

SYSTEMY ENERGETYKI ODNAWIALNEJ B.22

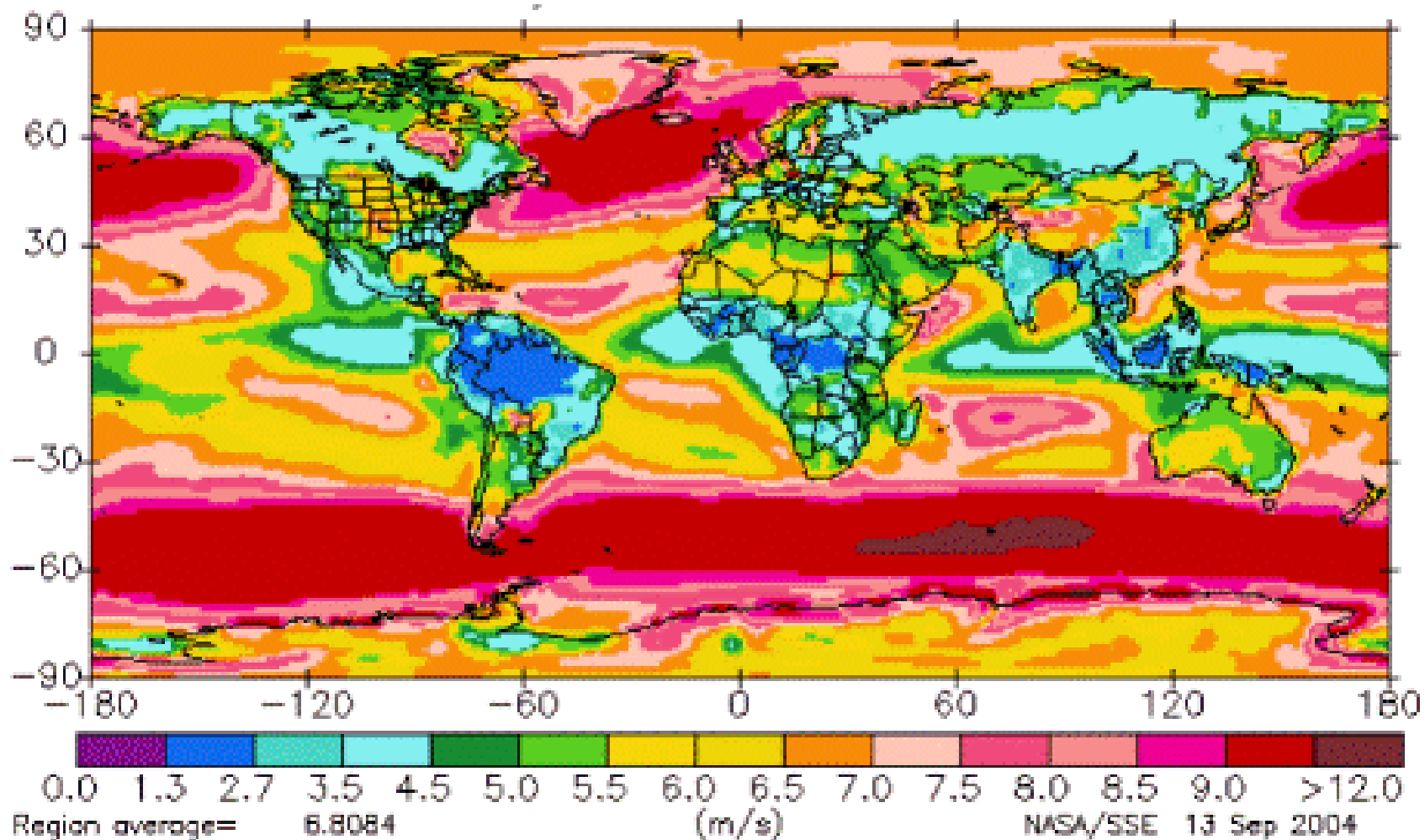
Eksploatacja systemów energetyki wiatrowej

