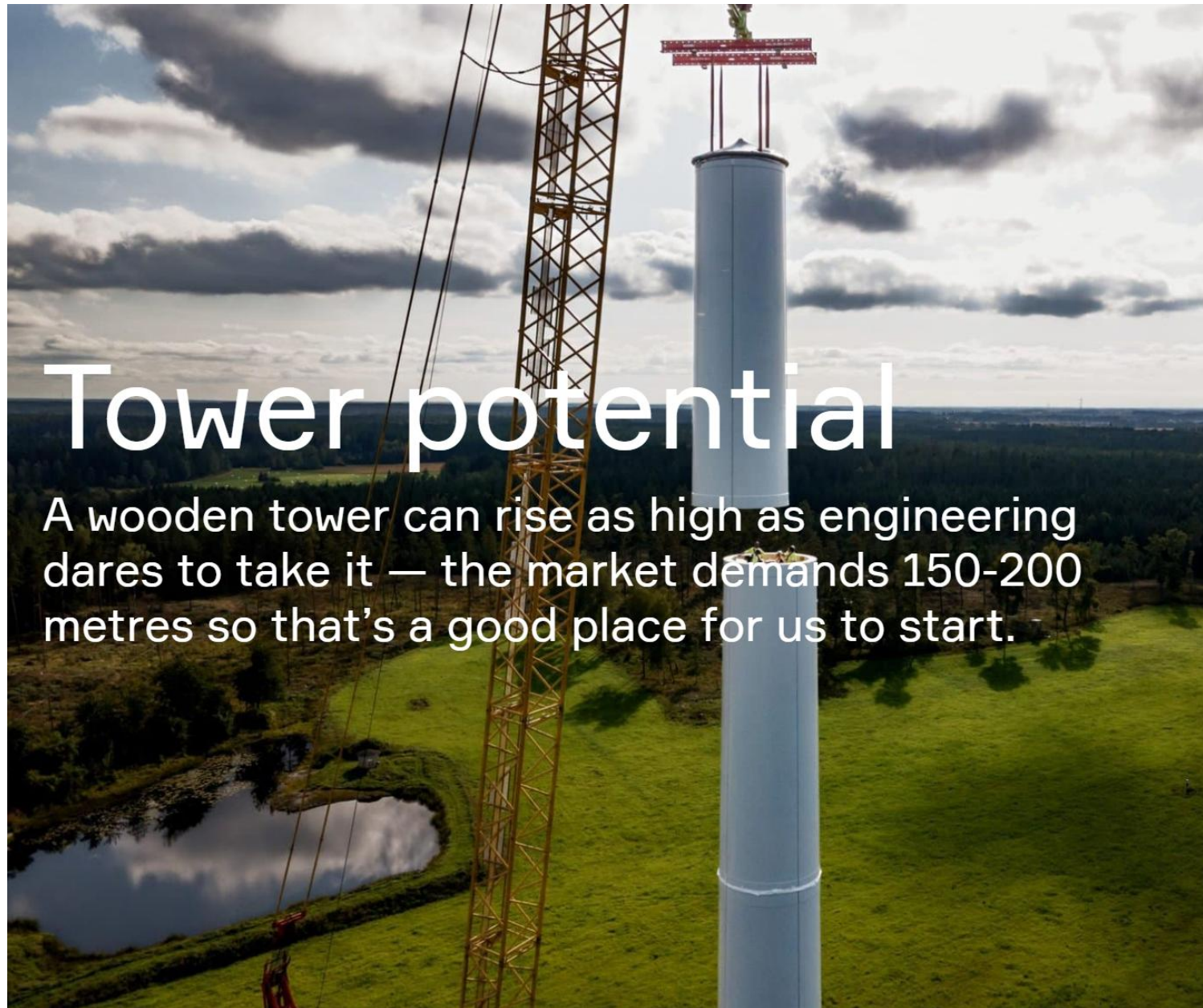
Kirkkokallion tuulivoimapuisto

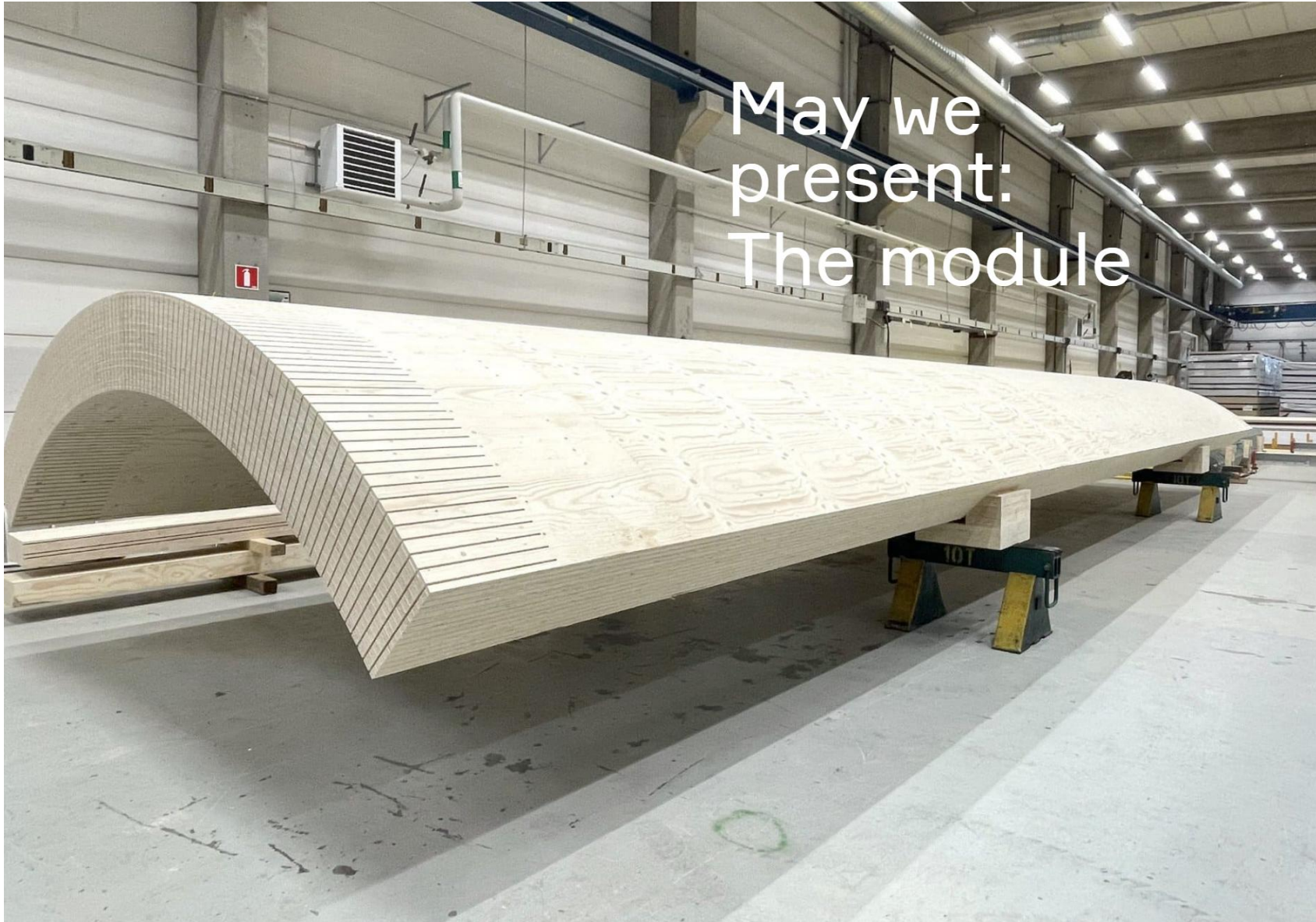
- *9 kpl Nordex 2,4 MW*
- *Napakorkeus 120 m*
- *Roottorin halkaisija 117 m*
- *Pyyhkäisypinta-ala 1,1 ha*
- *Torni on teräsrakenteinen*



