



Bài giảng:

HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG XANH

Giảng viên: ThS. Trần Công Bình

8/2017

0



1

C3: NĂNG LƯỢNG GIÓ

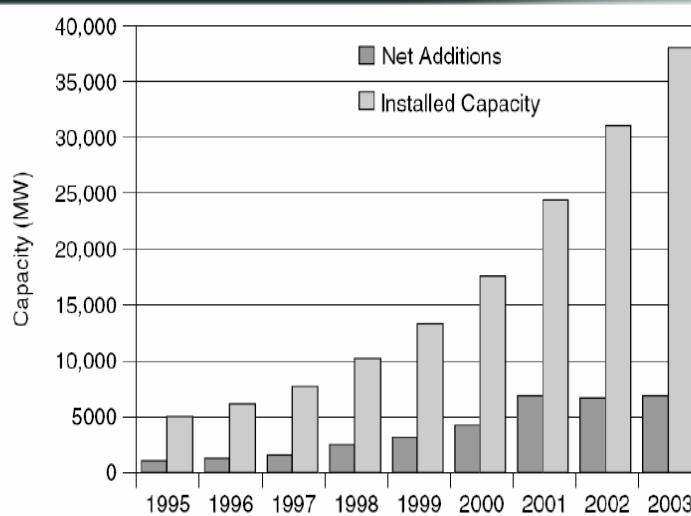
1. Lịch sử phát triển năng lượng gió
2. Các loại turbin gió
3. Công suất gió
4. Ảnh hưởng chiều cao trụ tháp
5. Hiệu suất cực đại của rotor
6. Máy phát turbin gió
7. Điều chỉnh tốc độ để đạt công suất cực đại
8. Công suất gió trung bình
9. Ước lượng năng lượng của turbin gió
10. Tính toán theo các đặc tính vận hành của turbin gió
11. Tính toán kinh tế máy phát điện dùng sức gió
12. Tác động môi trường của máy phát điện gió

Hệ thống năng lượng xanh



2

1. Lịch sử phát triển năng lượng gió



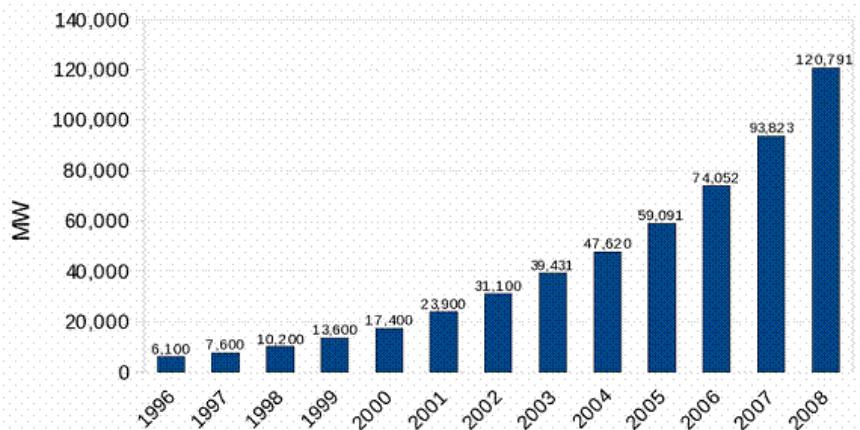
Hình 6.1: Mức phát triển của năng lượng gió của thế giới đạt mức tăng hơn 25% mỗi năm

Hệ thống năng lượng xanh

3

3

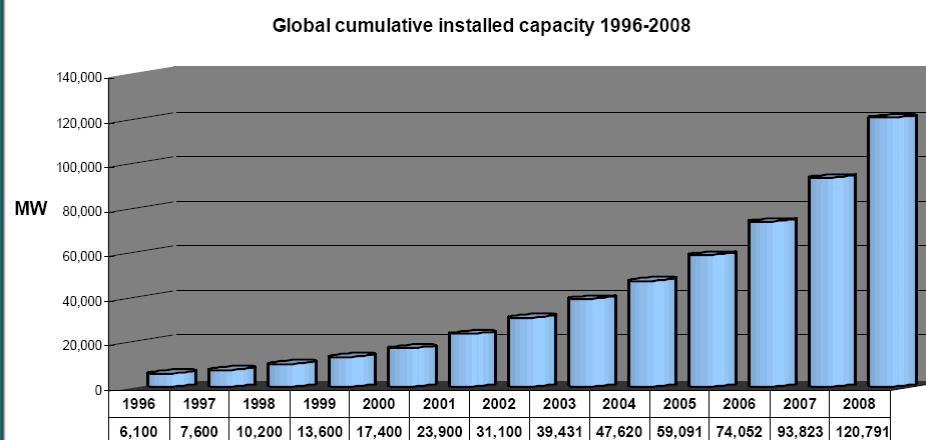
Lịch sử phát triển năng lượng gió



Hệ thống năng lượng xanh

4

Global Installed Wind Capacity



Global Wind Energy Council

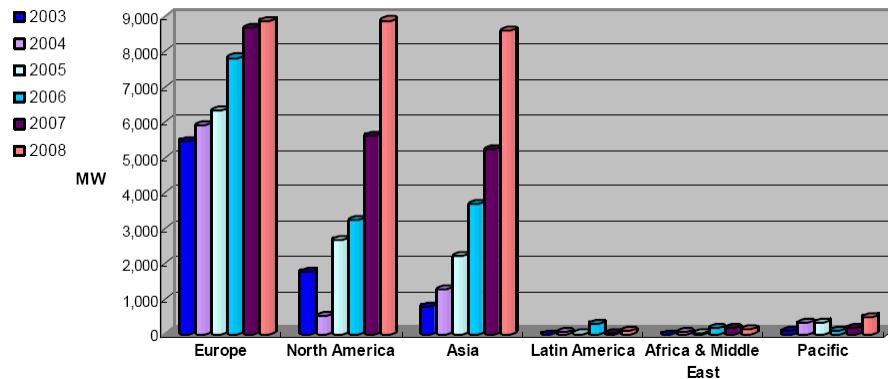
http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_stats_annex_table_2nd_feb_final_final.pdf

Hệ thống năng lượng xanh

5

Annual Installed Wind Capacity

Annual installed capacity by region 2003-2008



Global Wind Energy Council

http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_stats_annex_table_2nd_feb_final_final.pdf

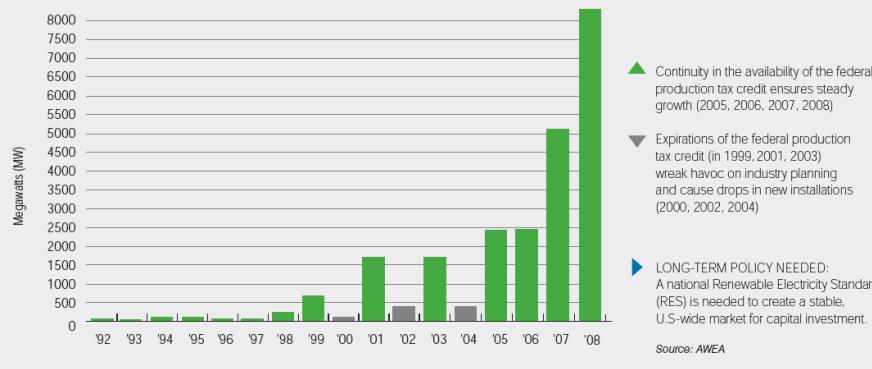
Hệ thống năng lượng xanh

6

6

Growth in US Wind Power Capacity

Annual Installed U.S. Wind Power Capacity



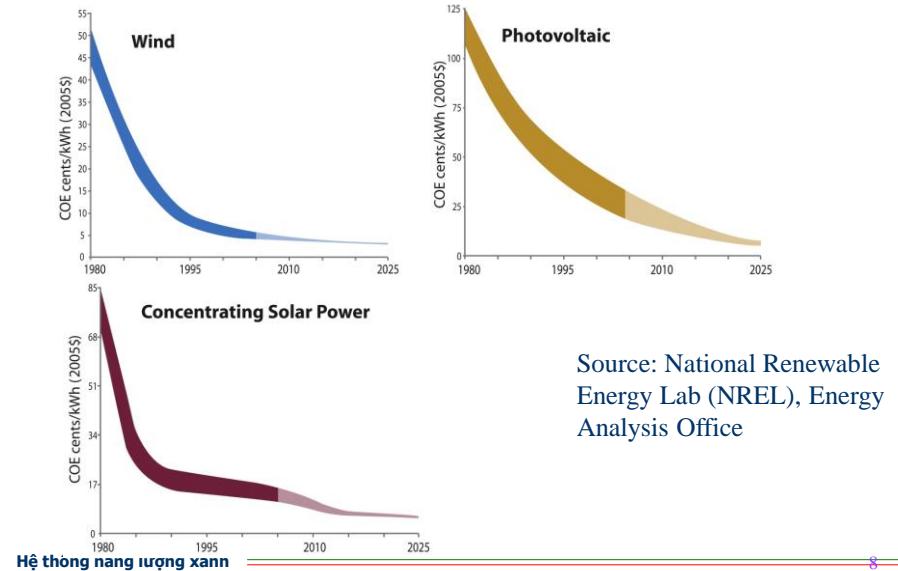
With new installations of about 4000 MW in First Half 2009

Hệ thống năng lượng xanh

7

7

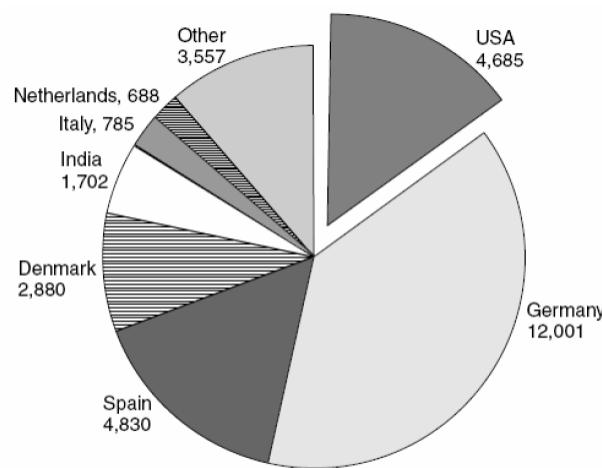
Historical Change in Wind Economics, Constant 2005 Dollars



Source: National Renewable Energy Lab (NREL), Energy Analysis Office

8

Lịch sử phát triển năng lượng gió



Hình 6.2: Mức đóng góp của năng lượng gió thế giới xét theo quốc gia

Hệ thống năng lượng xanh

9

9

Top 10 Countries - Installed Wind Capacity (as of the end of 2008)

Country	MW Capacity	% of Global Capacity
US	25,170 MW	20.8%
Germany	23,903 MW	19.8%
Spain	16,754 MW	13.9%
China	12,210 MW	10.1%
India	9,645 MW	8.0%
Italy	3,736 MW	3.1%
France	3,404 MW	2.8%
UK	3,241 MW	2.7%
Denmark	3,180 MW	2.6%
Portugal	2,862 MW	2.4%
Total top 10	104,104 MW	86.2%

Global Wind Energy Council:

http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_stats_annex_table_2nd_feb_final_final.pdf

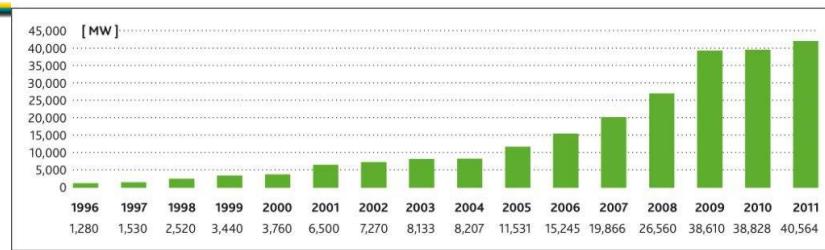
Hệ thống năng lượng xanh

10

10

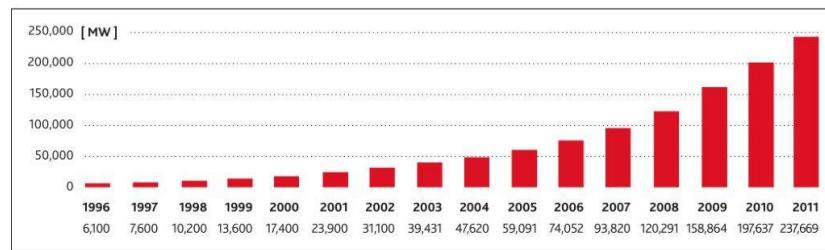
Installed Wind Capacity (2011)

Global Annual Installed Wind Capacity 1996-2011



Source: GWEC

Global Cumulative Installed Wind Capacity 1996-2011



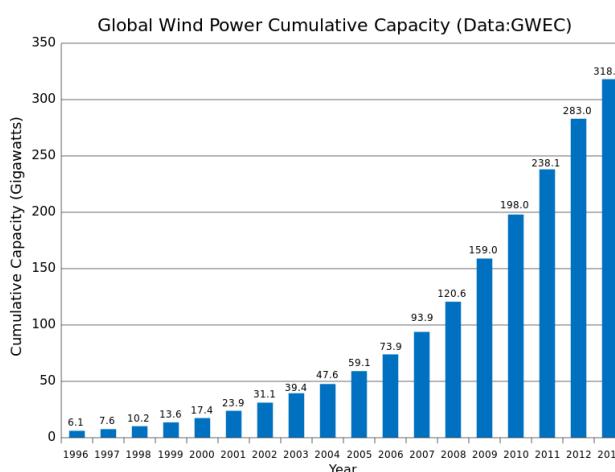
Source: GWEC

Hệ thống năng lượng xanh

11

11

Top 10 Countries - Installed Wind Capacity (as of the end of 2013)

Top 10 wind power countries^[7]

Country	Total capacity end 2013 (MW)
China	91,424
United States	61,091
Germany	34,250
India	28,150
Spain	22,959
United Kingdom	10,531
Italy	8,552
France	8,254
Canada	7,803
Denmark	4,772
Rest of world	48,351
Total	318,137

Global Wind Energy Council: <http://www.gwec.net>

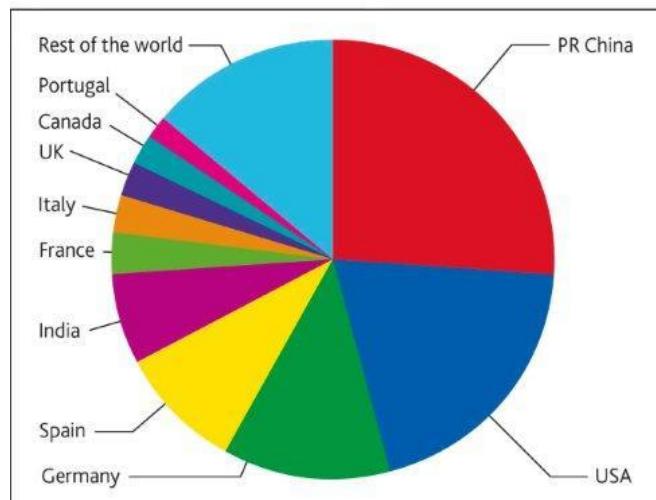
Hệ thống năng lượng xanh

12

12

Installed Wind Capacity (2011)

Top 10 cumulative capacity Dec 2011



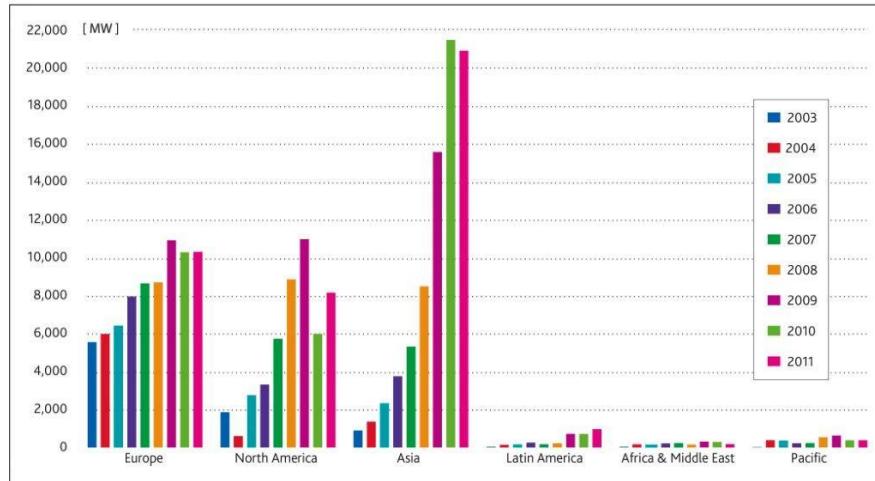
Hệ thống năng lượng xanh

13

13

Installed Wind Capacity (2011)

Annual Installed Capacity by Region 1996-2011



Source: GWEC

Hệ thống năng lượng xanh

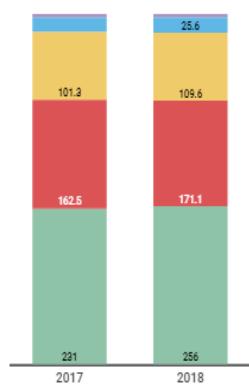
14

14

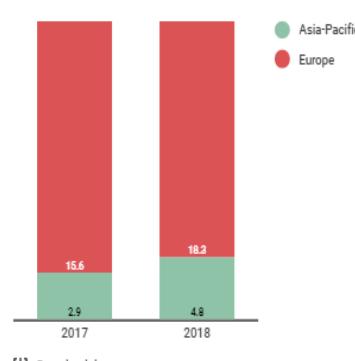
Thị trường toàn cầuThị trường hàng đầuTổng công suất lắp đặt theo vùng2017 vs 2018Ngoài khơiTrên bờ

WINDSIGHTS Global Wind Market in 2018

Total installed capacity - GW onshore



Total installed capacity - GW offshore



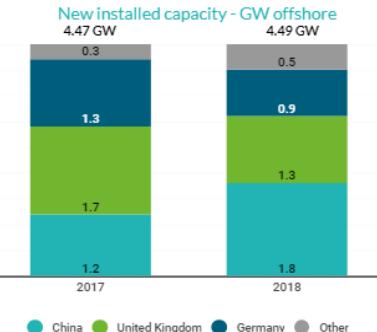
[Download data

16

Vùng ngoài khơi

[Thị trường toàn cầu](#)
[Thị trường hàng đầu](#)
[Tổng công suất lắp đặt theo vùng](#)
[2017 vs 2018](#)
[Ngoài khơi](#)
[Trên bờ](#)


WINDSIGHTS Global Offshore Wind Market in 2018



“ China installed 1.8 GW of offshore wind energy, followed by the United Kingdom and Germany. ”



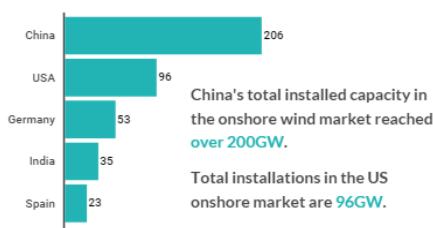
18

Vùng Nội Địa

[Thị trường toàn cầu](#)
[Thị trường hàng đầu](#)
[Tổng công suất lắp đặt theo vùng](#)
[2017 vs 2018](#)
[Ngoài khơi](#)
[Trên bờ](#)


WINDSIGHTS Global Wind Market in 2018

Top 5 markets of total installed capacity - GW onshore



Total installed capacity - GW, onshore



19

Thị trường Châu Á Thái Bình Dương

Tổng công suất lắp đặt mới

Triển vọng thị trường



WINDSIGHTS
Asia-Pacific in 2018

New installed capacity in the Asia-Pacific - MW onshore



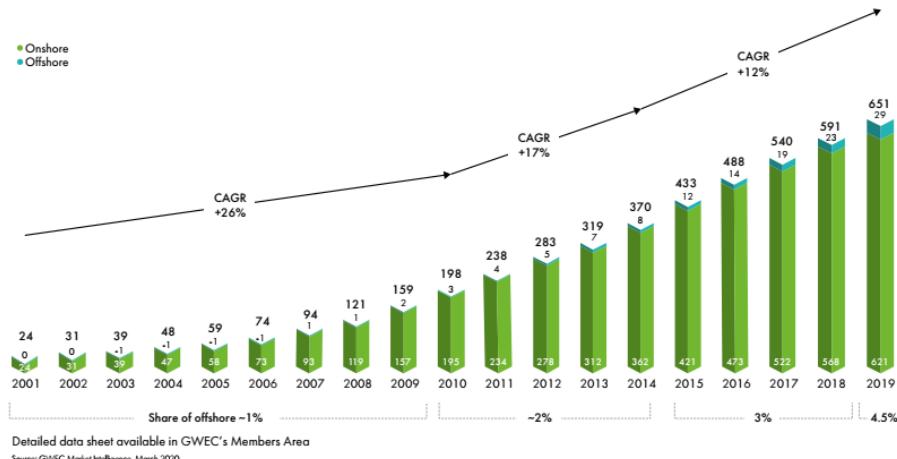
“ China remains the largest onshore market in Asia-Pacific and globally with **21.2 GW*** new onshore installed capacity in 2018, followed by India and Australia. ”

*Preliminary

20

Lịch sử phát triển năng lượng gió

Historic development of total installations (onshore and offshore)



Hệ thống năng lượng xanh

21

21

Lịch sử phát triển năng lượng gió

Historic development of new installations (onshore and offshore)



Hệ thống năng lượng xanh

22

22

Lịch sử phát triển năng lượng gió

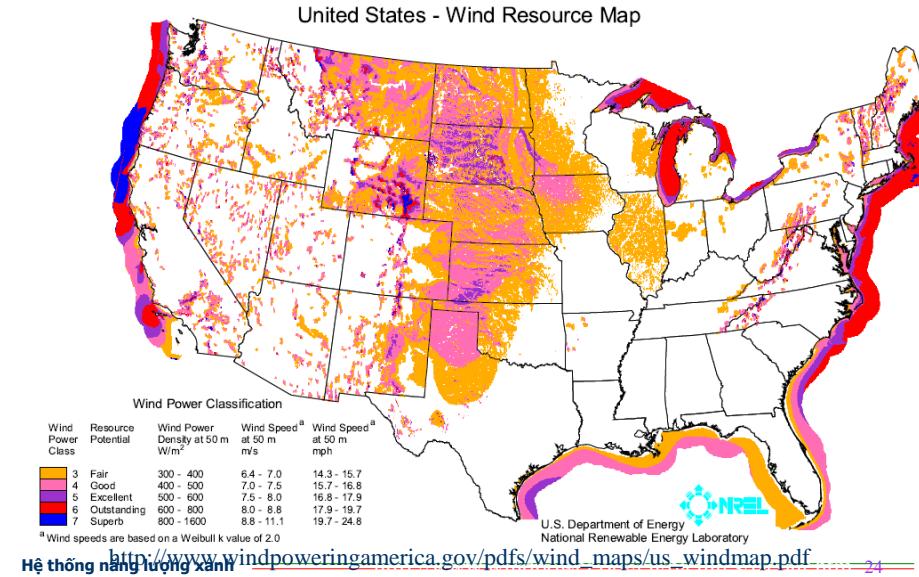
MW, onshore	New installations 2018	Total installations 2018	New installations 2019	Total installations 2019
Total onshore	46,345	567,592	54,206	621,421
Americas	11,891	134,843	13,427	148,072
USA	7,588	96,488	9,143	105,436
Canada	566	12,816	597	13,413
Brazil	1,939	14,707	745	15,452
Mexico	929	4,935	1,281	6,215
Argentina	445	673	931	1,604
Chile	204	1,619	526	2,145
Other Americas	220	3,605	204	3,807
Africa, Middle East	970	5,728	944	6,673
Egypt	380	1,190	262	1,452
Kenya	312	338	0	338
South Africa	0	2,085	0	2,085
Other Africa	278	2,115	682	2,798
Asia-Pacific	24,468	255,937	28,094	284,024
China	20,200	205,804	23,760	229,564
India	2,191	35,129	2,377	37,506

Hệ thống năng lượng xanh

23

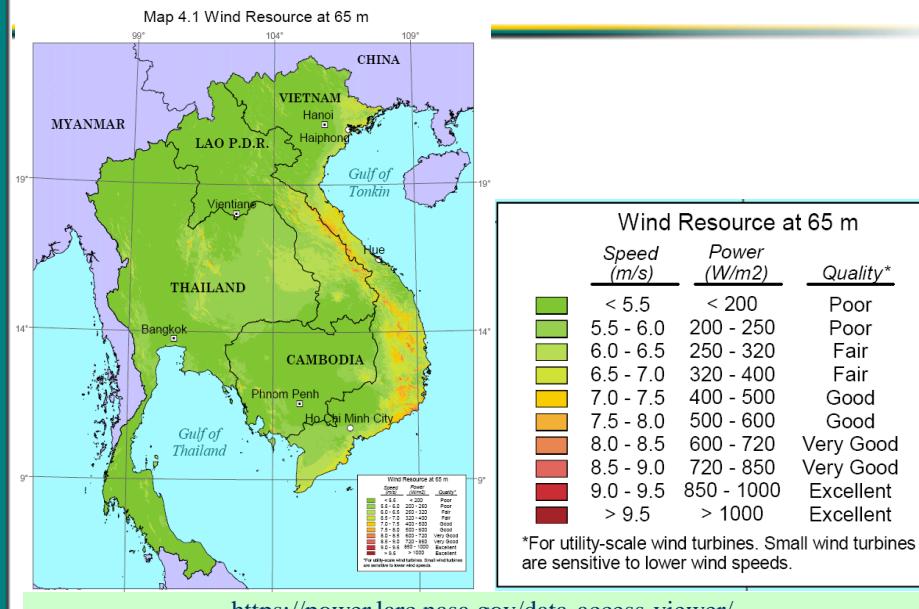
23

US Wind Resources



24

Wind Resource Atlas of SouthEast Asia



25

Wind Resource Atlas of SouthEast Asia

Map 4.3 Wind Resource at 65 m: December - February



Hệ thống năng lượng xanh

Map 4.4 Wind Resource at 65 m: March - May

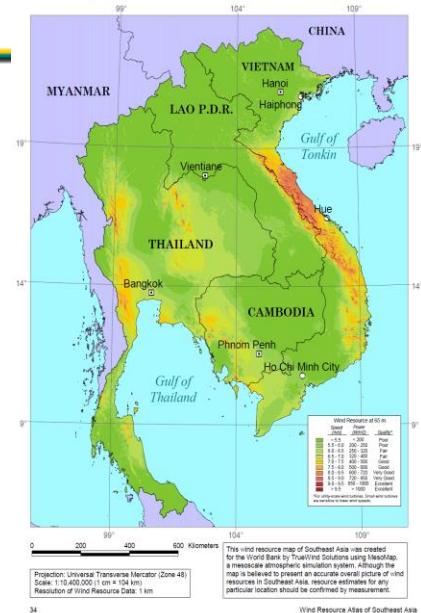


33

26

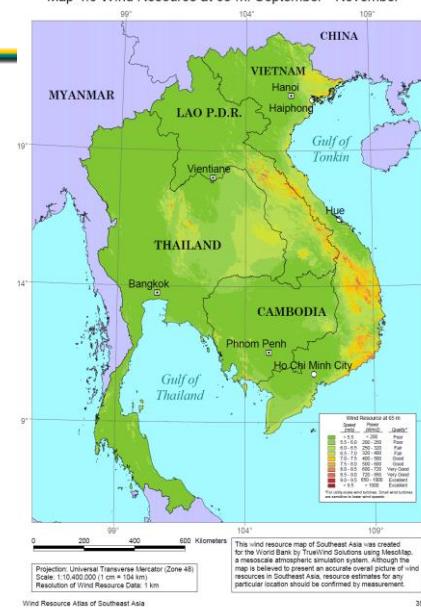
Wind Resource Atlas of SouthEast Asia

Map 4.5 Wind Resource at 65 m: June - August



Hệ thống năng lượng xanh

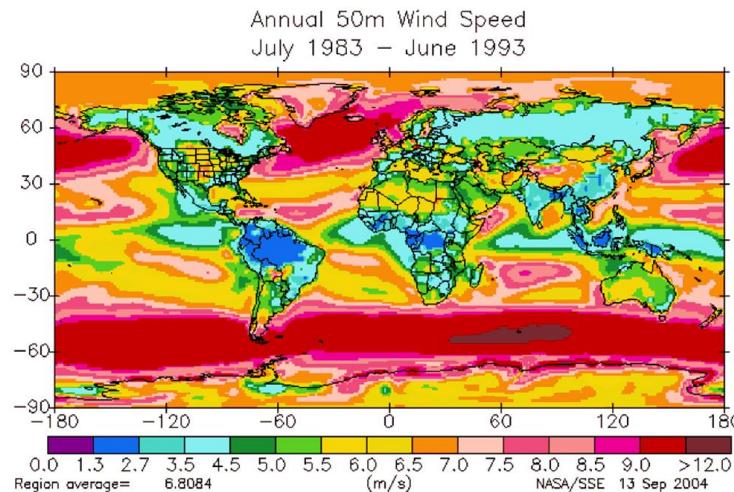
Map 4.6 Wind Resource at 65 m: September - November