mgr inż. Kinga Turoń
AGH Kraków

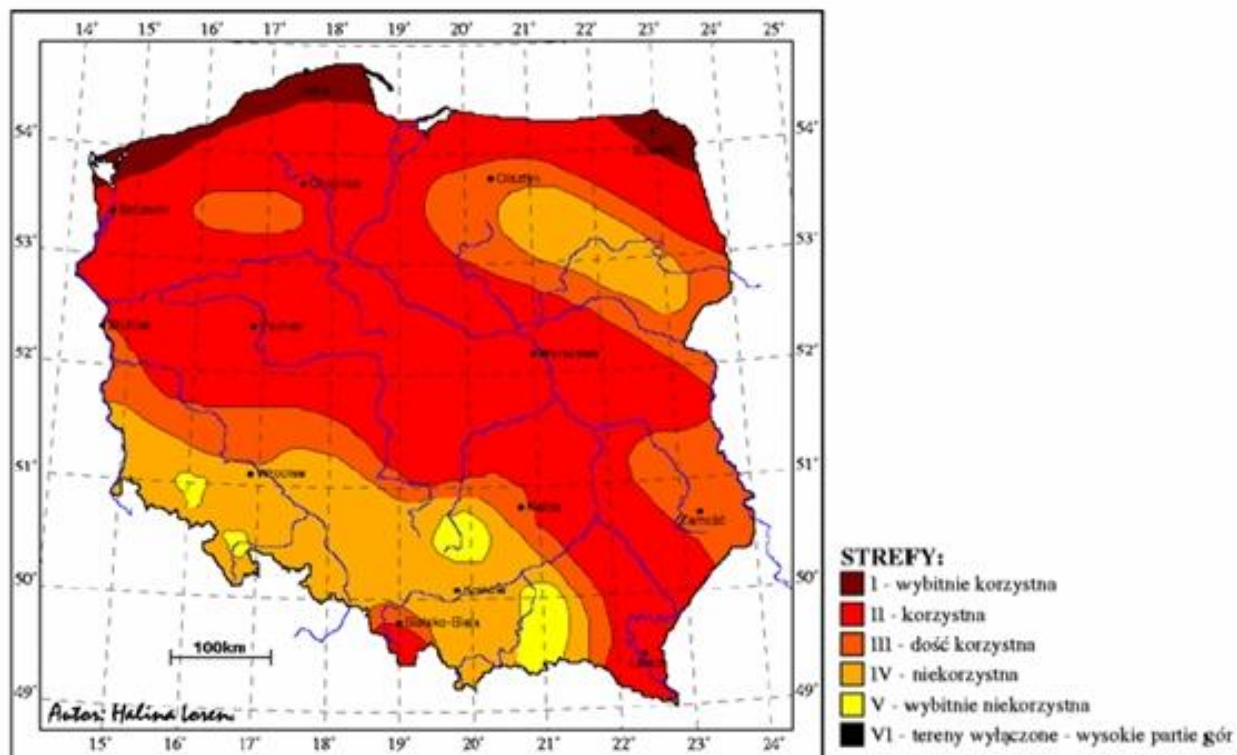
Co to jest WIATR?