Peittoon tuulivoimapuisto

- *12 kpl Gamesa 4,5 MW*
- *Napakorkeus 140 m*
- *Roottorin halkaisija 128 m*
- *Pyyhkäisypinta-ala 1,3 ha*
- *Torni betoni-/teräsrakenteinen, ns. hybridirunko*





May we
present:
The module

Project 02

Wind Of Change

Status

Installed

Project specs

Tower Height:	105 meters
Turbine:	V90-2.0MW
Total Height:	150 meters
Quantity:	One tower
Client:	Varberg Energi
Delivery Date:	2023

modvion



Kuva:
Suomen uusiutuvat ry

Tuulivoimapuisto numeroina, esimerkki (infra)

Tuulivoimapuisto Mutkalampi

1/2021 – 12/2021

Yli
60 km

rakennettavaa tai
kunnostettavaa
tietä

Rakennetaan
69

tuulivoima-
perustusta

Yhteen V162-
perustukseen
900 m³

betonia

Projektiin
perehdytetty yli
500

henkilöä

Asennetaan
kaapelia yli
170 km
ja **100 km**
kuitukaapelia

Kustannusarvio
koko hankkeesta
~ 45
milj. euroa

Asiakas ja pääurakoitsija tanskalainen **Vestas**. Tuulipuiston tilaajana ranskalainen Neoen.

Hankkeen tavoitteena oli rakentaa kapasiteetiltaan 404 MW tuulipuiston infrastruktuuri sekä perustukset. Hanke toteutettiin kolmen kunnan, noin 156 hehtaarin alueella. Valmistumisensa aikaan Mutkalampi on Suomen suurin tuulipuisto.



DESTIA

A COLAS COMPANY



Tuulipuiston työmaalle. Lapaa kuljettava auto kääntyy Pihtiputaantieltä Reisjärven suuntaan Haapajärvellä. KUVA: VESA RANTA