35

27

Worldwide Wind Resource Map



Source: www.ceoe.udel.edu/WindPower/ResourceMap/index-world.html

Hệ thống năng lượng xanh

28

28

PTN Năng lượng xanh – GREEN POWER LAB



Hệ thống năng lượng xanh

29

29

Năng lượng gió tại Việt Nam



Hệ thống năng lượng xanh

30

30

Năng lượng gió tại Việt Nam



Tuy Phong-Bình Thuận



Bạc Liêu

Hệ thống năng lượng xanh

32

32

32

Năng lượng gió tại Việt Nam

Application	Capacity	Quantity of Wind Turbine	Operation start	Area of installation
Household wind turbine	100-200 W	about 1,000	Counted from 1999	Central coastal area
Wind - diesel hybrid	30 kW	1	1999	Hai Thinh Comm., Hai Hau Distr., Nam Dinh Province
Wind - solar hybrid	2 kW	1	2000	Dac Ha Distr., Kon Tum Province
Bach Long Vi's wind	800 kW	1	2004	Bach Long Vi island
Grid-connected REVN's wind farm	30 MW (1 st phase)	20 (Furhlaender 1.5 MW)	Mar. 2011	Tuy Phong Distr., Binh Thuan Province
Grid-connected Cong Ly's wind farm	16 MW (1 st phase)	10 (GE 1.6 MW)	Under construction	Vinh Trach Distr., Bac Lieu Province
PV Power Corporation (Petro Vietnam)'s wind – diesel hybrid	9 MW (6 MW wind + 3 MW diesel)	3 (Vestas 2 MW)	Under connecting into the grid	Phu Quy Island, Binh Thuan Province

2012

Hệ thống năng lượng xanh

33

33

Năng lượng gió tại Việt Nam



Tuy Phong

Hệ thống năng lượng xanh

35

35

Năng lượng gió tại Việt Nam



Phú Quý

Hệ thống năng lượng xanh

36

36

Năng lượng gió tại Việt Nam



Bạc Liêu 2015

Hệ thống năng lượng xanh

37

37

Năng lượng gió tại Việt Nam



Phú Lạc

Hệ thống năng lượng xanh

38

38

Năng lượng gió tại Việt Nam



Trung Nam Thuận Bắc

Hệ thống năng lượng xanh

39

39



40

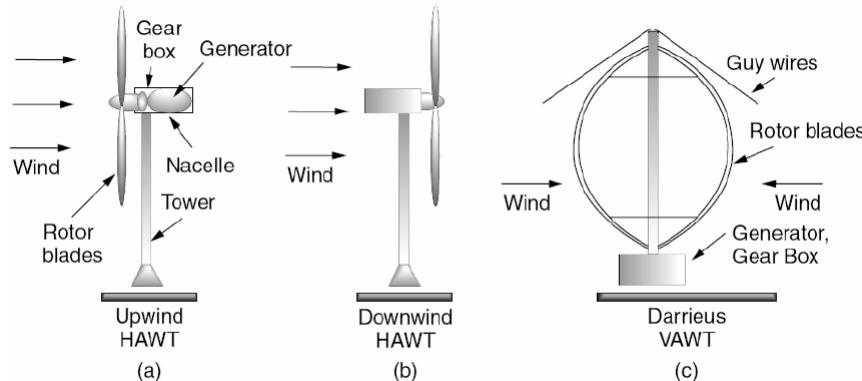
Bảng So sánh giá điện sản xuất theo các công nghệ khác nhau

Công nghệ	Giá (2005-2010)	Giá (2020+)
Điện gió (trên bờ)	\$0.04-0.07	\$≤0.04
Điện gió (xa bờ)	\$0.1-0.17	\$0.08-0.13
Điện sóng	\$≥0.11	\$0.04
Điện địa nhiệt	\$0.04-0.07	\$0.04-0.07
Thủy điện	v0.04	\$0.04
Hội tụ ánh sáng bằng gương	\$0.11-0.15	\$0.08
Điện mặt trời	\$>0.2	\$0.10
Điện thủy triều	\$>0.11	\$0.05-0.07
Điện truyền thống (từ than, dầu mỏ) sản xuất ở Mỹ	\$0.07 (chi phí xã hội: \$0.12)	\$0.08 (social cost: 0.14) (chi phí xã hội: \$0.14)

41

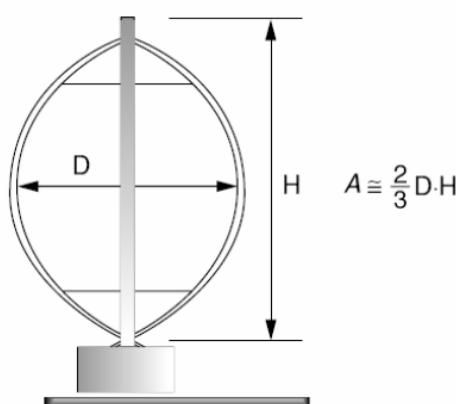
41

2. Các loại turbin gió



Hình 6.4: Phân loại tuốc bin gió

Các loại turbin gió



Hình 6.6: Thiết kế tối ưu cho tuốc bin gió loại trực đứng VAWT

Các loại turbin gió

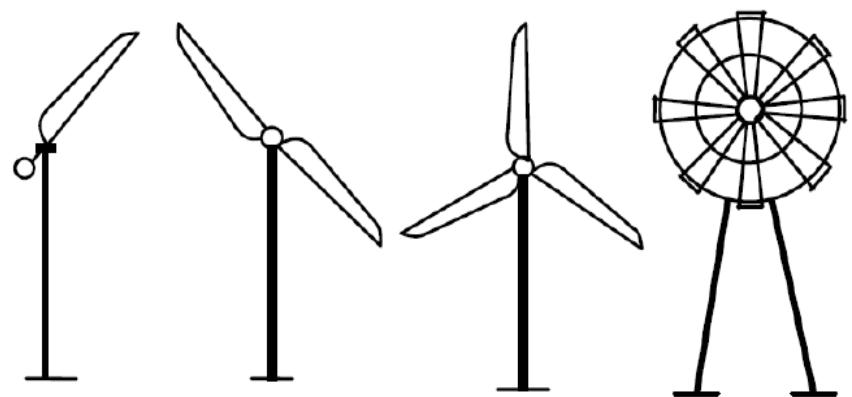


Hệ thống năng lượng xanh

44

44

Các loại turbin gió

(a)
Rô to một cánh(b)
Rô to hai cánh(c)
Rô to ba cánh(d)
Rô to nhiều cánh

Hệ thống năng lượng xanh

45

45

Các loại turbin gió



Hệ thống năng lượng xanh

46

46

Các loại turbin gió

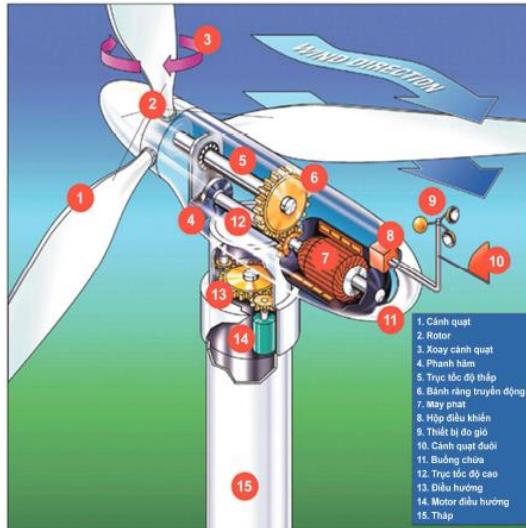


Hệ thống năng lượng xanh

47

47

Các loại turbin gió

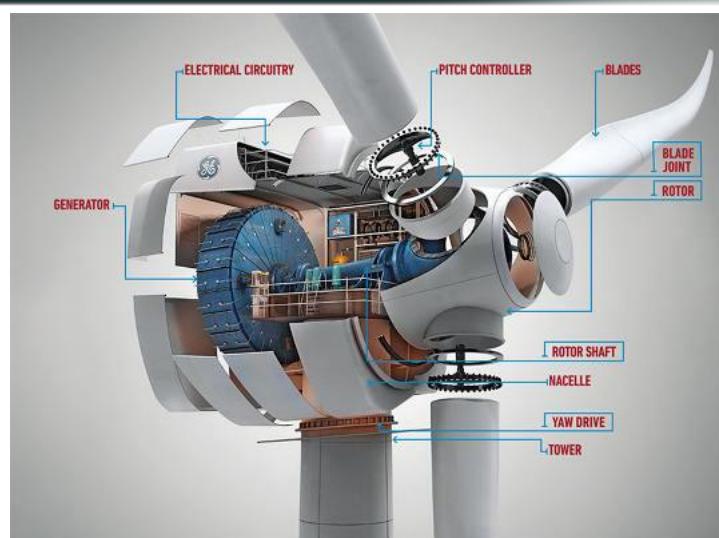


Hệ thống năng lượng xanh

48

48

Các loại turbin gió

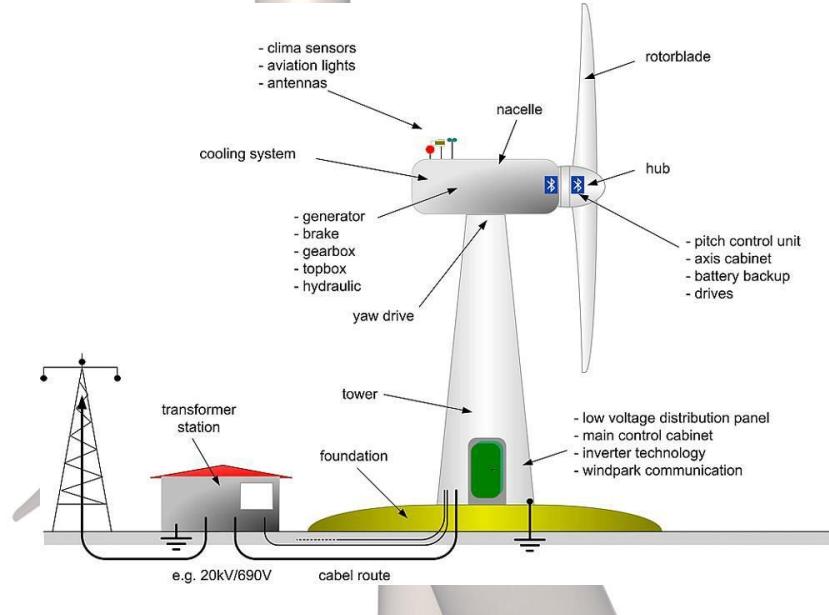


Hệ thống năng lượng xanh

49

49

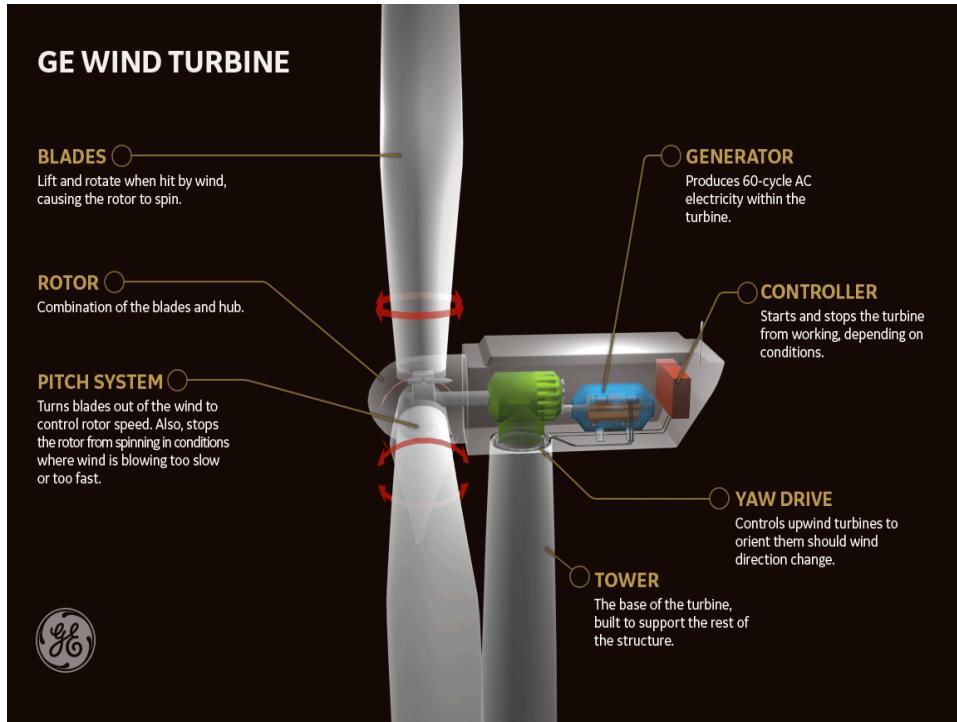
Các loại turbin gió



50



51

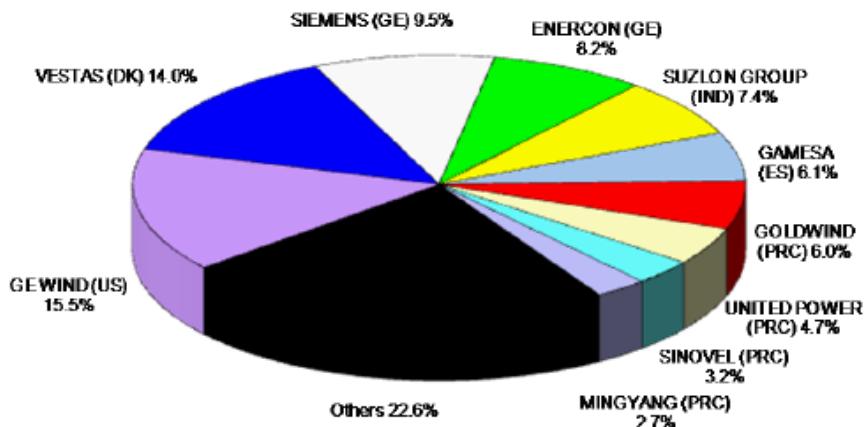


52

Các nhà cung cấp turbin gió hòa lưới

Top-10 Suppliers (Global) in 2012

% of the total market 43,134MW



Hệ thống năng lượng xanh

53

53

3. Công suất gió

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{Power through area } A = \frac{\text{Energy}}{\text{Time}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{Mass}}{\text{Time}} \right) v^2$$

$$\left(\frac{\text{Mass passing through A}}{\text{Time}} \right) = \dot{m} = \rho Av$$

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

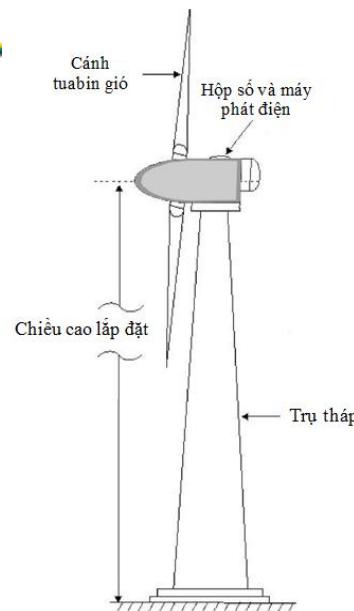
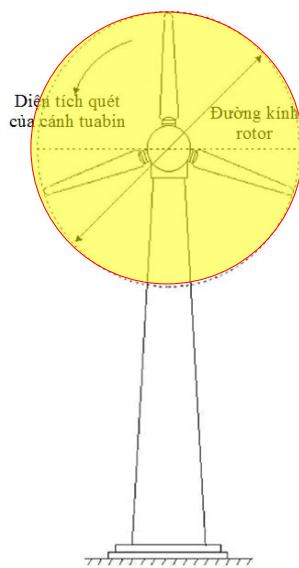
$$\rho = 1.225(\text{kg/m}^3)$$

Hệ thống năng lượng xanh

54

54

Công suất gió



Hệ thống năng lượng xanh

55

55

Công suất gió

Windspeed (m/s)	Windspeed (mph)	Power (W/m ²)
0	0	0
1	2.24	1
2	4.47	5
3	6.71	17
4	8.95	39
5	11.19	77
6	13.42	132
7	15.66	210
8	17.90	314
9	20.13	447
10	22.37	613
11	24.61	815
12	26.84	1058
13	29.08	1346
14	31.32	1681
15	33.56	2067

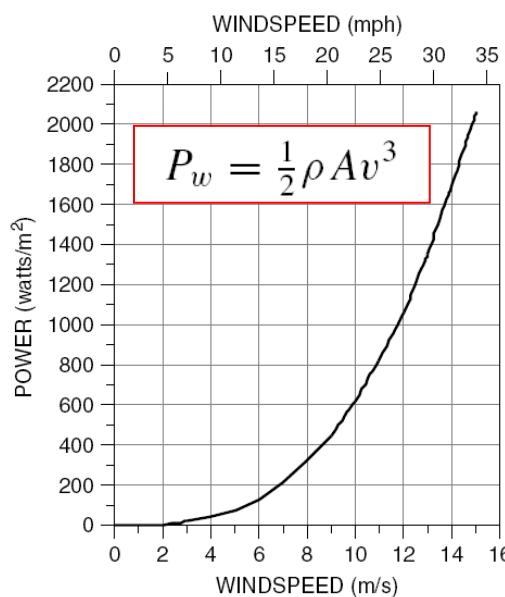


Figure 6.5 Power in the wind, per square meter of cross section, at 15°C and 1 atm.

Hệ thống năng lượng xanh

56

56

Công suất gió

Ví Dụ 6.1: Xác định Năng Lượng Gió dựa vào vận tốc gió trung bình

Hãy so sánh năng lượng gió thu được trong cùng điều kiện 15°C, áp suất 1atm, tiết diện 1m², ứng với các chế độ gió như sau:

- a) Gió thổi liên tục 100 giờ với vận tốc 6 m/s.
- b) Gió thổi liên tục 50 giờ với vận tốc 3 m/s sau đó thổi liên tục 50 giờ với vận tốc 9 m/s.

Với ρ là tỷ trọng không khí (khối lượng riêng, kg/m³).

$$\rho = 1.225 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (\text{ở } 15^\circ\text{C, 1 atm})$$

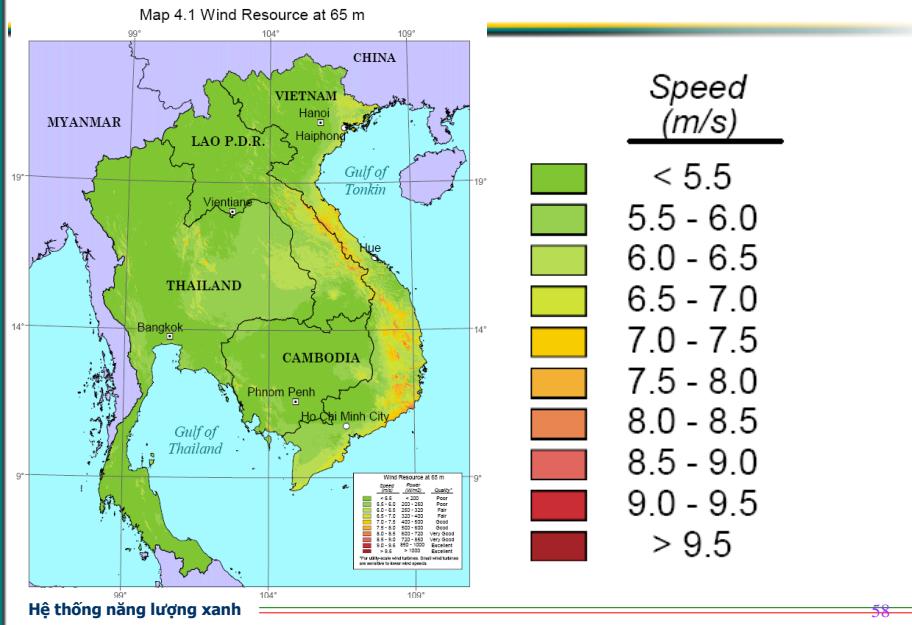
$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Hệ thống năng lượng xanh

57

57

Wind Resource Atlas of SouthEast Asia



58

Ảnh hưởng của nhiệt độ lên mật độ gió

$$PV = nRT$$

Trong đó P là áp suất tuyệt đối (atm), V là thể tích (m^3), n là khối lượng (mol), R là hằng số khí lý tưởng = $8.2056 \times 10^{-5} m^3.atm.K^{-1}.mol^{-1}$ và T là nhiệt độ tuyệt đối (K). Ta cũng biết 1 atm = 101.325 kPa (= 101.325 newton/m²). Ta cũng dùng đại lượng [bar] thể hiện áp suất với 100 kPa = 1 bar hay 100 Pa = 1 milibar, là đơn vị áp suất thường dùng trong khí tượng.

Mặt khác ta gọi M.W. thay cho khối lượng phân tử (*molecular weight*) của không khí (g/mol), tỉ trọng không khí có thể xác định theo biểu thức:

$$\rho(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{n(\text{mol}) \cdot \text{M.W.}(\text{g}/\text{mol}) \cdot 10^{-3}(\text{kg}/\text{g})}{V(\text{m}^3)}$$

Hệ thống năng lượng xanh

59

59

Ảnh hưởng của nhiệt độ lên mật độ gió

$$PV = nRT$$

$$\rho(\text{kg/m}^3) = \frac{n(\text{mol}) \cdot M.W.(\text{g/mol}) \cdot 10^{-3}(\text{kg/g})}{V(\text{m}^3)}$$

$$\rho = \frac{P \times M.W. \times 10^{-3}}{RT}$$

$$R = 8.2056 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Ảnh hưởng của nhiệt độ lên mật độ gió

không khí là hỗn hợp chủ yếu của nitrogen (78.08%), oxygen (20.95%) và 1 lượng nhỏ argon (0.93%), CO₂ (0.035%), Neon (0.0018%)... Dùng các giá trị khối lượng phân tử cấu thành (N₂ = 28.02; O₂ = 32; Ar = 39.95; CO₂ = 44.01; Ne = 20.18), ta xác định được khối lượng phân tử không khí = 28.97 (= 0.7808 × 28.02 + 0.2095 × 32.00 + 0.0093 × 39.95 + 0.00035 × 44.01 + 0.000018 × 20.18 = 28.97).

Ví Dụ 6.2: Xác định tỉ trọng không khí lúc âm hơn

Tìm tỉ trọng không khí ở áp suất 1 atm và nhiệt độ 30°C

$$\rho = \frac{P \times M.W. \times 10^{-3}}{RT}$$

$$R = 8.2056 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Ảnh hưởng của nhiệt độ lên mật độ gió

TABLE 6.1 Density of Dry Air at a Pressure of 1 Atmosphere^a

Temperature (°C)	Temperature (°F)	Density (kg/m ³)	Density Ratio (K_T)
-15	5.0	1.368	1.12
-10	14.0	1.342	1.10
-5	23.0	1.317	1.07
0	32.0	1.293	1.05
5	41.0	1.269	1.04
10	50.0	1.247	1.02
15	59.0	1.225	1.00
20	68.0	1.204	0.98
25	77.0	1.184	0.97
30	86.0	1.165	0.95
35	95.0	1.146	0.94
40	104.0	1.127	0.92

^aThe density ratio K_T is the ratio of density at T to the density at the standard (boldfaced) 15°C.

$$\rho = \frac{P \times M.W. \times 10^{-3}}{RT}$$

$$R = 8.2056 \times 10^{-5}$$

$$\rho = 1.225 K_T$$

Tính ρ ở 26°C
theo 2 cách?

Hệ thống năng lượng xanh

62

62

Ảnh hưởng độ cao lên mật độ gió

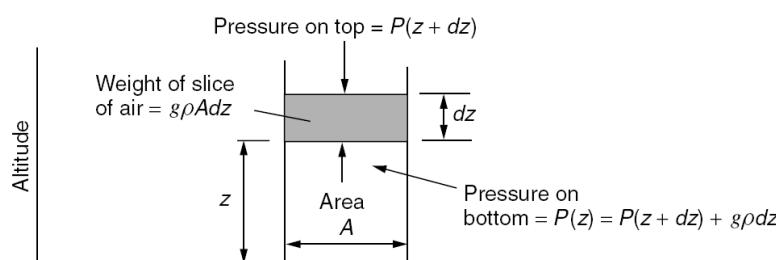


Figure 6.7 A column of air in static equilibrium used to determine the relationship between air pressure and altitude.

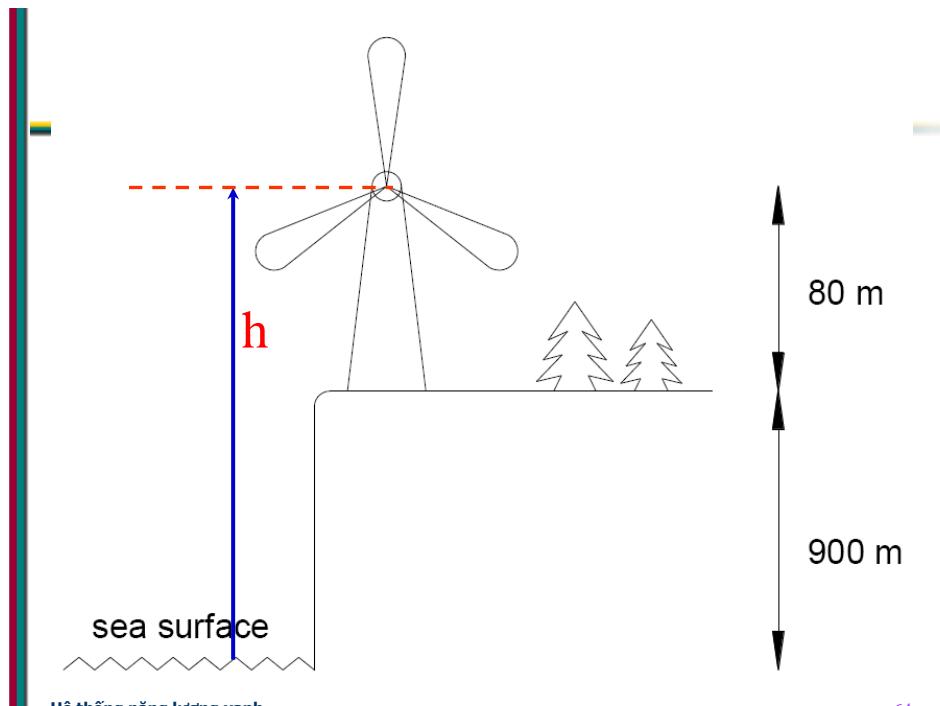
Hình 6.7: Thiết kế tối ưu cho tuốc bin gió loại trực đứng VAWT

Độ cao công trình tính từ mực nước biển

Hệ thống năng lượng xanh

63

63



64

Ảnh hưởng độ cao lên mật độ gió

$$P(z) = P(z + dz) + \frac{g\rho Adz}{A}$$

$$dP = P(z + dz) - P(z) = -g \rho dz$$

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

$$\frac{dP}{dz} = - \left(\frac{g \text{ M.W.} \times 10^{-3}}{R \cdot T} \right) \cdot P$$

Hệ thống năng lượng xanh

65

65

Ảnh hưởng độ cao lên mật độ gió

$$\frac{dP}{dz} = - \left(\frac{g \text{ M.W.} \times 10^{-3}}{R \cdot T} \right) \cdot P$$

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dz} &= - \left[\frac{9.806(\text{m/s}^2) \times 28.97(\text{g/mol}) \times 10^{-3}(\text{kg/g})}{8.2056 \times 10^{-5}(\text{m}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}) \times 288.15 \text{ K}} \right] \\ &\quad \times \left(\frac{\text{atm}}{101,325 \text{ Pa}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ Pa}}{\text{N/m}^2} \right) \left(\frac{1 \text{ N}}{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2} \right) \cdot P \end{aligned}$$

$$\frac{dP}{dz} = -1.185 \times 10^{-4} P$$

$$P = P_0 e^{-1.185 \times 10^{-4} h} = 1(\text{atm}) \cdot e^{-1.185 \times 10^{-4} h}$$

Hệ thống năng lượng xanh

66

66

Ảnh hưởng độ cao lên mật độ gió

Altitude (meters)	Altitude (feet)	Pressure (atm)	Pressure Ratio (K _A)
0	0	1	1
200	656	0.977	0.977
400	1312	0.954	0.954
600	1968	0.931	0.931
800	2625	0.910	0.910
1000	3281	0.888	0.888
1200	3937	0.868	0.868
1400	4593	0.847	0.847
1600	5249	0.827	0.827
1800	5905	0.808	0.808
2000	6562	0.789	0.789
2200	7218	0.771	0.771

$$\rho = 1.225 K_T K_A$$

$$P = P_0 e^{-1.185 \times 10^{-4} h}$$

$$\rho = \frac{P \times M.W. \times 10^{-3}}{R T}$$

$$R = 8.2056 \times 10^{-5}$$

Độ cao tính từ mực nước biển đến trực turbine

Hệ thống năng lượng xanh

67

67

Ảnh hưởng độ cao lên mật độ gió

Ví Dụ 6.3: Xác định tỉ trọng không khí ở các độ cao cao hơn

Tìm tỉ trọng không khí trong 2 trường hợp:

a) nhiệt độ chuẩn $T = 15^{\circ}\text{C}$ và ở độ cao 2000m.

b) nhiệt độ $T = 5^{\circ}\text{C}$ và ở độ cao 2000m.

$$\rho = \frac{P \times M.W. \times 10^{-3}}{RT} \quad \rho = 1.225 K_T K_A$$

Ví Dụ 6.4: Xác định tỉ trọng không khí chịu tác động của cả nhiệt độ & độ cao

Tìm mật độ công suất trong trường hợp vận tốc gió 10m/s, nhiệt độ $T = 5^{\circ}\text{C}$ và ở độ cao 2000m. $A=1\text{m}^2$, tính P_w ?

