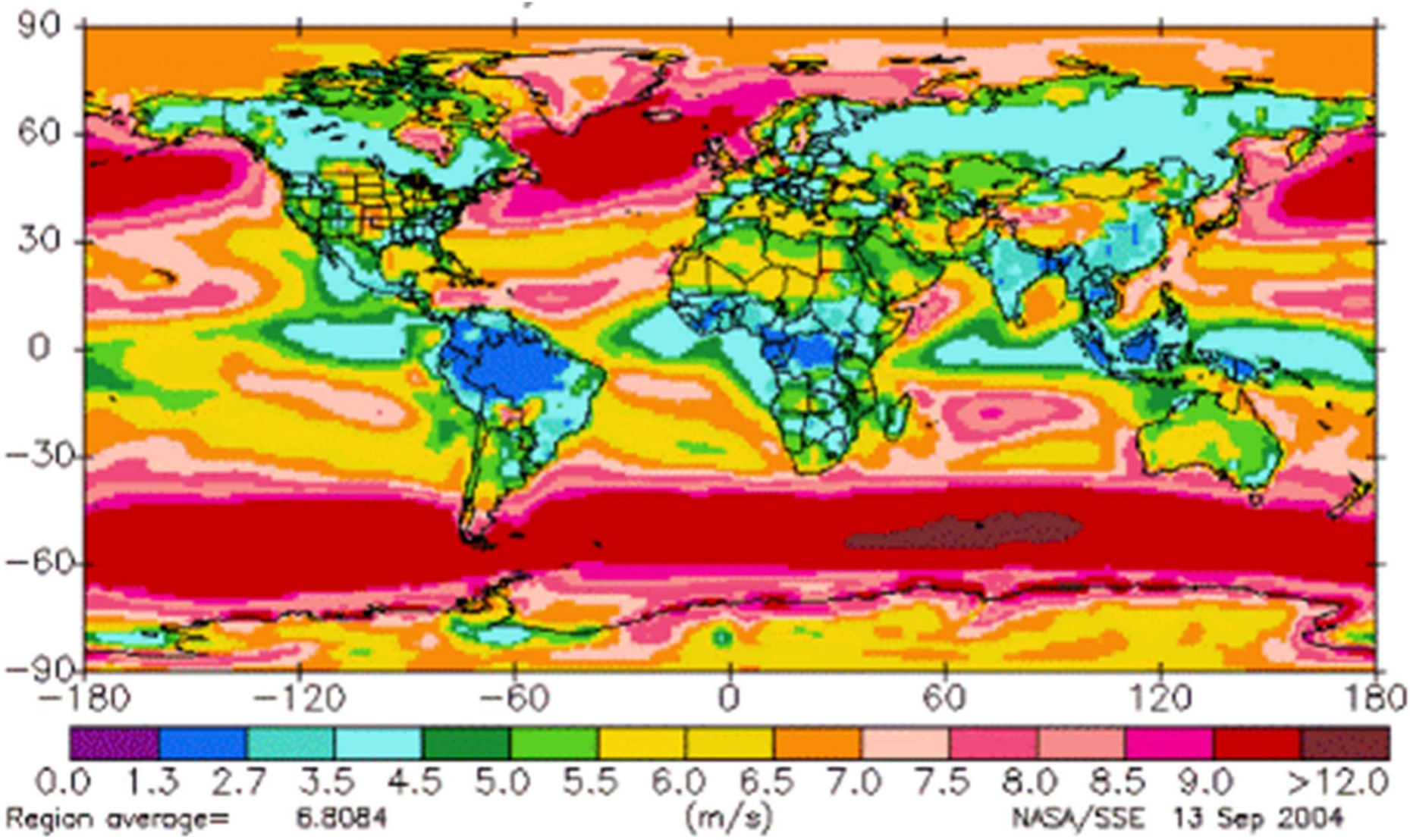
Eksploatacja systemów energetyki wiatrowej

dr inż. Kinga Turoń
AGH Kraków

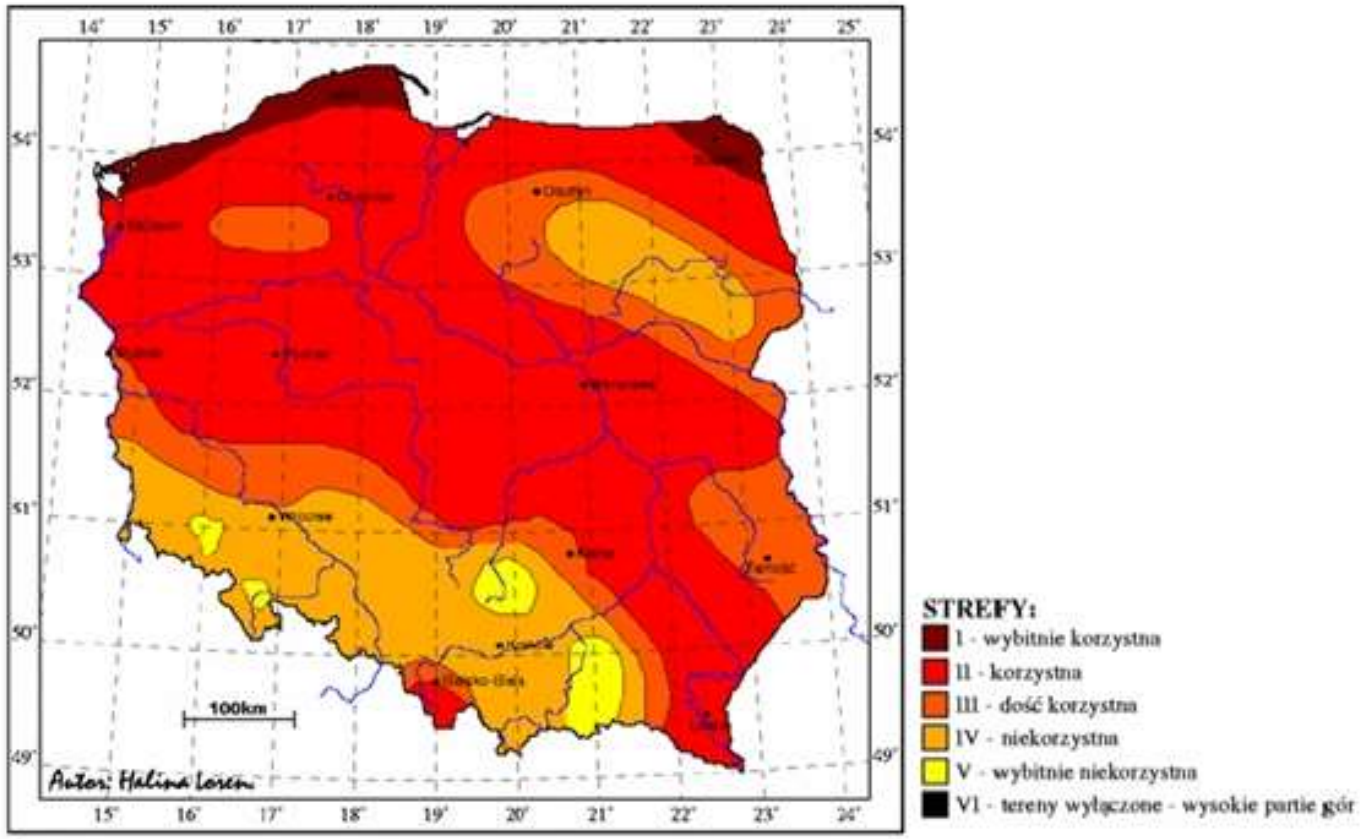
Co to jest WIATR?

Wiatr jest zjawiskiem przemieszczania się mas powietrza, zazwyczaj od wyższego do niższego ciśnienia. Różnica ciśnień jest spowodowana różnicą temperatur, wynikającą ze zróżnicowania tempa nagrzewania różnych powierzchni przez promieniowanie słoneczne.

Zasoby wiatru na świecie

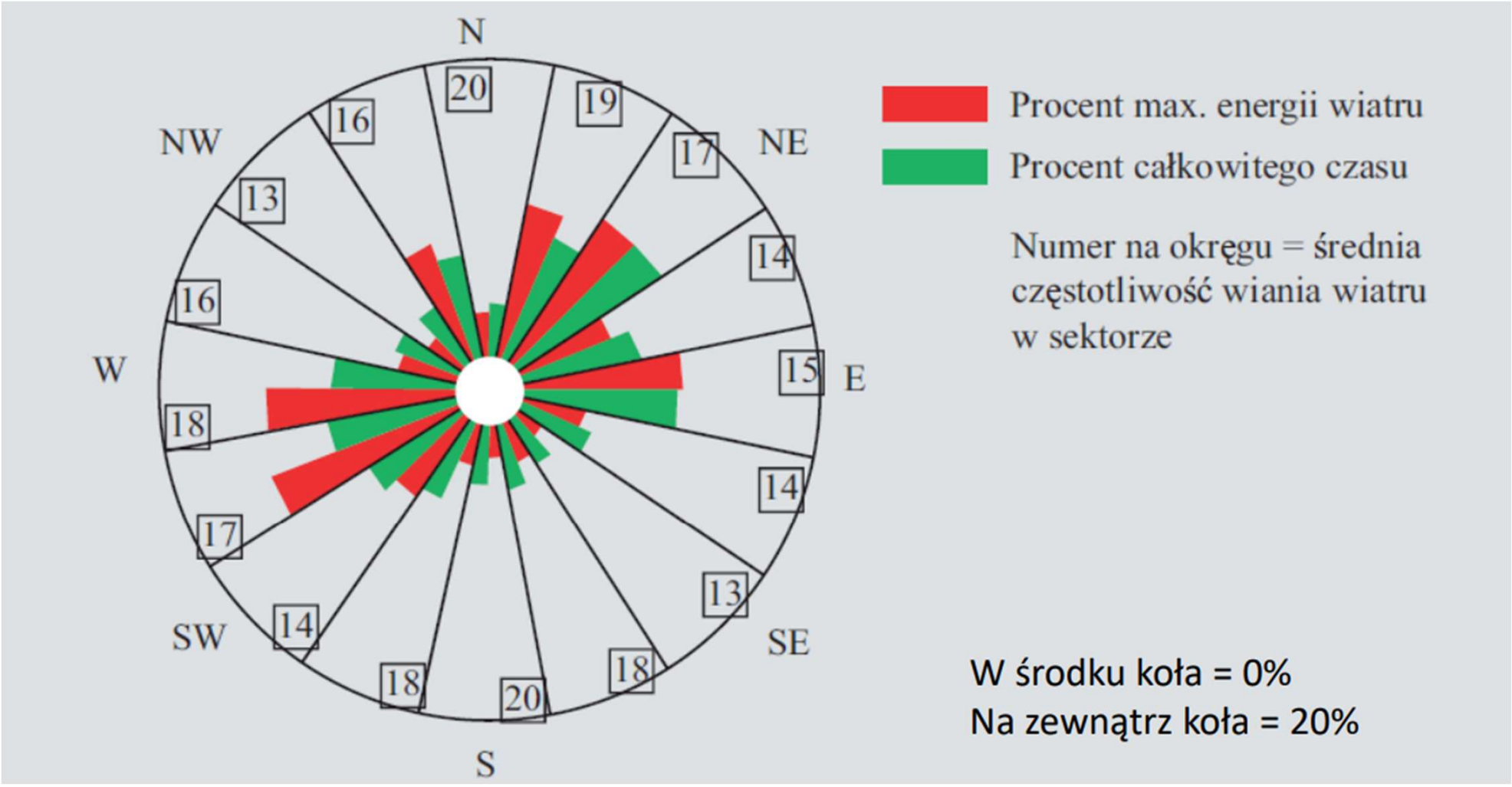


Zasoby wiatru w Polsce



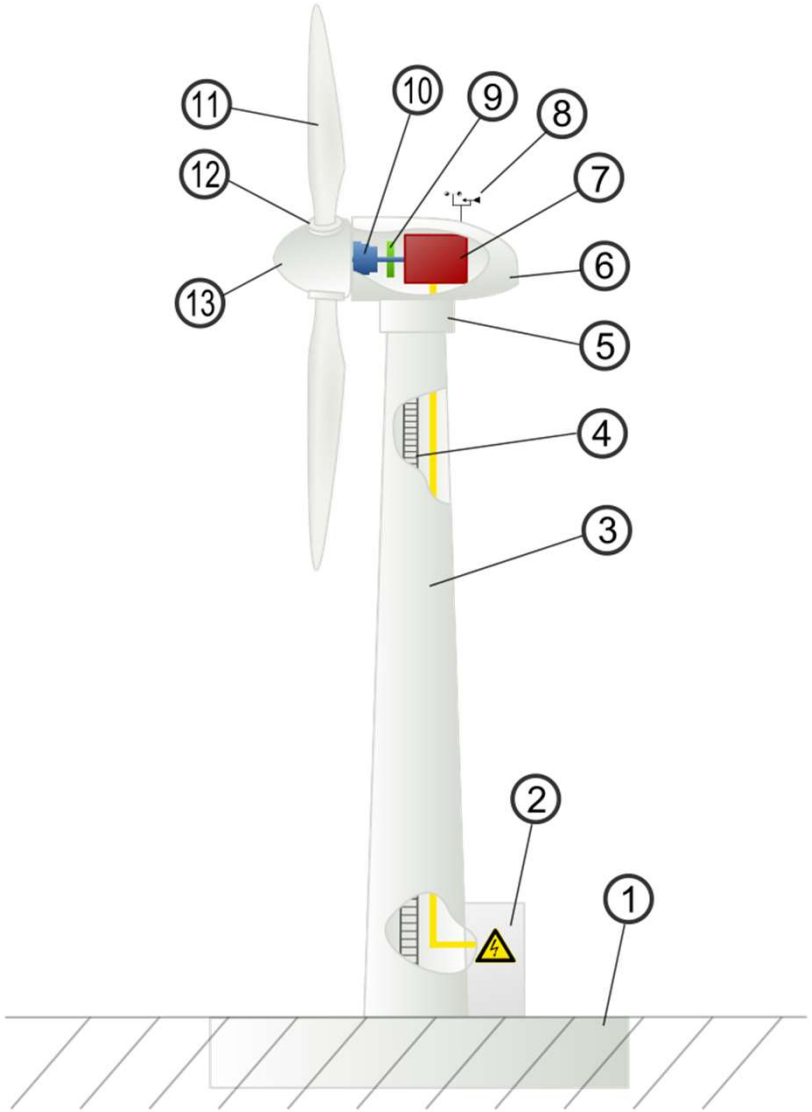
Nr i nazwa strefy	*Energia wiatru na wys. 10 m*	*Energia wiatru na wys. 30 m*
I - bardzo korzystna	> 1000	> 1500
II - korzystna	750 - 1000	1000 - 1500
III - dość korzystna	500 - 750	750 - 1000
IV - niekorzystna	250 - 500	500 - 750
V - bardzo niekorzystna	< 250	< 500
VI – szczytowe partie gór	tereny wyłączone	tereny wyłączone

Zasoby wiatru



Róża wiatrów

Turbiny wiatrowe

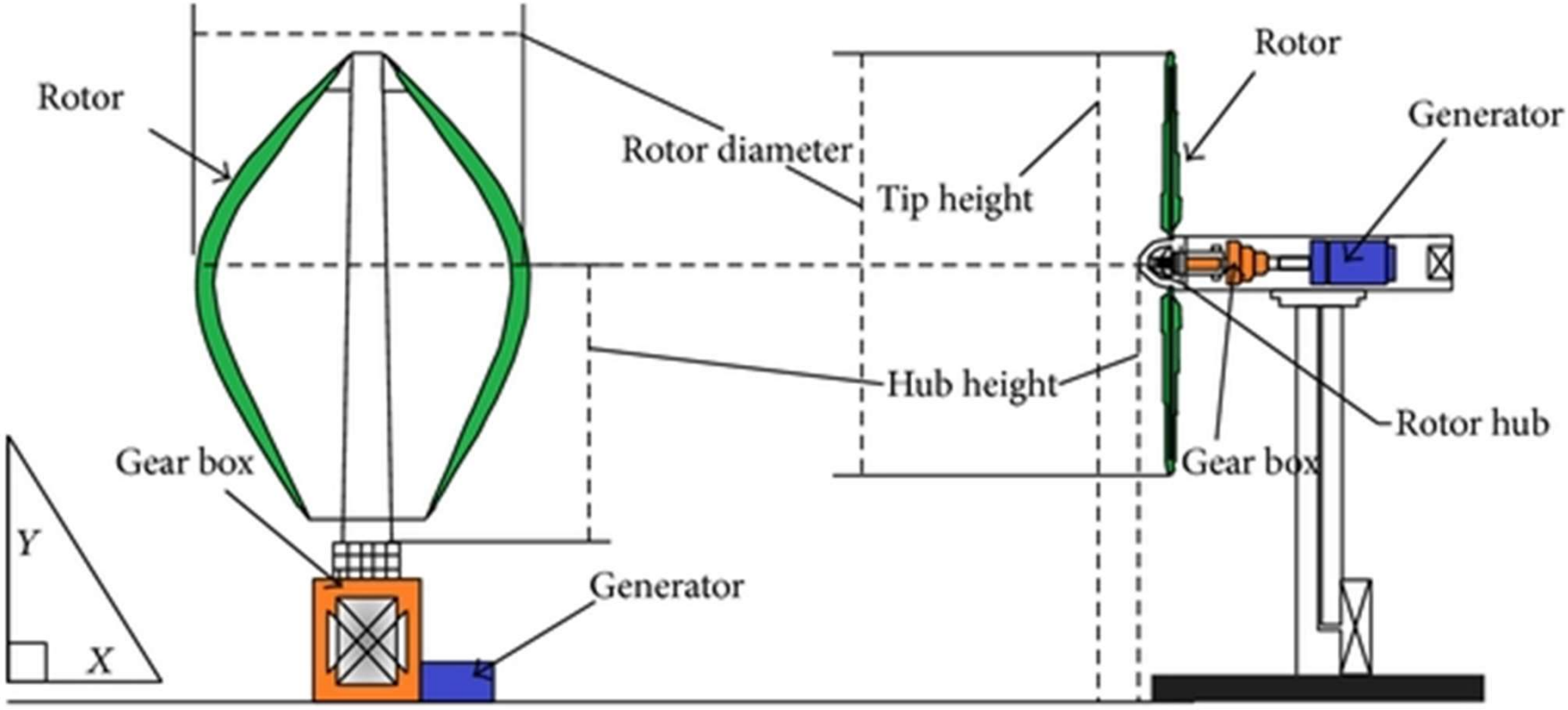


Budowa turbiny:

1. Fundament
2. Wyjście do sieci elektroenergetycznej
3. Wieża
4. Drabinka wejściowa
5. Serwomechanizm kierunkowania elektrowni
6. Gondola
7. Generator
8. Wiatromierz
9. Hamulec postojowy
10. Skrzynia przekładniowa
11. Łopata wirnika
12. Siłownik mechanizmu przestawiania łopat
13. Piasta

Rodzaje turbin

Podział ze względu na oś obrotu:



Rodzaje turbin

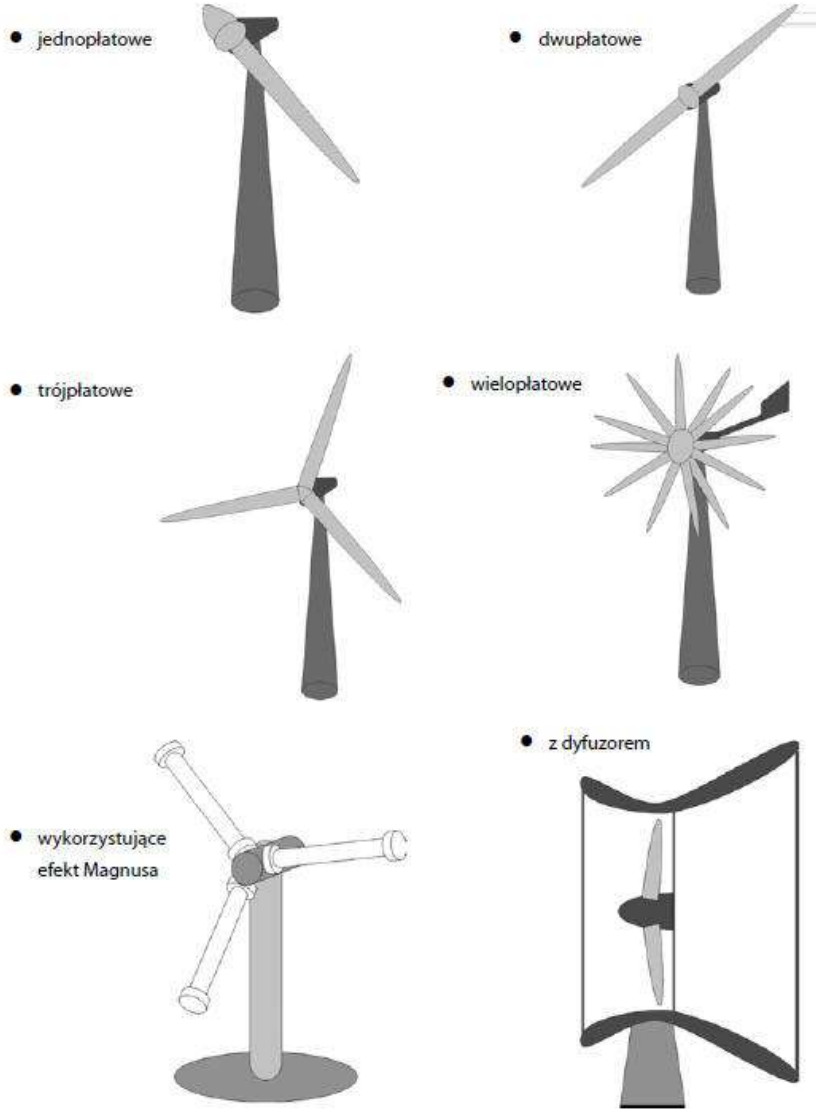
Podział ze względu na moc:

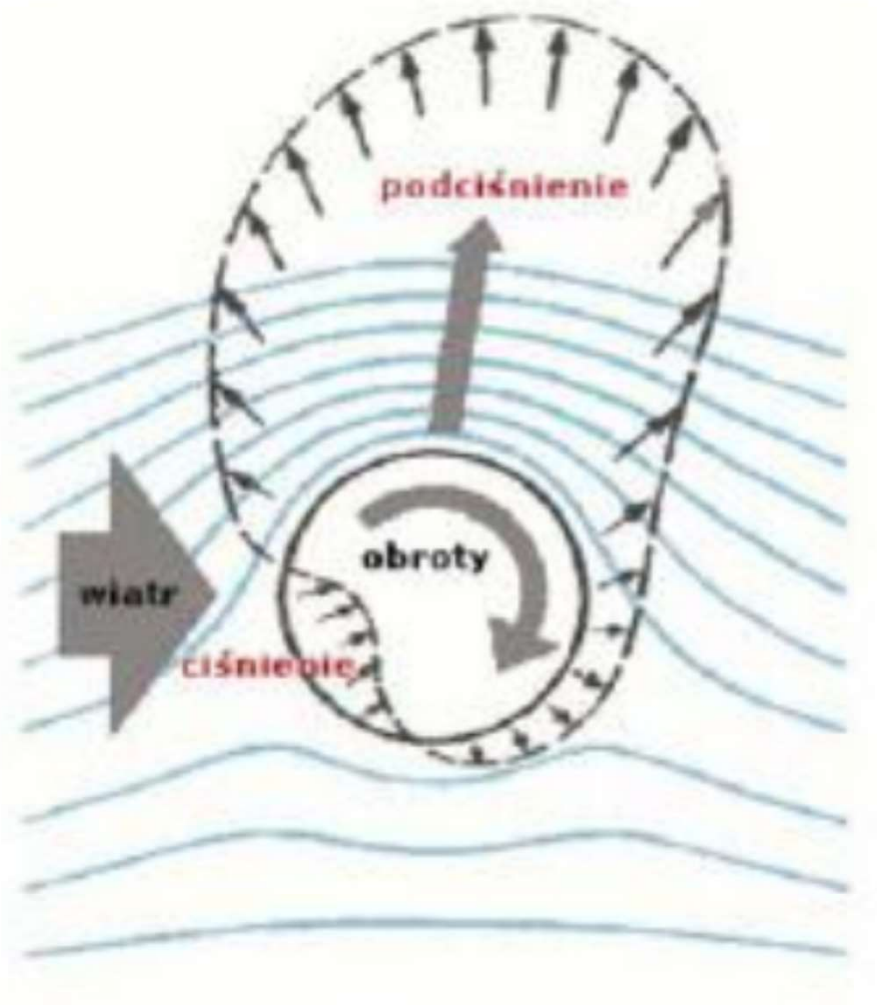
- Mikroelektrownie – do 100 W
- Małe elektrownie – 100 W do 50 kW
- Duże elektrownie – w praktyce o mocy powyżej 100 kW

Rodzaje turbin

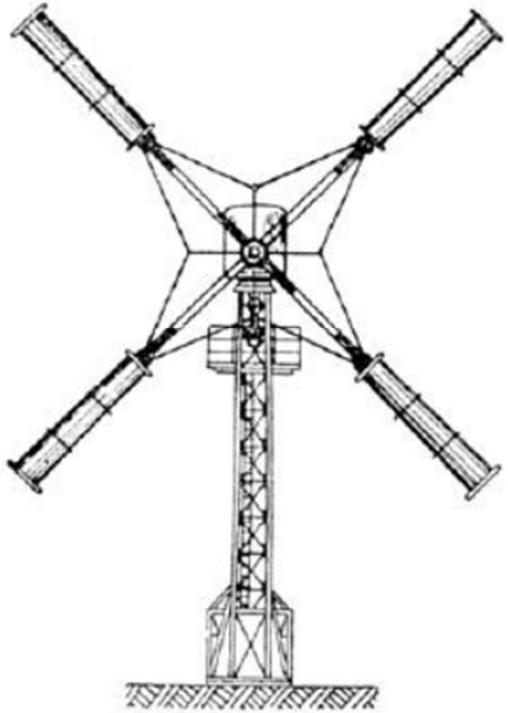
Podział ze względu na ilość łopat:

- Jednołopatowe
- Dwułopatowe
- Trójłopatowe
- Wielołopatowe
- wykorzystujące efekt Magnusa
- z dyfuzorem

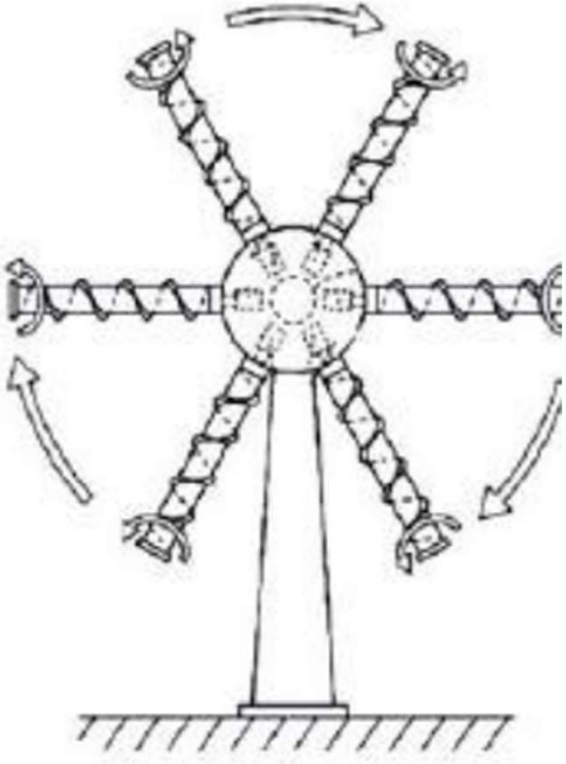




Rotor Magnusa. Opływ dookoła wirującego walca

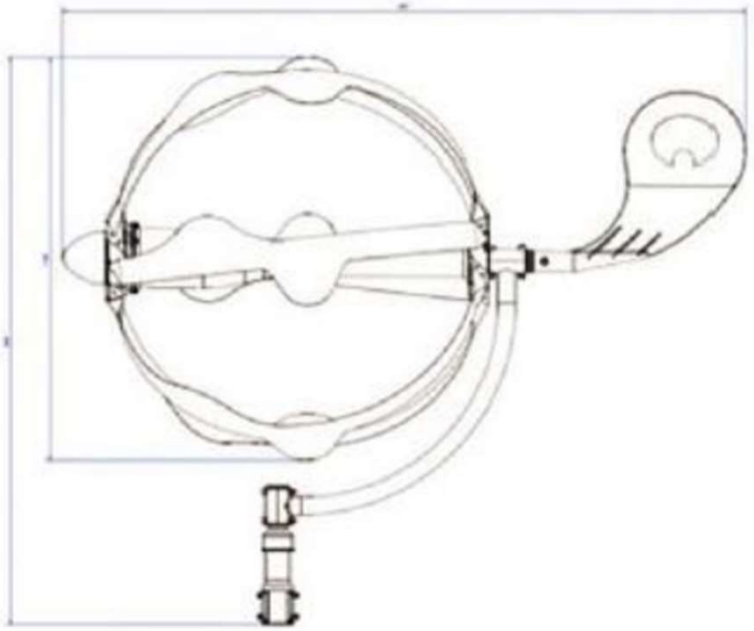


Rys.23. Wiatrak Flettnera



Rys.24. Siłownie wiatrowe wykorzystujące efekt Magnus'a:
a) ACOWIND A-63,
b) Mekaro Akita Co Ltd. (Japonia)

Turbina wiatrowa tzw. Energy Ball



Rodzaje turbin

- wolnobieżne, średniobieżne i szybkobieżne
- budowa generatora - przekładniowe, bezprzekładniowe
- off-shore, on-shore
- siłownie energetyczne i mechaniczne
- dowietrzne (up-wind), odwietrzne (down-wind)

Rodzaje turbin

Turbiny o pionowej osi obrotu

Trubiny pionowej osi obrotu, od lewej: wirnik Darrieus, Darrieus typ H, Darrieus helix, Darrieus plus Savonius, Hybryda Darrieus Savonius zwany również turbiną świderkową.

Montaż elektrowni wiatrowej

Dobór elektrowni wiatrowej

W pierwszej kolejności należy zastanowić się nad sposobem wykorzystania energii wytworzonej przez turbinę wiatrową.

- energia mechaniczna
- energia elektryczna:
  - prąd stały
  - prąd zmienny

Dobór elektrowni wiatrowej

Kolejnym aspektem doboru jest usytuowanie elektrowni oraz przeznaczenie wyprodukowanej energii, co determinuje typ turbiny wiatrowej.

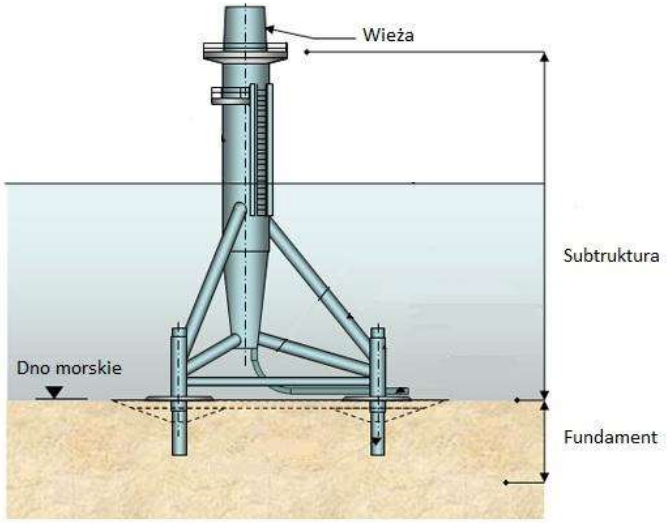
- turbiny o pionowej osi obrotu
- turbiny o poziomej osi obrotu

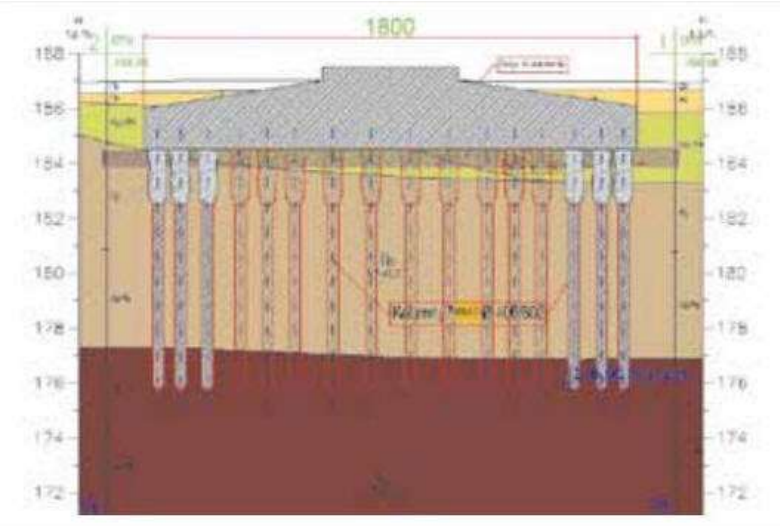
W zależności od zapotrzebowania na energię zamontujemy zaś instalację o większej lub mniejszej mocy.

Budowa dużej elektrowni wiatrowej

-fundament

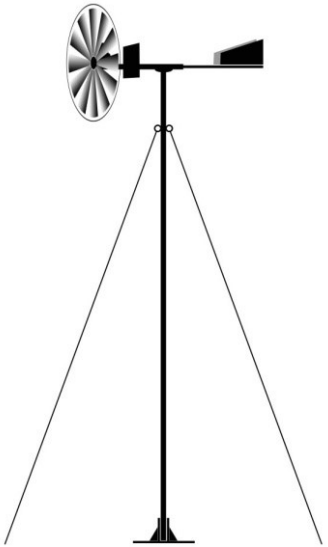
- wieża
- gondola

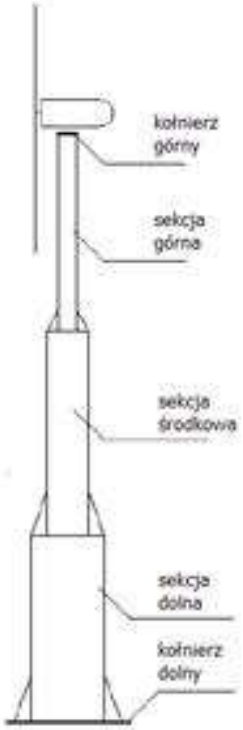


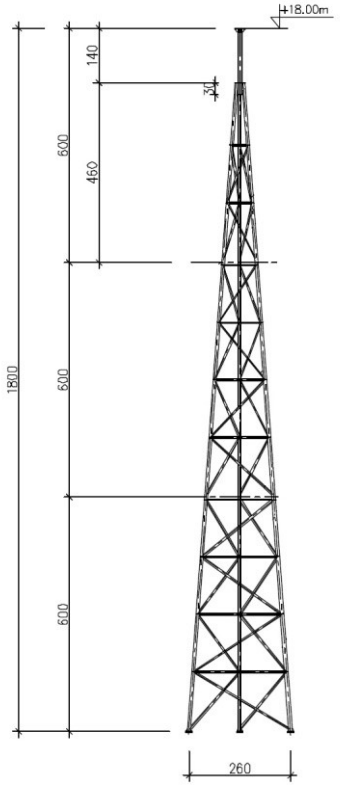


Budowa dużej elektrowni wiatrowej

- fundament
- **wieża**
- gondola

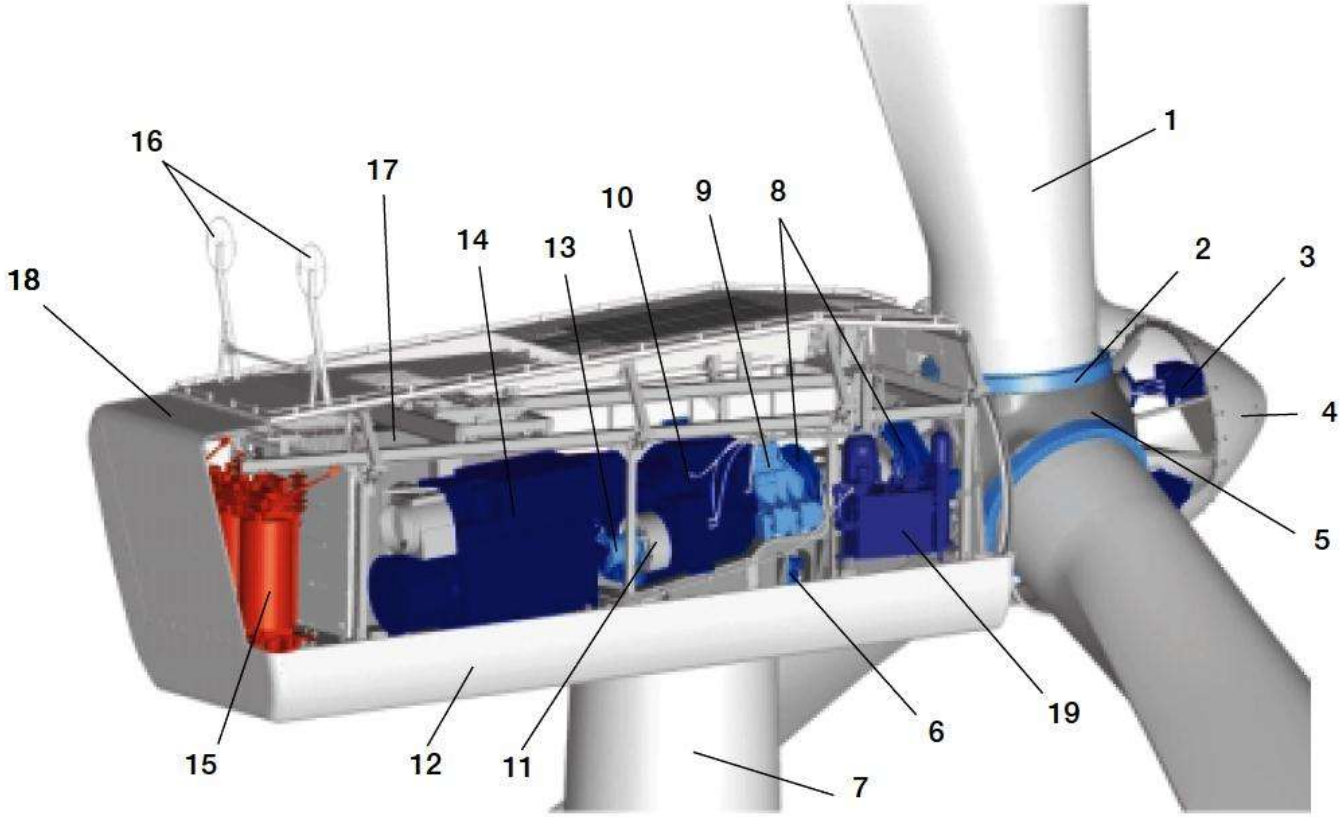






Budowa dużej elektrowni wiatrowej

- fundament
- wieża
- **gondola**

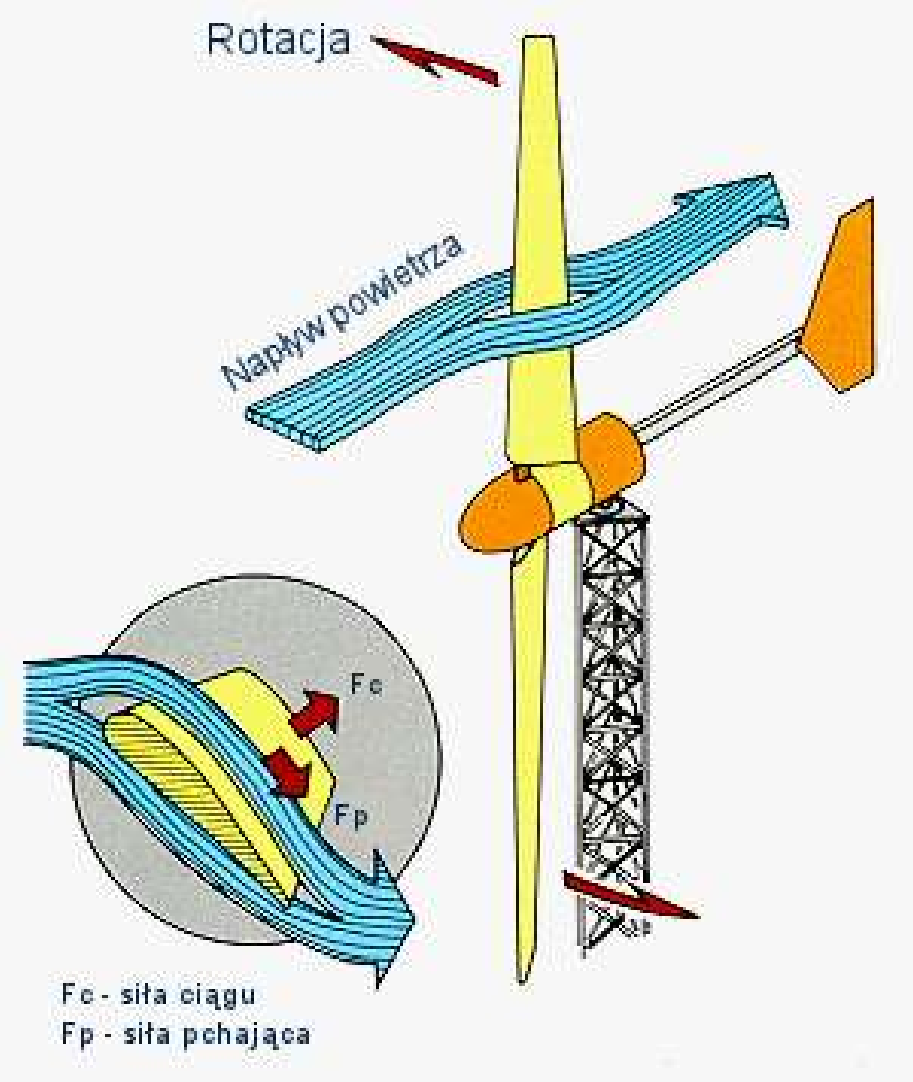


1. łopata
2. łożysko łopaty
3. siłownik hydrauliczny
4. pokrywa piasty
5. piasta
6. kontroler zbaczania z kursu
7. wieża
8. łożyska
9. wał skrzyni przekładniowej
10. skrzynia przekładniowa
11. główny hamulec tarczowy
12. rama nośna gondoli
13. wał
14. podwójnie zasilany generator
15. transformator
16. anemometr i wiatromierz
17. górny kontroler
18. pokrywa gondoli
19. agregat hydrauliczny