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

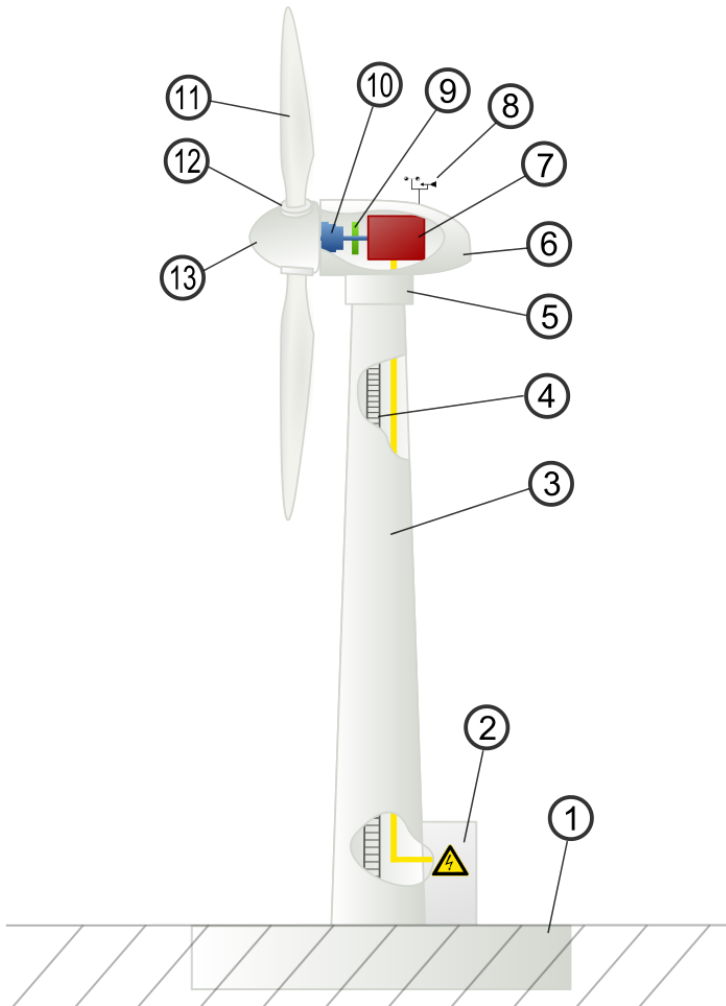


Zasoby wiatru w Polsce



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

Turbiny wiatrowe

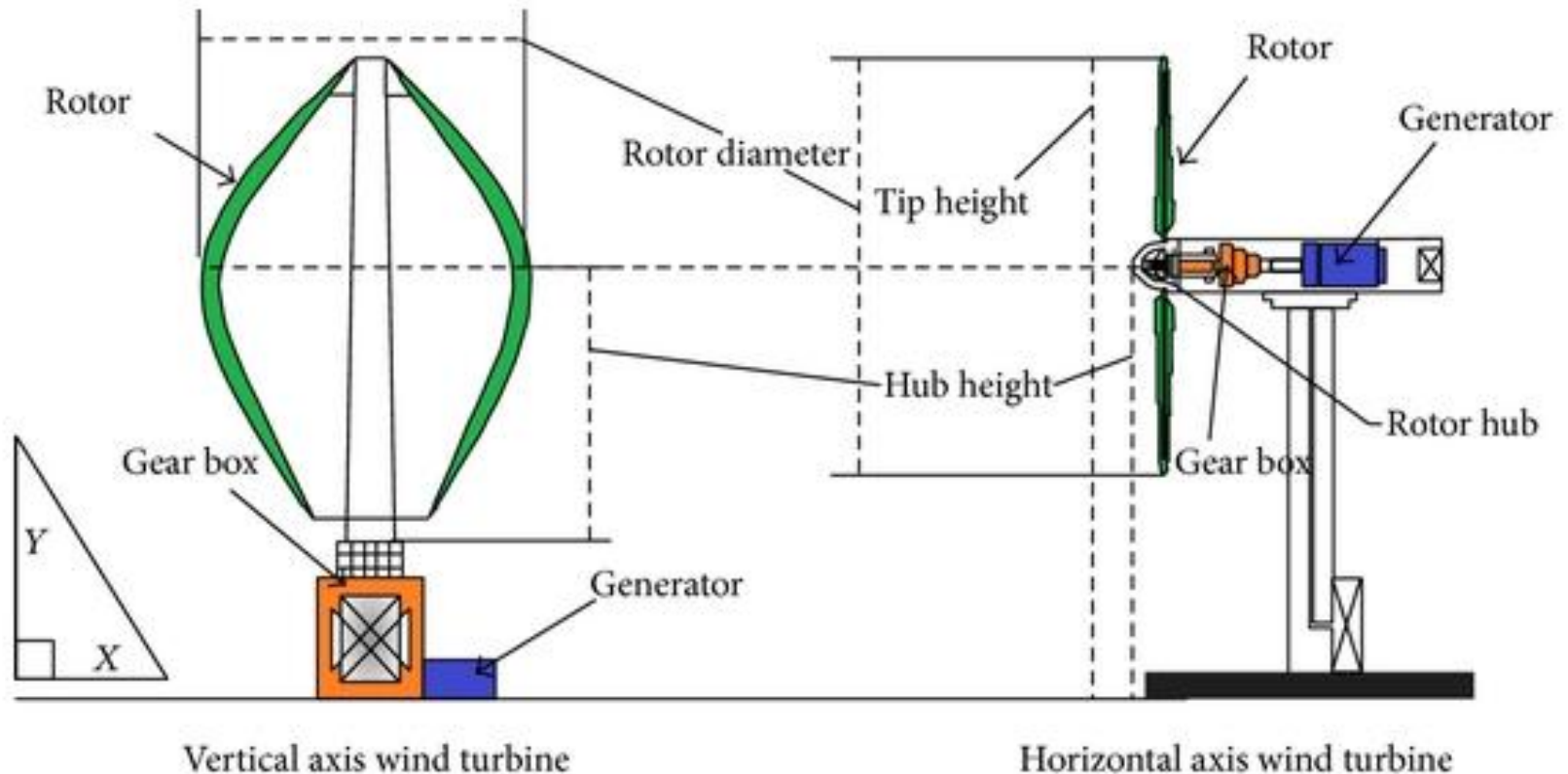


Budowa turbiny:

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

• jednołopatowe



• dwułopatowe



• trójłopatowe



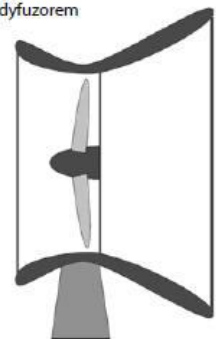
• wielołopatowe



• wykorzystujące efekt Magnusa



• z dyfuzorem



Rodzaje turbin

- wolnobieżne, średnobieżne 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

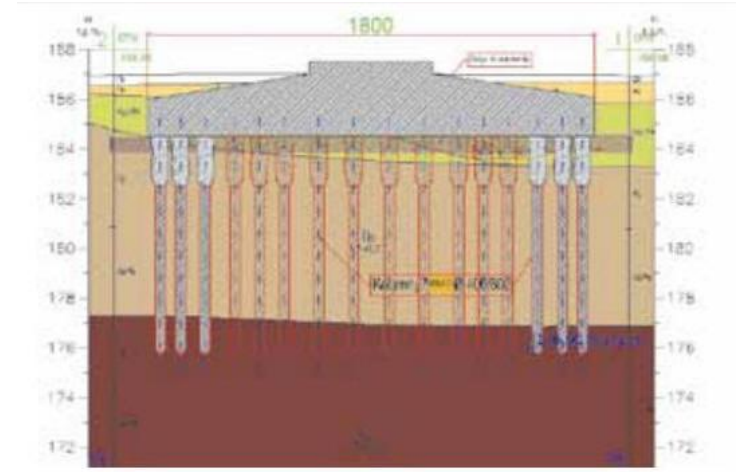
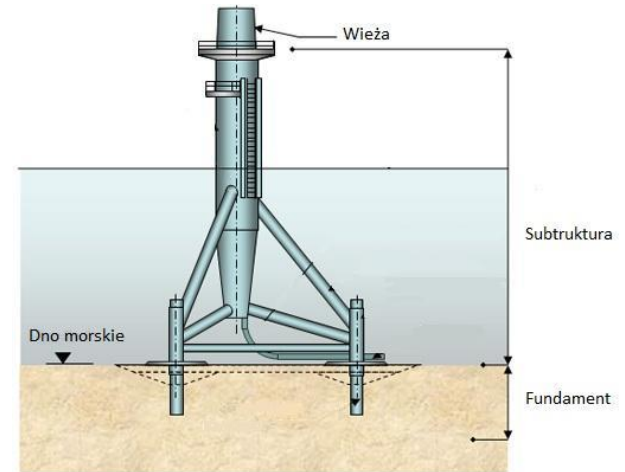
Kolejnym aspektem doboru jest usytuowanie elektrowni oraz przeznaczenie wyprodukowanej energii, co determinuje typ turbiny wiatrowej.