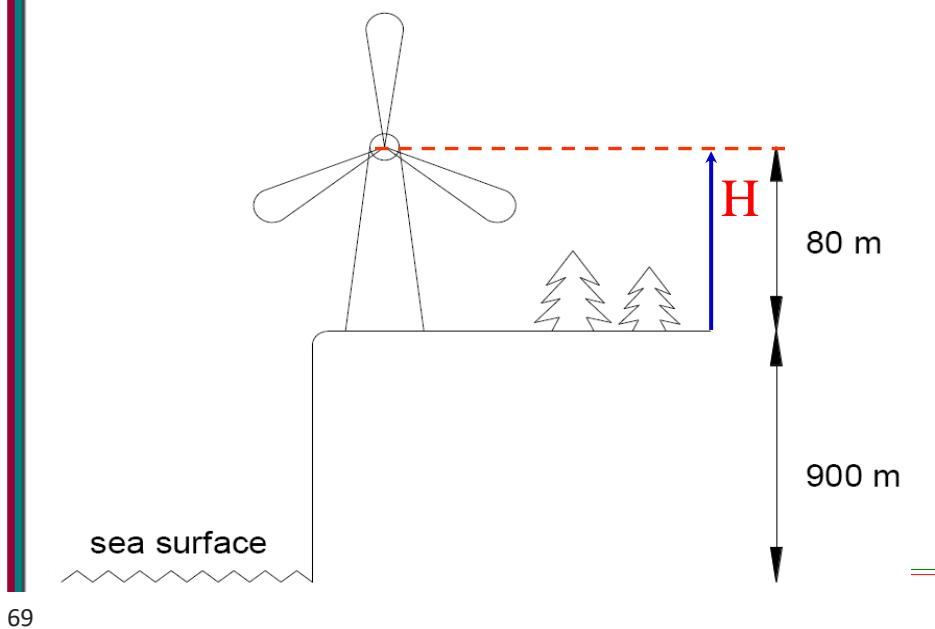
$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Hệ thống năng lượng xanh

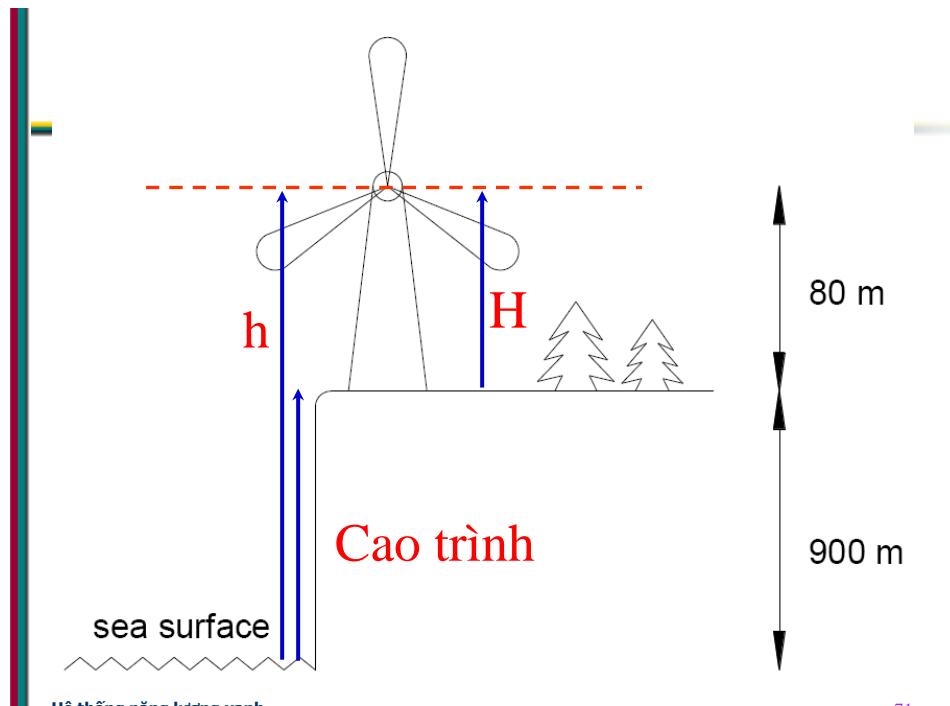
68

68

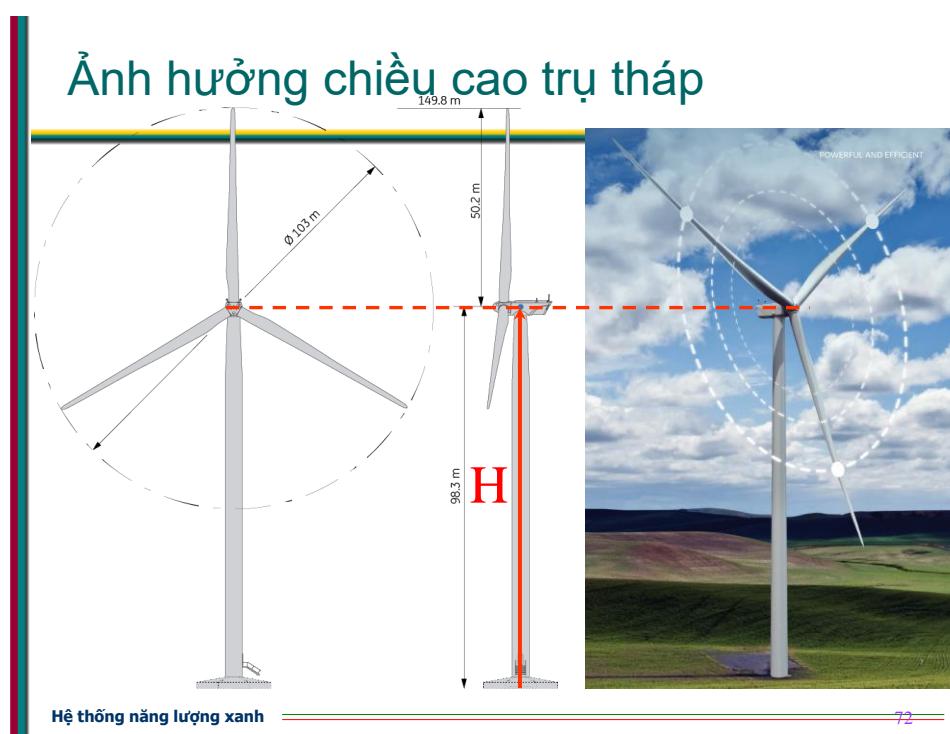
4. Ảnh hưởng chiều cao trù tháp



69



71



72

Ảnh hưởng chiều cao tru tháp

Mỹ:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad \left| \left(\frac{P}{P_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{3\alpha} \right.$$

Địa hình	Hệ số ma sát (α)
Mặt đất cứng bằng phẳng, mặt nước tĩnh lặng	0.1
Cây cỏ nhô cao trên mặt đất	0.15
Lùm cây, bụi cây thấp	0.2
Cánh đồng có nhiều cây cao	0.25
Thị trấn với cây cối và nhà cửa	0.3
Thành phố với nhiều nhà cao tầng	0.4

Hệ thống năng lượng xanh

73

73

Ảnh hưởng chiều cao tru tháp

Châu Âu:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right) = \frac{\ln(H/z)}{\ln(H_0/z)}$$

Class

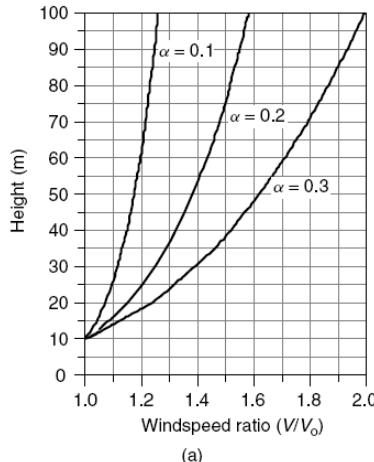
Cấp	Địa hình	Hệ số nhám (z)
0	Mặt nước tĩnh lặng, mặt đất bằng phẳng	0.0002
1	Khu vực trống có ít vật cản	0.03
2	Cánh đồng cây cản gió rộng hơn 1km	0.1
3	Thị trấn, làng mạc, nông trường nhiều cây cản gió	0.4
4	Thành phố hay rừng cây	1.6

Hệ thống năng lượng xanh

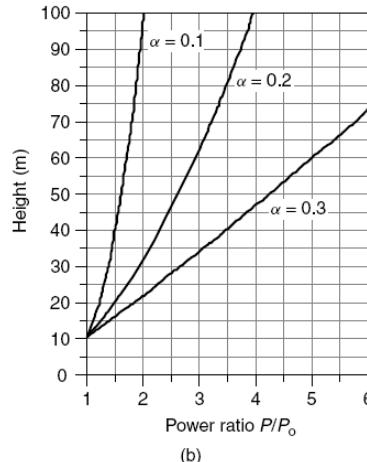
74

74

Ảnh hưởng chiều cao trụ tháp



(a)



(b)

Hình 6.8: (a) Ảnh hưởng của hệ số ma sát α đối với vận tốc gió (sử dụng chiều cao tham chiếu là 10m)

(b) Ảnh hưởng của hệ số ma sát α đối với công suất gió khai thác được

Ảnh hưởng chiều cao trụ tháp

Ví Dụ 6.5: Khảo sát Công suất gió thay đổi theo chiều cao tuốc bin cột tháp

Lưu tốc kế (*anemometer*) đo được ở độ cao 10m vận tốc gió bằng 5m/s. Bề mặt khá nhấp nhô với ruộng lúa đang thu hoạch, bờ rào,... Xác định ước lượng vận tốc gió cùng công suất gió tương ứng có được ở độ cao 50m. Giá thiết nhiệt độ là 15°C và áp suất 1 atm.

Đường kính cách quạt 10m.

Tính công suất đón gió của turbine gió?

Cao trình = $500 + (3 \text{ số cuối MSSV})$.

$\neq 500 \text{ m}$

Độ cao trụ tháp = $50 + (2 \text{ số cuối MSSV})/2$.

$\neq 50 \text{ m}$

Nhiệt độ = $(2 \text{ số cuối MSSV})/3$.

$\neq 0^{\circ}\text{C}$

Số cuối cùng MSSV:

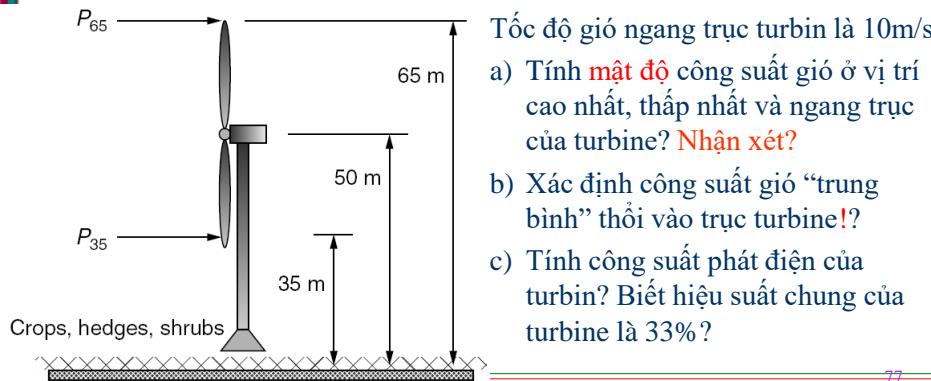
– Lẻ - kiểu Mỹ,

– Chẵn - kiểu Châu Âu.

Ảnh hưởng chiều cao trụ tháp

Ví Dụ 6.6: Ứng suất tác dụng lên rotor của tuốc bin cột tháp

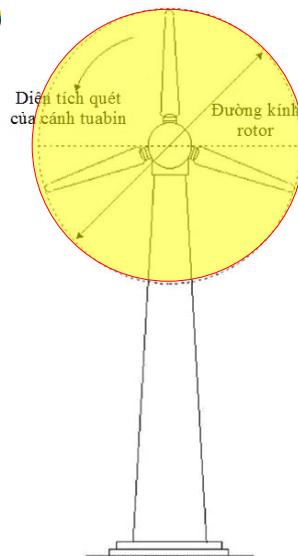
Tuốc bin gió có đường kính rotor là 30m gắn trên cột cao 50m. Bè mặt khá nhấp nhô với ruộng lúa đang thu hoạch, có bờ rào,... Xác định ước lượng công suất gió ở điểm cao nhất và thấp nhất mà cánh quạt vuông tới. Giả thiết nhiệt độ là 15°C và áp suất 1 atm.



77

77

Công suất gió



Hệ thống năng lượng xanh

78

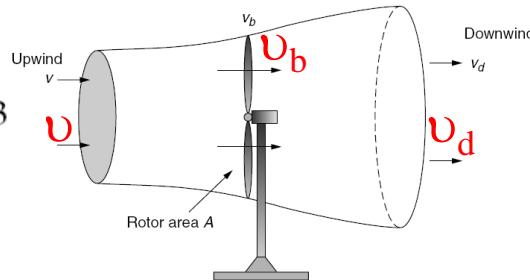
78

5. Hiệu suất cực đại của turbine gió

$$P_b = \frac{1}{2} \dot{m} (v^2 - v_d^2)$$

$$\dot{m} = \rho A v_b$$

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$



$$P_b = \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{v + v_d}{2} \right) (v^2 - v_d^2) \quad \lambda = \left(\frac{v_d}{v} \right)$$

Hệ thống năng lượng xanh

79

79

Hiệu suất cực đại của rotor

$$\lambda = \left(\frac{v_d}{v} \right)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{v + \lambda v}{2} \right) (v^2 - \lambda^2 v^2) = \underbrace{\frac{1}{2} \rho A v^3}_{\text{Power in the wind}} \cdot \underbrace{\left[\frac{1}{2} (1 + \lambda)(1 - \lambda^2) \right]}_{\text{Fraction extracted}}$$

$$\text{Rotor efficiency} = C_p = \frac{1}{2} (1 + \lambda)(1 - \lambda^2)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \rho A v^3 \cdot C_p = P_w \cdot C_p$$

$$\frac{dC_p}{d\lambda} = \frac{1}{2} [(1 + \lambda)(-2\lambda) + (1 - \lambda^2)] = 0$$

$$= \frac{1}{2} [(1 + \lambda)(-2\lambda) + (1 + \lambda)(1 - \lambda)] = \frac{1}{2} (1 + \lambda)(1 - 3\lambda) = 0$$

Hệ thống năng lượng xanh

80

80

Hiệu suất cực đại của rotor

$$C_p = \frac{1}{2}(1 + \lambda)(1 - \lambda^2)$$

$$\frac{dC_p}{d\lambda} = \frac{1}{2}[(1 + \lambda)(-2\lambda) + (1 - \lambda^2)] = 0$$

$$= \frac{1}{2}[(1 + \lambda)(-2\lambda) + (1 + \lambda)(1 - \lambda)] = \frac{1}{2}(1 + \lambda)(1 - 3\lambda) = 0$$

$$\text{Maximum rotor efficiency} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{3}\right) \left(1 - \frac{1}{3^2}\right) = \frac{16}{27} = 0.593 = 59.3\%$$

$$\lambda = \frac{v_d}{v} = \frac{1}{3} \text{ thì } C_{p\max} = 0.593$$

$$P_b = \frac{1}{2} \rho A v^3 \cdot C_p$$

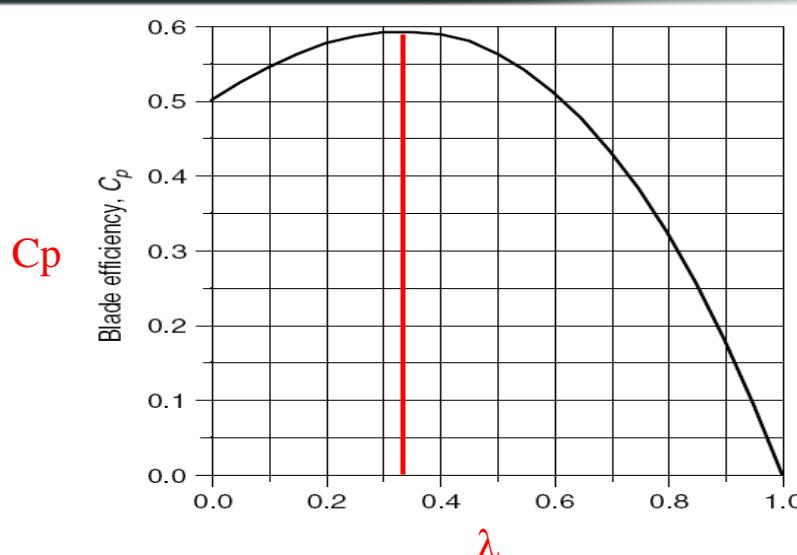
$$P_b = P_w \cdot C_p$$

Hệ thống năng lượng xanh

81

81

Hiệu suất cực đại của rotor

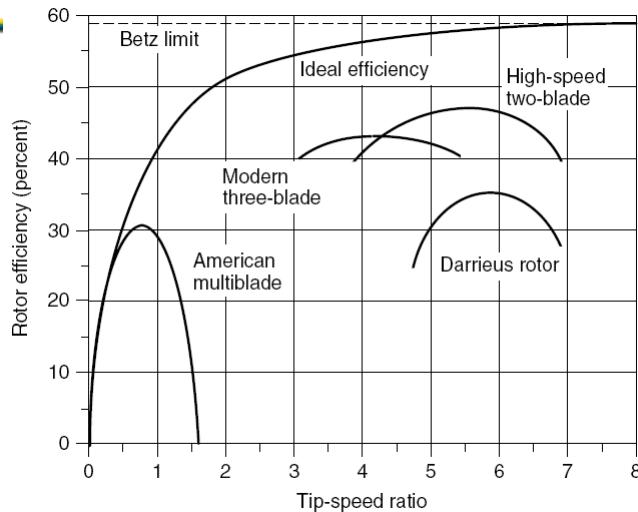


Hệ thống năng lượng xanh

82

82

Hiệu suất cực đại của rotor



$$\text{Tip-Speed-Ratio (TSR)} = \frac{\text{Rotor tip speed}}{\text{Wind speed}} = \frac{\text{rpm} \times \pi D}{60 v}$$

83

Hiệu suất cực đại của rotor



84

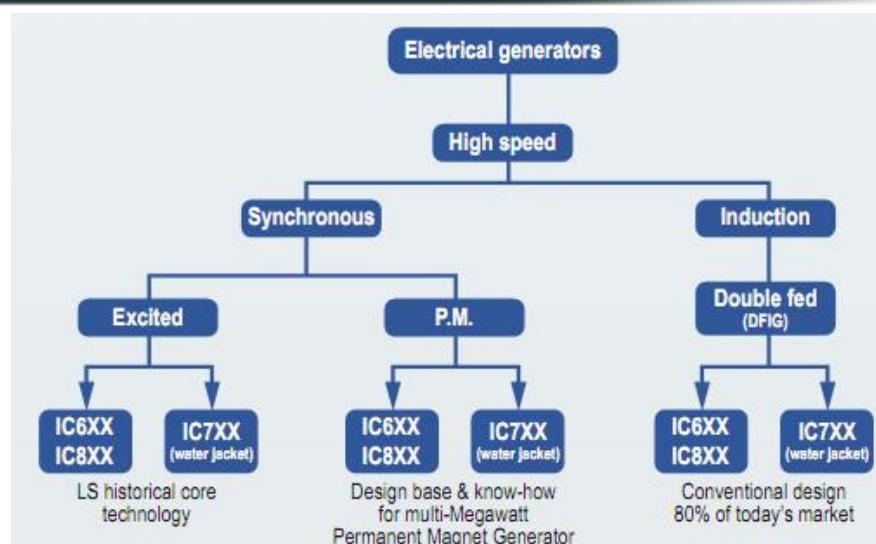
84

Hiệu suất cực đại của rotor

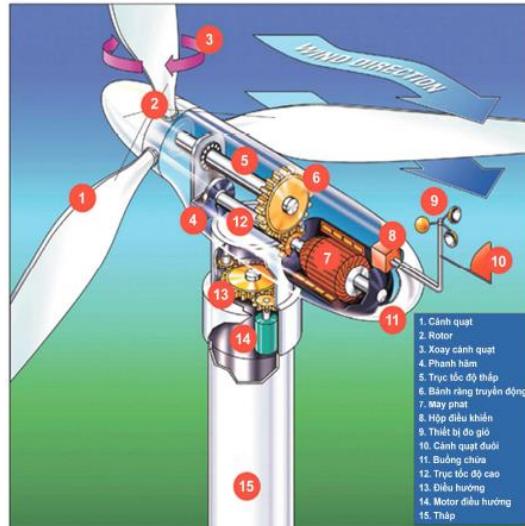
Ví dụ 6.7: Turbine gió có đường kính 40 m, gồm 3 cánh quạt, công suất 600 kW, vận tốc gió định mức là 14 m/s. Tỷ trọng không khí = 1,225 kg/m³. Ở định mức:

- a) Tính vận tốc rotor cánh quạt (vòng/phút) để **TSR = 4**?
- b) Tính vận tốc tip (ở đầu cánh quạt)?
- c) Nếu máy phát quay ở vận tốc 600 vòng/phút, tính tỷ lệ hộp số (*giữa vận tốc quay của máy phát và cánh quạt*)?
- d) Tính hiệu suất tổng hợp của Máy phát gió (gồm cả cánh quạt, hộp số và máy phát điện)?

6. Máy phát turbin gió



Công nghệ DFIG dùng máy phát điện không đồng bộ

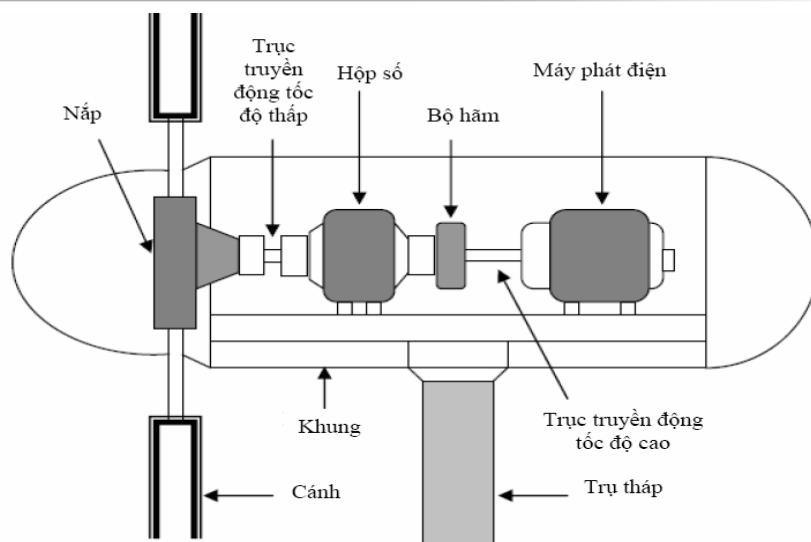


Hệ thống năng lượng xanh

87

87

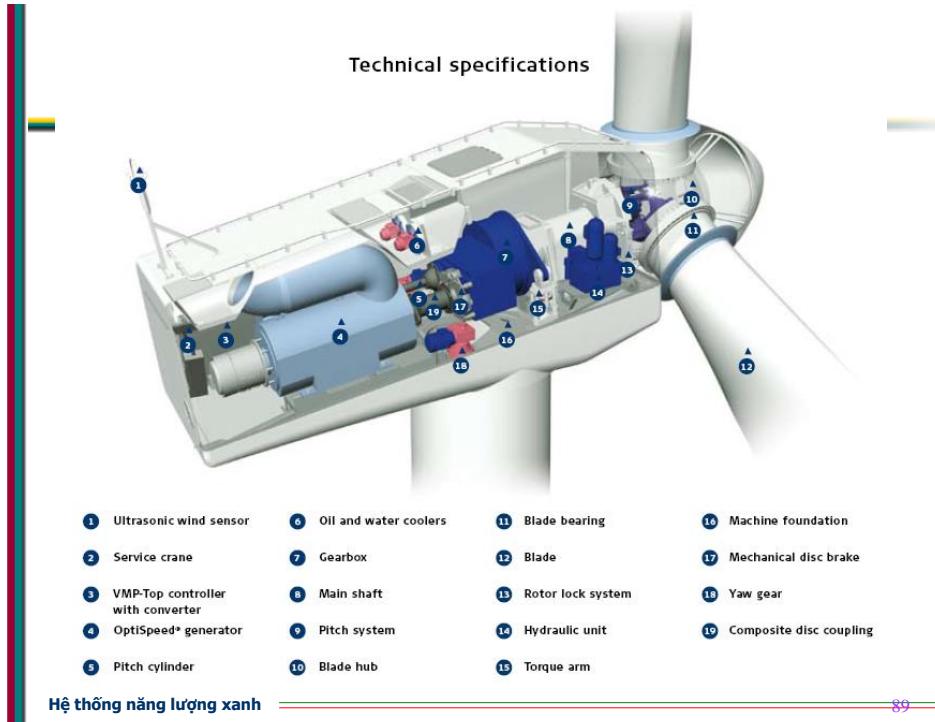
Máy phát turbin gió



Hệ thống năng lượng xanh

88

88



89



90

Hệ hòa lưới trực tiếp

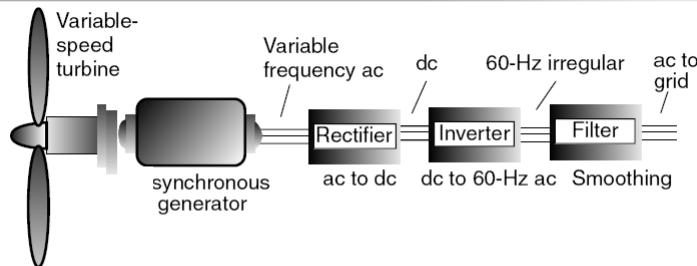
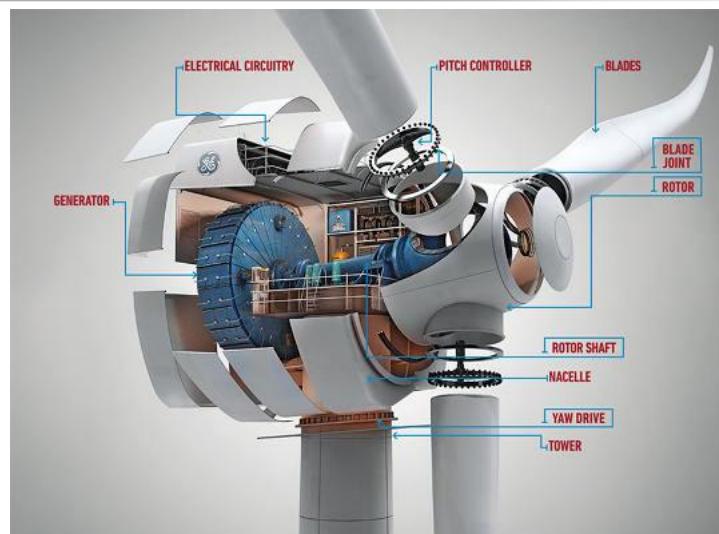


Figure 6.21 Variable-frequency output of the asynchronous generator is rectified, inverted, and filtered to produce acceptable 60-Hz power to the grid.