Parametry wpływające na pracę elektrowni wiatrowej

Wpływ prędkości wiatru na jego moc

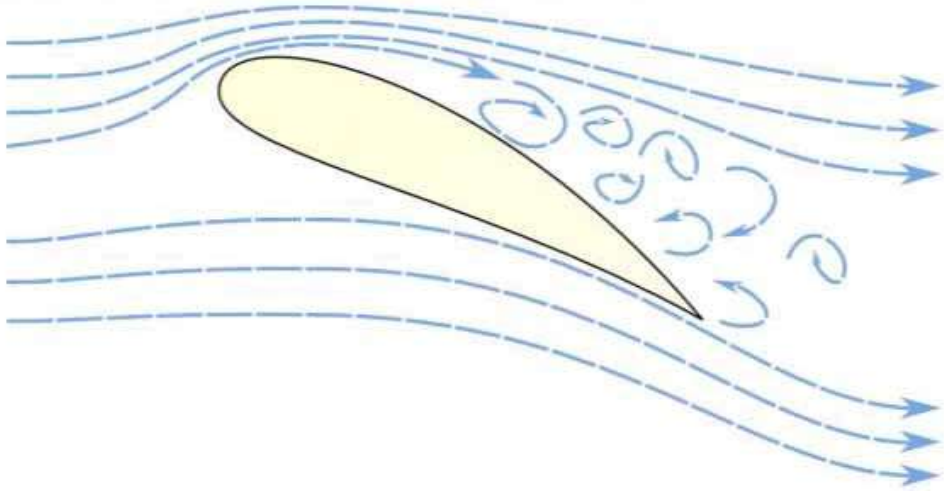
Siła nośna



Powietrze opływające górną część skrzydła ma większą drogę do pokonania, a więc porusza się szybciej, dzięki czemu ciśnienie jest mniejsze niż na dolnej części skrzydła. Przy zbyt dużym koncie natarcia następuje tzw. przeciągnięcie

Przeciągnięcie

Jest to zjawisko nagłego spadku wartości siły nośnej i wzrostu wartości siły oporu. Spowodowane jest przekroczeniem krytycznego kąta natarcia lub zbyt małą prędkością lotu.



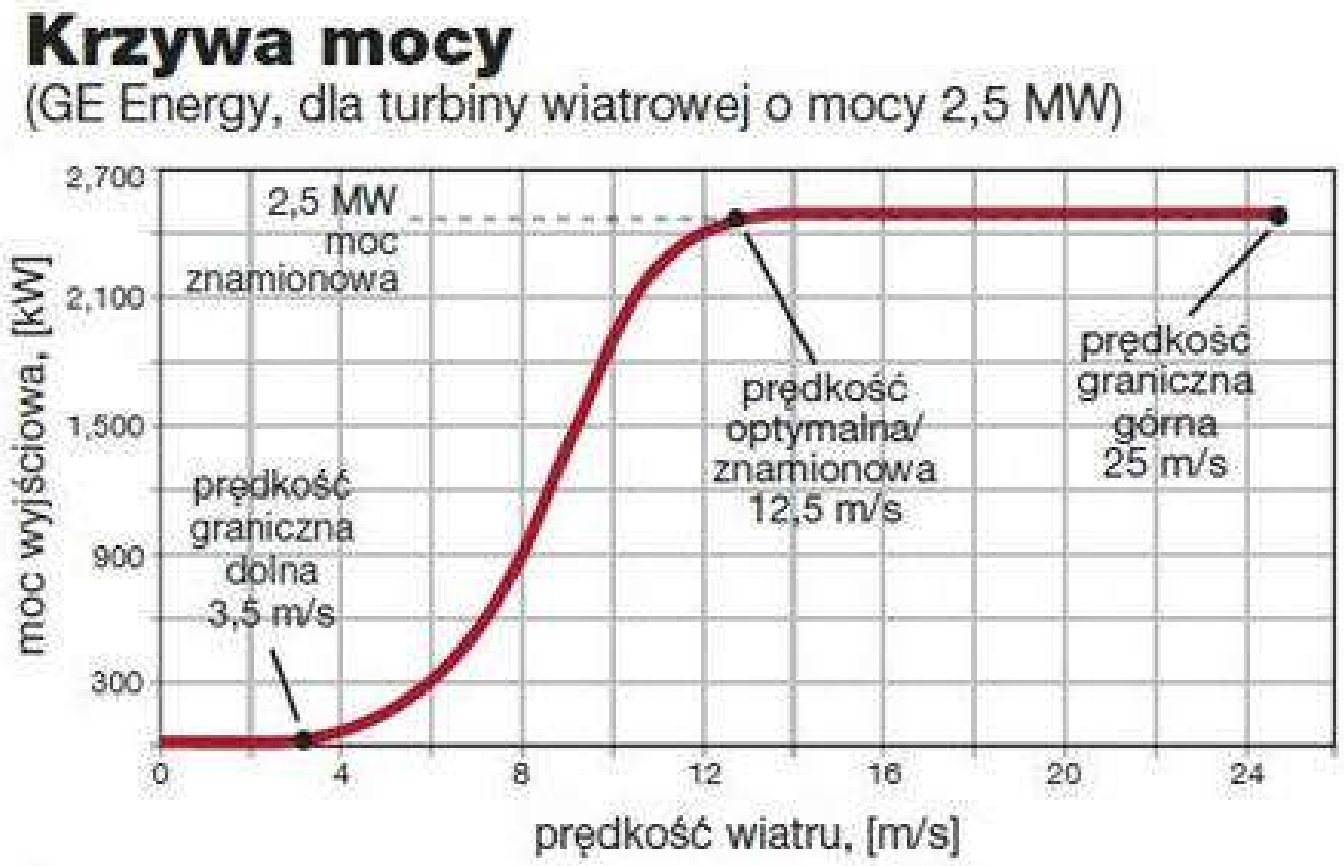
Siła nośna

Wartość siły nośnej F_z zależy od powierzchni skrzydła A, gęstości powietrza ρ, współczynnika kształtu C_z, oraz prędkości V

$$F_z = 0{,}5 \cdot A \cdot \rho \cdot C_z \cdot V^2$$

Współczynnik kształtu dla łopat wirnika waha się w granicach 1,3 – 1,7

Krzywa mocy



Źródło: Control Engineering Polska

▲ *Wykresy energetyczne turbin pokazują zależność mocy wyjściowej turbiny od prędkości napędzającego ją wiatru. Na rysunku widoczna jest przykładowa krzywa dla turbiny 2,5 MW firmy GE Energy*

Roczny uzysk energii elektrowni wiatrowej w instalacjach różnych wielkości przy różnych prędkościach wiatru na wysokości osi wirnika

Wielkość instalacji		Roczny uzysk energii w MWh				
wirnik	moc	$V = 5$ m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s
30 m	200 kW	320	500	670	820	950
40 m	500 kW	610	970	1360	1730	2050
55 m	1000 kW	1150	1840	2570	3280	3920
65 m	1500 kW	1520	2600	3750	4860	5860
80 m	2500 kW	2380	4030	5830	7700	9220
120 m	5000 kW	5300	9000	13 000	17 000	20 000

$$E_T = 8760 \cdot \sum_{v=0}^{v=25} P_T(v) \cdot f(v) \quad [\text{kWh}]$$

gdzie

E_T – energia wiatru [kWh];

$P_T(v)$ – moc turbiny funkcji prędkości wiatru [kW];

$f(v)$ – rozkład gęstości energii funkcji prędkości wiatru [kWh/m2].

Krzywa sprawności turbiny
Prawo Betz'a

Załóżmy, że średnia prędkość wiatru przechodzącego przez obszar wirnika jest średnią prędkością niezakłóconego wiatru przed wirnikiem v_1 i prędkości wiatru po przejściu przez wirnik v_2, czyli $(v_1+v_2)/2$. Masa powietrza płynącego przez wirnik w czasie jednej sekundy wynosi:

$$\mathbf{m=\rho F(v1+v2)/2}$$

gdzie:

m – masa na sekundę

ρ – gęstość powietrza

F – powierzchnia zakreślana przez wirnik

$(v_1+v_2)/2$ – średnia prędkość wiatru przechodzącego przez wirnik

Zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona, moc odbierana od wiatru przez wirnik:

$$P = {}^{1}/_{2}\, m\, (v_1^2 - v_2^2)$$

Podstawiając za masę wyrażenie z poprzedniego równania otrzymamy:

$$P = {}^{\rho}/_{4}\, (v_1^2 - v_2^2)\, (v_1 + v_2)\, F$$

Dla porównania, moc niezakłóconego przepływu powietrza przez taką samą powierzchnię F wynosi:

$$P_o = {}^{\rho}/_{2}\, V_1^3\, F$$

Stosunek mocy odbieranej przez wirnik do całkowitej mocy wiatru P/Po osiąga maksimum równe 0,593 dla v1/v2 =1/3. Oznacza to, że idealna turbina wiatrowa spowalnia wiatr do 1/3 jego pierwotnej wartości i odzyskuje 59% energii w nim zawartej. Jest to jednocześnie maksymalna, możliwa do osiągnięcia sprawność turbiny wiatrowej. W praktyce siłownie wiatrowe osiągają sprawność 35 – 40%.

Wpływ wysokości oraz ukształtowania terenu na prędkość wiatru wzór Sutona

$$V_h = V_o (h/h_o)^{\alpha}$$

gdzie:

V_h – prędkość obliczona na wysokości h [m/s]

V_o – prędkość zmierzona na wysokości ho [m/s]

h – wysokość dla której oblicza się prędkość Vh [m]

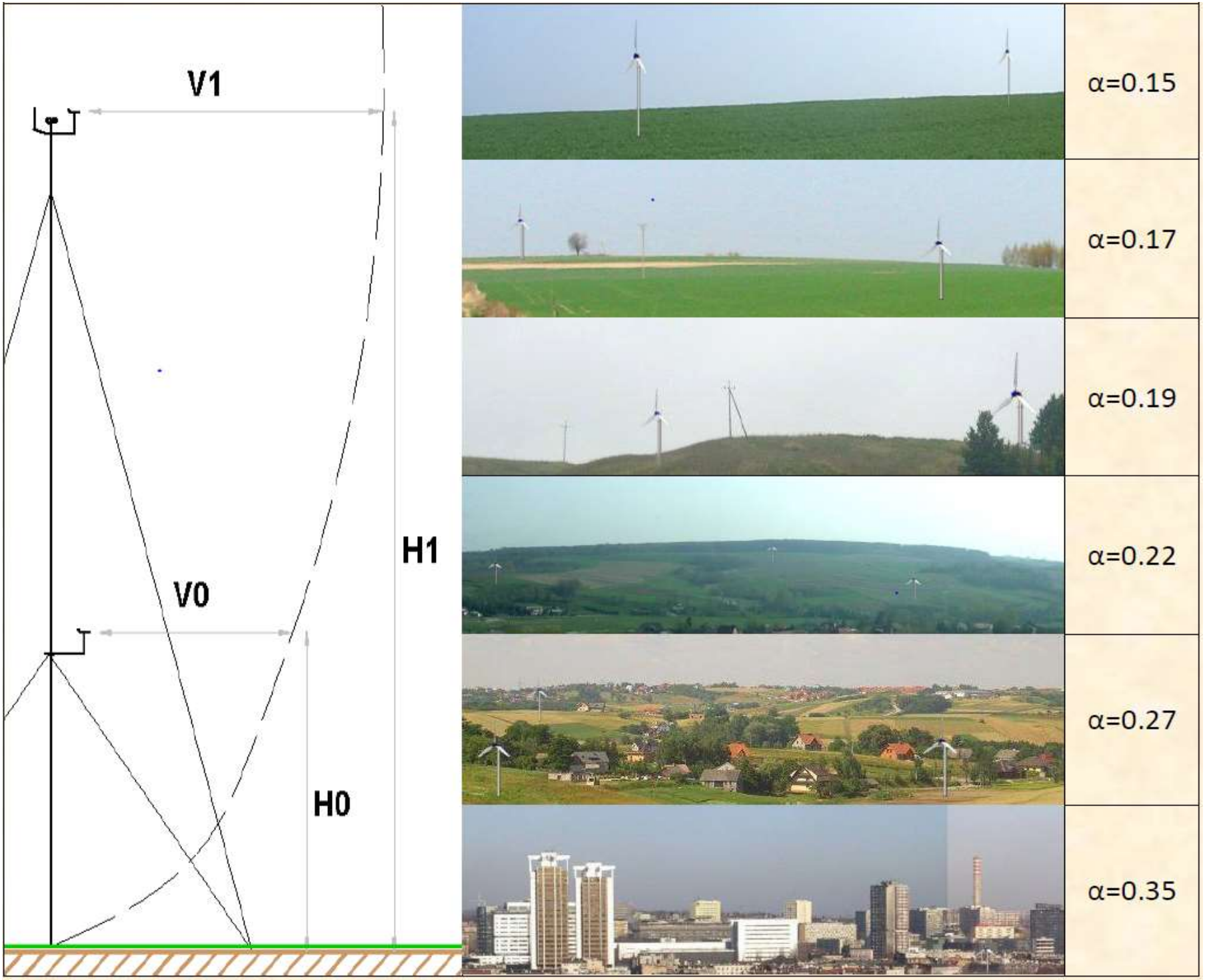
h_o – wysokość usytuowania wiatromierza [m]

α – wykładnik potęgowy

Klasy szorstkości terenu

Klasa szorstkości terenu	Współczynnik szorstkości K	Wykładnik potęgowy α	Opis terenu
0	0,005	0,150	Teren płaski otwarty, na którym wysokość nierówności jest mniejsza od 0,5 m
1	0,007	0,165	Teren płaski otwarty lub nieznacznie pofalowany. Mogą występować pojedyncze zabudowania lub drzewa w dużych odległościach od siebie
2	0,010	0,190	Teren płaski lub pofalowany z otwartymi dużymi przestrzeniami. Mogą występować grupy drzew lub niska zabudowa w znacznej odległości od siebie
3	0,015	0,220	Teren z przeszkodami, tj. tereny zalesione, przedmieścia większych miast oraz małe miasta, tereny przemysłowe luźno zabudowane
4	0,025	0,270	Teren z licznymi przeszkodami w niedużej odległości od siebie, tj. skupiska drzew, budynków w odległości min. 300 m od miejsca obserwacji
5	0,050	0,350	Teren z licznymi dużymi przeszkodami położonymi blisko siebie, obszary leśne, centra dużych miast

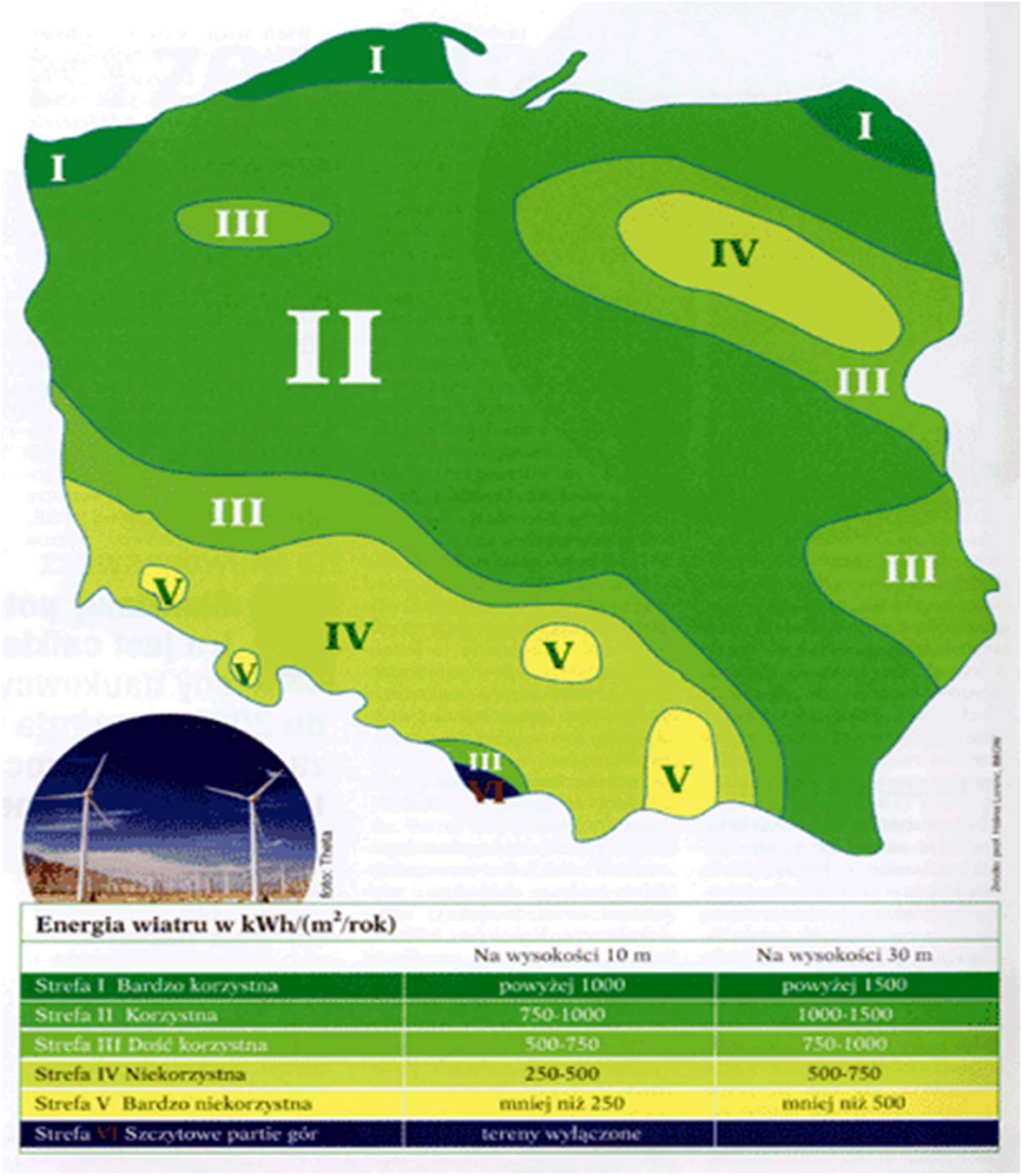
Rodzaj terenu	Klasa szorstkości	Szorstkość długość [m]	Energia (%)
Powierzchnia wody.	0	0.0002	100
Całkowicie otwarty teren, np. betonowe lotnisko, trawiasta łąka, itp.	0.5	0.0024	73
Otwarte pola uprawne z niskimi zabudowaniami (pojedynczymi). Tylko lekko pofalowany teren.	1	0.03	52
Tereny uprawne z nielicznymi zabudowaniami i 8-metrowymi żywopłotami oddalonymi od siebie o ok. 1250 metrów.	1.5	0.055	45
Tereny uprawne z nielicznymi zabudowaniami i 8-metrowymi żywopłotami oddalonymi od siebie o ok. 500 metrów.	2	0.1	39
Tereny uprawne z licznymi zabudowaniami i sadami lub 8-metrowe żywopłoty oddalone od siebie o ok. 250 metrów.	2.5	0.2	31
Wioski, małe miasteczka, tereny uprawne z licznymi żywopłotami, las lub pofałdowany teren.	3	0.4	24
Duże miasta z wysokimi budynkami.	3.5	0.8	18
Bardzo duże miasta z wysokimi budynkami i drapaczami chmur.	4	1.6	13