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

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

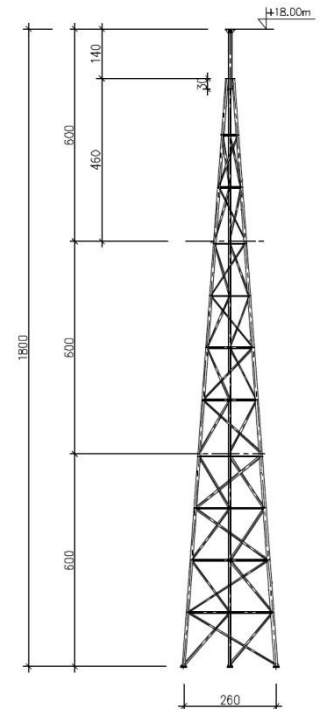
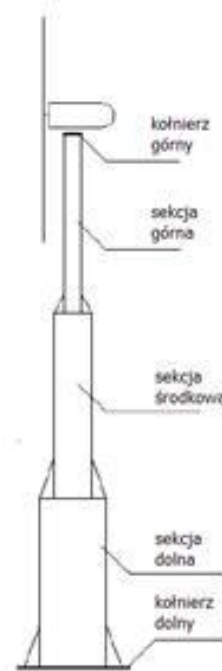
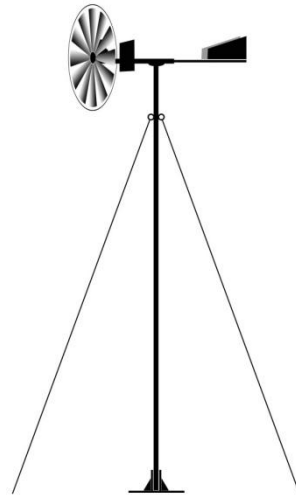
Budowa dużej elektrowni wiatrowej