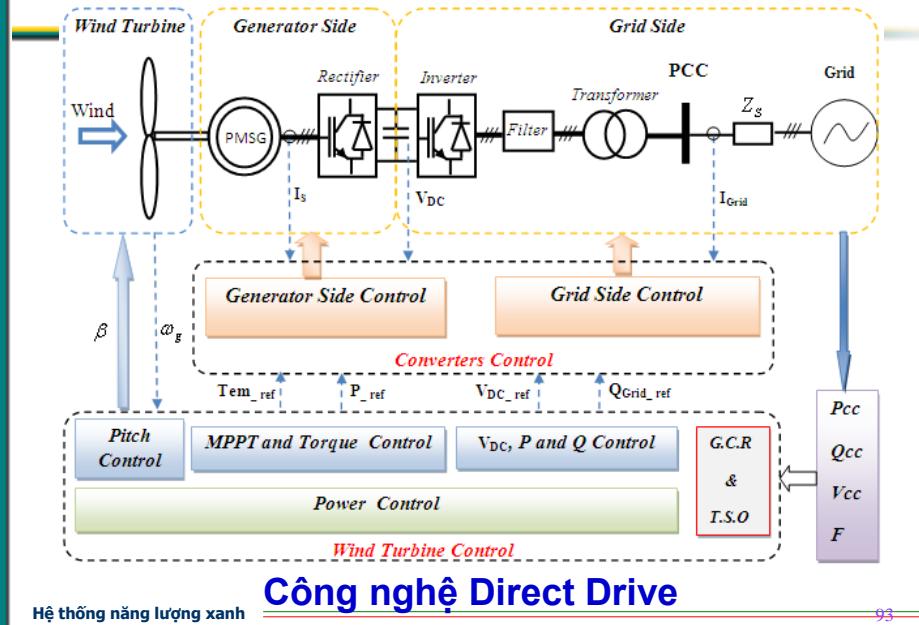
Công nghệ Direct Drive

Hình 6.21: Máy phát KDB kết hợp các bộ chỉnh lưu – nghịch lưu – bộ lọc để cấp đúng nguồn điện tần số 60Hz cho lưới

Máy phát turbin gió



Hệ hòa lưới trực tiếp



93

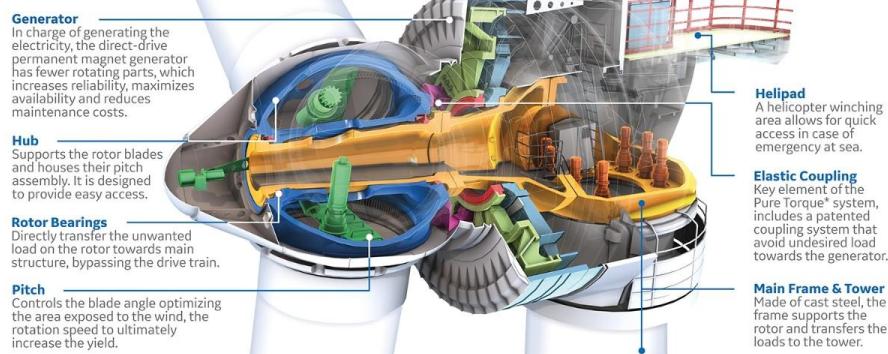
Công nghệ Direct Drive

93

Hệ hòa lưới trực tiếp

Haliade* 150-6MW Offshore Wind Turbine

GE Renewable Energy



Innovative, reliable, efficient

- The new generation 6 MW direct drive offshore wind turbine
- Suitable for all offshore conditions, delivering renewable energy at competitive cost to 5,000 households

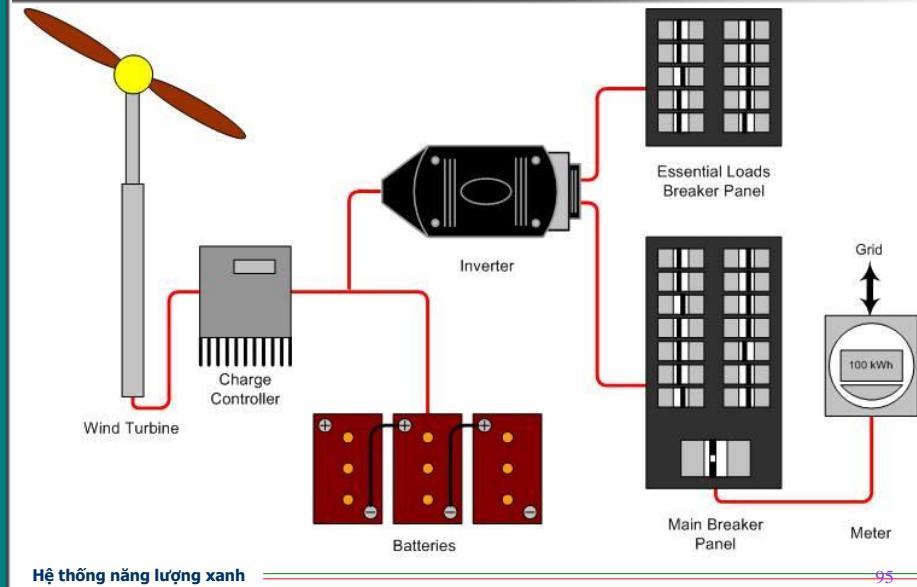
*Trademark of General Electric Company

Công nghệ Direct Drive

94

94

Máy phát turbin gió



95

95

Các nhà sản xuất máy phát turbin gió

Manufacturers

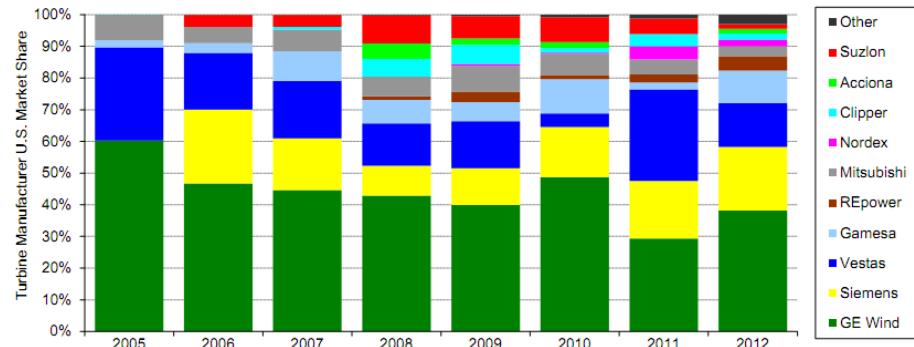
- | | |
|--------------------------------|-------------------|
| 1. Vestas (DK) | DFIG |
| 2. GE Energy (USA) | DFIG |
| 3. Gamesa (SP) | DFIG |
| 4. Enercon (D) | direct drive WRSG |
| 5. Suzlon (India) | DFIG |
| 6. Siemens (D) | DFIG |
| 7. Acciona (SP) | DFIG |
| 8. Goldwind (PRC) | DFIG |
| 9. Nordex (D) | DFIG |
| 10. Sinovel (PRC) | DFIG |
| 11. Clipper Windpower (USA) | DFIG |
| 12. Mitsubishi Heavy Ind. (JP) | DFIG |

Hệ thống năng lượng xanh

96

96

Thị phần turbine gió ở thị trường Mỹ



Source: AWEA project database

Figure 8. Annual U.S. Market Share of Wind Manufacturers by MW, 2005–2012

Hệ thống năng lượng xanh

97

97

Thị phần turbine gió ở thị trường Mỹ

Table 3. Annual U.S. Turbine Installation Capacity, by Manufacturer

Manufacturer	Turbine Installations (MW)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
GE Wind	1,431	1,146	2,342	3,585	3,995	2,543	2,006	5,014
Siemens	0	573	863	791	1,162	828	1,233	2,638
Vestas	699	439	948	1,120	1,489	221	1,969	1,818
Gamesa	50	74	494	616	600	566	154	1,341
REpower	0	0	0	94	330	68	172	595
Mitsubishi	190	128	356	516	814	350	320	420
Nordex	0	0	3	0	63	20	288	275
Clipper	3	0	48	470	605	70	258	250
Acciona	0	0	0	410	204	99	0	195
Suzlon	0	92	198	738	702	413	334	187
Other	2	2	2	23	43	41	86	398
TOTAL	2,374	2,453	5,253	8,362	10,005	5,220	6,819	13,131

Source: AWEA project database

Hệ thống năng lượng xanh

98

98

Các nhà sản xuất máy phát turbin gió

Table A-1: Wind Turbine Systems by manufacturer

Manufacturer	Model Name	Power Rating (MW)	Number of Blades	Speed Type	Generator Type	Gearbox	Converter type
1. Enercon	E31	0.33	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E34	0.3	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E33	0.6	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E34	0.6	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E30	2.3	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E32	2	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E31	1.5	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E32	1.5	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E33	1.5	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
	E31G	3	3	VS	Multi-pole permanent magnet	n/a	Full-scale power converter
2. WinWind	WW01L	1	3	VS	Permanent magnet	Planetary (1-stage planetary)	Full-scale IGBT power conversion
	WW03	3	3	VS	Synchronous permanent magnet	Planetary	Full-scale IGBT power conversion
	WW1.65MW	1.65	3	FS	Asynchronous permanent magnet	One planetary stage, two helical stages	IGBT
	WW2.1MW	2.1	3	FS	Asynchronous permanent magnet with slipping	Two stage planetary/helical gear	Partial-scale power converter
	WW2.3MW Gridstreamer	2	3	FS	Permanent magnet generator	One planetary stage and two helical stages	Full-scale power converter
3. Vestas	V100-1.8MW	1.8	3	VS	Double-fed asynchronous with slipping	Three stage planetary/helical	Partial-scale power converter
	V100-1.8MW Gridstreamer	1.8	3	FS	Permanent magnet generator	One planetary stage and two helical stages	Full-scale power converter
	V90-1.8MW	1.8	3	VS	Double-fed asynchronous	One planetary stage and one spur gear stage	Partial-scale power converter
	V90-2.0MW Offshore	3	3	VS	Double-fed asynchronous	One planetary stage and one spur gear stage	Full-scale power converter
	V112-3.0MW	3	3	VS	Permanent magnet	One stage planetary	Full-scale power converter
	V112-3.0MW Offshore	3	3	VS	Permanent magnet	Combined spur/planetary gear or differential gearbox	Full-scale power converter
	V112-3.0MW	3	3	VS	Double-fed asynchronous	One planetary stage and two helical stages	Full-scale power converter
	V100	2.5	3	VS	Double-fed asynchronous	Combined spur/planetary gear	Full-scale IGBT power converter
	V100	3.0	3	VS	Double-fed asynchronous	Combined spur/planetary gear or differential gearbox	Full-scale IGBT power converter
	V112	3.0	3	VS	Double-fed asynchronous	One planetary stage and two spur gear stages	Full-scale IGBT power converter
4. Nordex	N100	1.5	3	VS	Double-fed asynchronous	Three stage design with one planetary and two spur gear stages	Full-scale IGBT power converter
	N100	1.5	3	VS	Double-fed asynchronous	Three stage design with one planetary and two spur gear stages	Full-scale IGBT power converter
	N100	1.5	3	VS	Double-fed asynchronous	One planetary stage and two spur gear stages	Full-scale IGBT power converter
	N100	1.5	3	VS	Double-fed asynchronous	One planetary stage and two helical stages	Full-scale power converter
	N100	1.5	3	VS	Double-fed asynchronous	One planetary stage and two helical stages	Full-scale power converter
5. Siemens	SW7.2-82/85	0.2	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-82/85	0.2	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-85	0.2	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-105	0.3	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-127	0.3	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
6. GE Energy	SW7.2-130	0.3	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-130	0.3	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-130	0.3	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-130	0.3	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter
	SW7.2-130	0.3	3	VS	Asynchronous	Three-stage planetary-helical design	Full-scale power converter

Hệ thống năng lượng xanh

99

99

Các nhà sản xuất máy phát turbin gió

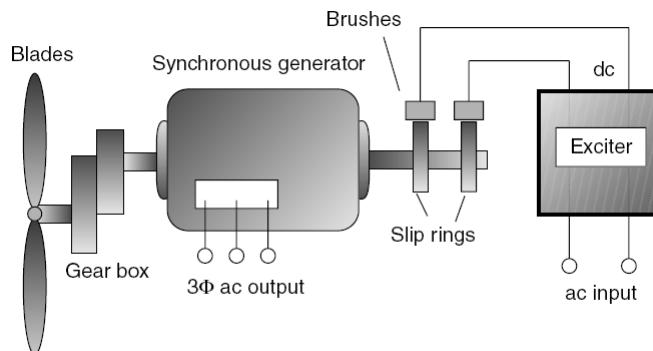
Manufacturer	Model Name	Power Rating (MW)	Number of Blades	Speed Type	Generator Type	Gearbox	Converter type
19. E.O.N. Energy	ED-1.2	1.2	3	VS	Permanent magnet	One stage spur/gearbox IGBT	Partial-scale power converter
	ED-1.2	1.2	3	VS	Double-fed asynchronous	Combined spur/planetary gear	Partial-scale IGBT power converter
	ED-1.2	1.2	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
	ED-1.5	1.5	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
	ED-1.8	1.8	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
	ED-2.0	2.0	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
	ED-2.0	2.0	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
	ED-2.0	2.0	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
	ED-2.0	2.0	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
	ED-2.0	2.0	3	VS	Double-fed asynchronous	3 Stages: planetary / spur gear	Partial-scale PWM IGBT power converter
20. Envision	ET100	1.5	3	VS	Asynchronous	Two stage planetary/helical gear	Full-scale power converter
	ET100	1.5	3	VS	Asynchronous	Two stage planetary/helical gear	Full-scale power converter
	ET100	1.5	3	VS	Asynchronous	Two stage planetary/helical gear	Full-scale power converter
	ET100	1.5	3	VS	Asynchronous	Two stage planetary/helical gear	Full-scale power converter
	ET100	1.5	3	VS	Asynchronous	Two stage planetary/helical gear	Full-scale power converter
21. Evag	EV100	1.5	3	VS	Asynchronous	One stage planetary, one spur gear stage	Partial-scale power converter
	EV100	1.5	3	VS	Asynchronous	One stage planetary, one spur gear stage	Partial-scale power converter
	EV100	1.5	3	VS	Asynchronous	One stage planetary, one spur gear stage	Partial-scale power converter
	EV100	1.5	3	VS	Asynchronous	One stage planetary, one spur gear stage	Partial-scale power converter
	EV100	1.5	3	VS	Asynchronous	One stage planetary, one spur gear stage	Partial-scale power converter

Hệ thống năng lượng xanh

100

100

Máy phát đồng bộ



Hình 6.12: Sơ đồ nguyên lý vận hành của tuốc bin gió kéo máy phát đồng bộ xoay chiều ba pha

Hệ thống năng lượng xanh

101

101

Máy phát không đồng bộ

Rotating Magnetic Field

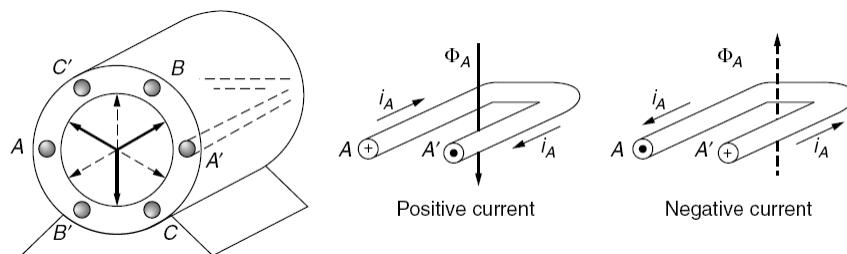


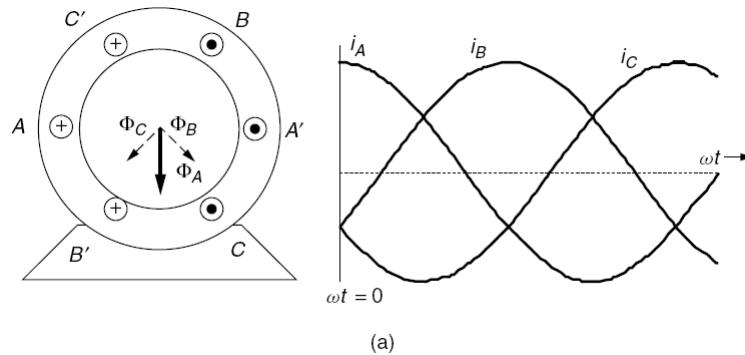
Figure 6.13 Nomenclature for the stator of an induction generator. Positive current flow from A to A' results in magnetic flux Φ_A represented by a bold arrow pointing downward. Negative current (from A' to A) results in magnetic flux represented by a dotted arrow pointing up.

Hệ thống năng lượng xanh

102

102

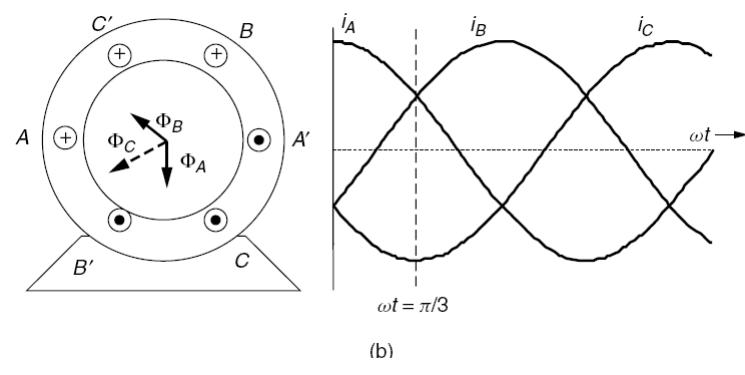
Máy phát không đồng bộ



(a)

Figure 6.14 (a) At $\omega t = 0$, i_A is a positive maximum while i_B and i_C are both negative and equal to each other. The resulting sum of the magnetic fluxes points straight down; (b) at $\omega t = \pi/3$, the magnetic flux vectors appear to have rotated clockwise by 60° .

Máy phát không đồng bộ



(b)

Máy phát không đồng bộ

The Squirrel Cage Rotor.

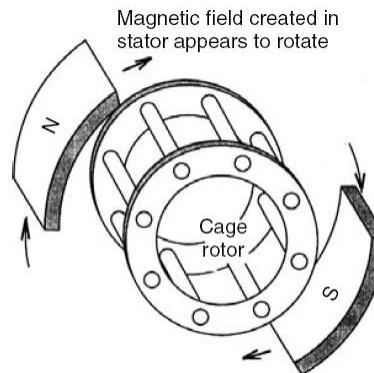


Figure 6.15 A cage rotor consisting of thick, conducting bars shorted at their ends, around which circulates a rotating magnetic field.

Hệ thống năng lượng xanh

105

105

Máy phát không đồng bộ

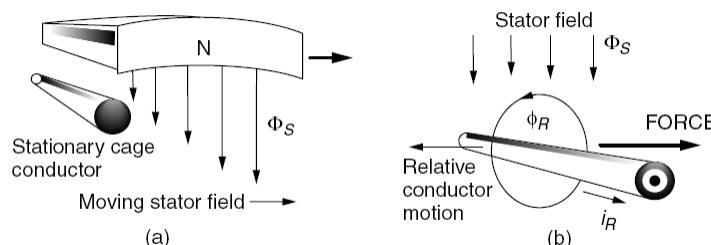


Figure 6.16 In (a) the stator field moves toward the right while the cage rotor conductor is stationary. As shown in (b), this is equivalent to the stator field being stationary while the conductor moves to the left, cutting lines of flux. The conductor then experiences a force that tries to make the rotor want to catch up to the stator's rotating magnetic field.

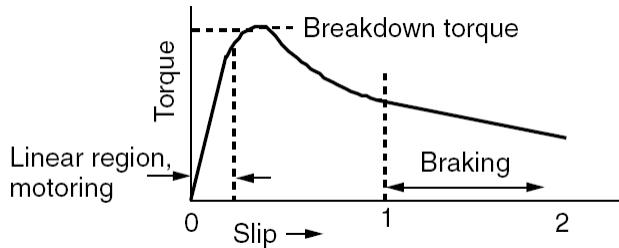
Hệ thống năng lượng xanh

106

106

Máy phát không đồng bộ

The Inductance Machine as a Motor



$$s = \frac{N_S - N_R}{N_S} = 1 - \frac{N_R}{N_S}$$

Example 6.8 Slip for an induction motor A 60-Hz, four-pole induction motor reaches its rated power when the slip is 4%. What is the rotor speed at rated power?

Hệ thống năng lượng xanh

107

107

Máy phát không đồng bộ

The Inductance Machine as a Generator

$$N_R = (1 - s)N_S = [1 - (-0.01)] \cdot 3600 = 3636 \text{ rpm}$$

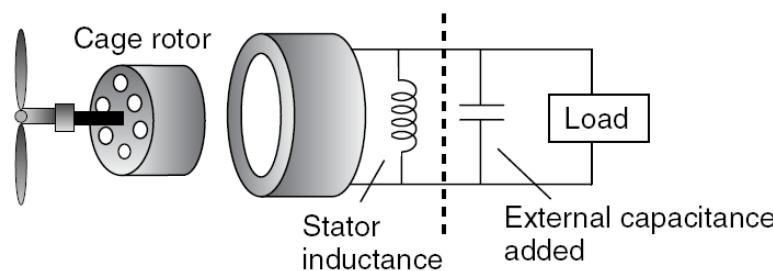


Figure 6.18 A self-excited inductance generator. External capacitors resonate with the stator inductance causing oscillation at a particular frequency. Only a single phase is shown.

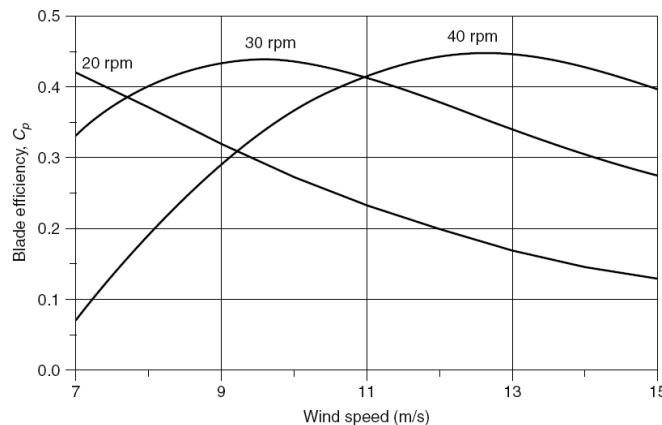
Hệ thống năng lượng xanh

108

108

7. Điều chỉnh tốc độ để đạt công suất cực đại

Tầm quan trọng của việc điều khiển tốc độ rotor



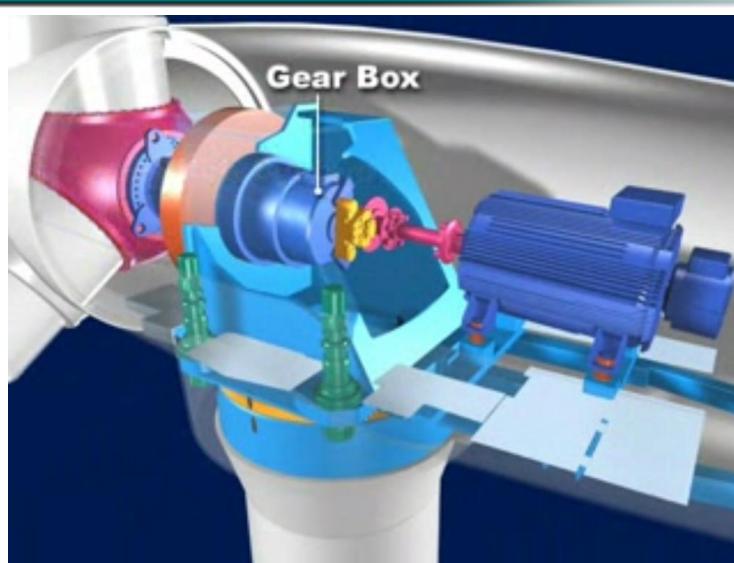
Hình 6.19: Hiệu suất rotor được cải thiện nếu vận tốc quay rotor được điều chỉnh phù hợp theo vận tốc gió

Hệ thống năng lượng xanh

109

109

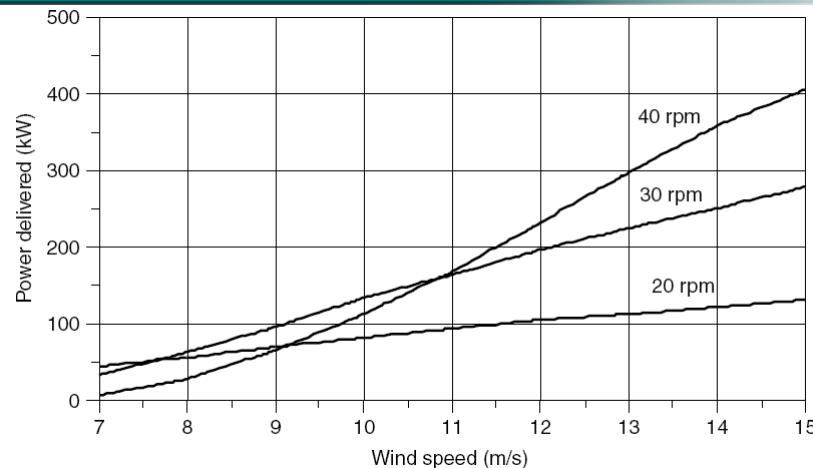
7. Điều chỉnh tốc độ để đạt công suất cực đại



110

110

Tầm quan trọng của việc điều khiển tốc độ rotor



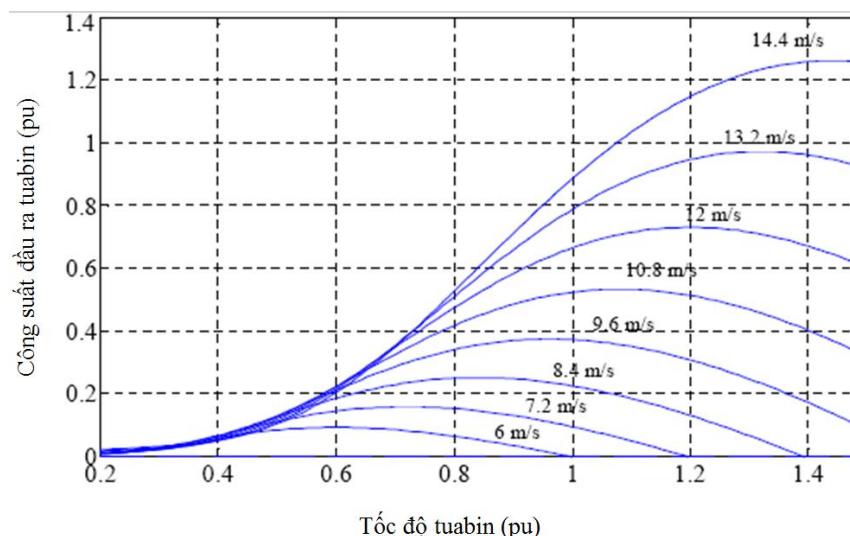
Hình 6.20: Công suất điện hấp thu sẽ được cải thiện nếu vận tốc quay rotor được điều chỉnh phù hợp theo vận tốc gió

Hệ thống năng lượng xanh

111

111

Tầm quan trọng của việc điều khiển tốc độ rotor

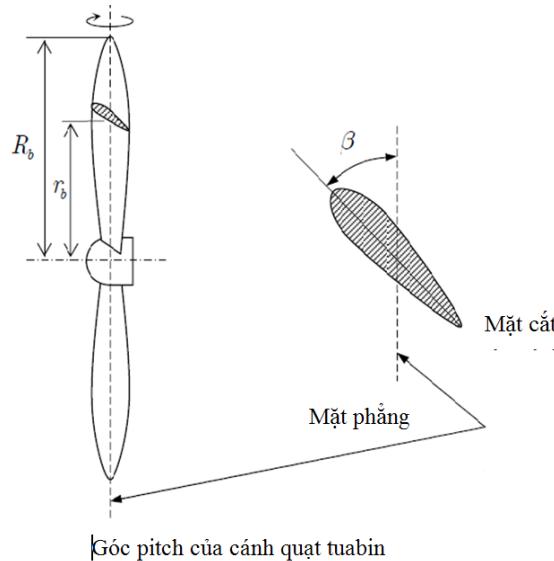


Hệ thống năng lượng xanh

112

112

Tầm quan trọng của việc điều khiển tốc độ rotor

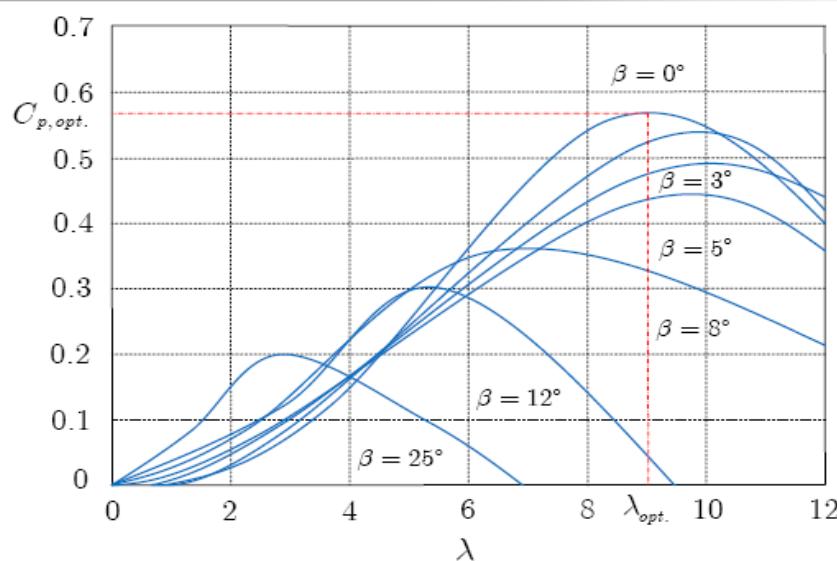


Hệ thống năng lượng xanh

113

113

Tầm quan trọng của việc điều khiển tốc độ rotor

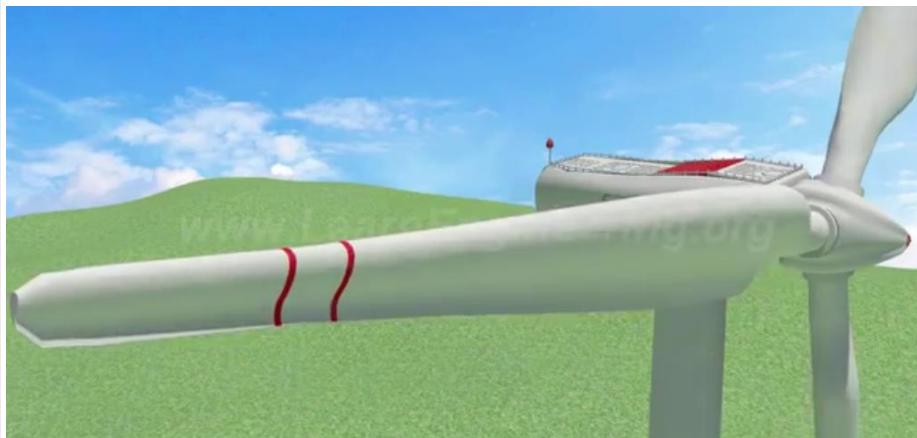


Hệ thống năng lượng xanh

114

114

Điều khiển góc pitch của cánh quạt



Hệ thống năng lượng xanh

115

115

Thay đổi số cực của máy phát không đồng bộ

6.7.2 Máy Phát Cảm Ứng Có Thể Hiệu Chỉnh Số Cực:

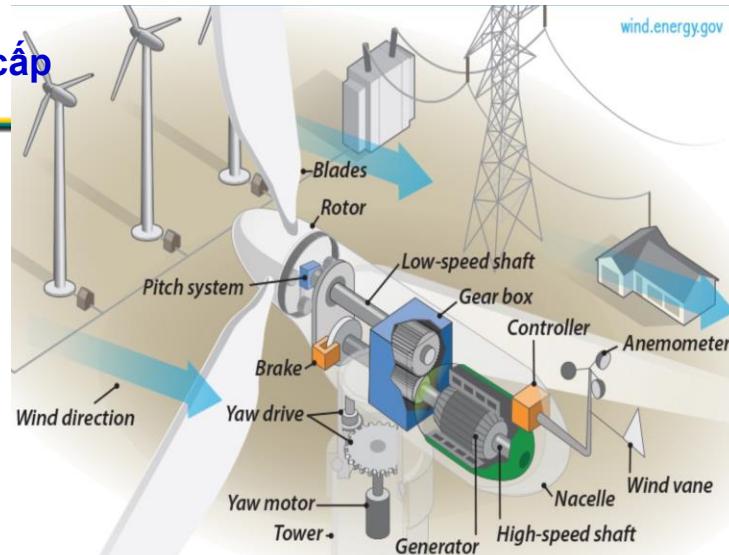
Máy Phát Cảm Ứng có thể điều chỉnh số cặp cực để hiệu chỉnh vận tốc quay trong phạm vi rất rộng. Với loại một cặp cực, máy phát 60Hz sẽ quay với vận tốc gần với 3600 rpm. Với loại hai cặp cực, máy phát 60Hz sẽ quay với vận tốc gần với 1800 rpm...