V1
H1
V0
H0
α=0.15
α=0.17
α=0.19
α=0.22
α=0.27
α=0.35

Wiatr	Prędkość wiatru na wys. 10 m		Skala Beauforta
	m/s	węzły	
Spokój	0,0–0,4	0,0–0,9	0
Lekki	0,4–1,8	0,9–3,5	1
	1,8–3,6	3,5–7,0	2
	3,6–5,8	7–11	3
Średni	5,8–8,5	11–17	4
Umiarkowany	8,5–11	17–22	5
Silny	11–14	22–28	6
	14–17	28–34	7
Sztorm	17–21	34–41	8
	21–25	41–48	9
Silny sztorm	25–29	48–56	10
	29–34	56–65	11
Huragan	>34	>65	12

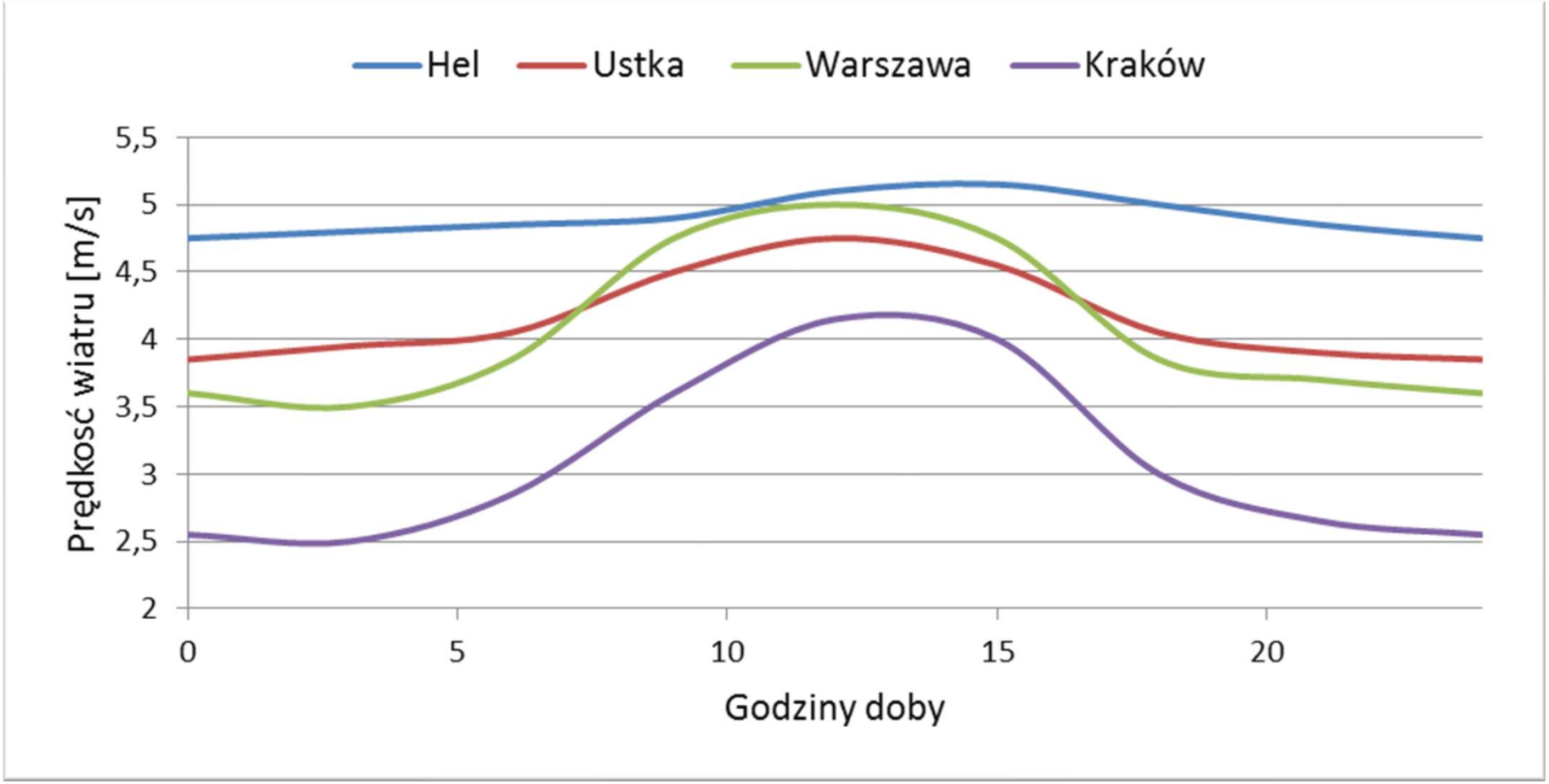
Siła wiatru[21]					
m/s	W/m²	m/s	W/m²	m/s	W/m²
0	0	8	314	16	2509
1	1	9	447	17	3009
2	5	10	613	18	3572
3	17	11	815	19	4201
4	39	12	1058	20	4900
5	77	13	1346	21	5672
6	132	14	1681	22	6522
7	210	15	2067	23	7452
Dane dla $T = 15°C$ i gęstości powietrza $\rho = 1{,}225$ kg/m³					

Położenie geograficzne, a energia wytwarzana przez turbinę wiatrową

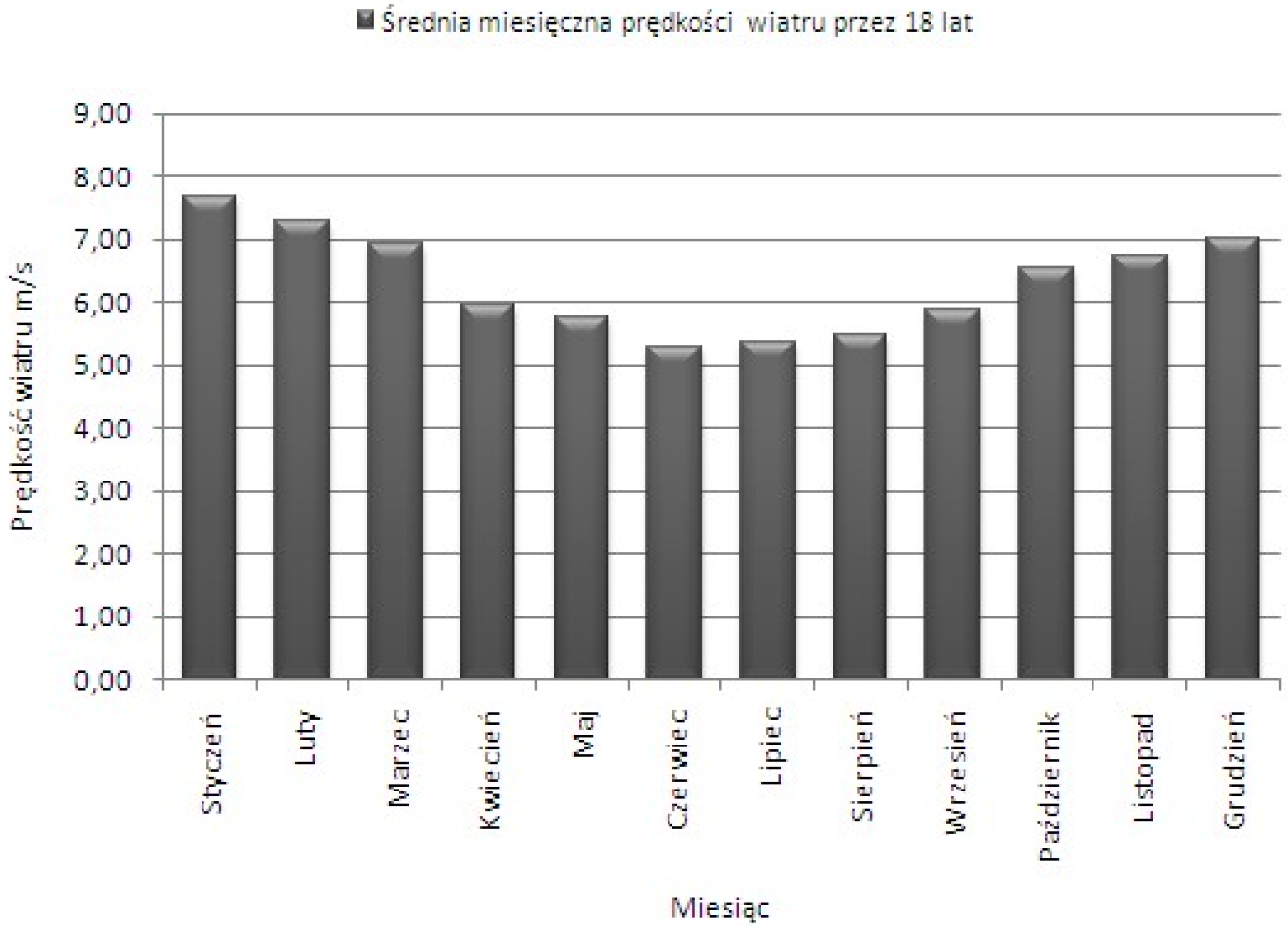


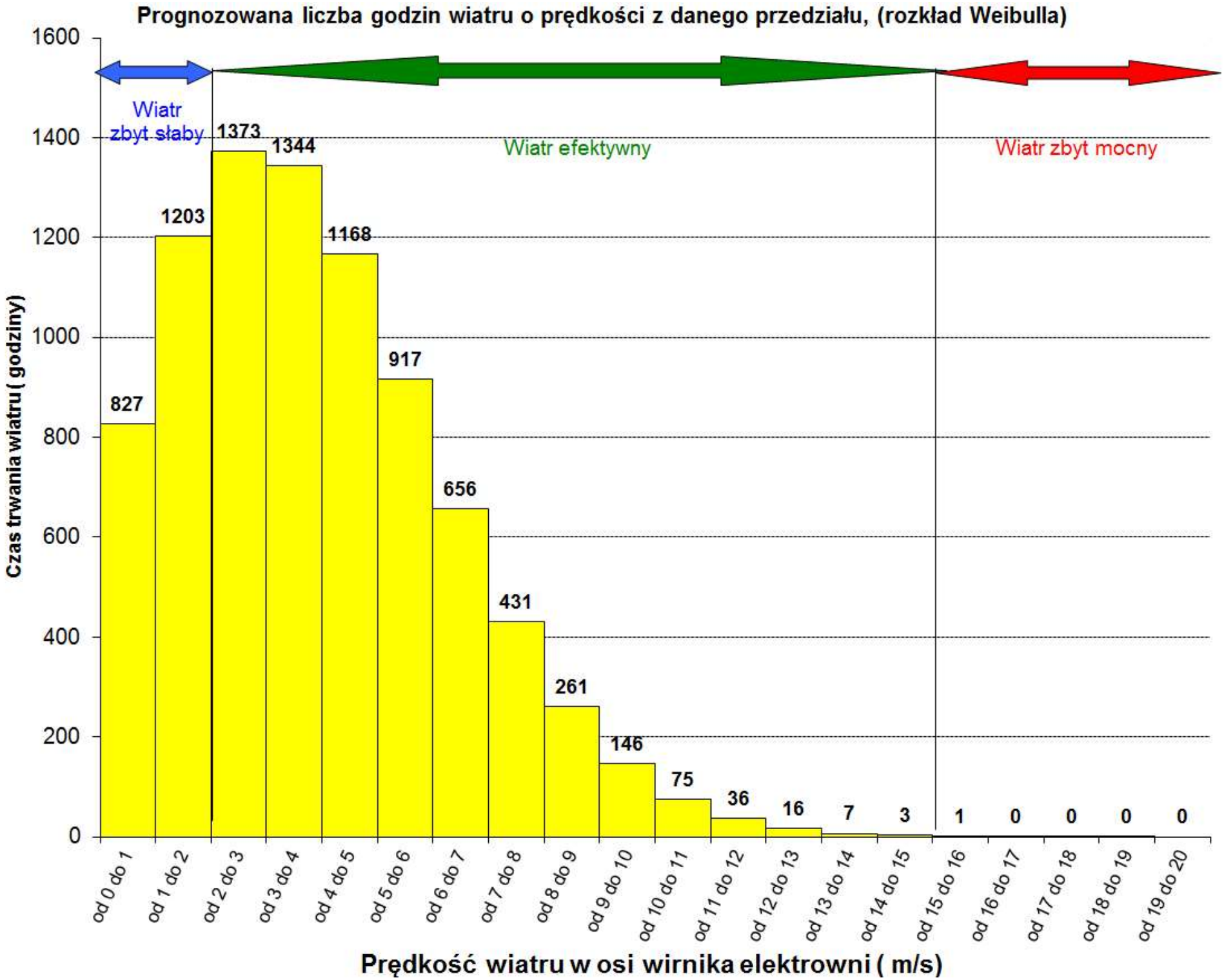
Energia wiatru w kWh/(m²/rok)		
	Na wysokości 10 m	Na wysokości 30 m
Strefa I Bardzo korzystna	powyżej 1000	powyżej 1500
Strefa II Korzystna	750-1000	1000-1500
Strefa III Dość korzystna	500-750	750-1000
Strefa IV Niekorzystna	250-500	500-750
Strefa V Bardzo niekorzystna	mniej niż 250	mniej niż 500
Strefa VI Szczytowe partie gór	tereny wyłączone	

Wpływ pory dnia na produkcję energii z wiatru



Produkcja energii z wiatru w poszczególnych porach roku




Prognozowana liczba godzin wiatru o prędkości z danego przedziału, (rozkład Weibulla)
Wiatr zbyt słaby
Wiatr efektywny
Wiatr zbyt mocny
Czas trwania wiatru (godziny)
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
827
1203
1373
1344
1168
917
656
431
261
146
75
36
16
7
3
1
0
0
0
0
od 0 do 1
od 1 do 2
od 2 do 3
od 3 do 4
od 4 do 5
od 5 do 6
od 6 do 7
od 7 do 8
od 8 do 9
od 9 do 10
od 10 do 11
od 11 do 12
od 12 do 13
od 13 do 14
od 14 do 15
od 15 do 16
od 16 do 17
od 17 do 18
od 18 do 19
od 19 do 20
Prędkość wiatru w osi wirnika elektrowni (m/s)

Eksploatacja turbin wiatrowych

Metody regulacji mocy elektrowni wiatrowych

Dla odbiorców energii elektrycznej, istotne jest, aby energia pochodząca z elektrowni wiatrowych miała odpowiednią jakość (m.in. stałość prądu i napięcia). Podstawowym problemem jest zapewnienie stałej mocy elektrowni w czasie podmuchów wiatru. W elektrowniach wiatrowych stosuje się różne metody regulacji mocy. Najczęściej stosowanymi są;

- Stall regulation (regulacja przez przeciągnięcie),
- Pitch regulation (regulacja przez ustawienie kąta łopat),
- Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora,
- Load control (regulacja przez zmianę obciążenia),
- Aileron control (regulacja lotkami łopat wirnika),
- Yaw control (regulacja przez zmianę kierunku).

Pitch regulation

W tego typu elektrowniach, elektroniczny kontroler turbiny sprawdza moc wyjściową kilka razy na sekundę. Kiedy staje się ona zbyt wysoka, wysyła sygnał do mechanizmu ustawienia kąta łopat, który natychmiast koryguje ich kąt aby zmniejszyć moment napędowy wirnika

Stall regulation

Regulacja przez przeciągnięcie może być pasywna lub aktywna. W systemie pasywnym geometria profilu łopaty jest tak dopracowana aerodynamicznie, że w momencie, gdy wiatr staje się zbyt silny na części łopaty powstają turbulencje, ograniczające moment napędowy wirnika. System aktywny, technicznie przypomina regulacje typu pitch, ponieważ wykorzystuje regulację kąta natarcia łopat.

Yaw control

Regulacja polega na obrocie gondoli i tym samym osi obrotu wirnika elektrowni względem kierunku płynącego wiatru. Może on być zrealizowany w sposób aktywny lub pasywny. Kierowanie pasywne jest realizowane przy małych turbinach za pomocą chorągiewki kierunkowej na gondoli. W systemach aktywnych, na szczycie wieży znajduje się zębaty pierścień, połaczony z kołem zębatym osadzonym na wale silnika kierunkowego

Load control

Metoda polega na zmianie rezystancji stanowiącej obciążenie generatora. W ten sposób następuje przeniesienie punktu pracy siłowni pomiędzy poszczególnymi charakterystykami mechanicznymi.

Aileron control

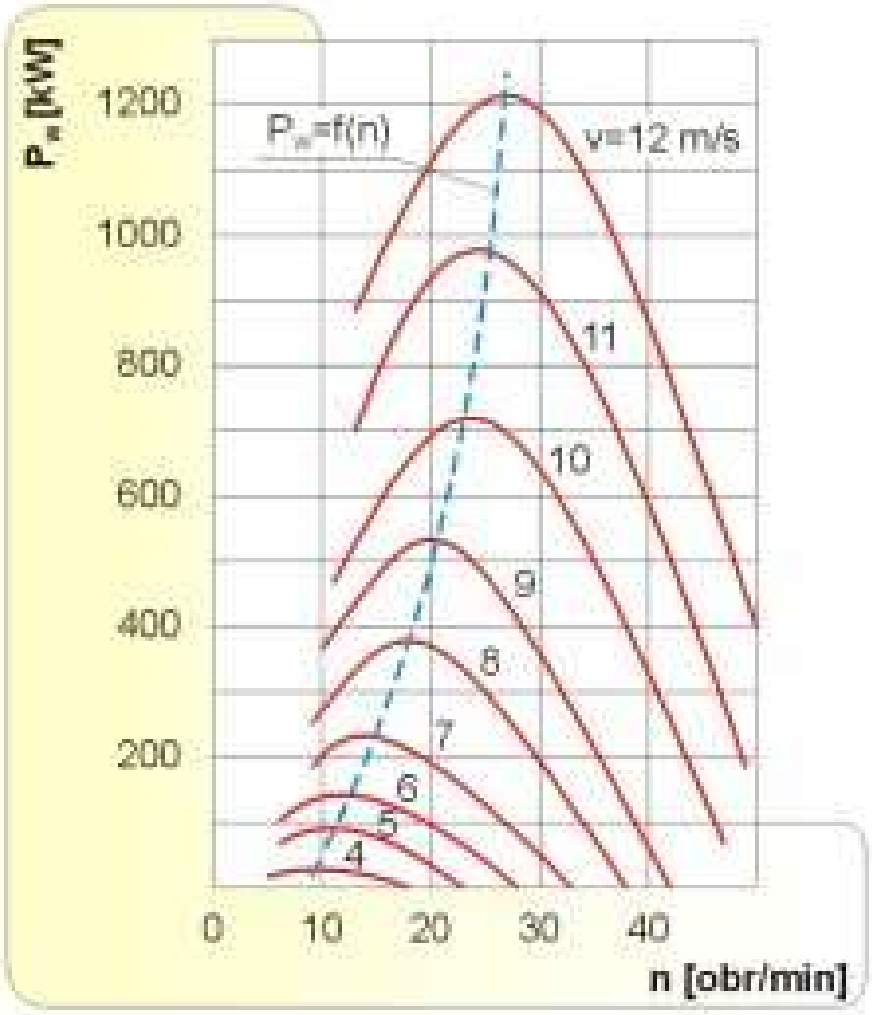
System spotykany bardzo rzadko. Polega na zmianie charakterystyki aerodynamicznej łopat przez korekcję ustawienia tzw. lotek.