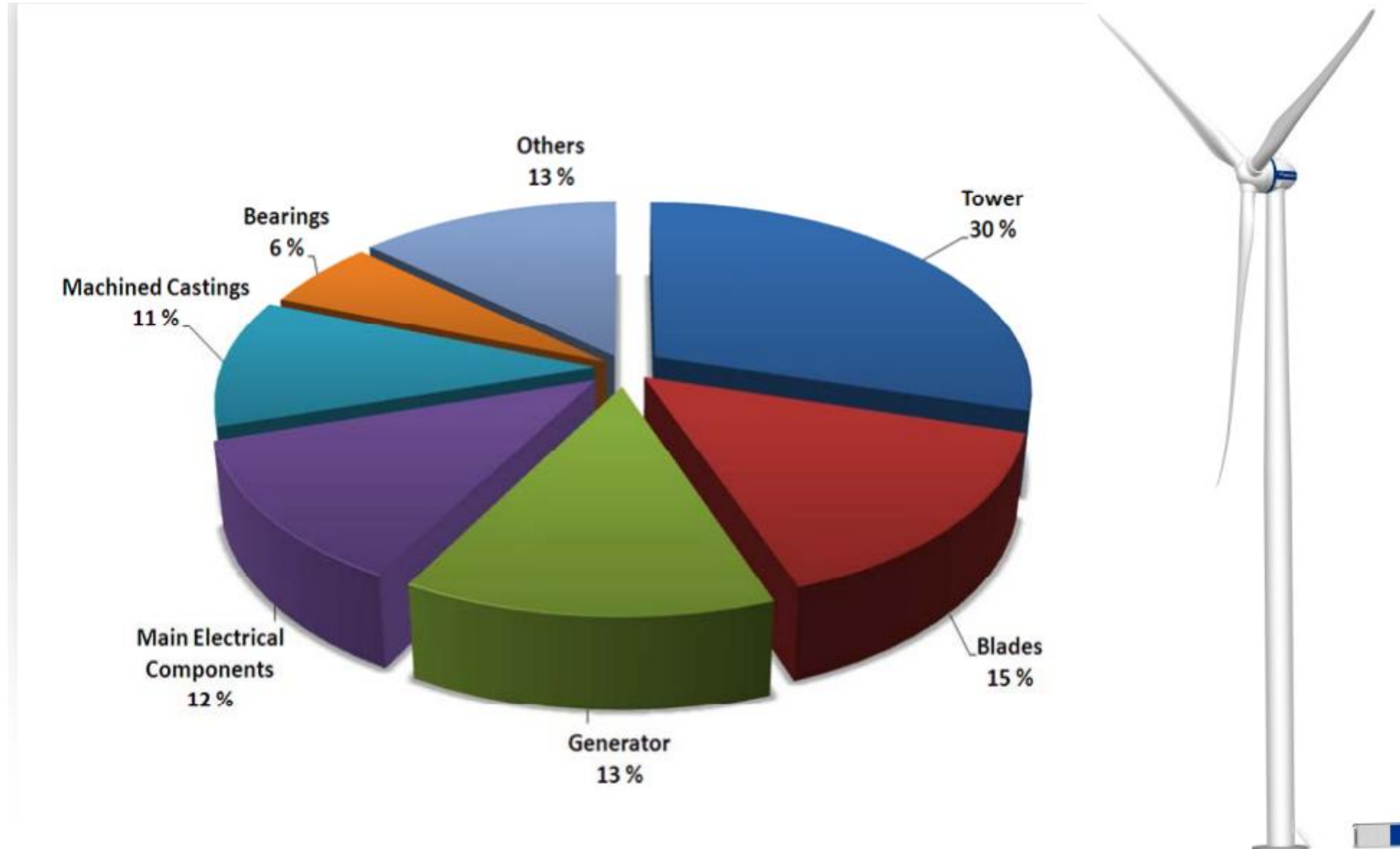


Saapuu Haapajärvelle. Tuulivoimalan lavan eli siiven kuljetusauton liikkeet Haapajärven liikenneympyrässä näkyvät parhaiten dronella kuvattuna. KUVA: VESA RANTA

Tuulivoimalan kustannusjako

6 pääkomponenttia vastaa 87 % kustannuksista

Komponenttien kokonaismäärä n. 27 000 kpl ja suunnittelukohteiden kokonaismäärä n. 3 700 kpl



Puolustusvoimat, tuulivoima ja Itä-Suomi

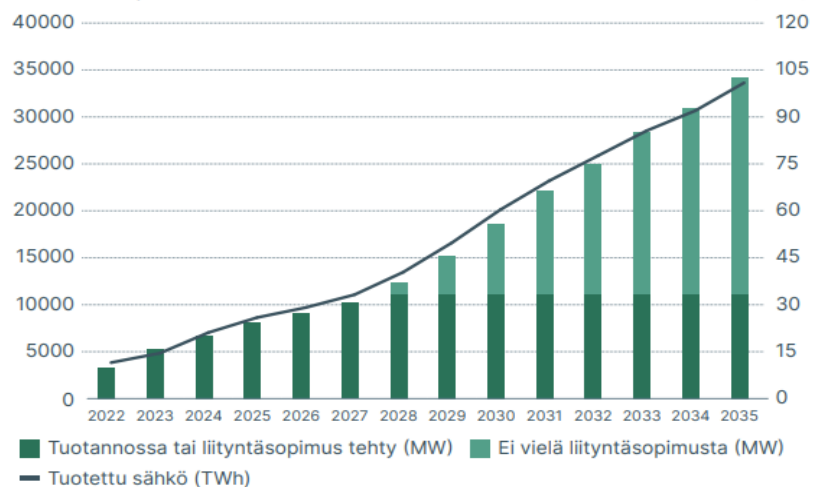
- Kaikki kokonaiskorkeudeltaan yli 50 metriä korkeat tuulivoimalat tarvitsevat Puolustusvoimien myönteisen lausunnon ennen voimalan rakentamista.
- Käytännössä puolustusvoimat useimmiten estää tuulivoiman rakentamisen Itä-Suomeen
 - "Tällä hetkellä alle 4 % Suomen rakennetusta tuulivoimasta on Valtatie 5:n itäpuolella"
- Kyse on etenkin tutkavalvonnasta ja sen häiriintymisestä.
- On selvitetty keinoja, miten tuulivoimaa voisi rakentaa Itä-Suomeen
 - Arto Rädyn selvitys, maaliskuu 2023
 - Esitys kompensatiomallista, kesäkuu 2024

Tuuli- ja aurinkovoima vs. sähkönkulutus, 2022-2035

Tuulivoima

Fingridin ennuste, syyskuu 2024.