Hệ thống năng lượng xanh

117

117

Hộp số đa cấp



wind.energy.gov

6.7.3 Thiết Kế Hộp Số Nhiều Cấp Chuyển Đổi:

Một số tuốc bin gió có hai hộp số đi kèm với 2 máy phát khác nhau, được dùng cho 2 trường hợp: vận tốc gió thấp và vận tốc gió cao.

Hệ thống năng lượng xanh

118

118

Điều chỉnh độ trượt máy phát không đồng bộ

6.7.4 Máy Phát Cảm Ứng Có Thể Hiệu Chính Hệ Số Trượt:

Máy Phát Cảm Ứng thông thường duy trì tốc độ cao hơn 1% so với vận tốc đồng bộ. Ta đã biết khi vận hành, hệ số trượt máy phát là hòn của điện trở DC của dây dẫn rotor. Khi ta chủ động điều chỉnh điện trở dây dẫn rotor, tầm chỉnh vận tốc nâng lên 10% so với tốc độ đồng bộ. Ví dụ, máy phát 4 cực có tốc độ đồng bộ 1800 rpm, khi điều chỉnh điện trở dây dẫn rotor, tầm chỉnh vận tốc nâng lên tối đa 200 rpm. Trên thực tế, ta thường thêm điện trở phụ gắn ngoài. Do đó, cấu trúc rotor lồng sóc lúc này sẽ không còn phù hợp mà ta phải dùng cấu trúc rotor dây cuốn đi kèm vành trượt chồi than. Hậu quả là việc bảo trì sẽ khó khăn hơn.

Một cách khác để điều chỉnh điện trở dây dẫn rotor là khai thác board mạch điện tử để điều khiển. Các ứng dụng nhúng, DSP, vi điều khiển, điều khiển từ xa tỏ ra hữu hiệu cho hướng điều khiển này.

Hệ thống năng lượng xanh

119

119

8. Công suất gió trung bình

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{=< Công suất gió TỨC THỜI}$$

$$P_{\text{avg}} = (\frac{1}{2} \rho A v^3)_{\text{avg}} = \frac{1}{2} \rho A (v^3)_{\text{avg}}$$

P_{avg} <= Công suất gió TRUNG BÌNH

Ví Dụ 6.1: Xác định Năng Lượng Gió dựa vào vận tốc gió trung bình

Hãy so sánh năng lượng gió thu được trong cùng điều kiện 15°C, áp suất 1atm, tiết diện 1m², ứng với các chế độ gió như sau:

- a) Gió thổi liên tục 100 giờ với vận tốc 6 m/s.
- b) Gió thổi liên tục 50 giờ với vận tốc 3 m/s sau đó thổi liên tục 50 giờ với vận tốc 9 m/s.

Hệ thống năng lượng xanh

120

120

Wind Resource Atlas of SouthEast Asia



Vận tốc gió TRUNG BÌNH

Wind Resource at 65 m		
Speed (m/s)	Power (W/m ²)	Quality*
< 5.5	< 200	Poor
5.5 - 6.0	200 - 250	Poor
6.0 - 6.5	250 - 320	Fair
6.5 - 7.0	320 - 400	Fair
7.0 - 7.5	400 - 500	Good
7.5 - 8.0	500 - 600	Good
8.0 - 8.5	600 - 720	Very Good
8.5 - 9.0	720 - 850	Very Good
9.0 - 9.5	850 - 1000	Excellent
> 9.5	> 1000	Excellent

*For utility-scale wind turbines. Small wind turbines are sensitive to lower wind speeds.

121

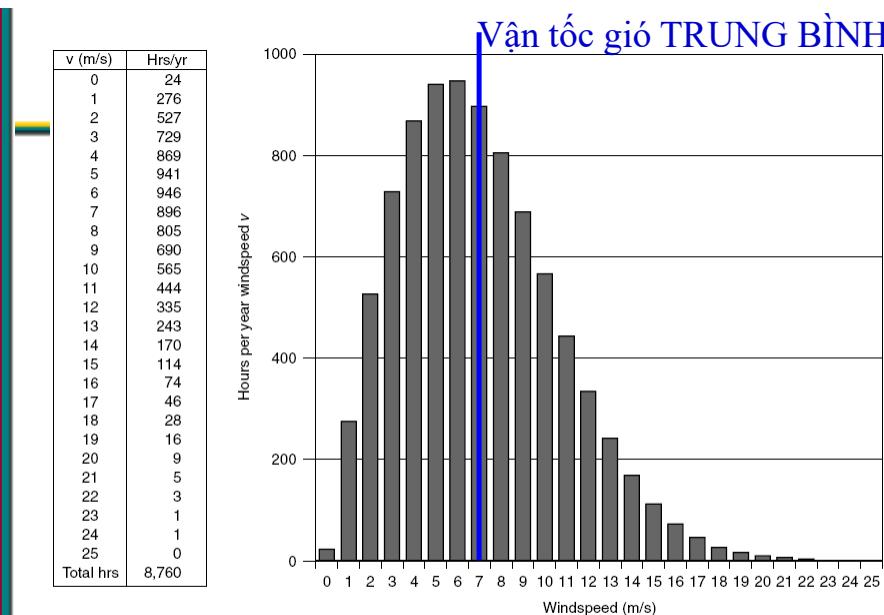


Figure 6.22 An example of site data and the resulting wind histogram showing hours that the wind blows at each windspeed.

Hệ thống năng lượng xanh

122

122

Biểu đồ gió rời rạc

$$v_{\text{avg}} = \frac{\text{Miles of wind}}{\text{Total hours}} = \frac{3 \text{ h} \cdot 0 \text{ mile/hr} + 3 \text{ h} \cdot 5 \text{ mile/h} + 4 \text{ h} \cdot 10 \text{ mile/h}}{3 + 3 + 4 \text{ h}}$$

$$= \frac{55 \text{ mile}}{10 \text{ h}} = 5.5 \text{ mph}$$

$$v_{\text{avg}} = \left(\frac{3 \text{ h}}{10 \text{ h}} \right) \times 0 \text{ mph} + \left(\frac{3 \text{ h}}{10 \text{ h}} \right) \times 5 \text{ mph} + \left(\frac{4 \text{ h}}{10 \text{ h}} \right) \times 10 \text{ mph} = 5.5 \text{ mph}$$

$$v_{\text{avg}} = \frac{\sum_i [v_i \cdot (\text{hours } @ \text{ } v_i)]}{\sum \text{hours}} = \sum_i [v_i \cdot (\text{fraction of hours } @ \text{ } v_i)]$$

$$v_{\text{avg}} = \sum_i [v_i \cdot \text{probability}(v = v_i)]$$

Hệ thống năng lượng xanh

123

123

Biểu đồ gió rời rạc

$$(v^3)_{\text{avg}} = \frac{\sum_i [v_i^3 \cdot (\text{hours} @ v_i)]}{\sum \text{hours}} = \sum_i [v_i^3 \cdot (\text{fraction of hours} @ v_i)]$$

$$(v^3)_{\text{avg}} = \sum_i [v_i^3 \cdot \text{probability}(v = v_i)]$$

Hệ thống năng lượng xanh

124

124

Biểu đồ gió rời rạc

Ví Dụ 6.9: Xác định công suất gió trung bình

Dùng bảng dữ liệu cho ở Hình 6.22, hãy xác định vận tốc gió trung bình và công suất gió trung bình (W/m^2). Cho biết mật độ không khí tiêu chuẩn ($=1.225 \text{ kg/m}^3$). So sánh kết quả có được với kết quả tính nhầm do chỉ dựa vào vận tốc trung bình.

$$v_{\text{avg}} = \sum_i [v_i \cdot (\text{Fraction of hours} @ v_i)] = 7.0 \text{ m/s}$$

$$(v^3)_{\text{avg}} = \sum_i [v_i^3 \cdot (\text{Fraction of hours} @ v_i)] = 653.24$$

Hệ thống năng lượng xanh

125

125

Biểu đồ gió rời rạc

Wind Speed v_i (m/s)	Hours @ v_i per year	Fraction of Hours @ v_i	$v_i \times$ Fraction Hours @ v_i	$(v_i)^3$	$(v_i)^3 \times$ fraction Hours @ v_i
0	24	0.0027	0.000	0	0.00
1	276	0.0315	0.032	1	0.03
2	527	0.0602	0.120	8	0.48
3	729	0.0832	0.250	27	2.25
4	869	0.0992	0.397	64	6.35
5	941	0.1074	0.537	125	13.43
6	946	0.1080	0.648	216	23.33
7	896	0.1023	0.716	343	35.08
8	805	0.0919	0.735	512	47.05
9	690	0.0788	0.709	729	57.42
10	565	0.0645	0.645	1,000	64.50
11	444	0.0507	0.558	1,331	67.46
12	335	0.0382	0.459	1,728	66.08

Hệ thống năng lượng xanh

126

126

Biểu đồ gió rời rạc

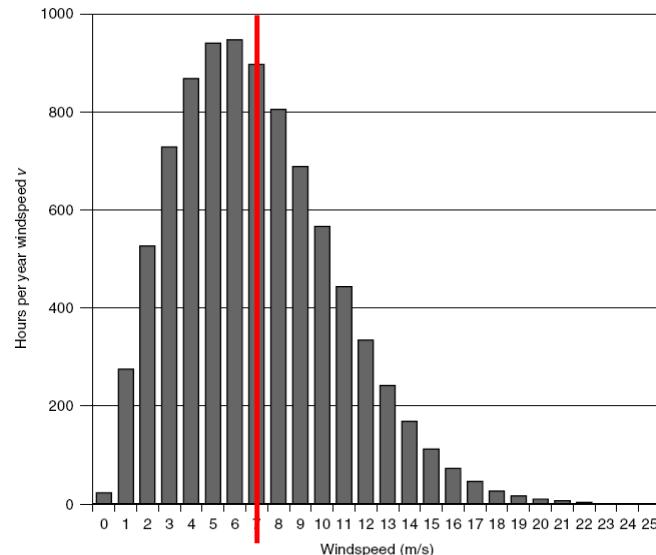
13	243	0.0277	0.361	2,197	60.94
14	170	0.0194	0.272	2,744	53.25
15	114	0.0130	0.195	3,375	43.92
16	74	0.0084	0.135	4,096	34.60
17	46	0.0053	0.089	4,913	25.80
18	28	0.0032	0.058	5,832	18.64
19	16	0.0018	0.035	6,859	12.53
20	9	0.0010	0.021	8,000	8.22
21	5	0.0006	0.012	9,261	5.29
22	3	0.0003	0.008	10,648	3.65
23	1	0.0001	0.003	12,167	1.39
24	1	0.0001	0.003	13,824	1.58
25	0	0.0000	0.000	15,625	0.00
Totals:	8760	1.000	7.0	653.24	

Hệ thống năng lượng xanh

127

127

Biểu đồ gió rời rạc



Hệ thống năng lượng xanh

128

128

Các hàm mật độ xác suất năng lượng gió

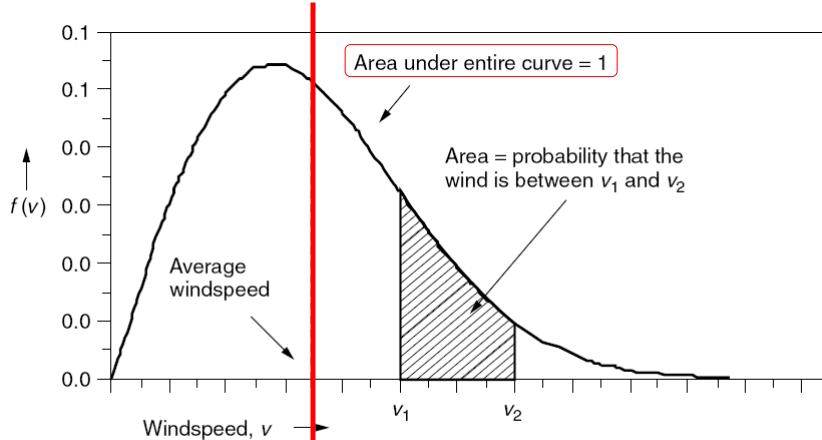


Figure 6.23 A windspeed probability density function (p.d.f.).

Hệ thống năng lượng xanh

129

129

Các hàm xác suất năng lượng gió

$f(v)$ = windspeed probability density function

$$\text{probability } (v_1 \leq v \leq v_2) = \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$$

$$\text{probability } (0 \leq v \leq \infty) = \int_0^{\infty} f(v) dv = 1$$

$$\text{hours/yr } (v_1 \leq v \leq v_2) = 8760 \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$$

$$v_{\text{avg}} = \int_0^{\infty} v \cdot f(v) dv$$

$$(v^3)_{\text{avg}} = \int_0^{\infty} v^3 \cdot f(v) dv$$

Hệ thống năng lượng xanh

130

130

Thống kê Weibull và Rayleigh

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad \text{Weibull p.d.f.}$$

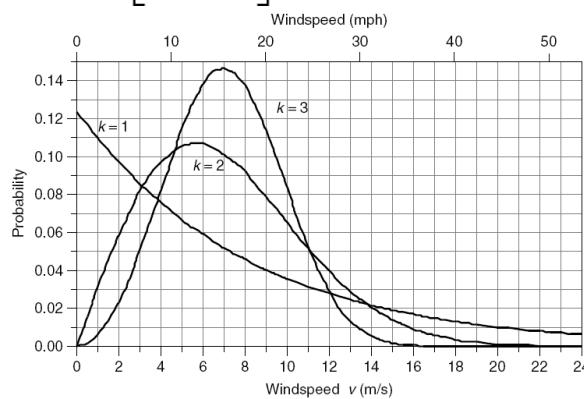


Figure 6.24 Weibull probability density function with shape parameter $k = 1, 2$, and 3 (with scale parameter $c = 8$).

Trong đó k gọi là **thông số dạng** còn c gọi là **thông số tỉ lệ**.

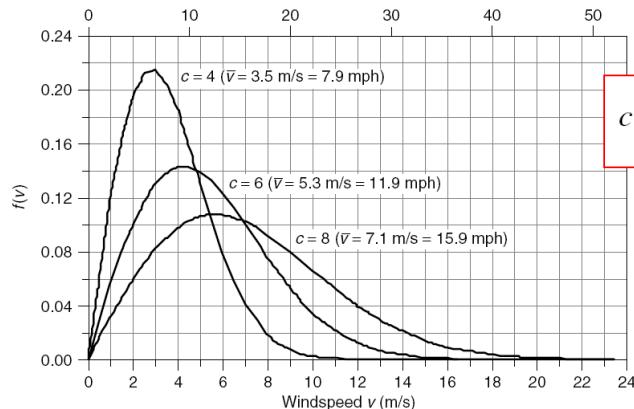
Hệ thống năng lượng xanh

131

131

Thống kê Weibull và Rayleigh

$$f(v) = \frac{2v}{c^2} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] \quad \text{Rayleigh p.d.f.}$$



Rayleigh

$$c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{v} \cong 1.128 \bar{v}$$

Weibull

với $k = 1.5$ đến 4

Figure 6.25 The Rayleigh probability density function with varying scale parameter c . Higher scaling parameters correspond to higher average windspeeds.

Hệ thống năng lượng xanh

132

132

Thống kê Weibull và Rayleigh

$$f(v) = \frac{2v}{c^2} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] \quad \text{Rayleigh p.d.f.}$$

$$c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{v} \cong 1.128 \bar{v}$$

$$f(v) = \frac{\pi}{2\bar{v}^2} v \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2\right] \quad \text{Rayleigh}$$

$$(v^3)_{\text{avg}} = \int_0^\infty v^3 \cdot f(v) dv = \int_0^\infty v^3 \cdot \frac{2v}{c^2} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] dv = \frac{3}{4} c^3 \sqrt{\pi}$$

Hệ thống năng lượng xanh

133

133

Công suất gió trung bình tính theo hàm thống kê Rayleigh

$$(v^3)_{\text{avg}} = \frac{3}{4} \sqrt{\pi} \left(\frac{2\bar{v}}{\sqrt{\pi}} \right)^3 = \frac{6}{\pi} \bar{v}^3 = 1.91 \bar{v}^3$$

$$\boxed{\bar{P} = \frac{6}{\pi} \cdot \frac{1}{2} \rho A \bar{v}^3} \quad (\text{Rayleigh assumptions})$$

Công suất gió
trung bình

$$\text{Công suất gió tức thời} P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Ví Dụ 6.10: Xác định công suất gió trung bình

Hãy tìm công suất gió trung bình nhận được ở độ cao 50m, biết vận tốc gió trung bình ở độ cao 10m là 6m/s. Giả thiết vận tốc gió tuân theo phân bố của **Hàm mật độ xác suất Rayleigh**, biết hệ số ma sát chuẩn $\alpha = 1/7$ và mật độ không khí $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$.

Hệ thống năng lượng xanh

134

134

Wind Resource Atlas of SouthEast Asia



Vận tốc gió TRUNG BÌNH

Wind Resource at 65 m		
Speed (m/s)	Power (W/m ²)	Quality*
< 5.5	< 200	Poor
5.5 - 6.0	200 - 250	Poor
6.0 - 6.5	250 - 320	Fair
6.5 - 7.0	320 - 400	Fair
7.0 - 7.5	400 - 500	Good
7.5 - 8.0	500 - 600	Good
8.0 - 8.5	600 - 720	Very Good
8.5 - 9.0	720 - 850	Very Good
9.0 - 9.5	850 - 1000	Excellent
> 9.5	> 1000	Excellent

*For utility-scale wind turbines. Small wind turbines are sensitive to lower wind speeds.

135

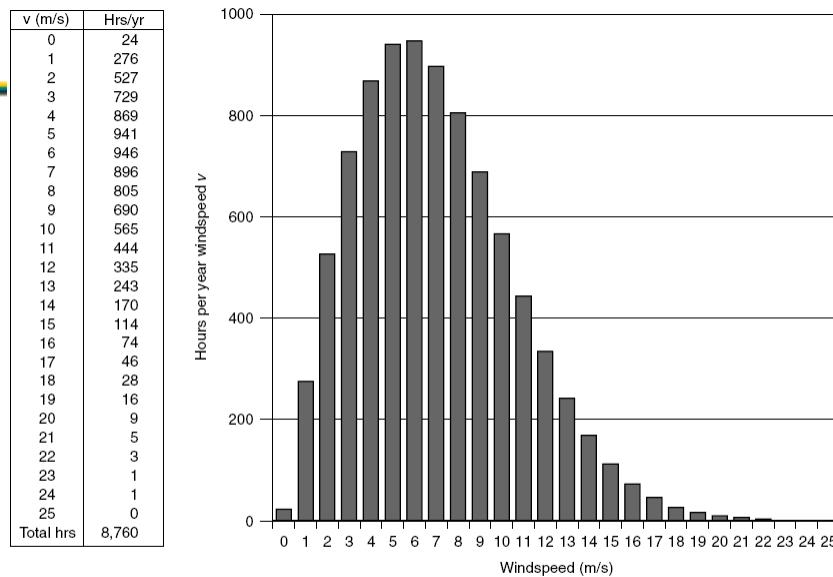


Figure 6.22 An example of site data and the resulting wind histogram showing hours that the wind blows at each windspeed.

Hệ thống năng lượng xanh

136

136

Công suất gió trung bình tính theo hàm thống kê Rayleigh

Ví dụ 6.5.2:

Ở độ cao 10m, vận tốc gió **trung bình** là 6m/s, phân bố dạng Rayleigh.

Bề mặt ruộng lúa.

Đường kính 40m.

Cao trình = $500 + (3 \text{ số cuối MSSV})$.

Độ cao trụ tháp = $50 + (2 \text{ số cuối MSSV})/2$.

Nhiệt độ = $15^\circ\text{C} + (2 \text{ số cuối MSSV})/6$.

Số cuối cùng MSSV:

- Chẵn - kiểu Mỹ,
- Lẻ - kiểu Châu Âu.

a) Tính vận tốc gió **trung bình** ở độ cao lắp đặt turbine?

b) Tính công suất đón gió **trung bình** của turbine gió?

c) Tính tổng năng lượng gió trong 1 năm?

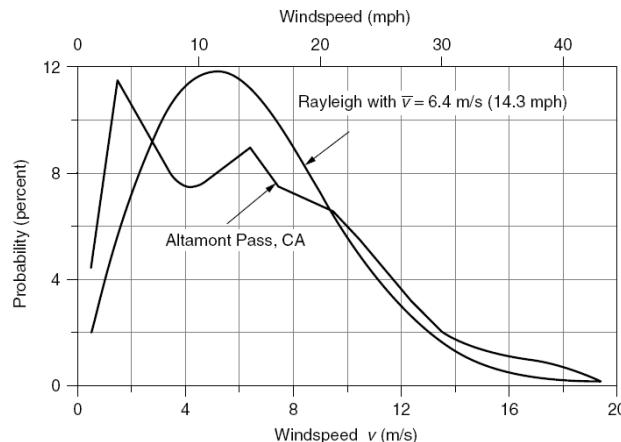
d) Tính sản lượng điện năng nhận trong 1 năm? Biết hiệu suất biến đổi gió – điện là 30%.

Hệ thống năng lượng xanh

137

137

Công suất gió trung bình tính theo hàm thống kê Rayleigh



$$\overline{P} = \frac{6}{\pi} \cdot \frac{1}{2} \rho A \bar{v}^3 \quad (\text{Rayleigh assumptions})$$

Hệ thống năng lượng xanh

139

139

Các tiêu chuẩn năng lượng gió

TABLE 6.5 Standard Wind Power Classifications^a

Wind Power Class	Avg Windspeed at 10 m (m/s)	Avg Windspeed at 10 m (mph)	Wind Power Density at 10 m (W/m ²)	Wind Power Density at 50 m (W/m ²)
1	0–4.4	0–9.8	0–100	0–200
2	4.4–5.1	9.8–11.4	100–150	200–300
3	5.1–5.6	11.4–12.5	150–200	300–400
4	5.6–6.0	12.5–13.4	200–250	400–500
5	6.0–6.4	13.4–14.3	250–300	500–600
6	6.4–7.0	14.3–15.7	300–400	600–800
7	7.0–9.5	15.7–21.5	400–1000	800–2000

^a Assumptions include Rayleigh statistics, ground friction coefficient $\alpha = 1/7$, sea-level 0°C air density 1.225 kg/m³, 10-m anemometer height, 50-m hub height.

Hệ thống năng lượng xanh

140

140

Các tiêu chuẩn năng lượng gió

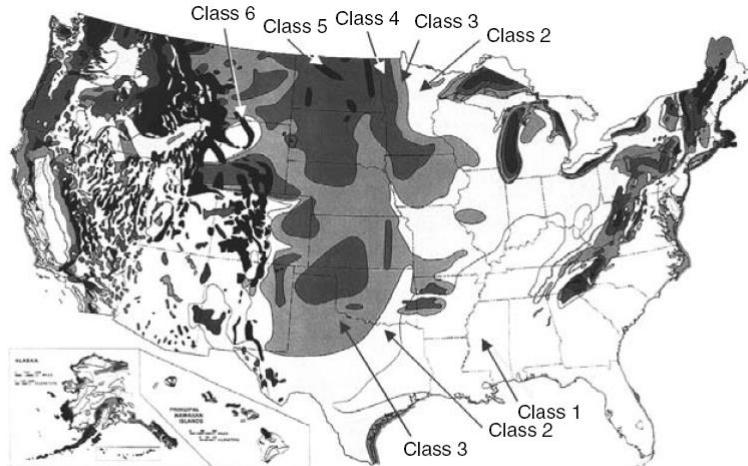


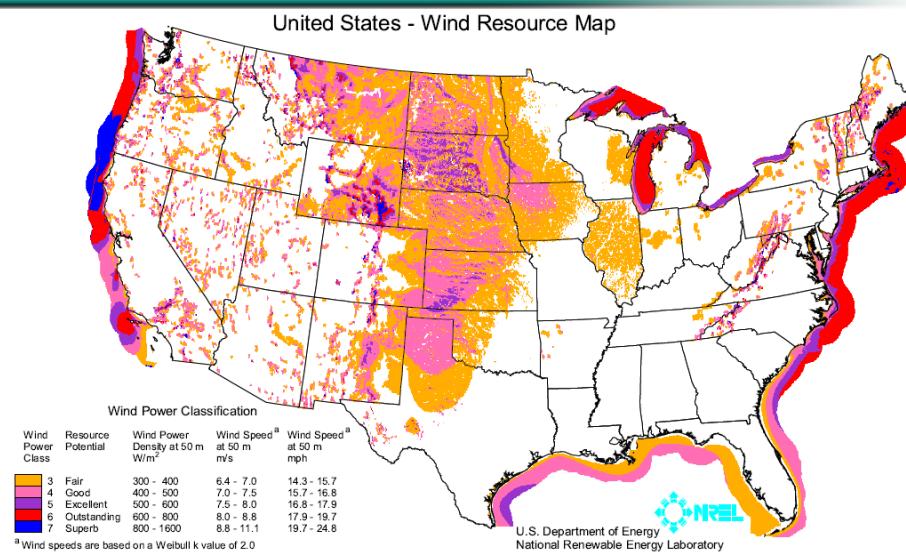
Figure 6.27 Average annual wind power density at 50-m elevation. From NREL Wind Energy Resource Atlas of the United States.

Hệ thống năng lượng xanh

141

141

Các tiêu chuẩn năng lượng gió



Hệ thống năng lượng xanh

142

142

Các tiêu chuẩn năng lượng gió

TABLE 6.6 Energy Potential for Class 3 or Higher Winds, in billion kWh/yr,
Including Environmental and Land Use Constraints

Rank State	Potential	Percent of United States ^a	Rank State	Potential	Percent of United States ^a
1 North Dakota	1210	35%	11 Colorado	481	14%
2 Texas	1190	34%	12 New Mexico	435	12%
3 Kansas	1070	31%	13 Idaho	73	2%
4 South Dakota	1030	29%	14 Michigan	65	2%
5 Montana	1020	29%	15 New York	62	2%
6 Nebraska	868	25%	16 Illinois	61	2%
7 Wyoming	747	21%	17 California	59	2%
8 Oklahoma	725	21%	18 Wisconsin	58	2%
9 Minnesota	657	19%	19 Maine	56	2%
10 Iowa	551	16%	20 Missouri	52	1%

^aIf totally utilized, the fraction of U.S. demand that wind could supply.

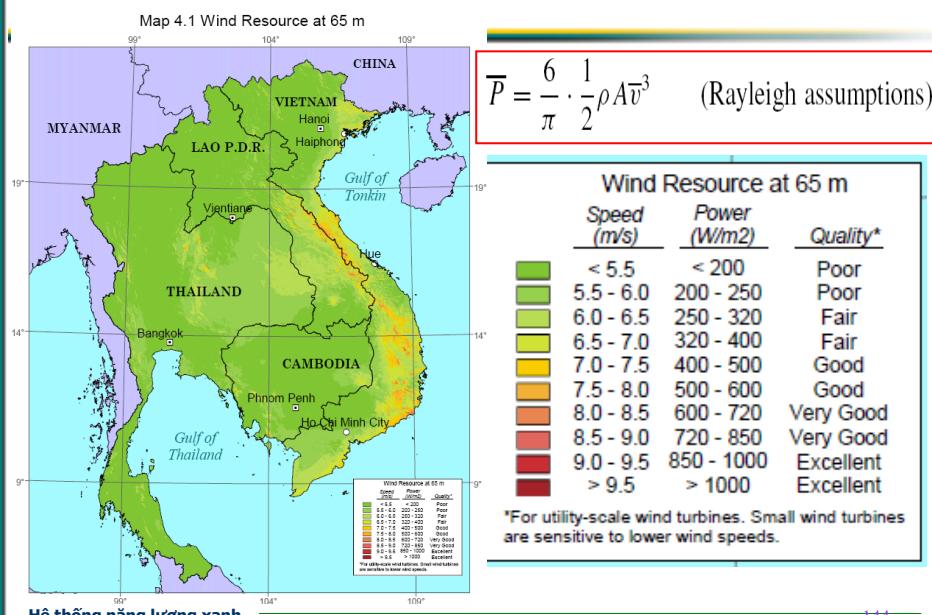
Source: Elliot et al. (1991).