Zmiana poślizgu generatora

Niektóre generatory posiadają możliwość regulacji prędkości obrotowej poprzez zmianę poślizgu. Zdolność do regulacji prędkości turbiny w taki sposób jest szczególnie przydatna w elektrowniach z regulacją mocy poprzez zmianę kąta natarcia łopat.

Genertory w elektrowniach wiatrowych

- Asynchroniczne z wirnikiem klatkowym
- Asynchroniczne z regulowaną liczbą par biegunów stojana
- Asynchroniczne podwójnie zasilane z wirnikiem uzwojonym
- Synchroniczne bezpośrednio napędzane



Przykładowa rodzina charakterystyk silnika wiatrowego o mocy 1000 kW, o średnicy zewnętrznej łopat 56 m. przy prędkości wiatru zmiennej parametrycznie. Moc znamionową osiąga przy prędkości wiatru 11,5 m/s. Aby w zakresie prędkości wiatru od 4 m/s do 11,5 m/s silnik pracował z maksymalną mocą jego prędkość powinna zmieniać się zgodnie z charakterystyką PW = f(n).

Budowa i zasada działania prądnic asynchronicznych (indukcyjnych)

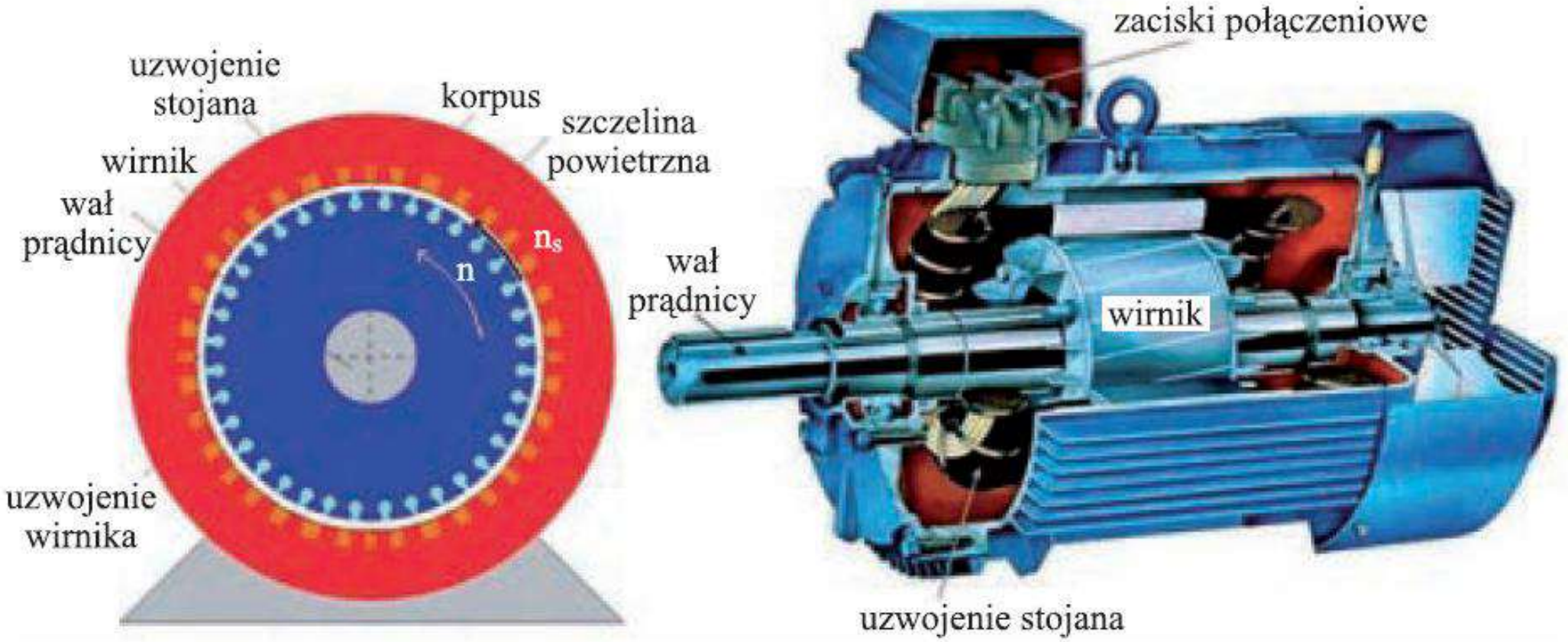
Prądnica zbudowana jest z nieruchomego stojana i ruchomego wirnika. Korpus stojana wykonany jest z lekkiego stopu stalowego. Do niego przykręcone jest jarzmo z blach stalowych (stanowiące obwód magnetyczny), na których zostało nawinięte uzwojenie trójfazowe. Początki i końce tych uzwojeń wyprowadzone są do tabliczki z zaciskami połączeniowymi.

Na osi wirnika zamocowano stalowy korpus, w jego żłobkach umieszczono aluminiowe pręty czołowo połączone ze sobą. Tak wykonany wirnik nazywa się zwartym.

Warunki pracy maszyny indukcyjnej jako prądnicy asynchronicznej są następujące:

– wirnik napędzany turbiną np. wodną, wiatrową;

– maszyna musi być przyłączona do sieci elektrycznej lub baterii kondensatorów.



Szkic i przekrój maszyny indukcyjnej

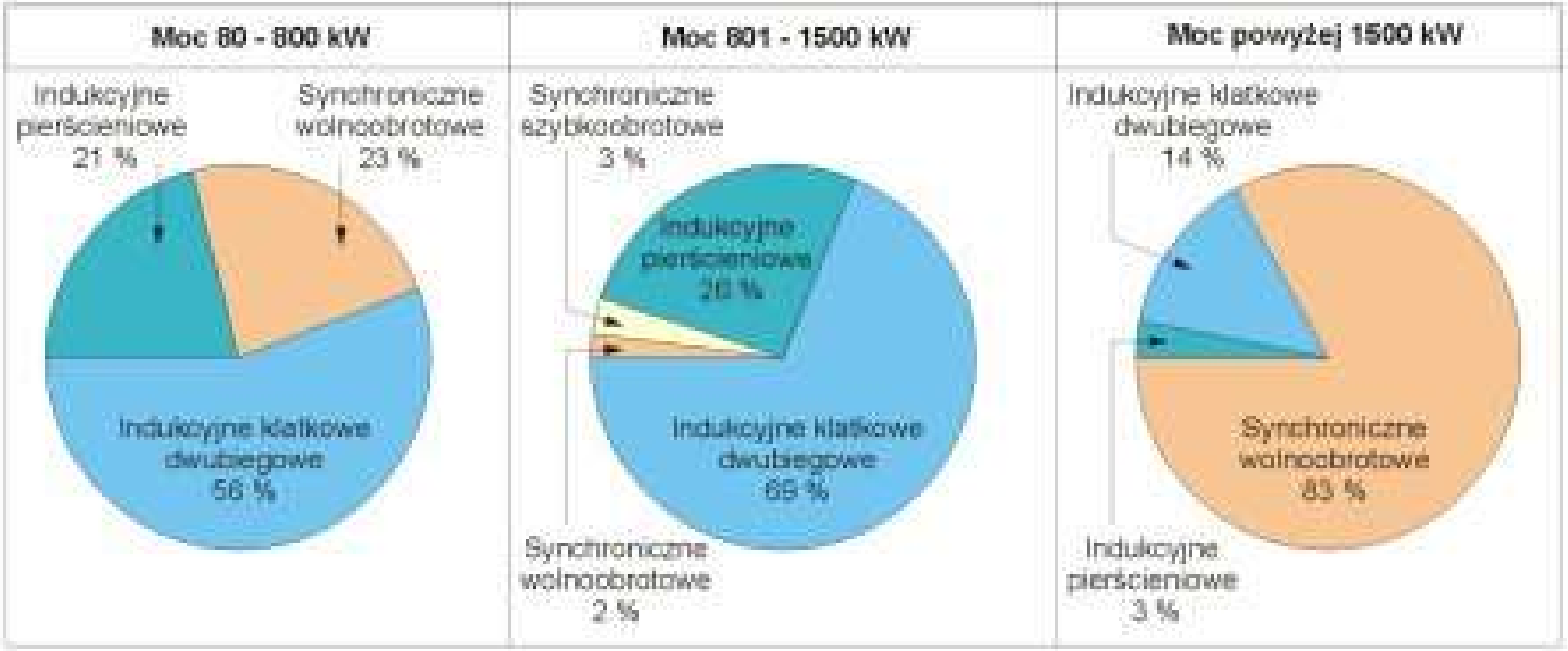
Prądnice synchroniczne, budowa zasada działania

Prądnica zbudowana jest z nieruchomego stojana i ruchomego wirnika. Korpus stojana wykonany jest z lekkiego stopu stalowego. Do niego przykręcone jest jarzmo z blach stalowych (stanowiące obwód magnetyczny), na których zostało nawinięte uzwojenie trójfazowe. Początki i końce tych uzwojeń wyprowadzone są do tabliczki z zaciskami połączeniowymi. Na osi wirnika zamocowano rdzeń, złożony z pakietu blach, w jego żłobkach rozmieszczone zostały uzwojenia, które połączono z dwoma pierścieniami ślizgowymi. W prądnicach małej mocy na wirniku mogą zostać zamocowane magnesy stałe neodymowe w miejsce uzwojeń.

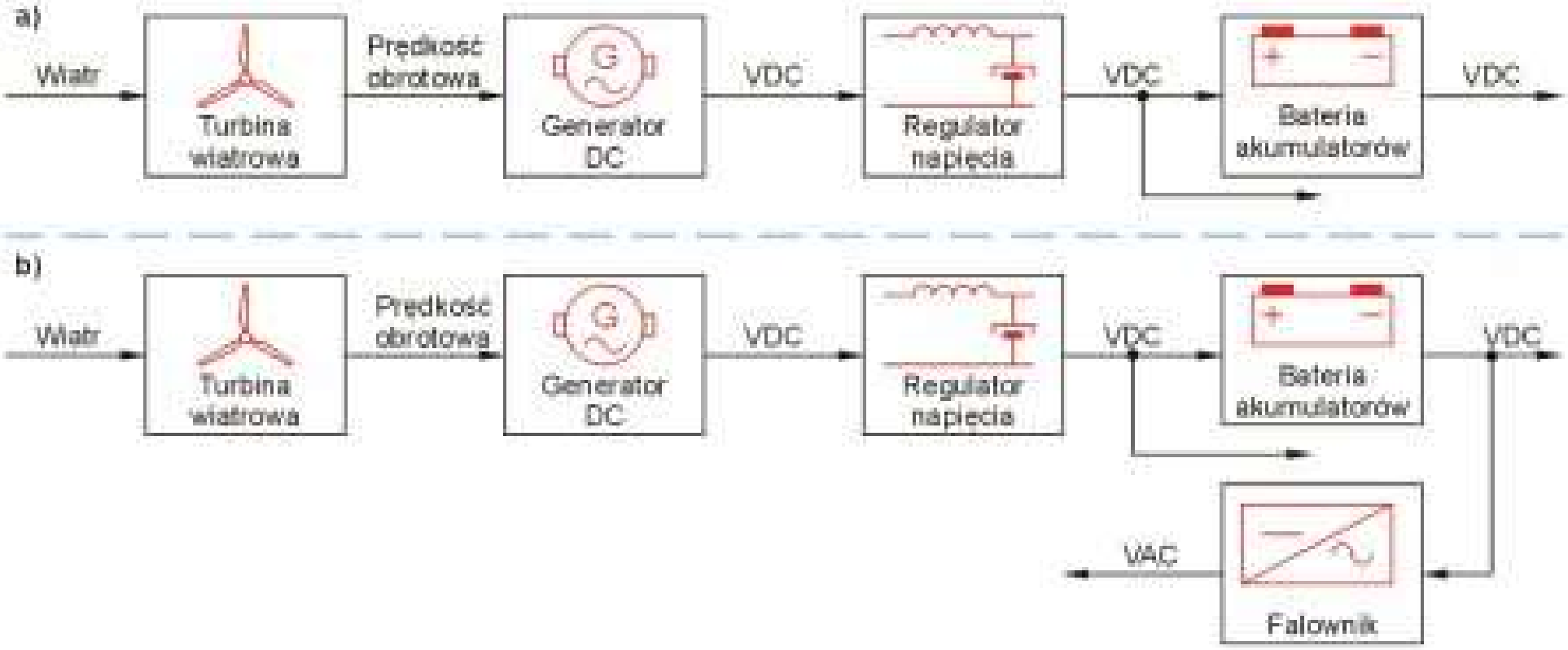
Prądnica synchroniczna to maszyna prądu przemiennego, której wirnik w stanie ustalonym obraca się z taką samą prędkością, z jaką wiruje pole magnetyczne

(***n = ns).***

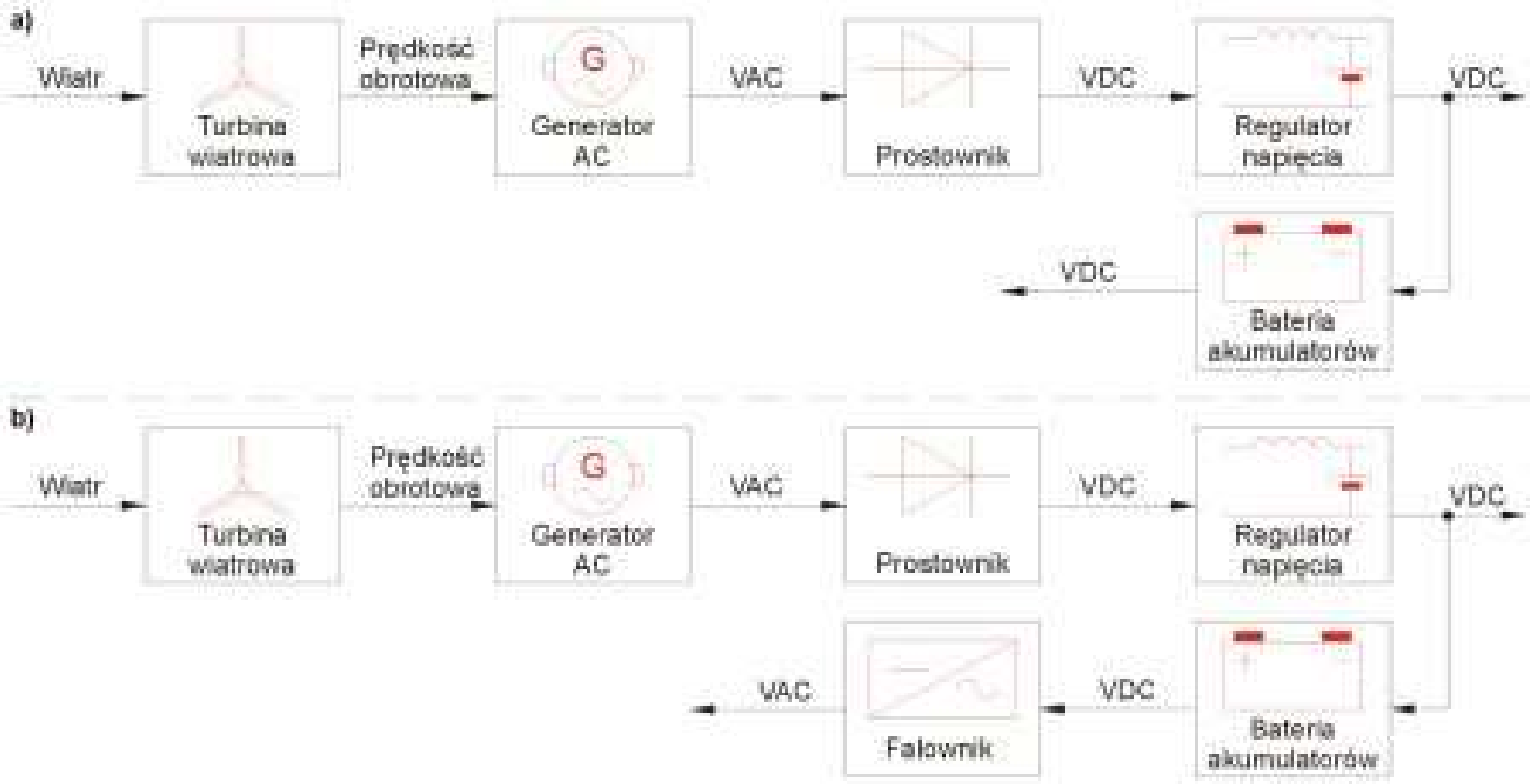
Jeżeli uzwojenie biegunów wirnika (wzbudzenia), zasilone zostanie prądem stałym (przez szczotki i pierścienie ślizgowe), wytwarza on stałe pole magnetyczne. Stałe pole magnetyczne wytwarzają również magnesy neodymowe. Po nadaniu wirnikowi prędkości obrotowej n przez turbinę: wodną, wiatrową, parową, pole magnetyczne wirnika staje się polem wirującym względem trójfazowego uzwojenia stojana.



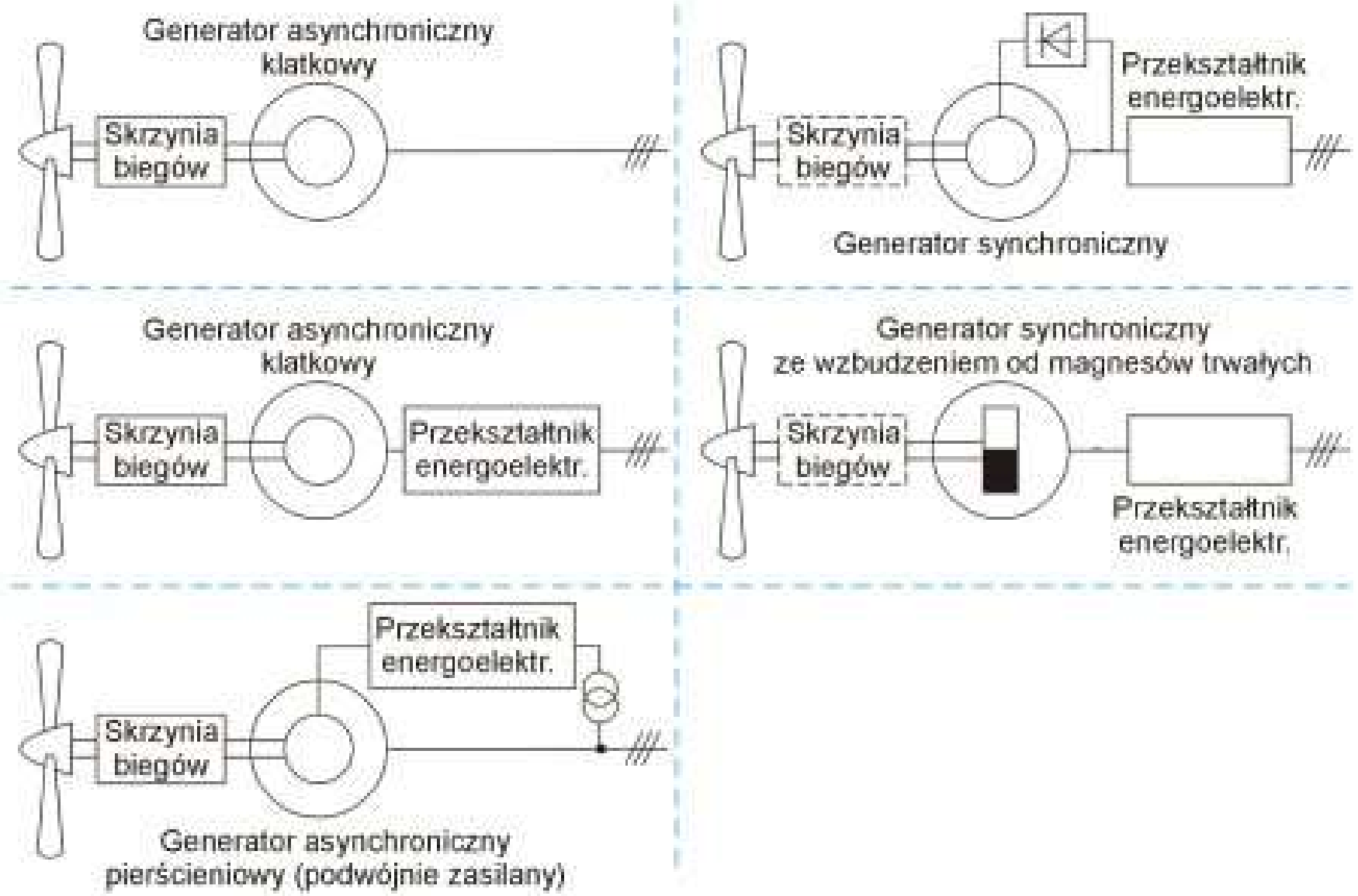
Generatory w europejskich elektrowniach wiatrowych wg mocy i rodzaju rozwiązania