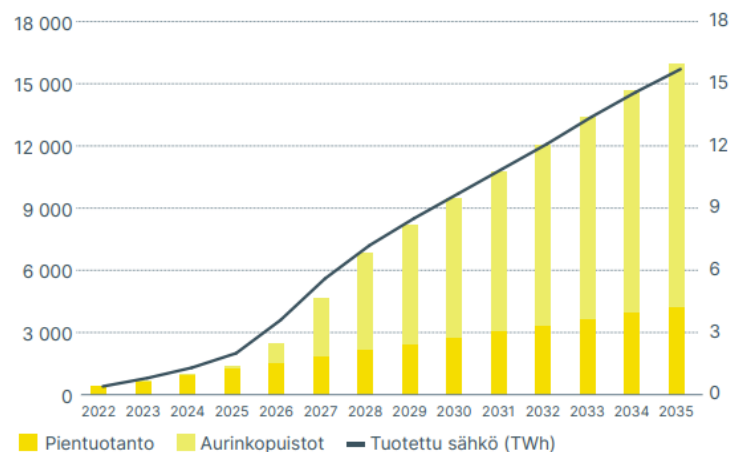
Asennettu kapasiteetti (MW)



Aurinkovoima

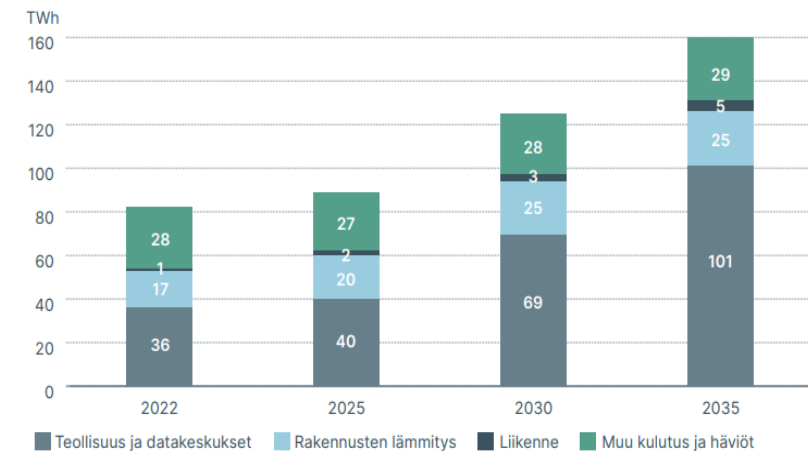
Fingridin ennuste, syyskuu 2024.

Asennettu kapasiteetti (MW)