Hệ thống năng lượng xanh

143

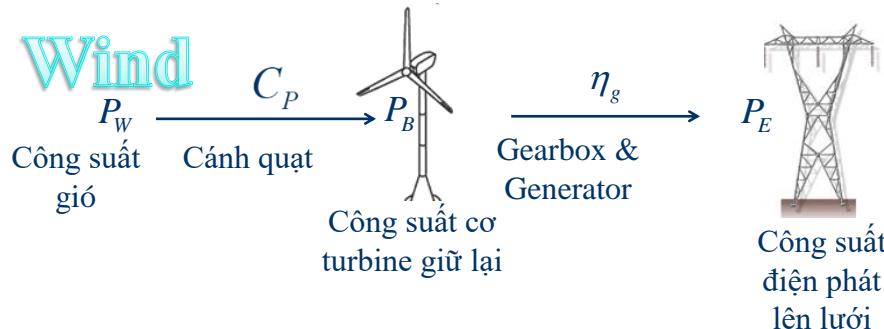
143

Wind Resource Atlas of SouthEast Asia



144

9. Ước lượng năng lượng của turbin gió



Hệ thống năng lượng xanh

145

145

Tính năng lượng hàng năm theo năng suất trung bình của turbin gió

Ví dụ 6.11: Xác định năng lượng điện nhận được hàng năm của một hệ thống điện gió:

Khảo sát hệ thống điện gió NEG 750/48 (máy phát công suất 750kW, cánh quạt có đường kính 48m) với turbine gắn trên tháp cao 50m. Cho biết trong vùng có vận tốc gió trung bình ở độ cao 10m là 6 m/s. Giả sử mật độ không khí tiêu chuẩn tại vị trí (**độ cao**) lắp cánh quạt turbine, số liệu gió có phân bố Reyleigh, mặt đất bằng phẳng cấp độ 1 (class 1), hiệu suất toàn cục của hệ thống (gió→điện) là 30%.

- Tính công suất gió trung bình P_{wind} mà turbine nhận được?
- Tính công suất phát điện trung bình P_{elec} của turbine?
- Ước tính sản lượng điện năng hàng năm W_{elec} (kWh/năm)?
- Tính vận tốc gió để turbine đạt công suất định mức? **Cho biết hiệu suất biến đổi gió điện ở định mức là 35%.**
- Tính tỷ lệ công suất trung bình so với công suất định mức (**CF**)?

Hệ thống năng lượng xanh

146

146

Trang trại gió



Hệ thống năng lượng xanh

147

147

Trang trại gió

HIỆU SUẤT GHÉP MẢNG

Bố trí dạng lưới vuông

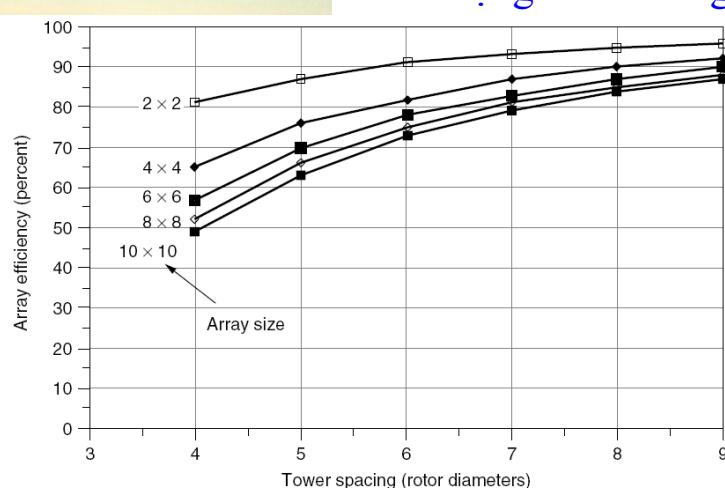


Figure 6.28 Impact of tower spacing and array size on performance of wind turbines.
Source: Data in Milborrow and Surman (1987), presented in Grubb and Meyer (1993).

Hệ thống năng lượng xanh

148

148

Trang trại gió



Bạc Liêu

Hệ thống năng lượng xanh

149

149

Trang trại gió



Tuy Phong

Hệ thống năng lượng xanh

150

150

Trang trại gió

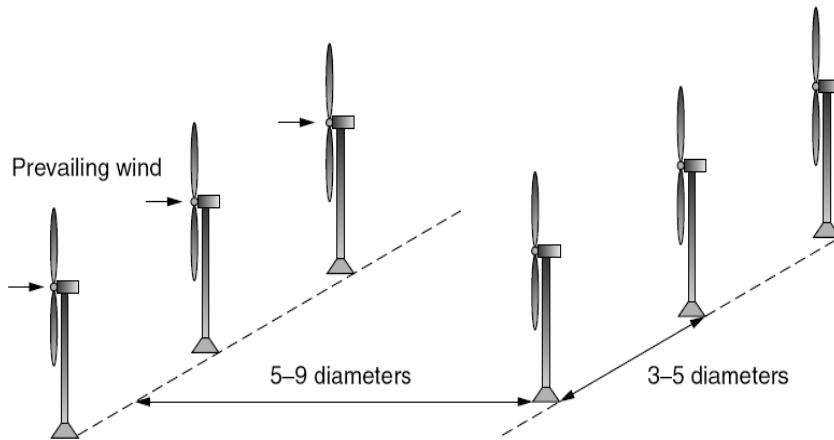
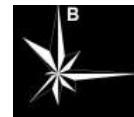


Figure 6.29 Optimum spacing of towers is estimated to be 3–5 rotor diameters between wind turbines within a row and 5–9 diameters between rows.

Trang trại gió

Ví dụ: Cho trang trại gió, gồm 64 turbine, loại 1500/80 (1,5 MW, 80m), trụ turbine cao 90m. Các turbine được bố trí dạng lưới vuông, khoảng cách **4 lần đường kính** cánh quạt. Nhiệt độ 25 °C, cao trình 110m. Phân bố gió Rayleigh, mặt đất bằng phẳng. Vận tốc gió trung bình ở độ cao 65 m là 7 m/s. Cho biết hiệu suất trung bình gió-điện là 30%. Chi phí đầu tư ban đầu 50 tỷ / turbine (không lãi suất). Với giá thuê đất 5 triệu/1000m²/năm, **chỉ thuê phần đường đi vào vị trí lắp trụ gió chiếm 30% tổng diện tích đất**. Chi phí vận hành cho cả trang trại là 10 tỷ /năm. Giá bán điện gió 2000đ/kWh.

- Tính **tổng diện tích đất (100%)**, **tổng sản lượng điện hàng năm, doanh thu /năm/km² đất tổng?** Tính thời gian hoàn vốn?
- Tính lại nếu khoảng cách là **8 lần đường kính**?

Trang trại gió

Ví Dụ 6.12: Xác định năng lượng điện nhận được hàng năm của một nông trang gió

Khảo sát *Nông trang gió* với 7 turbine được gắn thành 3 hàng với các hàng cách nhau 7 lần đường kính cánh quạt rotor, trong khi khoảng cách giữa các máy phát gió trong mỗi hàng bằng 4 lần đường kính cánh quạt rotor. Giá thiết mật độ không khí tiêu chuẩn, số liệu gió phù hợp với thống kê Rayleigh, mặt đất bằng phẳng đạt cấp độ 1 (class 1) với hiệu suất toàn cục của hệ thống điện gió đạt 30% và hiệu suất sử dụng mảng bằng 80%.

- Hãy ước tính **năng lượng điện nhận được hàng năm** $\text{kW/m}^2/\text{năm}$ của công viên gió trên biết công suất gió ở độ cao gắn cánh quạt là 400W/m^2 .
- Nếu chủ máy phát thuê khuôn viên trên với giá 100USD/sào-acre mỗi năm (gấp 10 lần giá thuê đất để chăn nuôi gia súc). Hãy qui giá thuê này về theo đơn vị kWh điện có được? mỗi sào-acre rộng 4047m^2 .
- Giá thuê đất 5 triệu/ $1000\text{m}^2/\text{năm}$. Giá bán điện gió 2000đ/kWh .

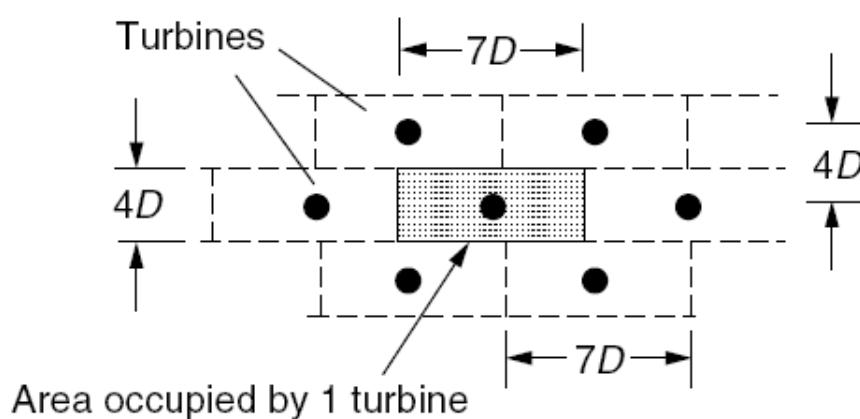
Với 4 turbine, nên chọn khoảng cách $4D \times 4D$ hay $8D \times 8D$? *Chỉ thuê phần đường đi vào vị trí lắp trụ gió với 30% diện tích đất.*

Hệ thống năng lượng xanh

153

153

Trang trại gió



Hệ thống năng lượng xanh

154

154

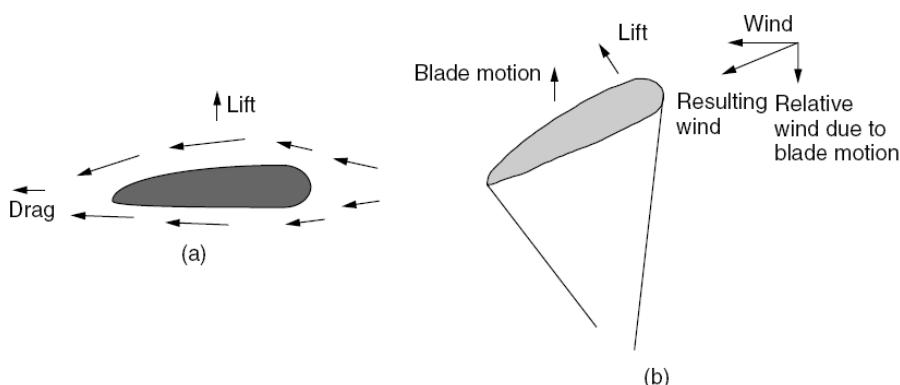
10. Tính toán theo các đặc tính vận hành của turbin gió

Hệ thống năng lượng xanh

155

155

Các thông số khí động lực học



Hình 6.30: nguyên lý Bernoulli tạo lực nâng cánh khí động (airfoil)

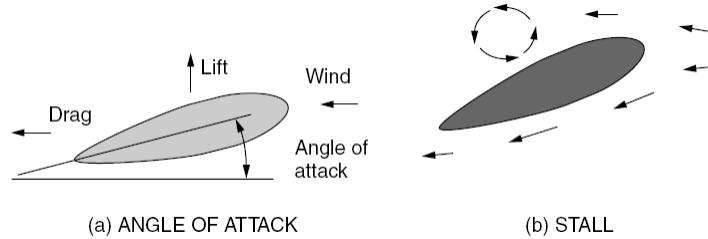
Hệ thống năng lượng xanh

156

156

Đặc tính công suất của máy phát điện gió lý tưởng

Vận tốc gió khởi động V_C (Cut-in Windspeed)

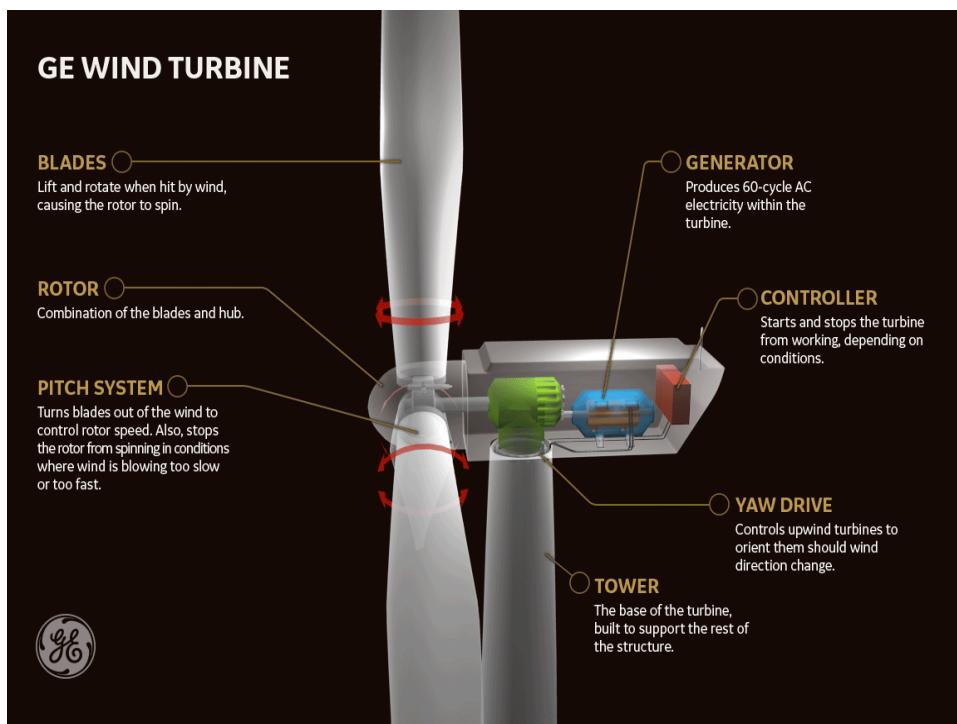


Hình 6.31: a) góc xung kích và b) hậu quả nếu tăng quá đáng góc xung kích

Hệ thống năng lượng xanh

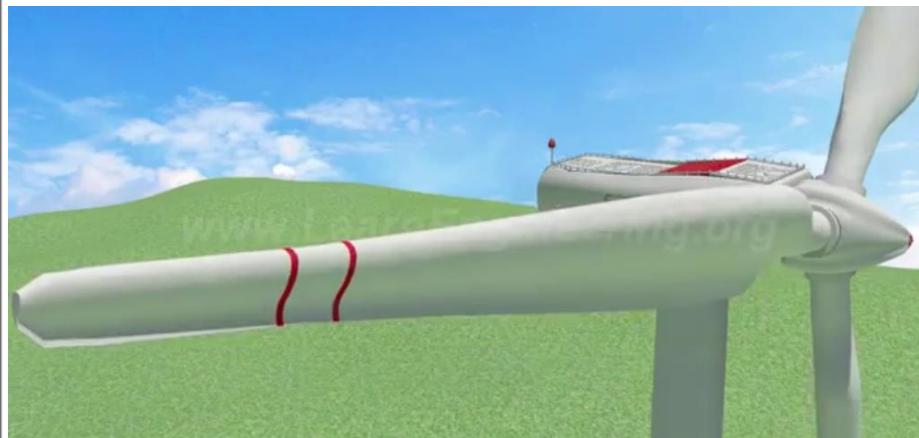
157

157



158

Điều khiển cánh quạt khi tốc độ gió lớn hơn định mức

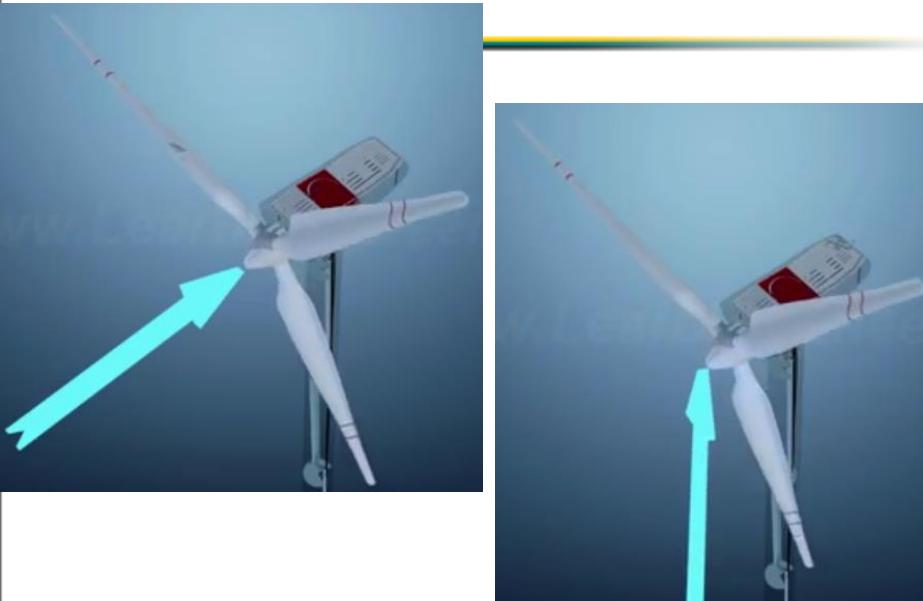


Hệ thống năng lượng xanh

159

159

Điều khiển góc pitch khi tốc độ gió lớn hơn định mức



Hệ thống năng lượng xanh

160

160

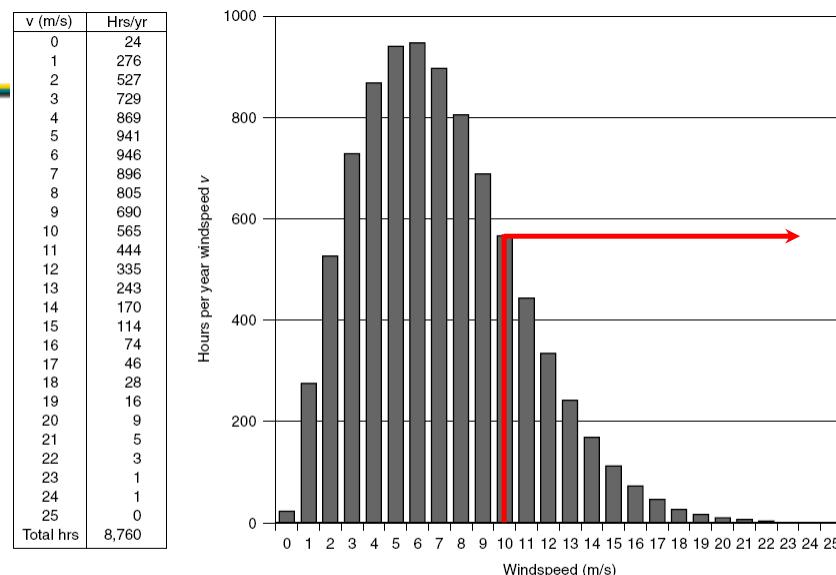


Figure 6.22 An example of site data and the resulting wind histogram showing hours that the wind blows at each windspeed.

Hệ thống năng lượng xanh

161

161

Công suất gió

Windspeed (m/s)	Windspeed (mph)	Power (W/m ²)
0	0	0
1	2.24	1
2	4.47	5
3	6.71	17
4	8.95	39
5	11.19	77
6	13.42	132
7	15.66	210
8	17.90	314
9	20.13	447
10	22.37	613
11	24.61	815
12	26.84	1058
13	29.08	1346
14	31.32	1681
15	33.56	2067

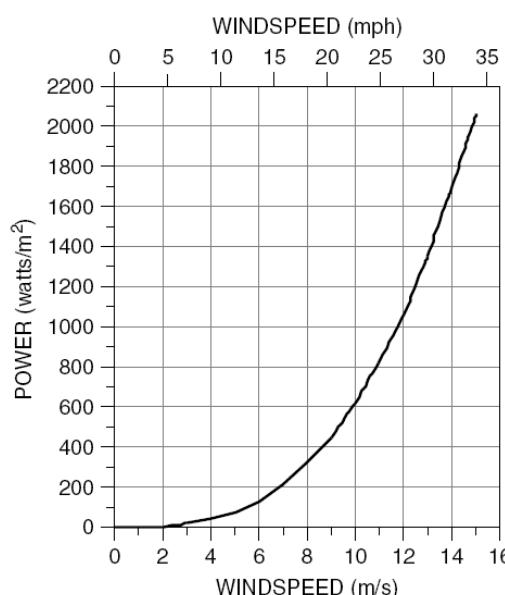


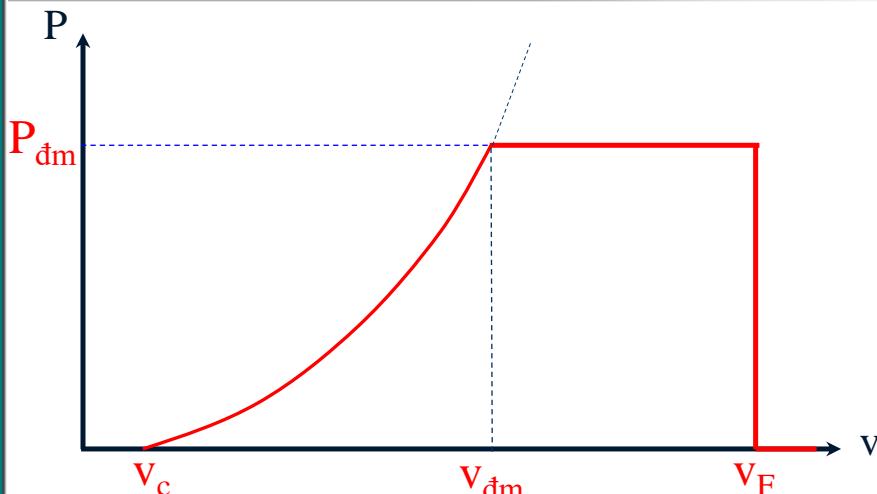
Figure 6.5 Power in the wind, per square meter of cross section, at 15°C and 1 atm.

Hệ thống năng lượng xanh

162

162

Đặc tính công suất của máy phát điện gió lý tưởng

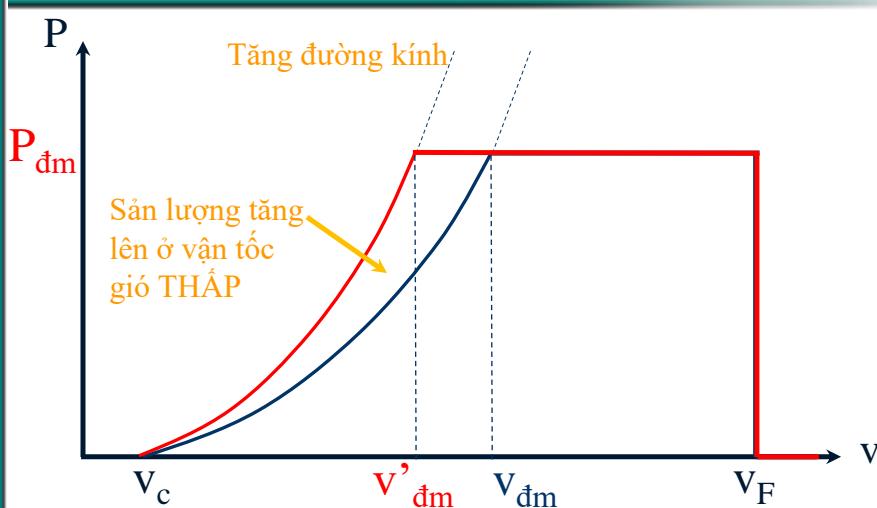


Hệ thống năng lượng xanh

164

164

Đặc tính công suất của máy phát điện gió lý tưởng

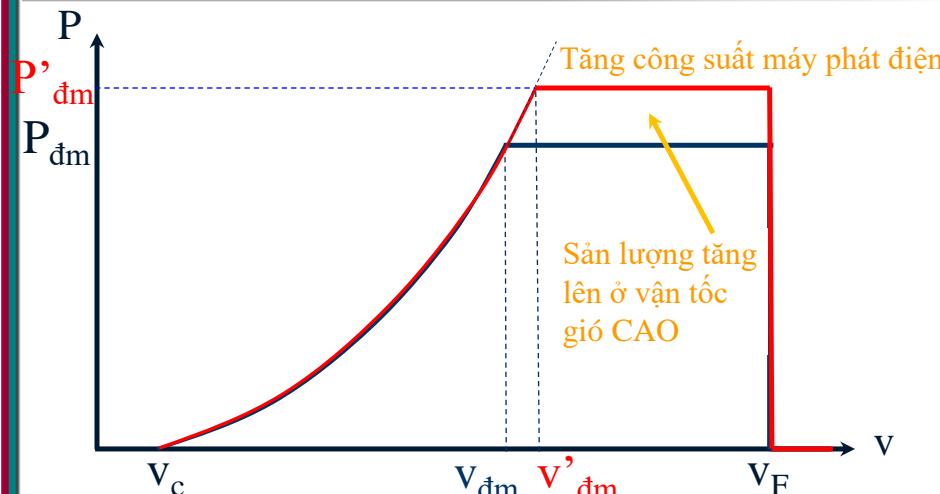


Hệ thống năng lượng xanh

165

165

Đặc tính công suất của máy phát điện gió lý tưởng



Hệ thống năng lượng xanh

166

166

Đặc tính công suất của máy phát điện gió lý tưởng

WINDCLASSES - IEC

TURBINE TYPE	IEC III (6.0 - 7.5 m/s)	IEC II (7.5 - 8.5 m/s)	IEC I (8.5 - 10.0 m/s)
4 MW TURBINES			
V105-3.45 MW™ IEC IA			■
V112-3.45 MW™ IEC IA			■
V117-3.45 MW™ IEC IB/IEC IIA		■	■
V117-4.2 MW™ IEC IB/IEC IIA/IECS		■	■
V126-3.45 MW™ IEC IIA/IEC IIB	■	■	■
V136-3.45 MW™ IEC IIB/IEC IIIA	■	■	■
V136-4.2 MW™ IEC IIB/IECS	■	■	■
V150-4.2 MW™ IEC IIB/IECS	■	■	■

■ Standard IEC conditions ■ Site dependent

Hệ thống năng lượng xanh

167

167

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

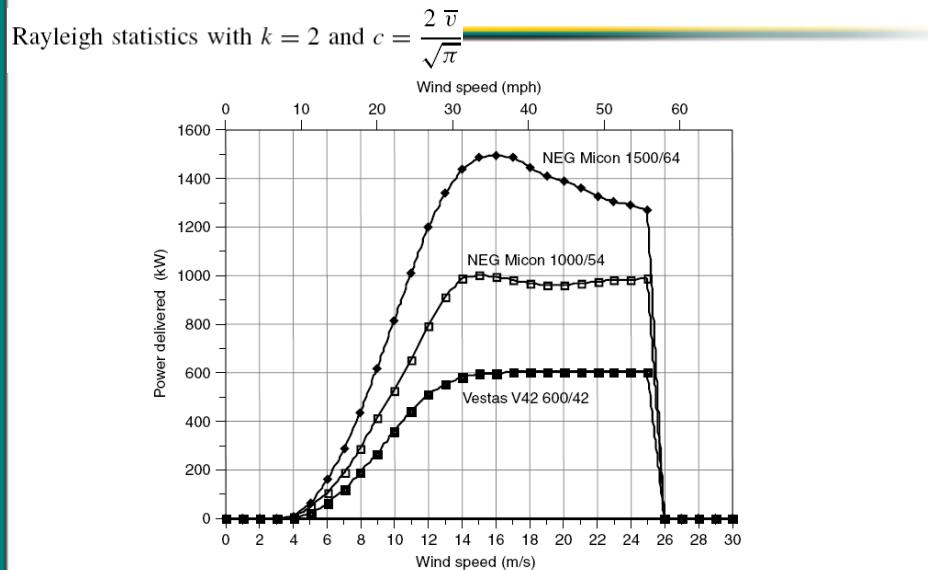


Figure 6.35 Power curves for three large wind turbines.