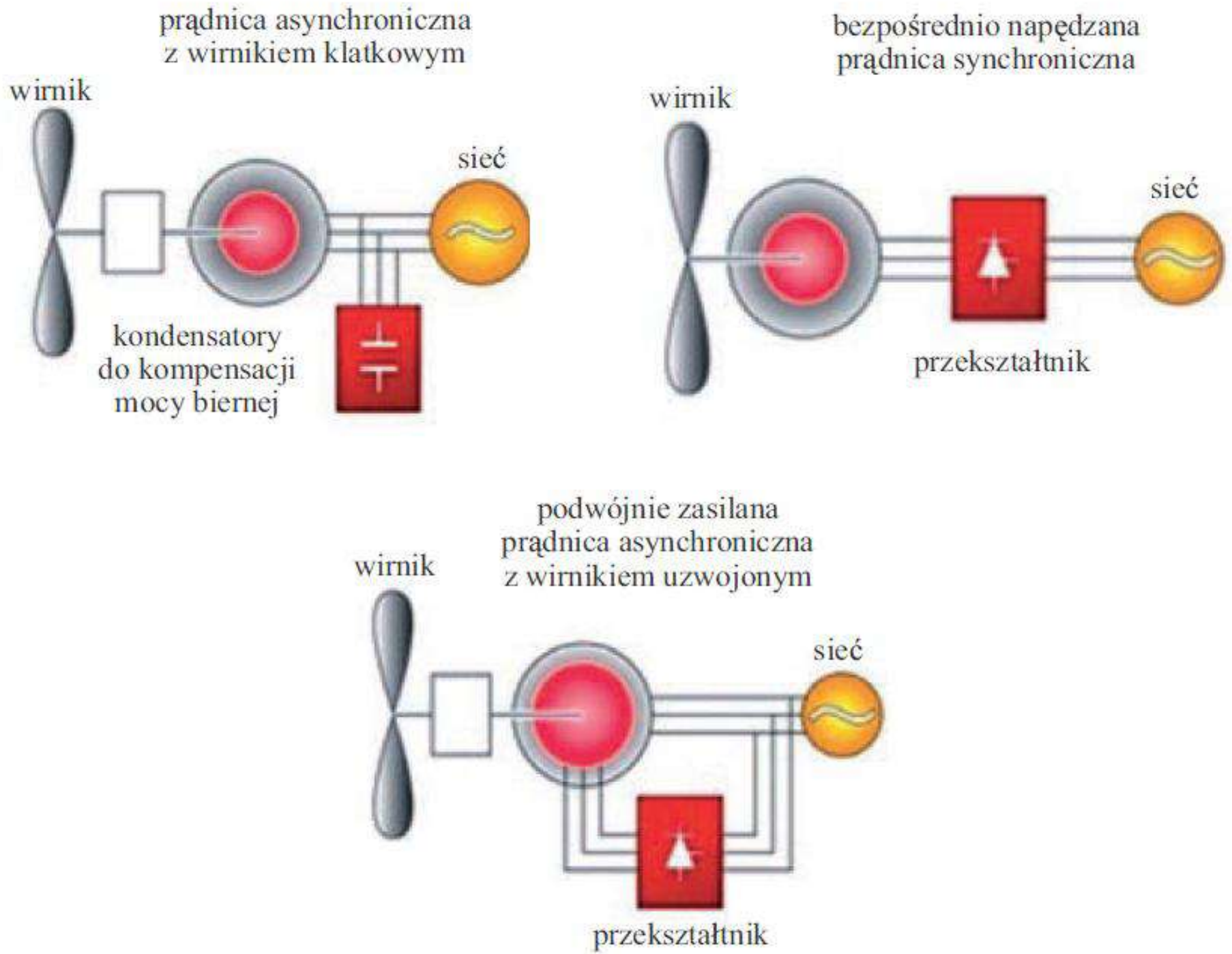
Najpopularniejsze schematy układów konwersji w elektrowniach wiatrowych pracujących na sieć wydzieloną z prądnicami prądu stałego.



Najpopularniejsze schematy układów konwersji w elektrowniach wiatrowych pracujących na sieć wydzieloną z prądnicami prądu przemiennego.



Schematy najczęściej stosowanych układów w energetyce zawodowej.


prądnica asynchroniczna
z wirnikiem klatkowym
wirnik
sieć
kondensatory
do kompensacji
mocy biernej
bezpośrednio napędzana
prądnica synchroniczna
wirnik
sieć
przekształtnik
podwójnie zasilana
prądnica asynchroniczna
z wirnikiem uzwojonym
wirnik
sieć
przekształtnik

Ochrona odgromowa i ppoż. siłowni wiatrowych

Środki ochrony jako moduły	Poziomy ochrony			
	0	1	2	3
Urządzenia wykrywania pożaru instalacji oraz monitorowanie pomieszczeń	*	*	*	*
Urządzenia gaśnicze - ochrona instalacji				
Pomieszczenie sterownicze, falownik, rozdzielnica (LV/MV)		*	*	*
Transformator			*	*
System hydrauliczny				*
Pierścień generatora				*
Urządzenia gaszenia - ochrona pomieszczeń				
Podłogi podniesione wraz z miską olejową, przewodami oraz instalacjami elektrycznymi			*	*
Gondola wraz z generatorem, transformatorem, systemem hydraulicznym,				*

Ochrona przeciwpożarowa turbin wiatrowych	
Ochrona techniczna	Ochrona budowlana
– Procedury – Systemy ostrzegawcze – Systemy alarmowe – Urządzenia ochrony ppoż. uruchamiane ręcznie – Urządzenia ochrony ppoż. uruchamiane automatycznie – Środki dodatkowe – Informacje dla użytkownika	– Materiały oraz podzespoły – Wyznaczone strefy pożarowe (np. wieża, gondola, łopaty wirnika) – Drogi ewakuacyjne

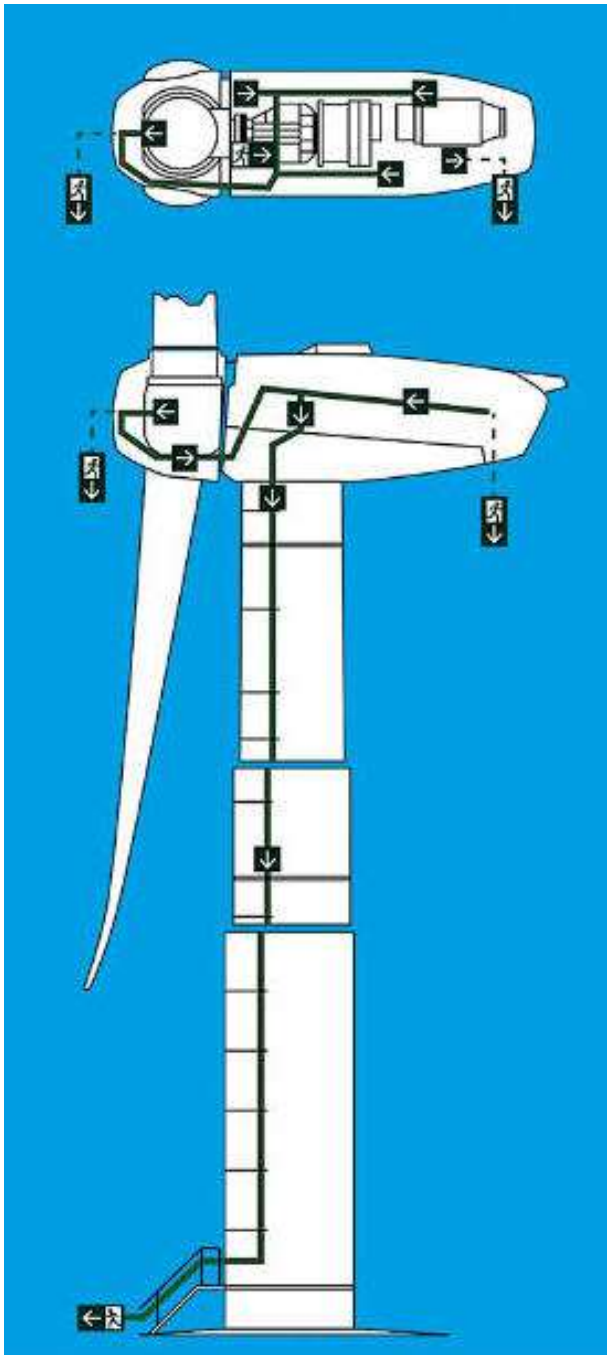
Użyte materiały powinny mieć klasę palności B1 wg DIN 4102 lub klasę C-B wg PN-EN13501-1,
w przypadku, gdy nie można ich zastąpić materiałami niepalnymi.

Rodzaj czujki / Pomieszczenie/ instalacja	Czujka dymu			Czujka ciepła (z indeksem R zgodna z EN 54-5)		Czujka płomienia		Czujka dymu wielodetektorowa	
	Punktowa	Wielopunk-towa	Liniowa	Punktowa	Liniowa	IR	UV	Dymu oraz ciepła	Dymu oraz CO
	Światło rozproszone	Zasysające	Wiązka światła przechodzącego						
Gondola wraz z transformatorem, zwierająca piastę oraz podniesione podłogi	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Centrala podstacja elektryczna, pomieszczenie przełączników (switch cabinet)	+	+	+	+	+	-	-	+	+
Podstawa wieży/ platforma wraz z istniejącymi instalacjami (jeżeli ma zastosowanie)	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Pomieszczenie przekładni	+	+	-	-	-	-	-	+	-
System hydrauliczny	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Transformator	-	+	-	Przekaźnik Buchholza		-	-	-	-

Q07

Urządzenie gaśnicze (środek gaśniczy)	Urządzenia gaśnicze gazowe		Urządzenia gaśnicze wodne				Inne urządzenia gaśnicze	
	CO_2 (wysokociśnieniowy)	Gazy obojętne	Tryskaczowe	Zraszaczowe	Mgła wodna	Piana	Proszek	Aerozole
Ochrona pomieszczeń								
Gondola wraz z generatorem, transformatorem, systemem hydraulicznym, przekładnią, hamulcem, napędem azymutu	+	+	+	+	+	-	-	-
Piasta wraz z napędem nastawienia kąta łopat oraz generatorem (jeśli ma zastosowanie)	+	+	+	+	+	-	-	-
Podłogi podniesione wraz z miską olejową, przewodami oraz instalacjami elektrycznymi	+	-	+	+	+	+	-	-
Centrala podstacja elektryczna, pomieszczenie przekładni (bez transformatora)	+	+	-	-	+	-	-	-
Podstawa wieży wraz z istniejącymi instalacjami (jeżeli ma zastosowanie)	+	+	+	+	+	-	-	-

Urządzenie gaśnicze (środek gaśniczy)	Urządzenia gaśnicze gazowe		Urządzenia gaśnicze wodne				Inne urządzenia gaśnicze	
	CO_2 (wysokociśnieniowy)	Gazy obojętne	Tryskaczowe	Zraszaczowe	Mgła wodna	Piana	Proszek	Aerozole
Ochrona instalacji								
Pomieszczenie sterownicze, falownik, rozdzielnica (LV/MV), pomieszczenie zamknięte	+	+	-	-	+	-	-	-
Transformator	+	-	-	+	+	-	-	-
Pomieszczenie sterownicze, falownika, rozdzielnica (LV/MV), pomieszczenie otwarte	+	-	-	-	+	-	-	-
System hydrauliczny, otwarty	+	-	+	+	+	+	-	-

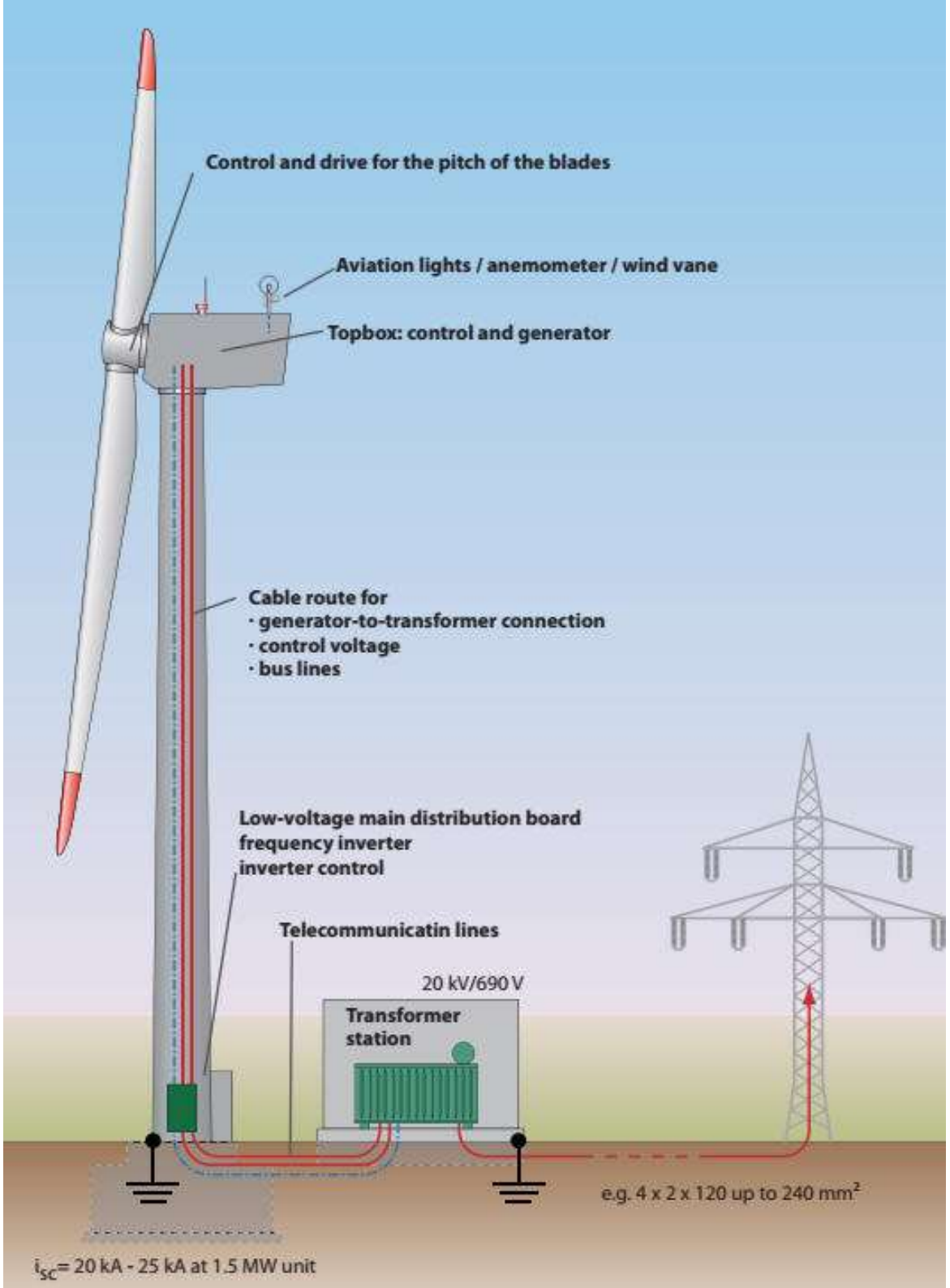


Rys. Drogi ewakuacyjne w siłowni wiatrowej

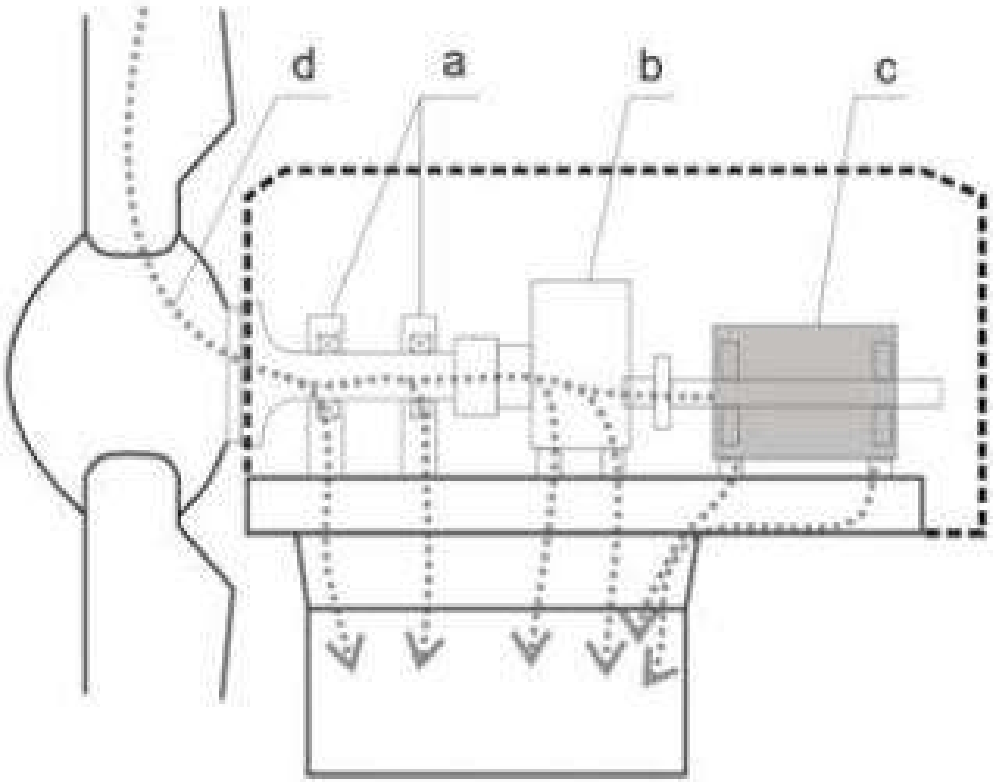
Wieże elektrowni wiatrowych wyposażone są w dwa systemy komunikacyjne umożliwiające dotarcie do gondoli.

Jednym z nich jest system drabinowy, wykorzystujący do asekuracji urządzenia samozaciskowe ze sztywną prowadnicą.

Drugim systemem komunikacyjnym stosowanym w elektrowniach wiatrowych jest podest ruchomy zaliczany do urządzeń bliskiego zasięgu.