- fundament
- wieża
- gondola



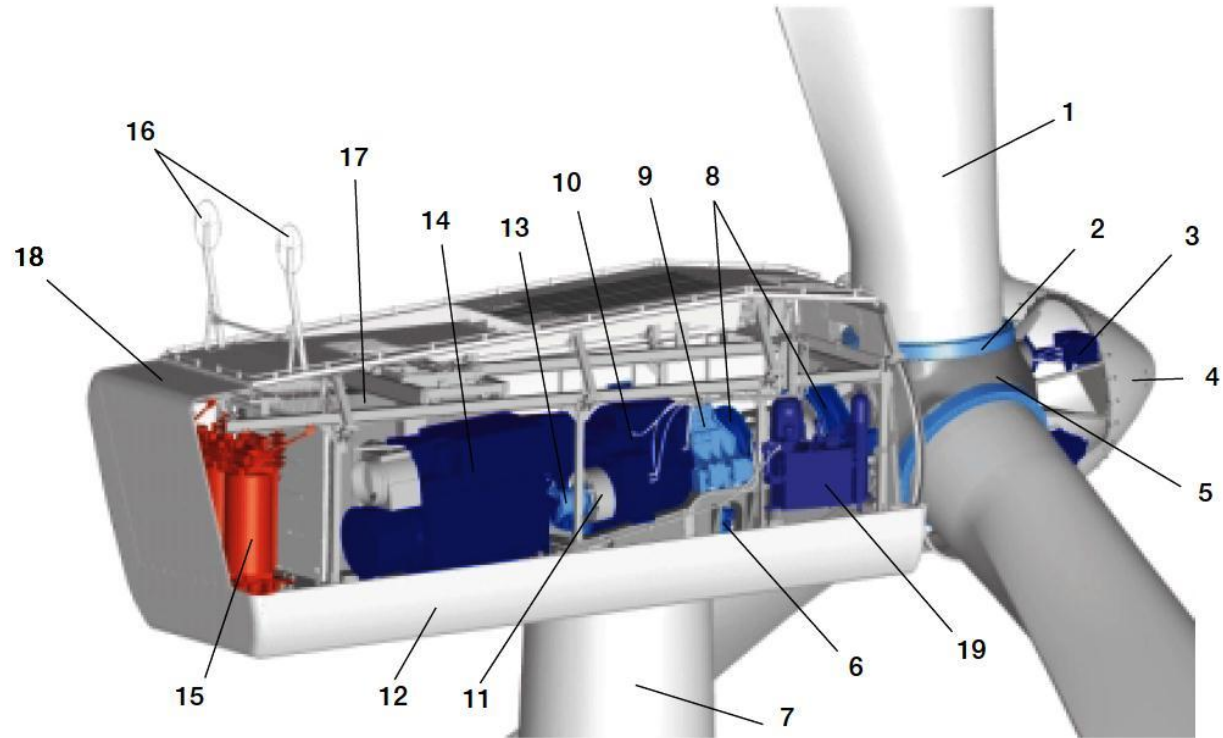
Budowa dużej elektrowni wiatrowej

- fundament
- **wieża**
- gondola



Budowa dużej elektrowni wiatrowej

- fundament
- wieża
- **gondola**



1. lopata
2. łożysko lopaty
3. siłownik hydrauliczny
4. pokrywa piasty
5. piasta
6. kontroler zbaczania z kursu
7. wieża

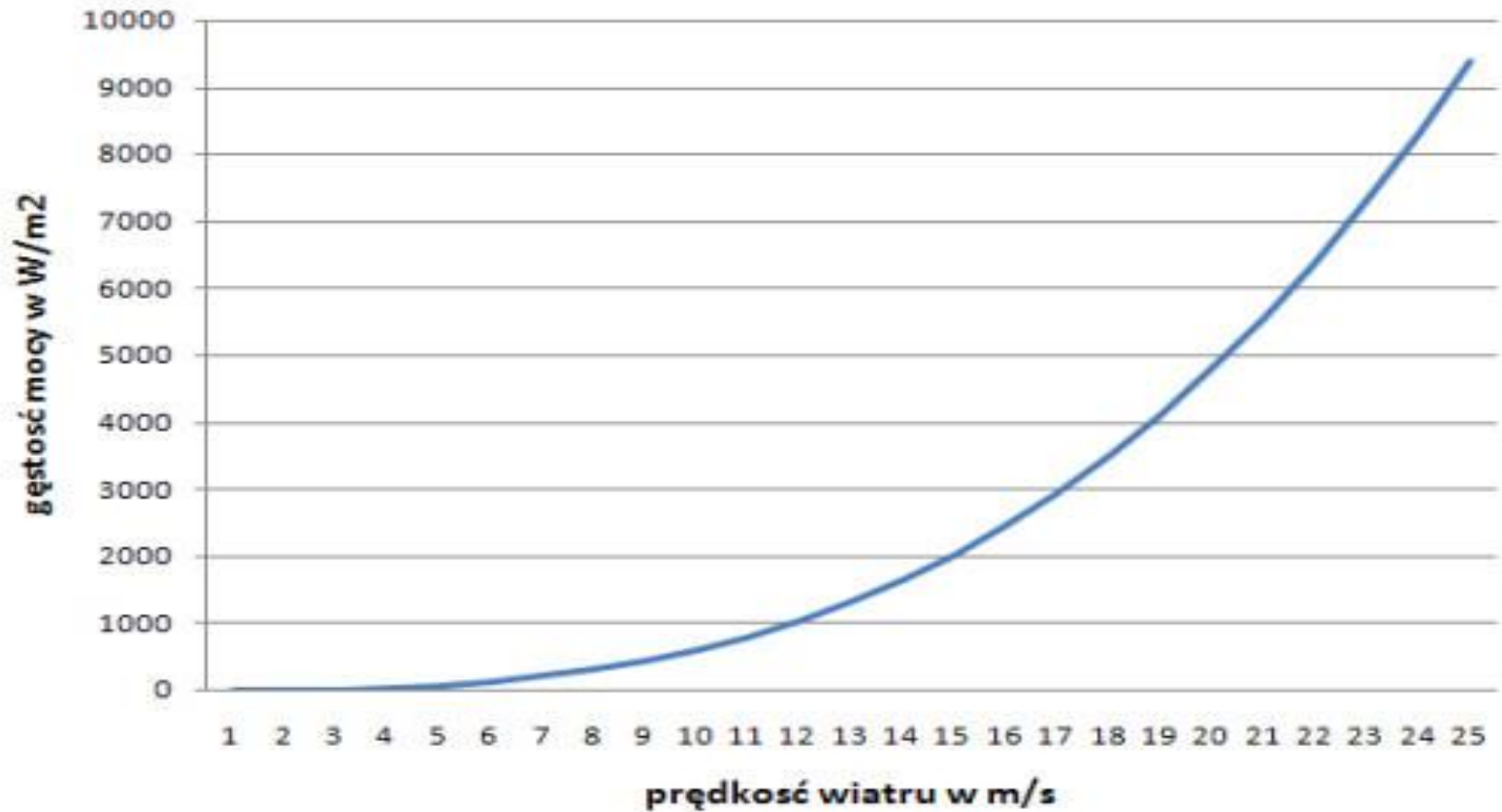
8. łożyska
9. wał skrzyni przekładniowej
10. skrzynia przekładniowa
11. główny hamulec tarczowy
12. rama nośna gondoli
13. wał
14. podwójnie zasilany generator