Hệ thống năng lượng xanh

169

169

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

V112-3.3 MW™ IEC IB

Facts & figures

POWER REGULATION	Pitch regulated with variable speed	HUB DIMENSIONS	
OPERATING DATA		Max. transport height	3.74 m
Rated power	3,300 kW	Max. transport width	3.75 m
Cut-in wind speed	3 m/s	Max. transport length	5.42 m
Cut-out wind speed	25 m/s	BLADE DIMENSIONS	
Re-cut-in wind speed	23 m/s	Length	54.65 m
Wind class	IEC IB	Max. chord	4 m
Standard operating temperature range from -20°C to +45°C with de-rating above 30°C*		Max. weight per unit for transportation	70 metric tonnes
*subject to different temperature options			

Hệ thống năng lượng xanh

170

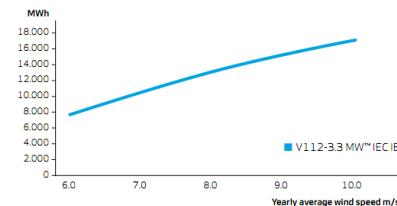
170

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

SOUND POWER (Noise modes dependent on site and country)	
ROTOR	
Rotor diameter	112 m
Swept area	9,852 m ²
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders
ELECTRICAL	
Frequency	50/60 Hz
Converter	full scale
GEARBOX	
Type	two planetary stages and one helical stage
TOWER	
Hub height	site specific
NACELLE DIMENSIONS	
Height for transport	3.4 m
Height installed (incl. CoolerTop*)	6.8 m
Length	12.8 m
Width	4.0 m

- TURBINE OPTIONS**
- Condition Monitoring System
 - Service personnel lift
 - Aviation lights
 - Aviation markings on the blades
 - Low temperature operation to -30°C
 - Ice detection
 - Fire Suppression
 - Shadow detection
 - Increased Cut-In
 - Obstacle Collision Avoidance System (OCAS™)

ANNUAL ENERGY PRODUCTION



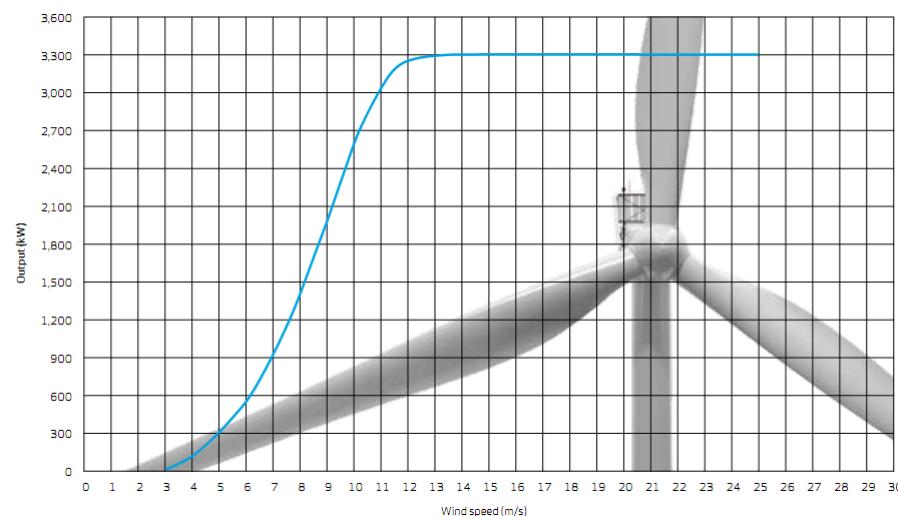
Assumptions
One wind turbine, 100% availability, 0% losses, k factor = 2,
Standard air density = 1.225, wind speed at hub height

Hệ thống năng lượng xanh

171

171

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

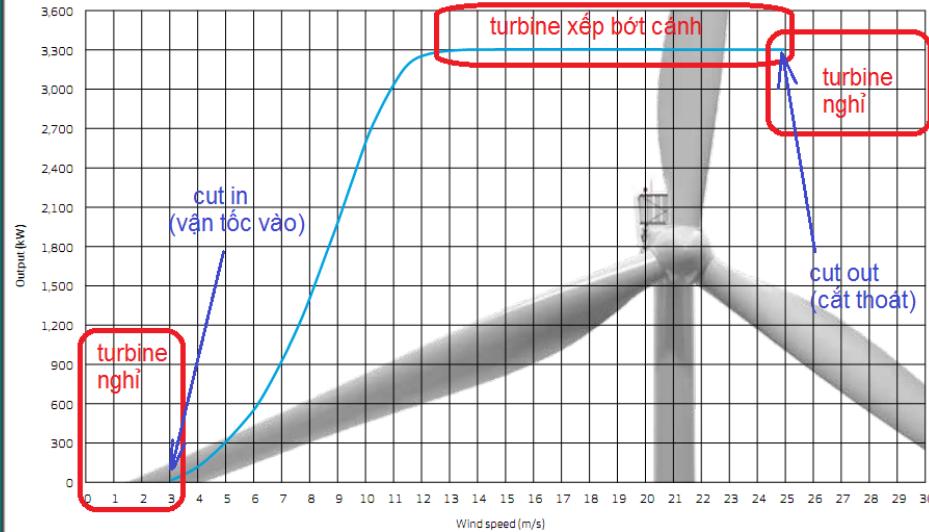


Hệ thống năng lượng xanh

172

172

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull



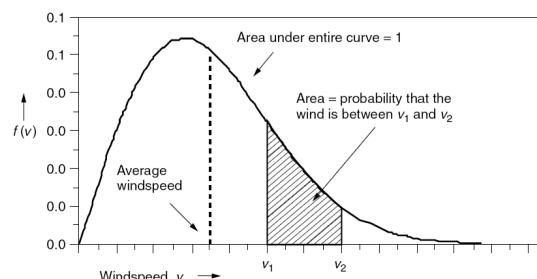
173

Hàm phân bố vận tốc gió

$$\text{prob}(v \leq V) = F(V) = \int_0^V f(v) dv$$

$F(V)$ = probability $v \leq V$, $F(0) = 0$, and $F(\infty) = 1$

$$\text{Weibull } f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]$$



Hệ thống năng lượng xanh

Figure 6.23 A windspeed probability density function (p.d.f).

174

Hàm phân bố tích lũy vận tốc gió

Weibull statistics

$$F(V) = \text{prob}(v \leq V) = \int_0^V \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] dv$$

$$x = \left(\frac{v}{c}\right)^k \quad dx = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} dv \quad F(V) = \int_0^x e^{-x} dx$$

$$F(V) = \text{prob}(v \leq V) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right]$$

$$\text{Rayleigh statistics, } k = 2 \quad c = \frac{2 \bar{v}}{\sqrt{\pi}}$$

$$f(v) = \frac{\pi}{2\bar{v}^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2\right] \quad \text{Rayleigh}$$

Hệ thống năng lượng xanh

175

175

Hàm phân bố tích lũy vận tốc gió

$$F(V) = \text{prob}(v \leq V) = 1 - \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{v}}\right)^2\right] \quad (\text{Rayleigh})$$

$$F(V) = \text{prob}(v \leq V) = 1 - e^{\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{v}}\right)^2\right]} \quad (\text{Rayleigh})$$

Thời gian có vận tốc gió $v \leq V$ trong 1 năm = $F(V) * 8760$

Hệ thống năng lượng xanh

176

176

Hàm phân bố tích lũy vận tốc gió

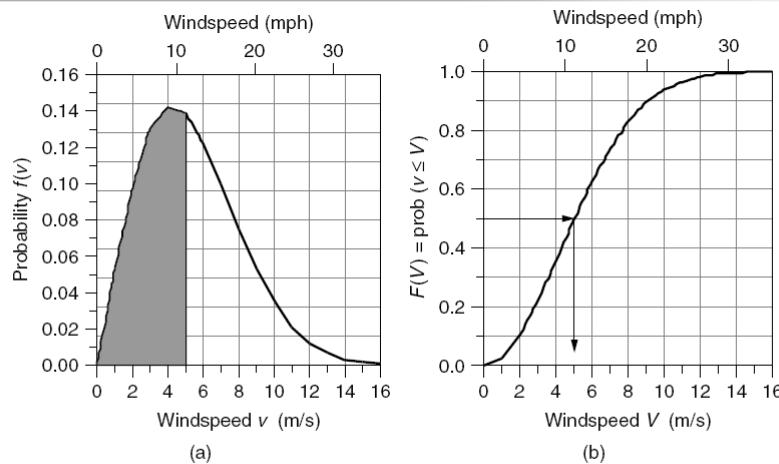


Figure 6.34 An example p.d.f. (a) and cumulative distribution function (b) for $k = 2$, $c = 6$ Weibull statistics. In this case, half the time the wind is less than or equal to 5 m/s; that is, half the area under the p.d.f. is to the left of $v = 5$ m/s.

Hệ thống năng lượng xanh

177

177

Hàm phân bố tích lũy vận tốc gió

$$\text{prob}(v \geq V) = 1 - \text{prob}(v \leq V) = 1 - F(V)$$

$$\text{prob}(v \geq V) = 1 - \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \right\} = \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right]$$

$$\text{prob}(v \geq V) = \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{v}} \right)^2 \right] \quad (\text{Rayleigh})$$

$$\text{prob}(v \geq V) = e^{\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{v}} \right)^2 \right]} \quad (\text{Rayleigh})$$

Hệ thống năng lượng xanh

178

178

Hàm phân bố tích lũy vận tốc gió

Ví Dụ 6.13: Khảo sát đường cong công suất của máy phát gió lý tưởng theo phân bố Rayleigh

Khảo sát máy phát gió NEG Micon 1000/54 (1000kW định mức và đường kính cánh rotor 54m) có các thông số $V_C = 4\text{m/s}$, $V_R = 14\text{m/s}$, và $V_F = 25\text{m/s}$. Biết vận tốc gió theo phân bố Rayleigh với (6.44) cho vận tốc gió trung bình là 10m/s. Hãy xác định:

- Bao nhiêu giờ trong năm, vận tốc gió $< V_C$?
- Bao nhiêu giờ trong năm, máy phát gió phải nghỉ do vận tốc gió $> V_F$?
- Bao nhiêu điện năng phát ra (kWh/năm) khi máy phát gió vận hành với **công suất định mức**? ($V_R < \text{vận tốc gió} < V_F$)

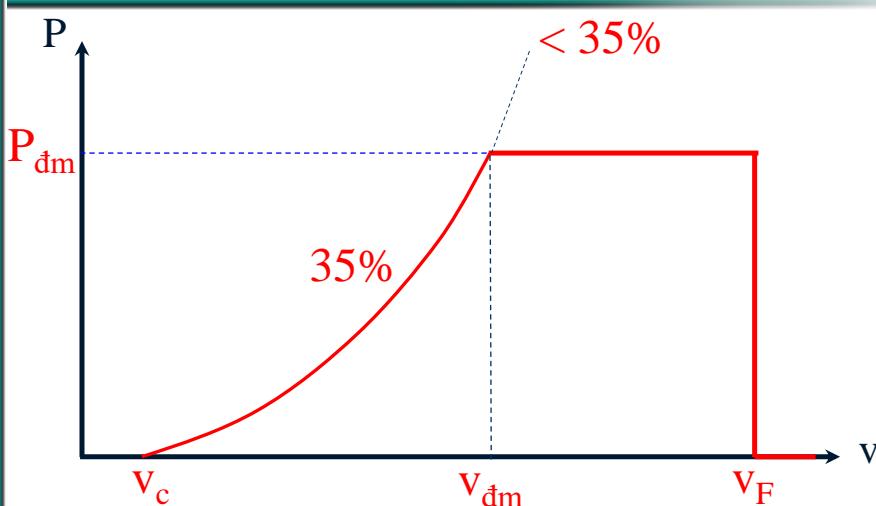
$$\text{prob}(v \geq V) = \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{v}} \right)^2 \right] \quad (\text{Rayleigh})$$

Hệ thống năng lượng xanh

179

179

Đặc tính công suất của máy phát điện gió lý tưởng



Hệ thống năng lượng xanh

180

180

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

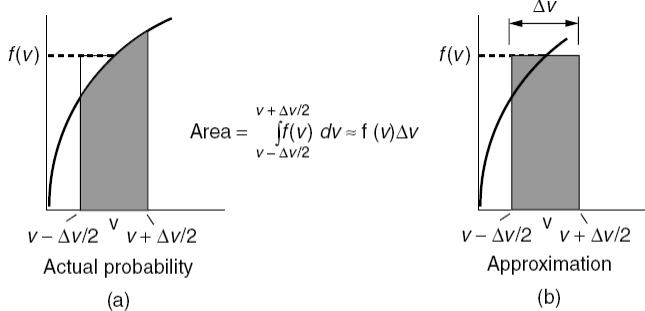


Figure 6.36 The probability that v is within $v \pm \Delta v/2$ is the shaded area in (a). A reasonable approximation is the shaded area in (b) $f(v)\Delta v$, as long as Δv is relatively small.

Hình 6.36: Xác suất thực và giá trị xác suất xấp xỉ dùng trong tính toán gần đúng

$$\text{prob}(v - \Delta v/2 \leq V \leq v + \Delta v/2) = \int_{v-\Delta v/2}^{v+\Delta v/2} f(v) dv \approx f(v)\Delta v$$

Hệ thống năng lượng xanh

181

181

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

Ví Dụ 6.14: Tính toán rời rạc $f(v)$

Khảo sát địa điểm lắp đặt máy phát gió có vận tốc gió tuân theo *phân bố Rayleigh*, biết vận tốc gió trung bình $\bar{v} = 8\text{m/s}$. Tìm xác suất vận tốc gió nằm giữa 6.5 và 7.5 m/s? So sánh với kết quả tương ứng được ước lượng xấp xỉ từ hàm pdf ở vận tốc gió 7m/s?

$$\text{prob}(v \geq V) = \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{v}} \right)^2 \right] \quad (\text{Rayleigh})$$

$$f(v) = \frac{\pi}{2\bar{v}^2} v \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right] \quad \text{Rayleigh}$$

$$f(v) = \frac{2v}{c^2} \exp \left[-\left(\frac{v}{c} \right)^2 \right] \quad \text{Rayleigh p.d.f.} \quad c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{v} \cong 1.128 \bar{v}$$

Hệ thống năng lượng xanh

182

182

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

Ví Dụ 6.15: Dùng Bảng tra xác định điện năng hàng năm được máy phát gió cung cấp Khảo sát máy phát gió NEG Micon 1000/60 (1000kW công suất định mức và đường kính cánh rotor 60m) với điểm lắp đặt có vận tốc gió tuân theo **phân bố Rayleigh**, biết vận tốc gió trung bình $\bar{v} = 7\text{m/s}$.

- Tìm lượng điện năng cung cấp được trong năm của máy phát gió?
- Dựa vào đó, xác định hiệu suất trung bình toàn cục của hệ thống điện gió này?
- Tìm năng suất phát điện tính theo kWh/năm cung cấp được từ mỗi m^2 của diện tích phần quạt quay?

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

TABLE 6.7 Examples of Wind Turbine Power Specifications

Manufacturer:	NEG Micon	NEG Micon	NEG Micon	Vestas	Whisper	Wind World	Nordex	Bonus
Rated Power (kW):	1000	1000	1500	600	0.9	250	1300	300
Diameter (m):	60	54	64	42	2.13	29.2	60	33.4
<u>Avg. Windspeed</u>								
v (m/s)	v (mph)	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
0	0	0	0	0	0.00	0	0	0
1	2.2	0	0	0	0.00	0	0	0
2	4.5	0	0	0	0.00	0	0	0
3	6.7	0	0	0	0.03	0	0	4
4	8.9	33	10	9	0.08	0	25	15
5	11.2	86	51	63	0.17	12	78	32
6	13.4	150	104	159	0.25	33	150	52
7	15.7	248	186	285	0.35	60	234	87
8	17.9	385	291	438	0.45	92	381	129
9	20.1	535	412	615	0.62	124	557	172
10	22.4	670	529	812	0.78	153	752	212

TABLE 6.7 Examples of Wind Turbine Power Specifications

Manufacturer:	NEG	NEG	NEG	Vestas	Whisper	Wind	World	Nordex	Bonus
Rated Power (kW):	Micon	Micon	Micon	600	0.9		250	1300	300
Diameter (m):	1000	1000	1500	60	2.13	29.2	60	33.4	
<u>Avg. Windspeed</u>									
v (m/s)	v(mph)	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
10	22.4	670	529	812	356	0.78	153	752	212
11	24.6	780	655	1012	440	0.90	180	926	251
12	26.8	864	794	1197	510	1.02	205	1050	281
13	29.1	924	911	1340	556	1.05	224	1159	297
14	31.3	964	986	1437	582	1.08	238	1249	305
15	33.6	989	1006	1490	594	1.04	247	1301	300
16	35.8	1000	998	1497	598	1.01	253	1306	281
17	38.0	998	984	1491	600	1.00	258	1292	271
18	40.3	987	971	1449	600	0.99	260	1283	259
19	42.5	968	960	1413	600	0.97	259	1282	255
20	44.7	944	962	1389	600	0.95	256	1288	253
21	47.0	917	967	1359	600	0.00	250	1292	254
22	49.2	889	974	1329	600	0.00	243	1300	255
23	51.5	863	980	1307	600	0.00	236	1313	256
24	53.7	840	985	1288	600	0.00	230	1328	257
25	55.9	822	991	1271	600	0.00	224	1344	258
26	58.2	0	0	0	0	0.00	0	0	0

Source: Mostly based on data in www.windpower.dk.

85

185

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

Windspeed (m/s)	Power (kW)	Probability $f(v)$	Hrs/yr at v	Energy (kWh/yr)
0	0	0.000	0	0
1	0	0.032	276	0
2	0	0.060	527	0
3	0	0.083	729	0
4	33	0.099	869	28,683
5	86	0.107	941	80,885
6	150	0.108	946	141,929
7	248	0.102	896	222,271
8	385	0.092	805	310,076
9	535	0.079	690	369,126
10	670	0.065	565	378,785
11	780	0.051	444	346,435
12	864	0.038	335	289,551
13	924	0.028	243	224,707
14	964	0.019	170	163,779
15	989	0.013	114	113,101

Hệ thống năng lượng xanh

186

186

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

Windspeed (m/s)	Power (kW)	Probability $f(v)$	Hrs/yr at v	Energy (kWh/yr)
16	1000	0.008	74	74,218
17	998	0.005	46	46,371
18	987	0.003	28	27,709
19	968	0.002	16	15,853
20	944	0.001	9	8,709
21	917	0.001	5	4,604
22	889	0.000	3	2,347
23	863	0.000	1	1,158
24	840	0.000	1	554
25	822	0.000	0	257
26	0	0.000	0	0
Total:				2,851,109

Hệ thống năng lượng xanh

187

187

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

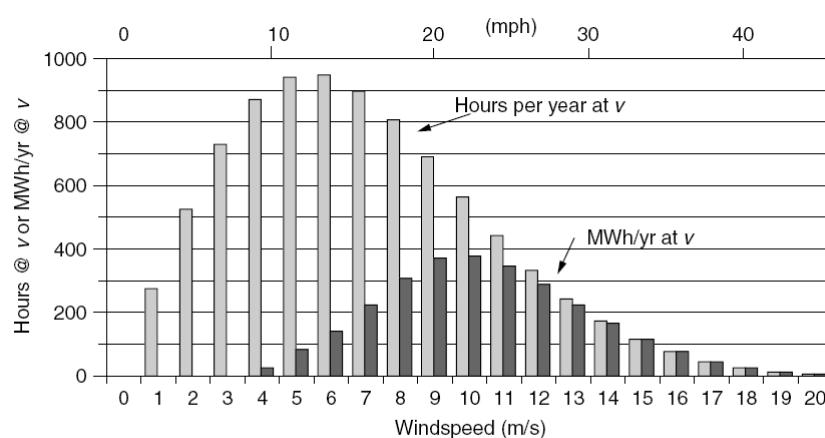


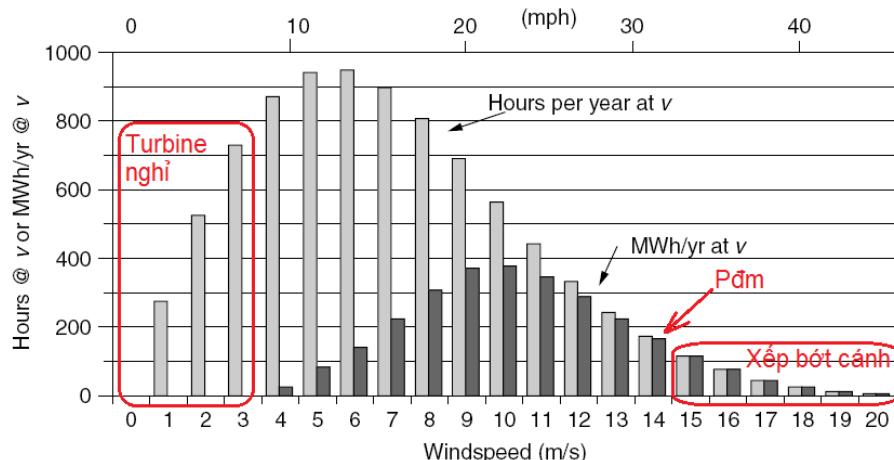
Figure 6.37 Hours per year and MWh per year at each windspeed for the NEG Micon (1000/60) turbine and Rayleigh winds with average speed 7 m/s.

Hệ thống năng lượng xanh

188

188

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull



Hệ thống năng lượng xanh

189

189

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor, hệ số sử dụng) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

$$\text{Annual energy (kWh/yr)} = P_R \text{ (kW)} \times 8760 \text{ (h/yr)} \times \text{CF}$$

$$\text{CF} = \frac{\text{Actual energy delivered}}{P_R \times 8760}$$

$$\text{CF} = \frac{\text{Actual energy delivered}/8760 \text{ h/yr}}{P_R} = \frac{\text{Average power}}{\text{Rated power}}$$

$$CF = \frac{P_{E.tb} (\text{điện})}{P_{đm} (\text{máy phát điện})} = \frac{P_{W.tb} (cô) \cdot \eta_{(gió-điện)}}{P_{đm} (\text{máy phát điện})}$$

$$\bar{P} = \frac{6}{\pi} \cdot \frac{1}{2} \rho A \bar{v}^3 \quad (\text{Rayleigh assumptions})$$

1000/60 dùng hệ số khâ

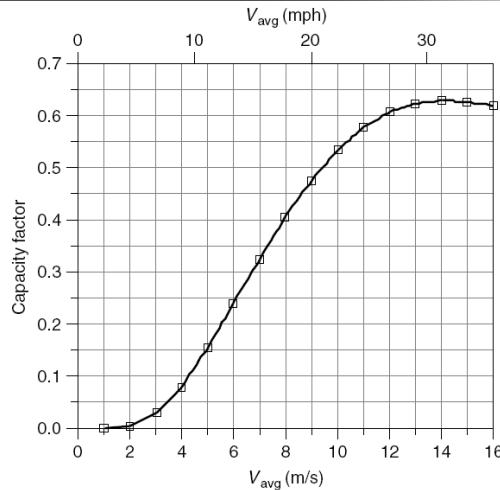
Dùng số liệu đã có ở VD 6.14, hãy xác định **hệ số khả năng CF** của hệ thống điện gió trên?

Hệ thống năng lượng xanh

190

190

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió



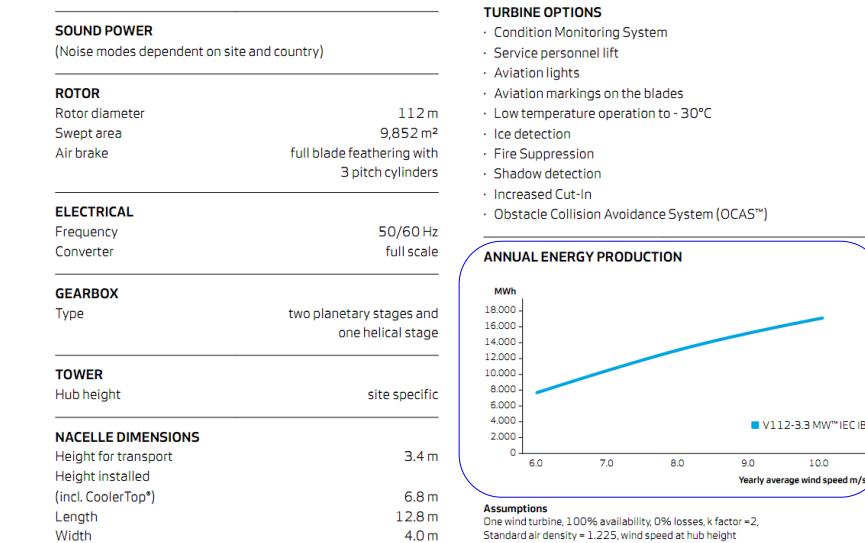
Hình 6.38: Hệ số khả năng CF của turbine gió NEG Micon 1000/60, ứng với các giá trị vận tốc gió trung bình khác nhau, và có phân bố gió Rayleigh.

Hệ thống năng lượng xanh

191

191

Khảo sát đặc tính công suất thực theo phân bố Weibull

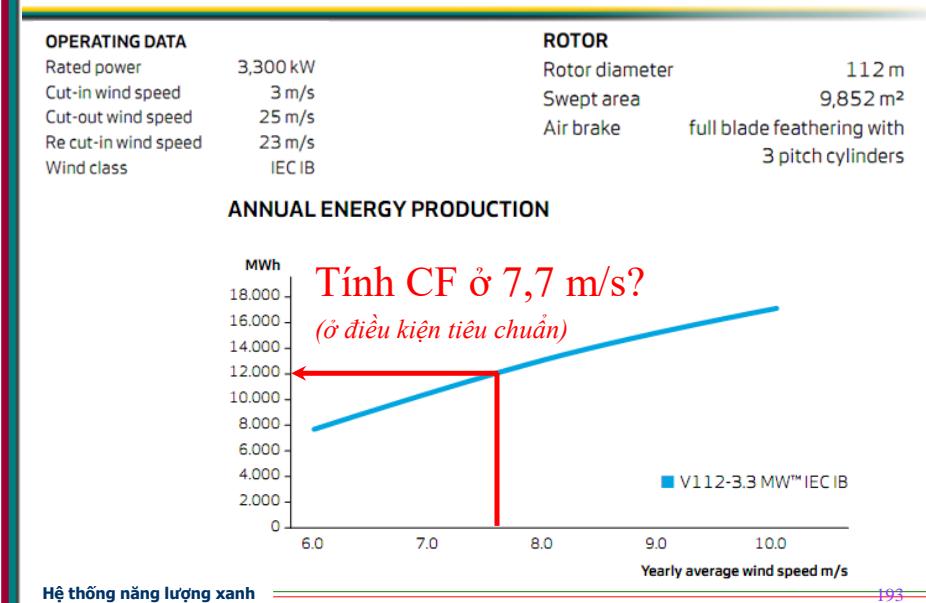


Hệ thống năng lượng xanh

192

192

Chọn hệ số khả năng CF (Capacity Factor)



193

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

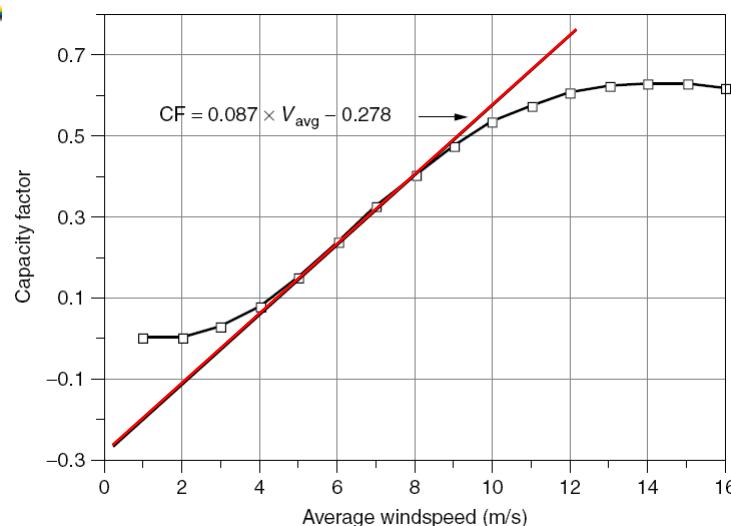


Figure 6.39 A line fitted to the linear portion of the NEG Micon 1000/60 wind turbine.