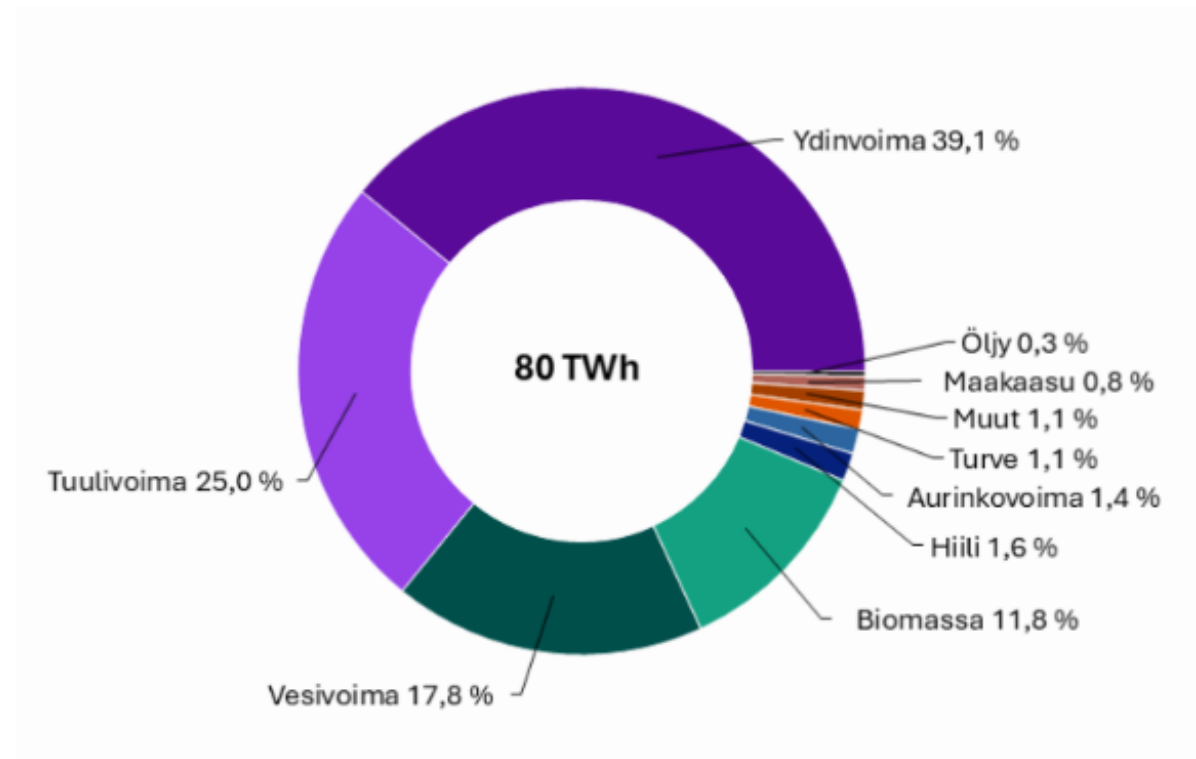
Sähkön kulutuksen kehitys (TWh)

Fingridin ennuste, syyskuu 2024.



Ei yhtä ilman toista

Hiilidioksidineutraalin sähkön osuus jo 95 % Suomen sähköntuotannosta vuonna 2024



Uusiutuvat: 56 % (52 % vuonna 2023), hiilidioksidineutraalit*: 95 % (94 % vuonna 2023), Kotimaiset: 57 % (54 % vuonna 2023). *Hiilidioksidineutraaleiksi energialähteiksi on laskettu energialähteet, joiden hiilidioksidivaikutusta ei raportoida sähköntuotannossa. Biomassan ilmastovaikutus lasketaan maankäyttösektorilla. Lähde: [Sähkön ennakkotilastot 2024](#).

Yhden tuulivoimapuiston tarvitsema ala on 2-3 % kokonaismetsäalasta.
100 TWh tuulivoimatuotanto tarvitsee noin 0,15 % Suomen metsäalasta.



Taistelu tuulimyllyjä vastaan

Suomen tuulivoiman määrä on lähivuosina kaksinkertaistumassa, jotta ilmasto säästyisi ja Suomi pääsisi irti venäläisestä energiasta. Kainuun metsistä nousee kuitenkin huoli: unohtuuko samalla luonto?

Helsingin Sanomat 29.3.2023



Jukka Ruusunen
@RuusunenJukka

...

Tuulivoima ohittaa ydinvoiman suurimpana sähkön
tuotantomuotona vuonna 2027



[tekniikkatalous.fi](https://www.tekniikkatalous.fi)

Tuulivoima ohittaa ydinvoiman suurimpana sähkön tuotantomuotona vuonna 2...
Suomen sähköntuotanto muuttuu nyt hirmuista vauhtia. Tuulivoimabuumi jatkaa kasvuaan vielä.

“Onshore wind becomes the most deployed technology in Europe in 2030”.

EWEA 2015

“Wind energy will be the single largest source of power generation in Europe”.

EWEA 2015

Kiitos!

Jouko Putkonen
+358 40 6627624
jouko.putkonen@kamk.fi