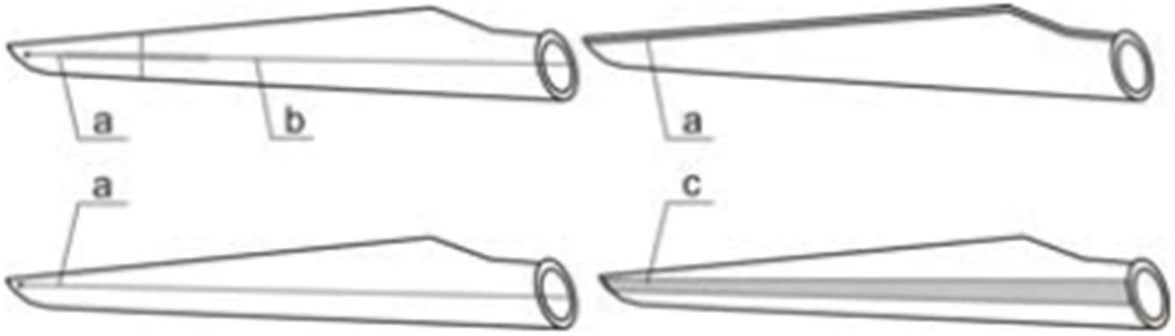


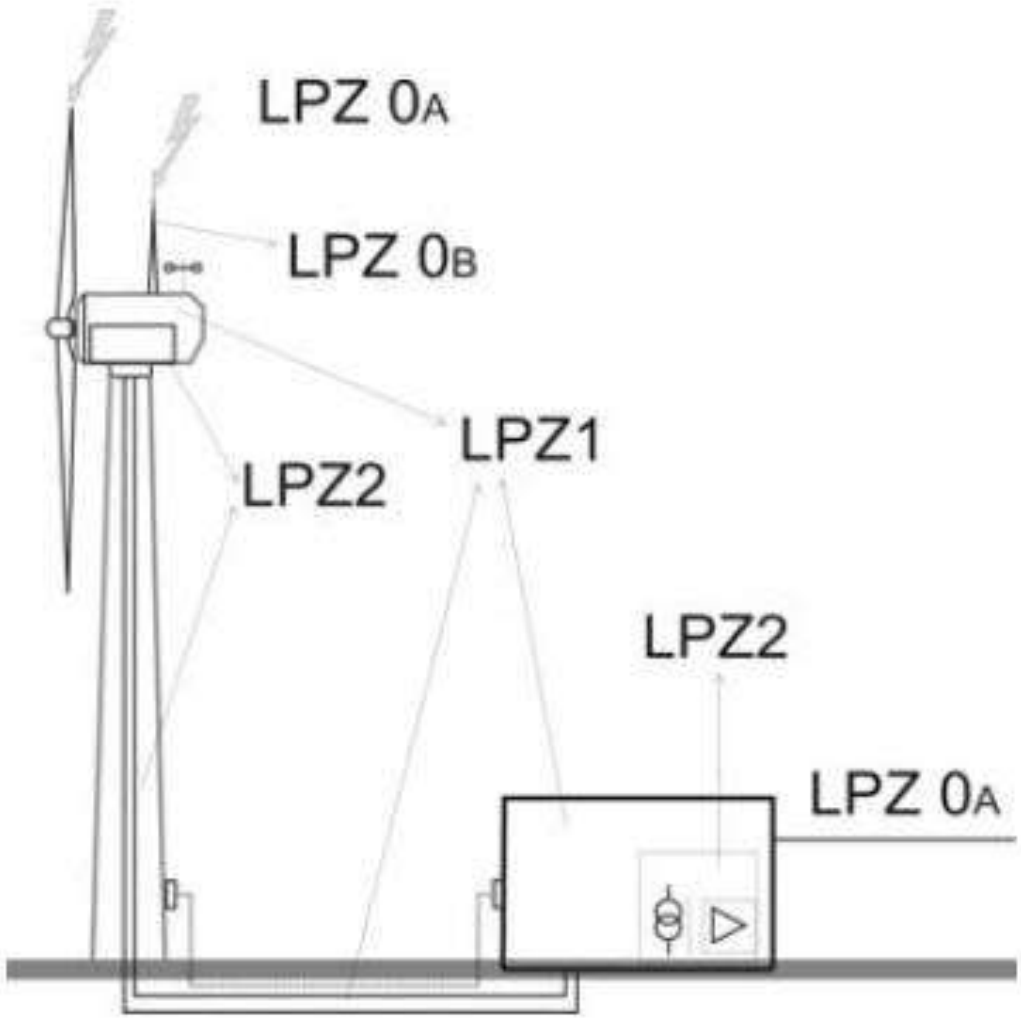
Siłownie wiatrowe należą do obiektów wybitnie narażonych na porażenie wyładowaniem atmosferycznym. Badania przeprowadzone przez Uniwersytet w Kilonii wykazały, ze siłownia o mocy 5 MW wykazuje 60% prawdopodobieństwo uderzenia pioruna w ciągu roku. Zgodnie z przepisami normy DIN EN 62305 (VDE 0185-305):2006-10, siłowni budowane w na lądzie podelgaja II klasie ochrony i wymagaja zabezpieczeń ogromowych wytrzymujących wyładowania o natężeniu do 150 kA, natomiast siłownie budowane w strefie przybrzeżnej podlegają I klasie ochrony i muszą posiadać zabezpieczenia do 200 kA.



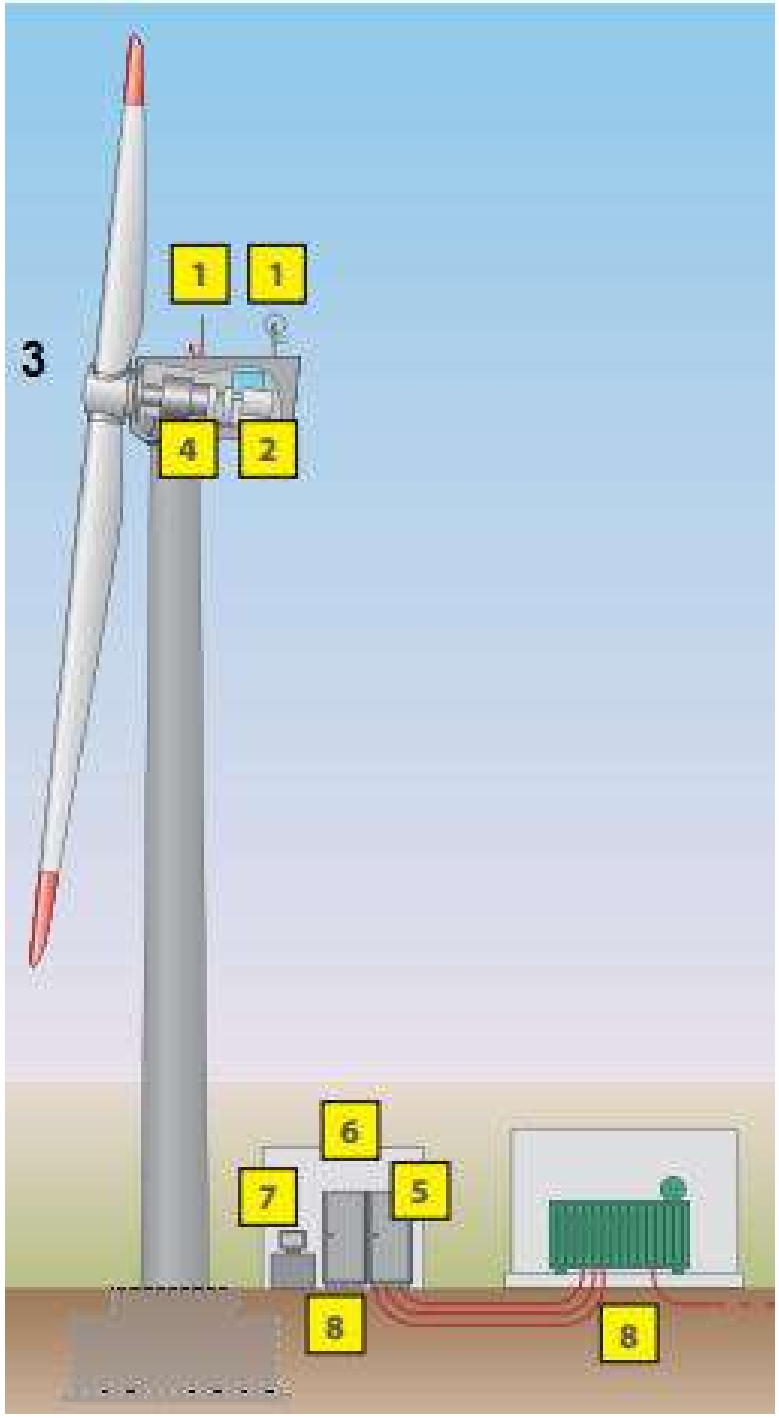
Rys. Przykładowa droga przepływu wyładowania atmosferycznego przez urządzenia elektrowni wiatrowe

Rys. (po prawej) Stosowane rozwiązania dla przewodzenia prądu przez łopaty

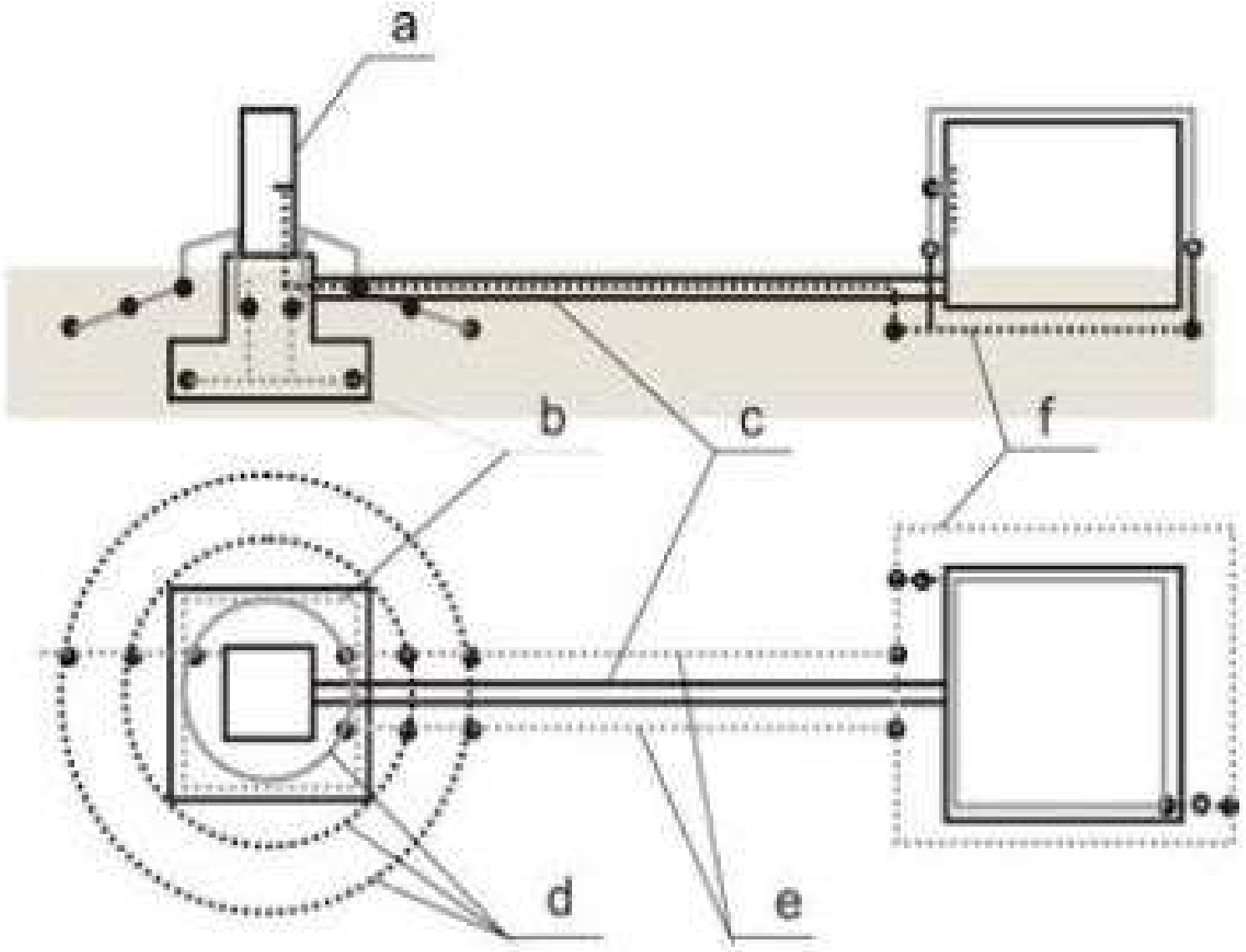




Rys. Rozmieszczenie stref ochronnych



Rys. Rozmieszczenie elementów ochronnych



Rys. Rozmieszczenie uziomów elektrowni wiatrowej

Oddziaływanie elektrowni wiatrowych na środowisko

Zdaniem części ekologów i niektórych mieszkańców, którzy zamieszkują w pobliżu elektrowni wiatrowych, maszyny te negatywnie oddziaływają na środowisko poprzez m.in.:

Hałas

Pracująca elektrownia wiatrowa, wytwarza hałas. Pochodzi on głównie od obracających się łopat wirnika (opory aerodynamiczne) i w mniejszej części, z generatora i przekładni. Przy planowaniu budowy, należy uwzględnić poziom dźwięku, zgodnie z obowiązującymi przepisami. Elektrownia nie wytwarza dźwięku o dużym natężeniu (37,9 dB w odległości 500 m od zabudowań). Problemem jest natomiast monotonność dźwięku i jego długotrwałe oddziaływanie na psychikę człowieka. Strefą ochronną powinien być objęty obszar ok. 500 m, od masztu elektrowni, jednak wszystko zależy od ukształtowania terenu w pobliżu elektrowni.

Cień

Innym, często pomijanym problemem jest efekt odbijania promieni słonecznych, od łopat i okresowego przesłaniania słońca przez łopaty. Powoduje to zmęczenie osób narażonych na ten efekt. Jednak łatwo temu przeciwdziałać, poprzez odpowiednią lokalizację i *„zasłonięcie" wirnika, drzewami posadzonymi wokół elektrowni (pochłaniają także znaczne natężenie dźwięku).*

Ptaki

Ptaki mogą kolidować z łopatami wirnika lub zostać uwięzione w turbulencji za wirnikiem. Liczba *„ofiar kolizji”, szacowana jest na 21 000 rocznie, na 1000 MW (w Holandii), jest stosunkowo niewielka w porównaniu do liczby ptaków które giną w kolizjach w ruchu drogowym, ok. 2 mln lub w zderzeniach z liniami energetycznymi, ok. 1 mln. Większość kolizji ptaków z turbinami wiatrowymi, zdarza się w nocy, o zmierzchu lub przy złej pogodzie. Ptaki bardzo dobrze znają swoje żerowiska, miejsca odpoczynku i unikają turbin. Instalując turbiny, należy starannie rozeznać i uwzględnić tereny lęgowe i żerowiska ptaków.*

Ryby

Nawodne farmy wiatrowe mają również korzystny wpływ na rozwój życia biologicznego w morzu. Żeglowanie, a zatem i połowy, są zabronione wewnątrz i wokół farm wiatrowych. Biolodzy morscy spodziewają się, że obszary te będą miejscami rozrodu dla wielu gatunków ryb.

Wkomponowanie w krajobraz

Turbiny wiatrowe są konstrukcjami, wybijającymi się na tle krajobrazu. To, czy sposób ustawienia kilku turbin wiatrowych będzie się podobał, czy nie, jest i zawsze będzie kwestią gustu.

Zakłócenia odbioru telewizyjnego

Zdarza się, że mieszkańcy okolicznych domów zlokalizowanych przy farmach wiatrowych skarżą się na zakłócenia w odbiorze programów telewizyjnych.

Zakłócenia w sieci elektroenergetycznej

Częste załączanie i wyłączanie elektrowni wiatrowej, nie jest obojętne dla pracy sieci elektroenergetycznej. Fakt ten powoduje częste zmiany mocy w sieci oraz może generować wyższe harmoniczne przebiegów prądu i napięcia w sieci.

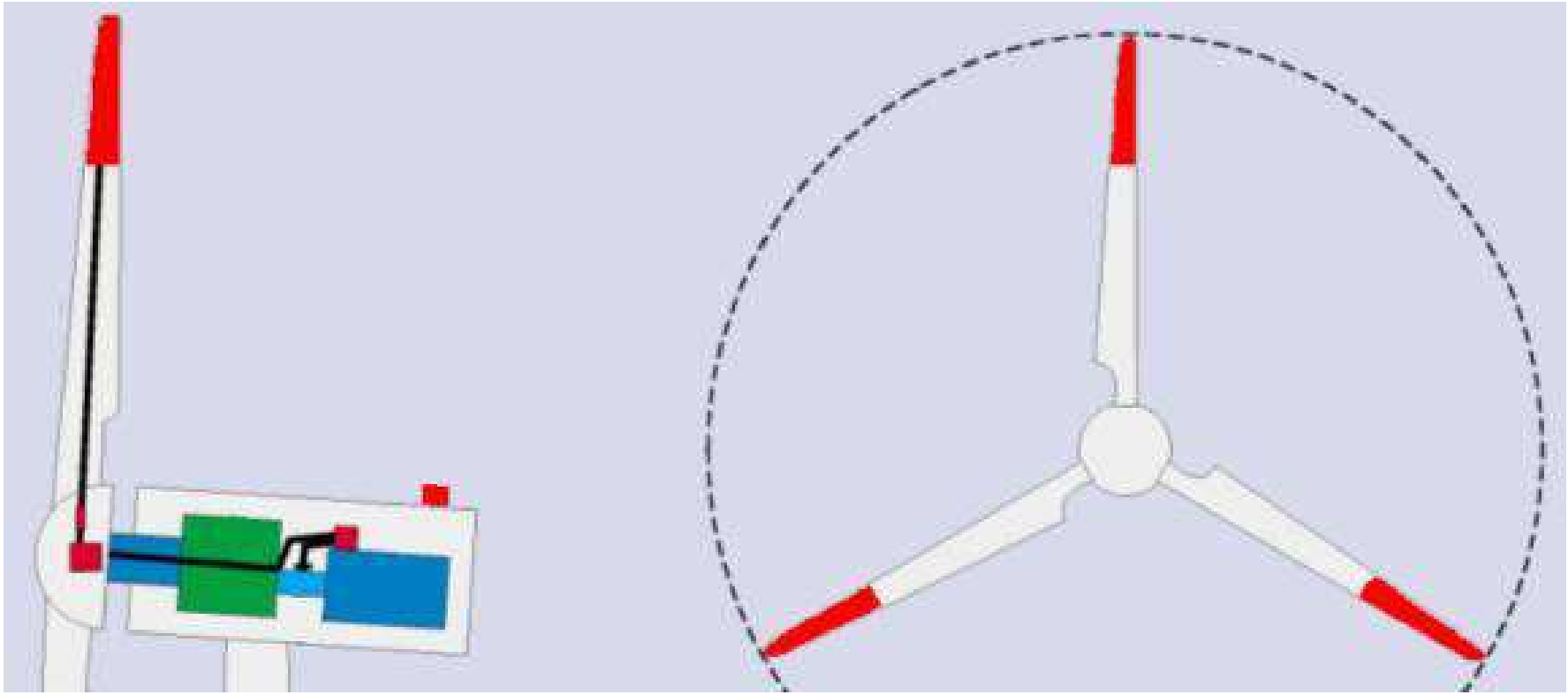
Obszary Natura 2000

Ograniczeniami dla rozwoju energetyki wiatrowej, są obszary ochrony przyrody. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 roku o ochronie przyrody, wprowadza nowe formy ochrony przyrody – obszary Natura 2000 (obejmujące ok. 11,5% obszaru kraju). Doświadczenia w Niemczech i Danii, jakie zebrano w dyskusjach i sporach pomiędzy inwestorami, a ekologami, pozwalają na uniknięcie nieporozumień i jednocześnie uświadamiają wątpliwości, które należy brać pod uwagę. Zawsze płacimy jakąś cenę za poziom swego standardu życia. Chodzi tylko o to, aby cena ta była jak najniższa, i kształtowana w zrównoważonej egzystencji człowieka w środowisku naturalnym.

Oznakowanie elektrowni wiatrowej

Oznakowanie elektrowni wiatrowych w Polsce i na świecie

Typowe oznaczenie przeszkodowe elektrowni wiatrowych wymagane zarówno przez SIL ((*Safety Integrity Level) – poziom nienaruszalności bezpieczeństwa), jak i GILC (The Global Internet Liberty Campaign) obejmuje oznakowanie podwójne: nocne oraz dzienne. Jako oznakowanie nocne przyjmuje się jako wystarczające „umieszczenie lamp oświetleniowych koloru czerwonego na szczycie gondoli”. Jako oznakowanie dzienne wymagane jest malowanie końcówek łopat śmigieł na długości 5 m na kolor czerwony.*



- Polskie przepisy zbieżne są z zaleceniami Międzynarodowej Cywilnej Agencji Lotnictwa (ICAO), według której jednak w przypadku elektrowni wiatrowych nie ma obligatoryjnego obowiązku stosowania takiego oznakowania.
- Generalnie przyjęto, iż o konieczności stosowania odpowiedniego oznakowania decydować będą władze lokalne kraju, jednak stanowione przepisy krajowe nie mogą być sprzeczne z zaleceniami ICAO.
- Na przestrzeni lat i w oparciu o rosnące z każdym dniem doświadczenie w pracy z elektrowniami wiatrowymi wypracowano na świecie standardy, według których producenci elektrowni wiatrowych wykonują typowe oznakowanie przeszkodowe elektrowni wiatrowych. Istniejący podział opiera się na dwóch głównych rodzajach tego oznakowania:

1. *Podstawowe oznakowanie przeszkodowe, stosowane najczęściej w elektrowniach wiatrowych.*

Jest to oświetlenie składające się z dwóch czerwonych synchronicznie migających świateł ostrzegawczych, odpowiednio rozstawionych i montowanych na gondoli. Natężenie światła jednej lampy ostrzegawczej wynosi 2000 cd w poziomym strumieniu światła przy poborze mocy 250 W. Światła takie migają z częstotliwością 30 błysków na minutę, a trwałość jednej lampy błyskowej ocenia się na ok. 2 lata. Włączanie i wyłączanie oświetlenia ostrzegawczego sterowane jest w zależności od jasności otoczenia przez przełącznik zmierzchowy. W razie awarii sieci oświetlenie ostrzegawcze zasilane jest z odpowiednio przystosowanego układu zasilania awaryjnego.