194

194

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

$$CF = m\bar{V} + b$$

$$CF = 0.087\bar{V} - 0.278$$

$$\frac{P_R}{D^2} = \frac{1000 \text{ kW}}{(60 \text{ m})^2} = 0.278 \quad \text{for the NEG Micon 1000/60}$$

CF này tính riêng cho 1 turbine hoạt động độc lập. Chưa xét hiệu suất mảng và thời gian dừng hoạt động. Chưa xét điều kiện môi trường.

$$CF = 0.087\bar{V} - \frac{P_R(\text{kW})}{D^2} \quad (\text{Rayleigh winds})$$

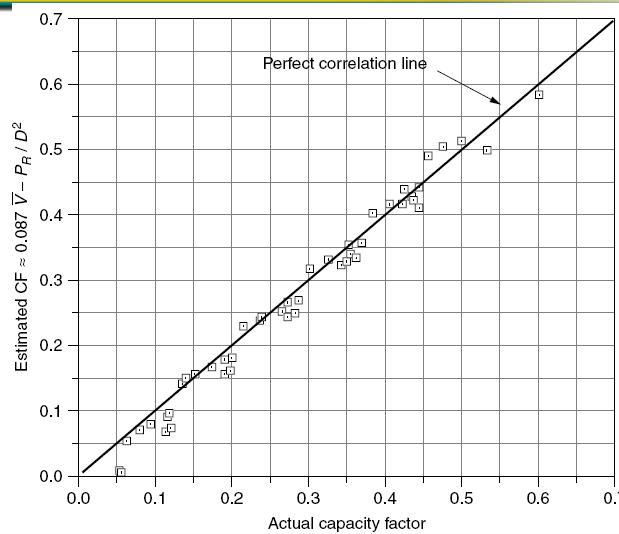
$$\text{Annual energy (kWh/yr)} = 8760 \cdot P_R(\text{kW}) \left\{ 0.087\bar{V}(\text{m/s}) - \frac{P_R(\text{kW})}{[D(\text{m})]^2} \right\}$$

Hệ thống năng lượng xanh

195

195

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió



Hình 6.40: Kết quả tương quan (correlation) giữa CF dùng (6.65) với CF tính chính xác

Hệ thống năng lượng xanh

196

196

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

Ví Dụ 6.17: Tính toán điện năng cung cấp của máy phát gió dùng hệ số khả năng CF.
Máy phát gió Whisper H900 có công suất định mức P_R 900W và đường kính cánh rotor 2.13m. Địa điểm lắp đặt có vận tốc gió trung bình \bar{V} là 6m/s. Ước lượng *điện năng cung cấp của máy phát gió*.

$$CF = 0.087\bar{V} - \frac{P_R \text{ (kW)}}{D^2 \text{ (m}^2\text{)}} \quad (\text{Rayleigh winds})$$

$$\text{Annual energy (kWh/yr)} = 8760 \cdot P_R(\text{kW}) \left\{ 0.087\bar{V}(\text{m/s}) - \frac{P_R(\text{kW})}{[D(\text{m})]^2} \right\}$$

$$E_{we} \text{ (kWh/năm)} = 365(\text{ngày}) \cdot 24(\text{h}) \cdot P_{\text{đm}}(\text{kW}) \cdot CF$$

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

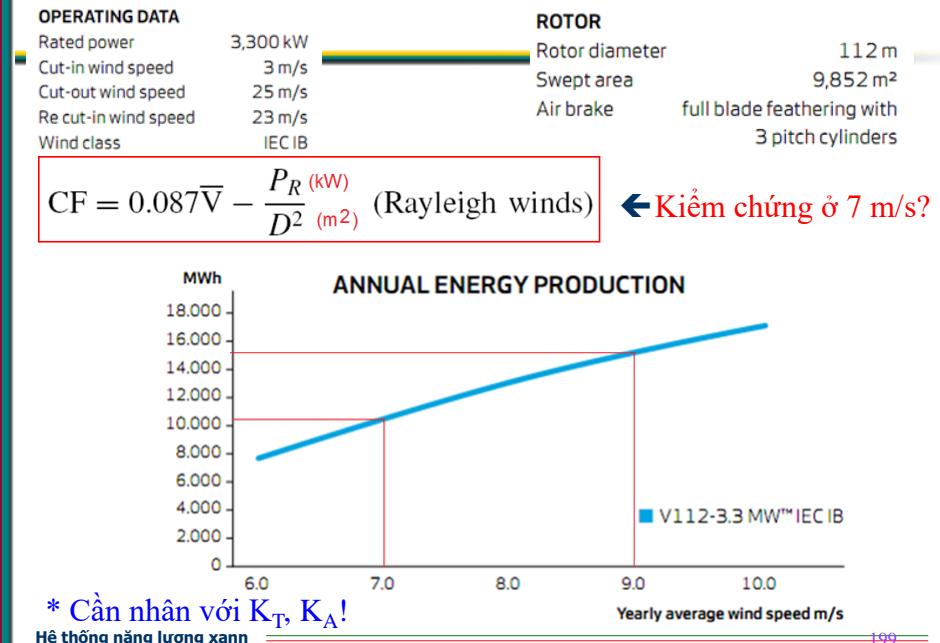
$$CF = 0.087\bar{V} - \frac{P_R}{D^2} = \frac{E_{1-nam}}{P_R * 8760} = \frac{\bar{P}}{P_R}$$

$$E_{1-nam} = CF * P_R * 8760$$

CF: hiệu suất công suất điện trung bình so với công suất máy phát định mức, khác với:

Hiệu suất gió-điện: công suất điện trung bình so với công suất gió trung bình

Tính toán kiểm chứng CF ở vận tốc gió 7m/s, và 9m/s?



199

Tính năng lượng hàng năm theo năng suất trung bình của turbin gió

Ví dụ 6.11: Khảo sát hệ thống điện gió NEG 750/48 (máy phát công suất 750kW, cánh quạt có đường kính 48m) với turbine được gắn trên tháp cao 65 m, trong vùng có vận tốc gió trung bình ở độ cao 30 m là 6 m/s. Cao trình 35m so với mực nước biển, nhiệt độ trung bình 20 °C, số liệu gió phù hợp với thống kê Rayleigh, mặt đất bằng phẳng đạt cấp độ 1 (class 1). Giả thuyết hiệu suất toàn cục trung bình của hệ thống gió-điện đạt 30%. ← Khác gì với CF ở câu d?

- Tính công suất gió trung bình P_{wind} ?
- Tính công suất phát điện trung bình P_{elec} ?
- Ước tính sản lượng điện năng hàng năm W_{elec} (kWh/năm)?
- Tính tỷ lệ công suất trung bình so với công suất định mức (CF_1)?
- Tính lại CF_2 theo phương trình mới thiết lập (có xem xét điều kiện môi trường)?

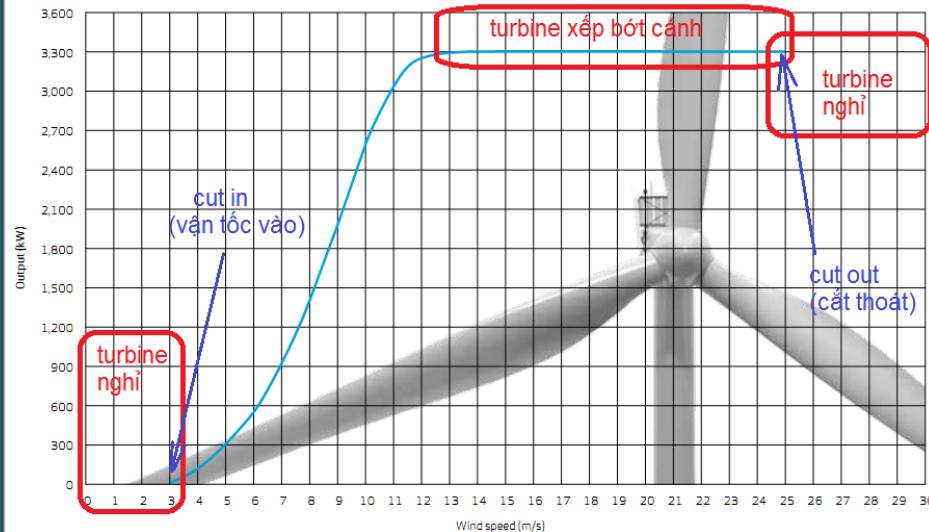
Hệ thống năng lượng xanh

$$CF = 0.087\bar{V} - \frac{P_R \text{ (kW)}}{D^2 \text{ (m}^2\text{)}} \quad (\text{Rayleigh winds})$$

200

200

Chọn hệ số khả năng CF (có xét lúc xếp cánh)



201

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

Ví dụ: Nhà máy gió Bạc Liêu: Lắp đặt ở độ cao $90+xx/9$ m so với mặt nước biển, nơi tốc độ gió trung bình 7m/s , ở $18+xx/10\text{ }^{\circ}\text{C}$. ($xx: 2\text{ số cuối MSSV}$)

- Uớc tính CF?
- Tính (gần đúng) sản lượng điện cấp cho lưới hàng năm?
- Tính công suất phát điện trung bình?
Tính hiệu suất gió-điện trung bình?
Tính hiệu suất gió-điện ở định mức?
- Tính lại câu b, c cho cả trang trại gió 62 turbin xếp lưới vuông cách nhau 7 lần đường kính? Tính lại CF cho cả trang trại gió?

Turbin GE 1.6-82.5

Power:

Rated power 1.600 kW
Rated wind speed 11,5 m/s
Cut-in wind speed 3,5 m/s
Cut-out wind speed 25,0 m/s

Rotor:

Diameter 82,5 m
Swept area 5.345,62 m²
Number of blades 3
Rotor speed 16,8 rpm

- Tính thời lượng turbine nghỉ do vận tốc gió quá thấp?

202

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

Ví dụ thiết kế: Ở Cà Mau, trên biển ở độ cao 100+xx/9 m, có tốc độ gió trung bình 7m/s, nhiệt độ 20+xx/10 °C. Thiết kế chọn lắp đặt turbine gió có công suất định mức **3,45 MW** (xx: là 2 số cuối MSSV):

- Chọn CF (ở ρ tiêu chuẩn) và tính đường kính cánh quạt? Kiểm chứng lại với CF từ datasheet của Vestas? <https://www.vestas.com>
- Tính (gần đúng) sản lượng điện mỗi turbine cung cấp cung cấp cho lưới hàng năm? Tính theo ρ thực tế!
- Tính tốc độ gió định mức nếu hiệu suất biến đổi gió-điện ở định mức là 33%?
Nhận xét tốc độ định mức và sản lượng nếu chọn đường kính lớn hơn?
- Tính lại sản lượng điện và doanh thu nếu nhà máy có 64 turbine bố trí dang lưới vuông, các turbine cách nhau 8 lần đường kính? Biết giá bán điện là 2000 đồng/kWh? **Nhận xét về tổng diện tích mặt biển lắp đặt?**
- Tính diện tích lắp đặt câu d, chi phí đầu tư và thời gian hoàn vốn? Suất đầu tư 1,5 USD x 23 000 đ/W. **Bỏ qua chi phí thuê biển và vận hành.**
- Tính hiệu suất gió-điện trung bình của trang trại? Nhận xét?

Hệ thống năng lượng xanh

203

203

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió

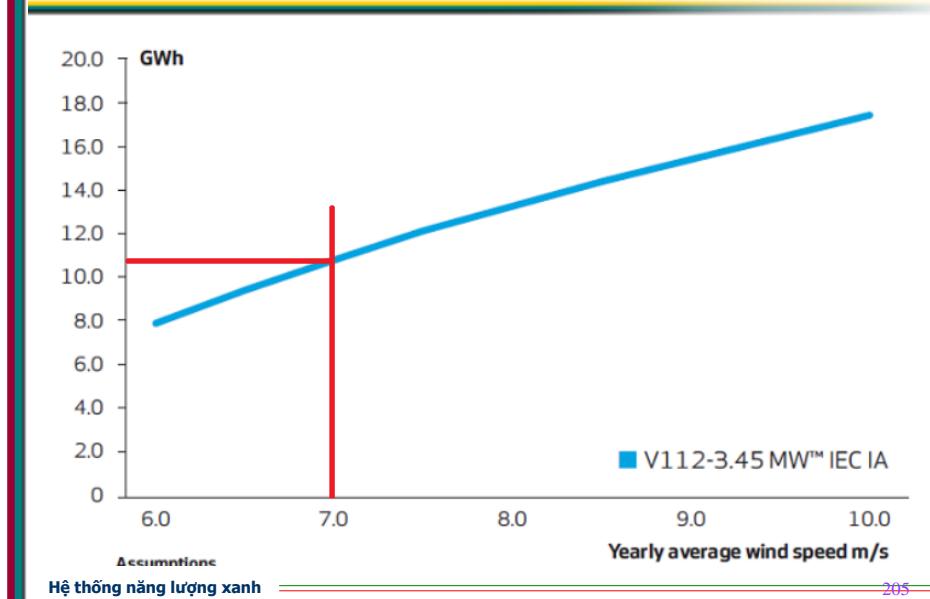
The screenshot shows the Vestas website with the URL vestas.com/en/products/4-mw-platform/v117-3_45_mw. The page displays the V117-3.45 MW model under the 4 MW Platform. The V117-3.45 MW model is highlighted with a red box. Other models listed include V162-6.0 MW™, V155-3.3 MW™, V126-3.45 MW™, V120-2.2 MW™, Project Planning; V150-6.0 MW™, V150-4.2 MW™, V117-4.2 MW™, V110-2.0 MW™, Turbine Options & Solutions; V136-4.2 MW™, V117-3.45 MW™, V100-2.0 MW™, Construction & Installation; V136-3.45 MW™, V112-3.45 MW™, V90-2.0 MW™, Hybrid Power Plant Solutions; and V105-3.45 MW™.

Hệ thống năng lượng xanh

204

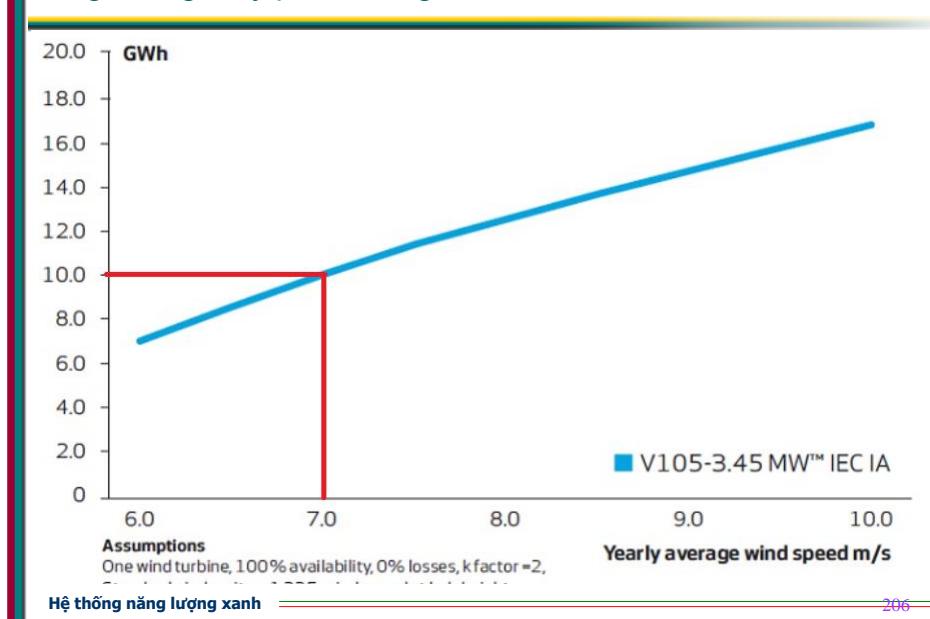
204

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió



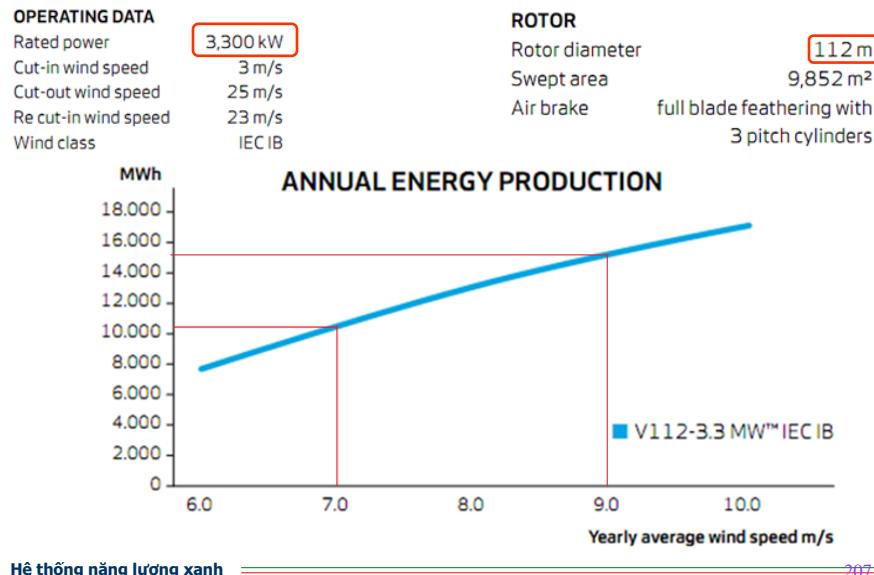
205

Sử dụng hệ số khả năng CF (Capacity Factor) để ước lượng năng lượng máy phát điện gió



206

Thiết kế lại nhà máy gió ở Bạc Liêu,
chon turbine 3,3MW này lắp đặt ở độ cao 100m?

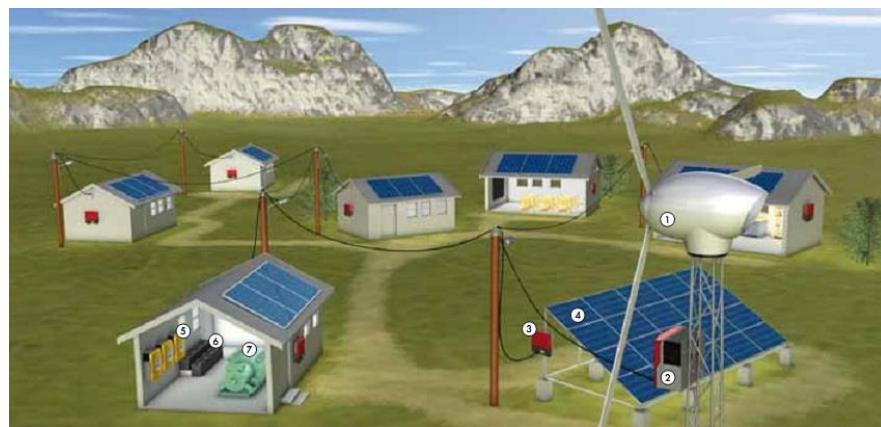


Hệ thống năng lượng xanh

207

207

11. Tính toán kinh tế máy phát điện dùng sức gió



Hệ thống năng lượng xanh

208

208

Tính toán kinh tế máy phát điện dùng sức gió



Hệ thống năng lượng xanh

209

209

Tính toán kinh tế máy phát điện dùng sức gió

Hệ thống năng lượng xanh

210

210

Tính toán theo chi phí đầu tư và chi phí vốn vay phải trả hàng năm

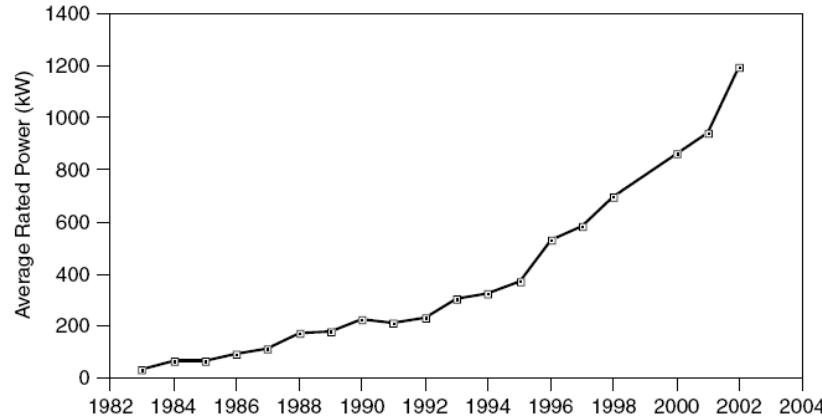


Figure 6.41 Average rated power of new wind turbines manufactured in Denmark (www.windpower.dk).

Tính toán theo chi phí đầu tư và chi phí vốn vay phải trả hàng năm

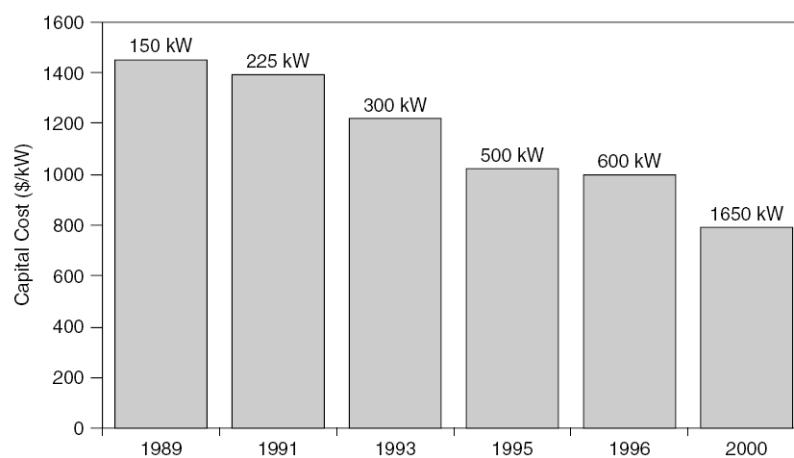


Figure 6.42 Capital costs of wind systems including turbine, tower, grid connection, site preparation, controls, and land. The 2000 cost is based on a wind farm rather than a single turbine. From Redlinger (1999) and AWEA.

Tính toán theo chi phí đầu tư và chi phí vốn vay phải trả hàng năm

TABLE 6.8 An Example Cost Analysis for a 60-MW Wind Park

Capital Costs	Amount (\$)	Percentage
40 1.5-MW turbines @ \$1.1 M, spare parts	46,640,000	76.6
Site prep, grid connections	9,148,000	15.0
Interest during construction, contingencies	3,514,000	5.8
Project development, feasibility study	965,000	1.6
Engineering	611,000	1.0
Total Capital Cost	60,878,000	100.0
Annual Costs	Amount (\$/yr)	Percentage
Parts and labor	1,381,000	70.3
Insurance	135,000	6.9
Contingencies	100,000	5.1
Land lease	90,000	4.6
Property taxes	68,000	3.5
Transmission line maintenance	80,000	4.1
General and miscellaneous	111,000	5.6
Total Annual Costs	1,965,000	100.0

Source: Ministry of Natural Resources, Canada.

Xác định chi phí hàng năm của điện năng cấp từ máy phát điện gió

$$A = P \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = P \cdot \text{CRF}(i, n)$$

$$\text{CRF}(i, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Ví Dụ 6.18: Tính khoản vốn vay A phải trả hàng năm của một dự án máy phát gió

Khảo sát turbine gió 900-W Whisper H900 với đường kính cánh quạt 7ft (2.13m) có giá \$1600. Lắp đặt xong, chi phí tổng cộng là \$2500, thời gian hoàn vốn là 15 năm với lãi suất 7%. Xem phí O&M là \$100/năm. Hãy ước tính phí theo kWh trong thời gian 15 năm, biết vận tốc gió trung bình là 15 mph (6.7m/giây).

Xác định chi phí hàng năm của điện năng cấp từ máy phát điện gió

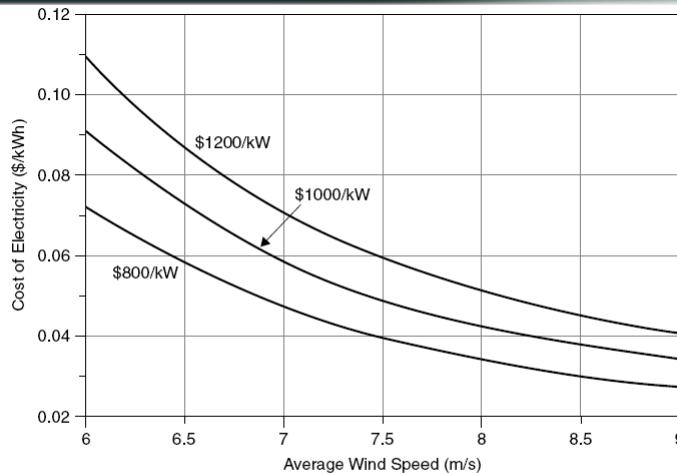


Figure 6.43 Sensitivity analysis of the levelized cost of a 1500-kW, 64-m wind turbine using (6.65) for capacity factor. Levelized O&M is 3% of capital cost, financing is 7%, 20 years. Depreciation, taxes, and government incentives are not included in this analysis.

Hệ thống năng lượng xanh

215

215

Xác định chi phí hàng năm của điện năng cấp từ máy phát điện gió

Ví Dụ 6.19: Xác định giá điện của một nông trang gió

Dự án nông trang gió lắp đặt 40 máy phát gió (1500-kW turbines với cánh rotor 64-m). Vốn đầu tư dự kiến 60 triệu USD với suất O&M là 1.8 triệu USD/năm. Dự án dùng khoản vay 45 triệu USD, lãi suất 7% trong 20 năm, cùng nguồn vốn 15 triệu USD cần mức hoàn vốn 15%. Vận tốc gió trung bình 8.5m/s và theo phân bố Rayleigh. Tính giá thành điện cần có để dự án đạt tính cạnh tranh và khả thi.

Hệ thống năng lượng xanh

216

216

Xác định chi phí hàng năm của điện năng cấp từ máy phát điện gió

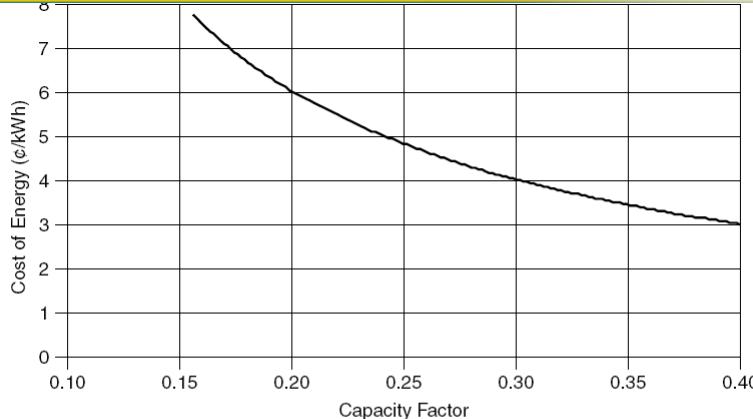


Figure 6.44 Cost of energy from a \$1000/ kW, 50-MW windfarm including PTC, depreciation, financing charges, and tax implications (O&M 1¢/kWh, inflation 2.3%, 60% equity with return 15%, debt interest 5%, income tax rate 40.7%, PTC 1.8¢/kWh for 10 yrs, CEC 5-yr incentive 0.75/kWh, discount rate 5%, MACRS 5-yr depreciation, property taxes 1.1%). Based on Bolinger et al. (2001).

Hệ thống năng lượng xanh

217

217

Bài tập

Trên **mặt đất bằng phẳng** ở Ninh Thuận cao 10m so với mặt biển, khi khảo sát năng lượng gió ở độ cao **50m** so với mặt đất, tốc độ gió trung bình là **6,7m/s**, phân bố theo hàm Reyleigh. Tại vị trí này, ở độ cao **90m** so với mặt đất, lắp đặt một turbine gió có đường kính cánh quạt **100m**, máy phát điện **2MW**, khởi động ở tốc độ gió 3m/s, và có đồ thị sản lượng như hình sau. Khi nhiệt độ môi trường là **28°C**:

- Tính tốc độ gió trung bình ở độ cao lắp đặt turbine và công suất đón gió trung bình? (3 đ)
- Từ đồ thị trên, ước tính sản lượng điện năng turbine gió cấp lên lưới điện trong một năm và hệ số khả năng CF? So sánh với CF ước tính từ phương trình $CF = 0.087 V_{tb} - (P_{dm}/D^2)$, và cho nhận xét. (3 đ)
- Ước tính thời gian mỗi năm (có thể xếp lịch bảo dưỡng khí) turbine dừng làm việc do tốc độ gió quá thấp? (2 đ)
- Biết nhà máy có 12 turbine, hệ số mảng là **0,9**, chi phí đầu tư là **1100** tỷ đồng, lãi suất vay ưu đãi 0%, chi phí vận hành là **10** tỷ đồng/năm, giá bán điện là **2000** đ/kWh? Ước tính thời gian hoàn vốn? (2 đ)

Biết ở tốc độ gió trung bình 7,1m/s cho sản lượng 7800 MWh/năm.

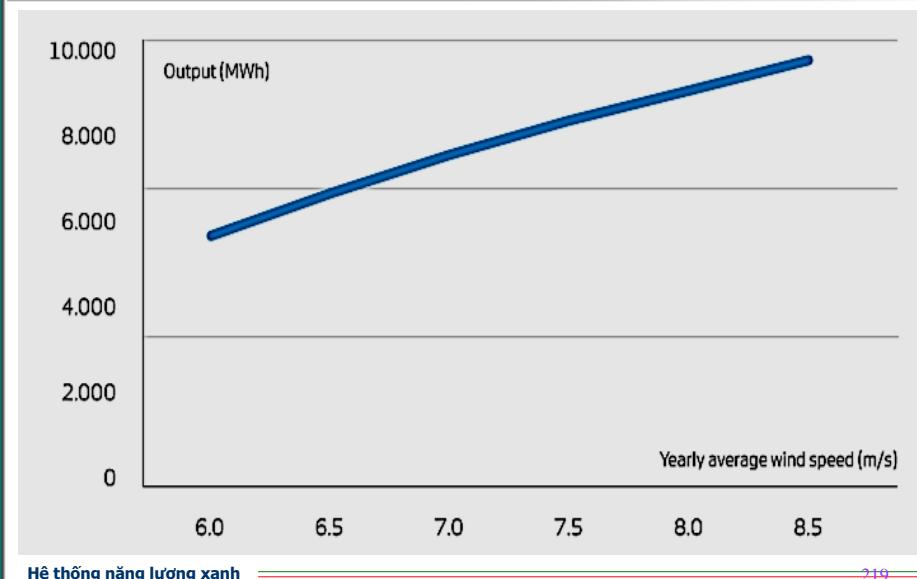
Hệ thống năng lượng xanh

218

218

Bài tập

Biết ở tốc độ gió trung bình **7,1m/s** cho sản lượng **7800 MWh/năm**.



219

12. Tác động môi trường của máy phát điện gió

220

Tài liệu tham khảo

1. Gilbert M. Masters, "Renewable and Efficient Electric -Power Systems" -JOHN WILEY & SONS, 2004.

Hệ thống năng lượng xanh

221

221

Trần Công Bình

GV ĐH Bách Khoa TP.HCM

Phone: 0908 468 100

Email: tcbinh@hcmut.edu.vn
binhtc@yahoo.com

Website: www4.hcmut.edu.vn/~tcbinh



222

222