15. transformator
16. anemometr i wiatromierz
17. górny kontroler
18. pokrywa gondoli
19. agregat hydrauliczny

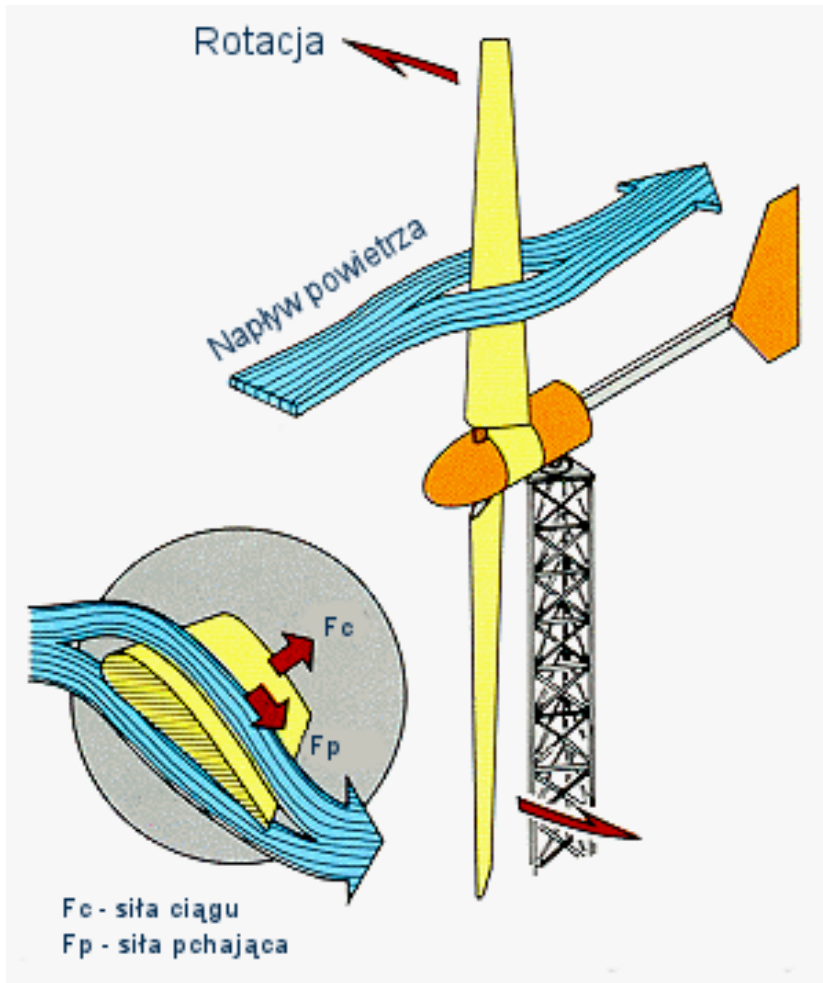
Parametry wpływające na pracę elektrowni wiatrowej