2. Dodatkowe oświetlenie ostrzegawcze.

W zależności od wymogów miejscowych władz i usytuowania elektrowni wiatrowej np. w pobliżu lotniska, stosuje się często dodatkowe oświetlenie ostrzegawcze. W takim przypadku oświetlenie realizowane jest lampami o mocy np. 2 x 100 W, o średnim natężeniu światła na poziomie co najmniej 10 cd w poziomym strumieniu. Zasilanie awaryjne takiego systemu oświetlenia z reguły przejmują akumulatory kwasowe, które w przypadku awarii sieci energetycznej umożliwiają czas świecenia przez co najmniej 10 h.

Lampy takiego oświetlenia rozmieszczane są na gondoli w taki sposób, by były dobrze widoczne ze wszystkich stron. Dzięki ich odstępowi pomiędzy nimi nie dochodzi do sytuacji, że przy nieruchomej turbinie (braku wiatru) obie lampy zostałyby zasłonięte przez śmigło wirnika. Lampy włączane są przełącznikiem zmierzchowym.

Konserwacja i naprawa urządzeń elektrowni wiatrowej

W ramach rocznej konserwacji elektrowni powinno się wykonać następujące prace:

- kontrola obwodów pomiaru napięć torów zasilających,
- kontrola oleju w przekładniach,
- smarowanie łożysk generatora, otwarcie łożysk wirnika i ewentualne dopełnienie smarem, smarowanie wewnętrznego wieńca,
- regulacja hamulców, ewentualnie wymiana okładzin, regulacja hamulców ciernych wieży,
- kontrola łopat wirnika, sprawdzająca rysy, względnie uszkodzenia od pioruna,
- kontrola końcówek łopat TIP'u,
- czyszczenie końcówek łopat wirnika w obszarze miejsc rozdziału i TIP'u,
- kontrola dokręcenia śrub mocujących itp.

Harmonogram przeglądów okresowych (przykład elektrowni wiatrowej firmy Airgenerator

Pozycja	po zimie	po silnym wietrze	raz na rok	raz na 5 lat	raz na 10 lat
Sprawdzanie śmigieł (rysy, pęknięcia, wygięcia)	x	x		x	
Smarowanie łożysk kulkowych wirnika	x		x		
Naciąganie linek stalowych (wieża linkowa)	x	x	x		
Sprawdzanie dokręcenia śrub (generator, wieża)		x		x	
Sprawdzanie korozji i uszkodzeń kabli	x		x		
Sprawdzanie wirnika				x	
Wymiana uszczelek					x
Konserwacja drobnych uszkodzeń mechanicznych			x		
Wymiana śmigieł				x	
Wymiana kabli elektrycznych (generator-kontroler)				x	

Konserwacja obwodów elektrycznych elektrowni wiatrowej

Urządzenia i systemy zainstalowane w turbinie muszą posiadać zabezpieczenia przed skutkami wystąpienia zakłóceń i awarii mogących wystąpić w turbinie.
Instalacja i urządzenia elektryczne w turbinie muszą być zabezpieczone przed uszkodzeniami mogącymi wystąpić z powodu awarii i zakłóceń w sieci elektroenergetycznej i posiadać przynajmniej następujące zabezpieczenia dwustopniowe.
Wszystkie zabezpieczenia i ich nastawy muszą spełniać wymagania IRiESD, w szczególności w zakresie wymagań dla funkcjonowania turbin wiatrowych (farm wiatrowych) przy zmianach napięcia i częstotliwości podczas awarii w sieci.

Wymagania Energa-Operator S.A. w zakresie automatyki zabezpieczeniowej i systemowej:

a) jednostka wytwórcza winna być wyposażona w bezprzerwowo działającą automatykę utrzymującą parametry wytwarzania na zadanym poziomie i niezwłocznie reagującą na stany zakłóceniowe;

b) przewidzieć automatykę powodującą natychmiastowe odłączenie jednostki wytwórczej w przypadku zaniku napięcia w sieci ENERGA – OPERATOR SA;

c) przewidzieć natychmiastowe odłączenie jednostki wytwórczej w przypadku uszkodzenia automatyki zabezpieczeniowej;

d) przed oddaniem do użytkowania jednostki wytwórczej należy udostępnić urządzenia automatyki zabezpieczeniowej dla służb ENERGA – OPERATOR SA w celu sprawdzenia poprawności ich działania;

e) układy automatyki muszą ograniczać do 10-u ilość operacji łączeniowych dla całego zespołu w okresie dwugodzinnym;

f) wyłączenie zwarć przez automatykę siłowni wchodzących w skład elektrowni wiatrowej musi następować z czasem nie dłuższym niż 120 ms;

g) jednostkę wytwórczą należy wyposażyć między innymi w zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne, zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne, zabezpieczenie ziemnozwarciowe lub zerowonapięciowe, zabezpieczenie przed asymetrią obciążenia, zabezpieczenie podnapięciowe, zabezpieczenie nadnapięciowe, zabezpieczenie przed pracą silnikową, zabezpieczenia nadczęstotliwościowe i podczęstotliwościowe;
h) jednostka wytwórcza musi być wyposażona w zabezpieczenia przed pracą wyspową;
i) jednostka wytwórcza musi być wyposażona w układy kompensacji mocy biernej;
j) bezpieczniki o prądzie znamionowym dobrać wg obliczeń;
k) jednostka wytwórcza musi być wyposażona w układ synchronizacji z siecią energetyki;
l) jednostka wytwórcza musi być wyposażona w układ zabezpieczający pracę elektrowni na sieci przy zaniku lub obniżeniu napięcia poniżej 0,9 Un oraz wzroście generowanego napięcia powyżej 1,1 Un w sieci energetyki.

BUDOWANIE FARMY WIATROWEJ

Proces inwestycyjny

I. Etap - KONCEPCYJNY

- Wyszukanie lokalizacji.
- Wstępna analiza wietrzności.
- Analiza ograniczeń środowiskowych.
- Analiza uwarunkowań infrastrukturalnych.
- Analiza uwarunkowań społecznych.

II. Etap - ADMINISTRACYJNO - PRAWNY

- Uzyskanie praw do terenu pod inwestycję.
- Szczegółowe pomiary siły wiatru.
- Wykonanie raportu oddziaływania na środowisko.
- Uzyskanie decyzji środowiskowej.
- Uzyskanie zmiany planu zagospodarowania przestrzennego.
- Uzyskanie warunków przyłączenia do sieci od Operatora i podpisanie umowy przyłączeniowej.
- Wykonanie projektu budowlanego farmy wiatrowej i uzyskanie pozwolenia na budowę.

III. Etap - FINANSOWY

- Przygotowanie inżynierii finansowej.
- Umowy na sprzedaż energii i świadectwa pochodzenia.
- Uzyskanie współfinansowania.

IV. Etap - REALIZACYJNY

- Wybór dostawcy turbin.
- Wybór wykonawców robót.
- Realizacja inwestycji.
- Uzyskanie pozwolenia na użytkowanie.
- Rozruch technologiczny.

V. Etap - EKSPLOATACJA ELEKTROWNI

- Zarządzanie eksploatacją.
- Optymalizacja produkcji.

Wykonanie raportu odziaływania na środowisko

Skutki oddziaływania elektrowni wiatrowych na środowisko to wciąż temat bardzo kontrowersyjny. Zdania są skrajnie podzielone, a w trakcie debat publicznych padają argumenty, które niejednokrotnie mają niewiele wspólnego z prawdą

Elektrownie wiatrowe w trakcie ich budowy, eksploatacji oraz likwidacji mogą oddziaływać na następujące elementy środowiska:

- Flora.
- Fauna.
- Klimat akustyczny.
- Pole elektromagnetyczne.
- Woda i gleba.
- Powietrze.
- Warunki życia i zdrowia ludzi.
- Krajobraz.
- Zabytki.

Oraz:

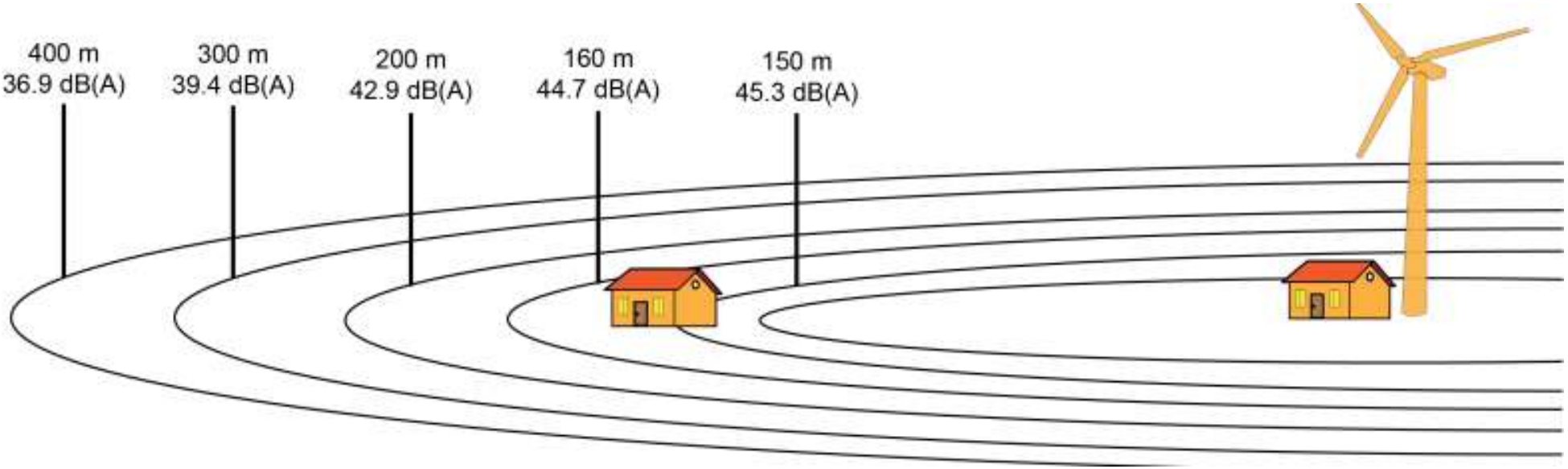
- Wpływ na wartość nieruchomości.
- Oddziaływanie na turystykę.
- Oddziaływanie efektu migotania cieni i refleksów świetlnych.
- Wpływ na sieć.

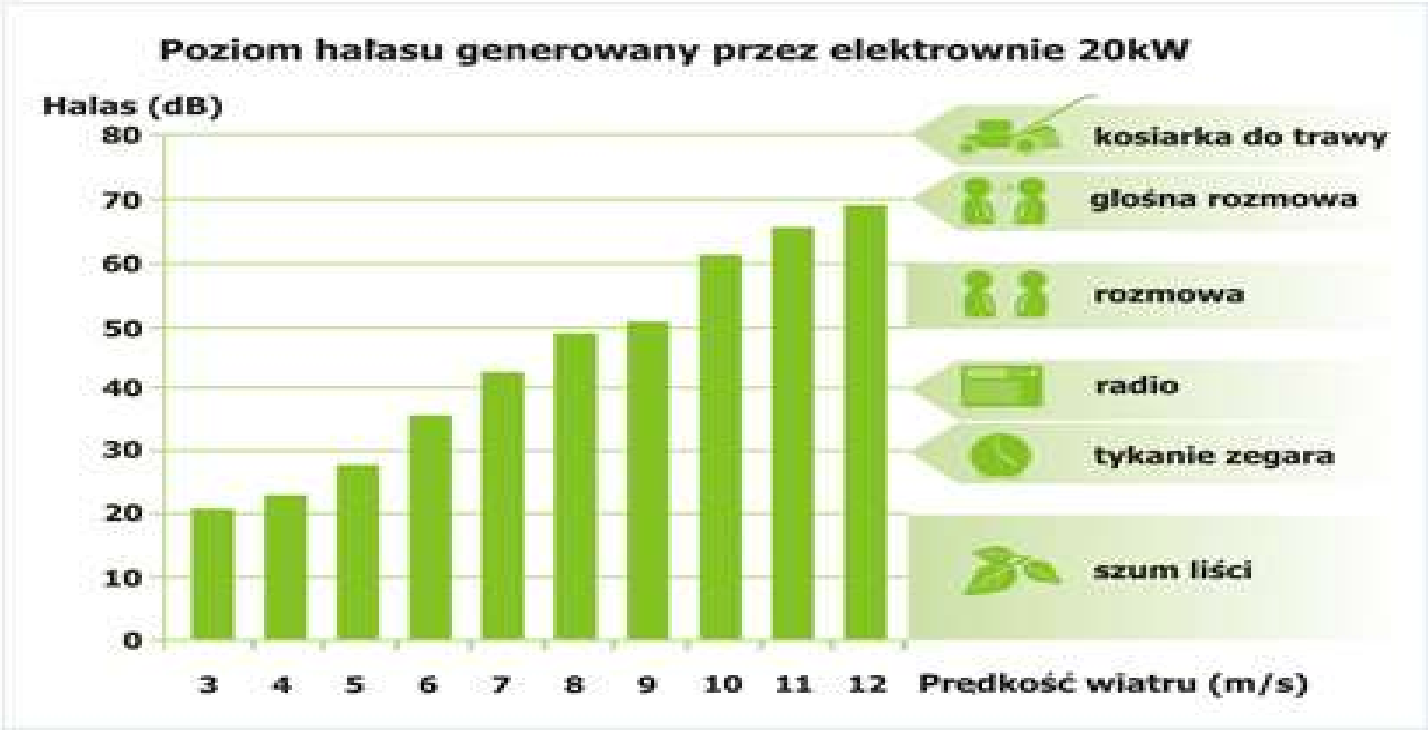
W polskim systemie elektroenergetycznym produkcja 1 MWh energii w oparciu o węgiel kamienny powoduje emisje **0,9 t CO_2**, zaś w oparciu o węgiel brunatny **1,05 t CO_2**. Zastępowanie źródeł konwencjonalnych przez źródła energii odnawialnej pozwala wiec na unikniecie emisji dużej ilości dwutlenku węgla do atmosfery. Dlatego też produkcja energii elektrycznej przez elektrownie wiatrowe jest przedsięwzięciem proekologicznym.

Klimat akustyczny

Turbiny wiatrowe generuje dwa rodzaje hałasu słyszalnego przez człowieka:

- hałas mechaniczny generowany przez przekładnię i generator;
- szum aerodynamiczny, powstający na skutek obracania się łopat wirnika.


400 m
36.9 dB(A)
300 m
39.4 dB(A)
200 m
42.9 dB(A)
160 m
44.7 dB(A)
150 m
45.3 dB(A)


Poziom hałasu generowany przez elektrownie 20kW
Hałas (dB)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Prędkość wiatru (m/s)
kosiarka do trawy
głośna rozmowa
rozmowa
radio
tykanie zegara
szum liści

Koszty inwestycji

Nakłady inwestycyjne na środki trwałe:

- grunty (do 2 do 9% nakładów);
- konstrukcja dróg dojazdowych (od 2 do 3%);
- konstrukcja finansowa (od 3 do 5%);
- zakup siłowni wiatrowych (od 60 do 75%);
- transport siłowni wraz z montażem (ok. 5%);
- połączenie energetyczne wraz z linią kablową (od 10 do 20%).

Koszty przedprodukcyjne kapitałowe:

- projekty techniczne i studium wykonalności (ok. 72%);
- badania zasobów energetycznych wiatru (ok. 12%);
- opłaty prawne i administracyjne (ok. 7%);
- badania geologiczne (ok. 9%).

Koszty te zazwyczaj nie powinny przekroczyć 2-3% całkowitych nakładów kapitałowych.

Koszty eksploatacyjne.

Charakteryzują się one relatywnie niskimi kosztami operacyjnymi. Można przyjąć, iż są one na poziomie około 50-60% ceny siłowni w skali jej faktycznej żywotności. Jednak w strukturze kosztów eksploatacyjnych dominuje przede wszystkim amortyzacja, oraz koszty finansowe wynikające z dużych nakładów na środki trwałe.

Prawo a inwestycja

Procedury prawne jak i administracyjne, które są niezbędne do uruchomienia i eksploatacji elektrowni wiatrowej w Polsce obejmują:

- **Warunki zabudowy i zagospodarowania terenu.**
- **Warunki przyłączenia do sieci elektroenergetycznej.**
- **Prawne możliwości odmowy przyłączenia OZE do sieci.**
- **Problemy związane z przyłączeniem OZE do sieci.**
- **Koncesja na wytwarzanie energii elektrycznej.**
- **Umowa na sprzedaż świadectw pochodzenia energii.**
- **Prace projektowe.**
- **Pozwolenie na budowę.**
- **Podstawy prawne dla budowy farmy wiatrowej.**

Wykorzystanie elektrowni wiatrowych do przeciwdziałanie zmianom klimatu

- Elektrownie wiatrowe jako przeciwwaga dla surowców energetycznych (nieodnawialne źródła energii),
- Elektrownie wiatrowe jako eliminacja zanieczyszczeń powietrza, wody, powierzchni ziemi,
- Elektrownie wiatrowe jako przeciwdziałanie zmianom klimatu.

.

160 kW z elektrowni wiatrowej to:

- dwutlenku siarki 2.000kg,
- dwutlenku azotu 1.500kg,
- dwutlenek węgla 250.000kg,
- pyłu i żużli 17.500kg,

mniej

Zalety siłowni wiatrowych.

+ Turbiny wiatrowe nie powodują zanieczyszczanie środowiska naturalnego. Wytworzenie energii w turbinie wiatrowej nie wiąże się z jakąkolwiek emisją trujących związków do atmosfery, nie zostają także żadne odpady,
+ wiatr to odnawialne źródło energii, dzięki temu oszczędzamy na paliwach, procesach wydobywania oraz późniejszego transportu,
+ sąsiednie tereny mogą być wykorzystywane jako tereny rolnicze.
+ energia z elektrowni wiatrowych jest stałego kosztu, a konkurencyjność ekonomiczna tego rodzaju OŹE względem konwencjonalnych źródeł energii stale wzrasta,
+ stosunkowo niewielkie straty w przesyle energii z elektrowni wiatrowej do odbiorcy. Nie ma znaczenia czy budujemy siłownie wiatrowe zaraz obok użytkownika czy też w miejscu odległym od niego, w przypadku energetyki konwencjonalnej wiąże się to z odpowiednim przyłączem do sieci,
+ proces obsługi elektrowni wiatrowej jest dość prosty, czas montażu bardzo krótki, podobnie jak koszty eksploatacji i obsługi, które także są dość niskie.

Wady siłowni wiatrowych.

- Elektrownie wiatrowe pociągają za sobą duże koszty inwestycje. Obecnie jednak cena zbudowania siłowni wiatrowych ciągle maleje, dzięki nowym osiągnięciom w dziedzinie technologii. Co za tym idzie cena energii pozyskiwanej z wiatru ciągle spada,
- siły wiatru nie możemy w jakikolwiek sposób kontrolować, powoduje to wystąpienie wahania w wytwarzaniu mocy, która zmienia się wraz z upływem czasu.
- źle ulokowane (np. na trasie przelotu ptaków wędrownych) farmy wiatrowe mogą zabijać ptaki
- starsze konstrukcje powodują hałas
- praca siłowni może nieznacznie zakłócać sygnał radia i telewizji,
- pojedyncze siłownie i farmy wiatrowe powodują zmodyfikowanie dużej połaci krajobrazu.

Dziękuje za uwagę.