Wpływ prędkości wiatru na jego moc

Zależność mocy od prędkości wiatru



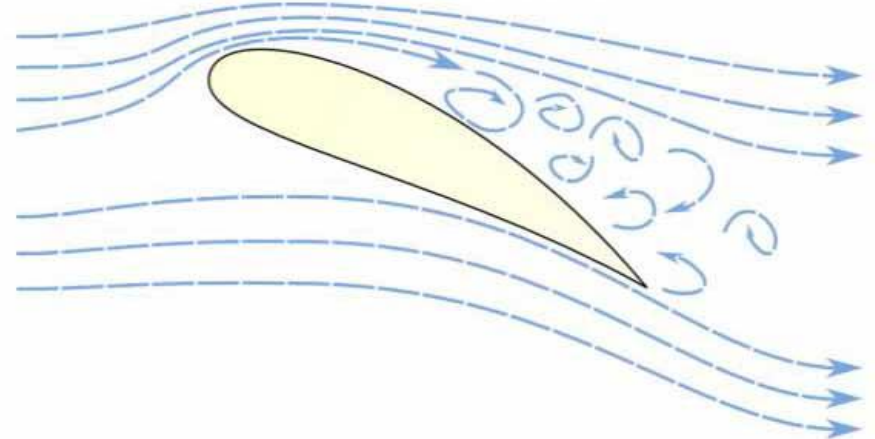
Siła nośna



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

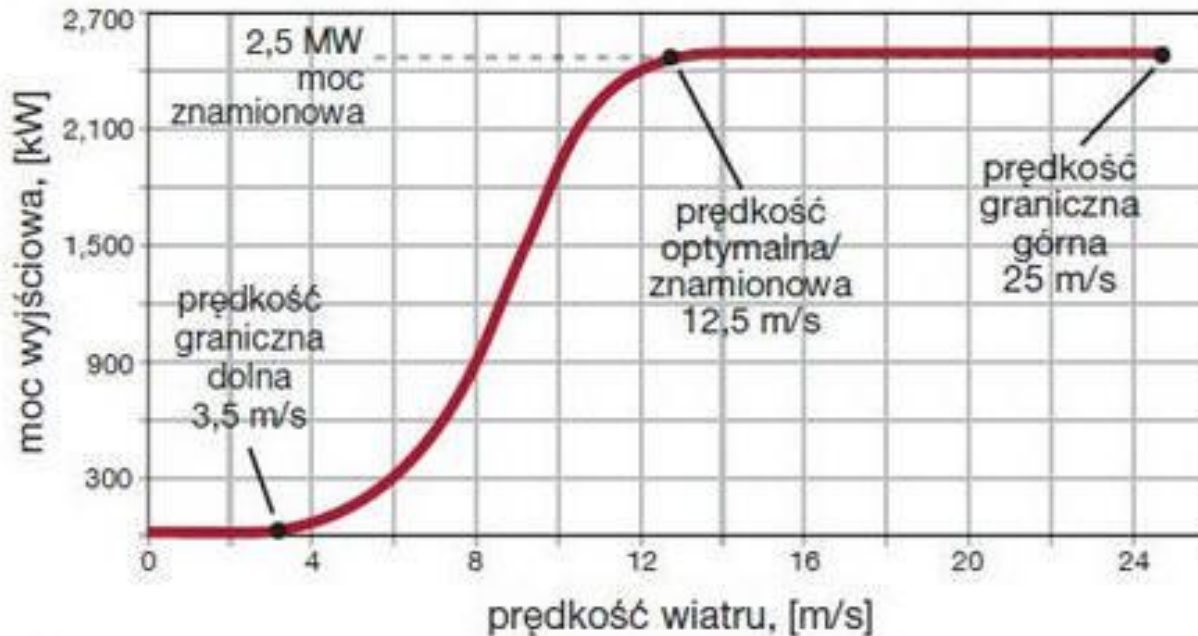
$$F_z = 0,5 \cdot A \cdot \rho \cdot C_z \cdot V^2$$

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

Krzywa mocy

Krzywa mocy

(GE Energy, dla turbiny wiatrowej o mocy 2,5 MW)



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

Krzywa sprawności turbiny

Prawo Betz'a

Założmy, 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:

$$m = \rho F (v_1 + v_2) / 2$$

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:

$$P = \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_2^2)$$

Podstawiając za masę wyrażenie z poprzedniego równania otrzymamy:

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

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

$$P_o = \frac{\rho}{2} v_1^3 F$$

Stosunek mocy odbieranej przez wirnik do całkowitej mocy wiatru P/P_o osiąga maksimum równe 0,593 dla $v_1/v_2 = 1/3$. 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 h_o [m/s]

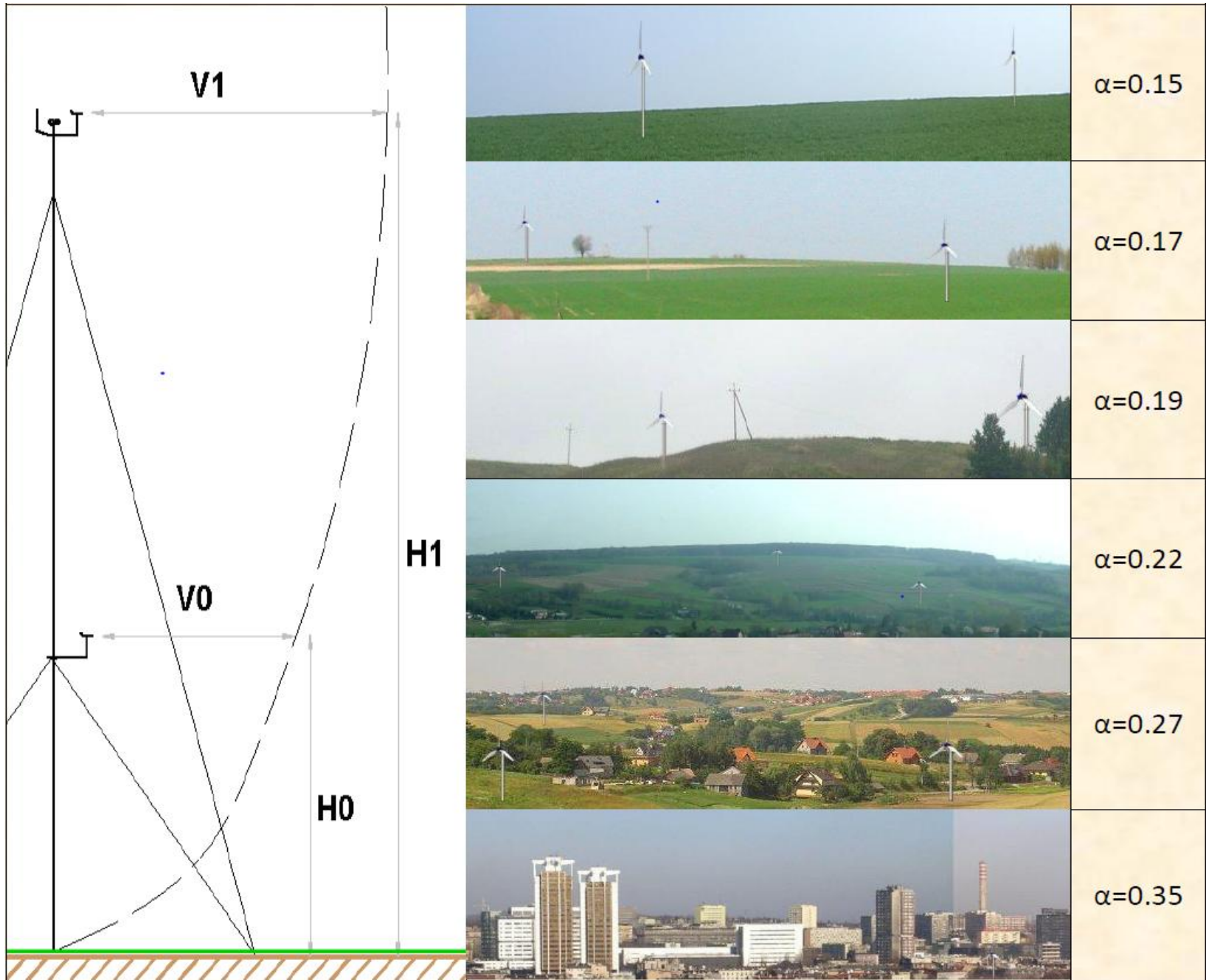
h – wysokość dla której oblicza się prędkość V_h [m]

h_o – wysokość usytuowania wiatromierza [m]

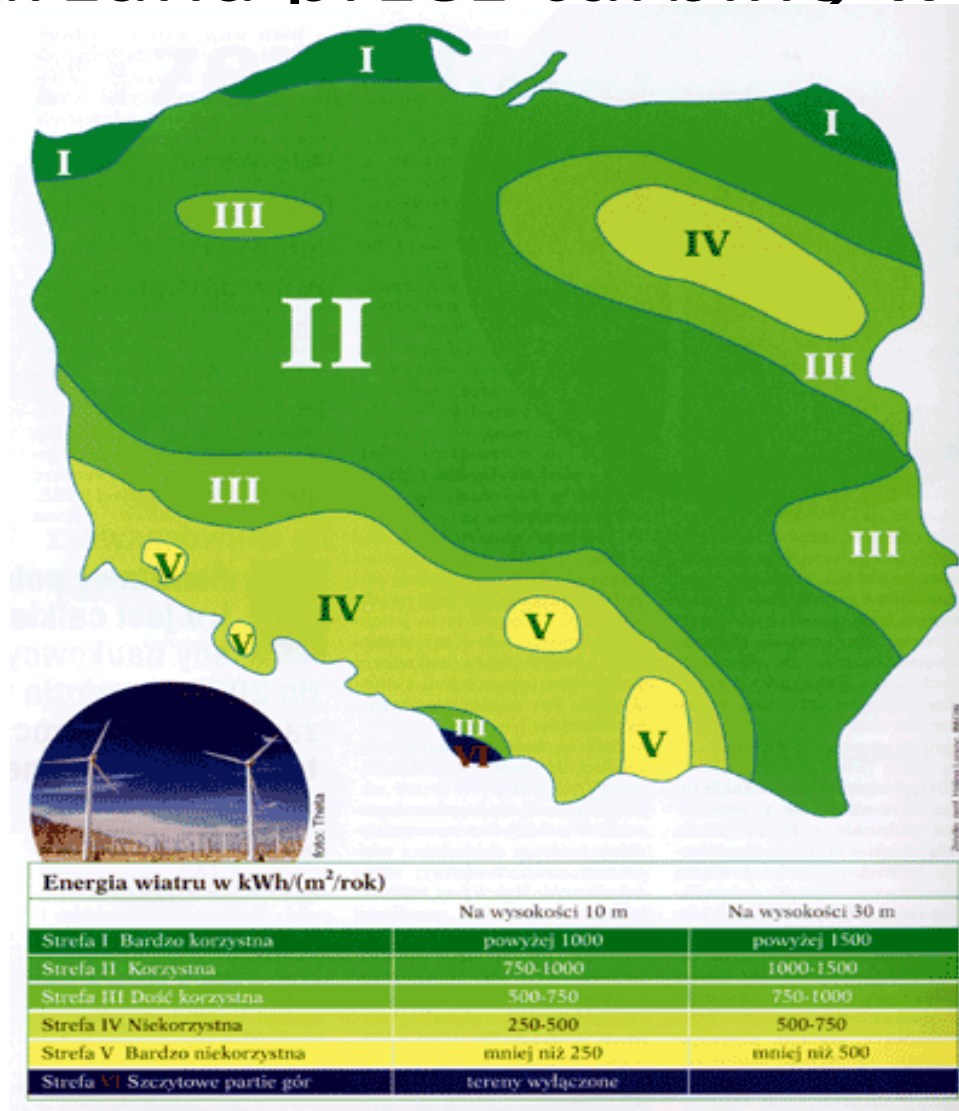
α – wykładnik potęgowy

Klasy szorstkości terenu

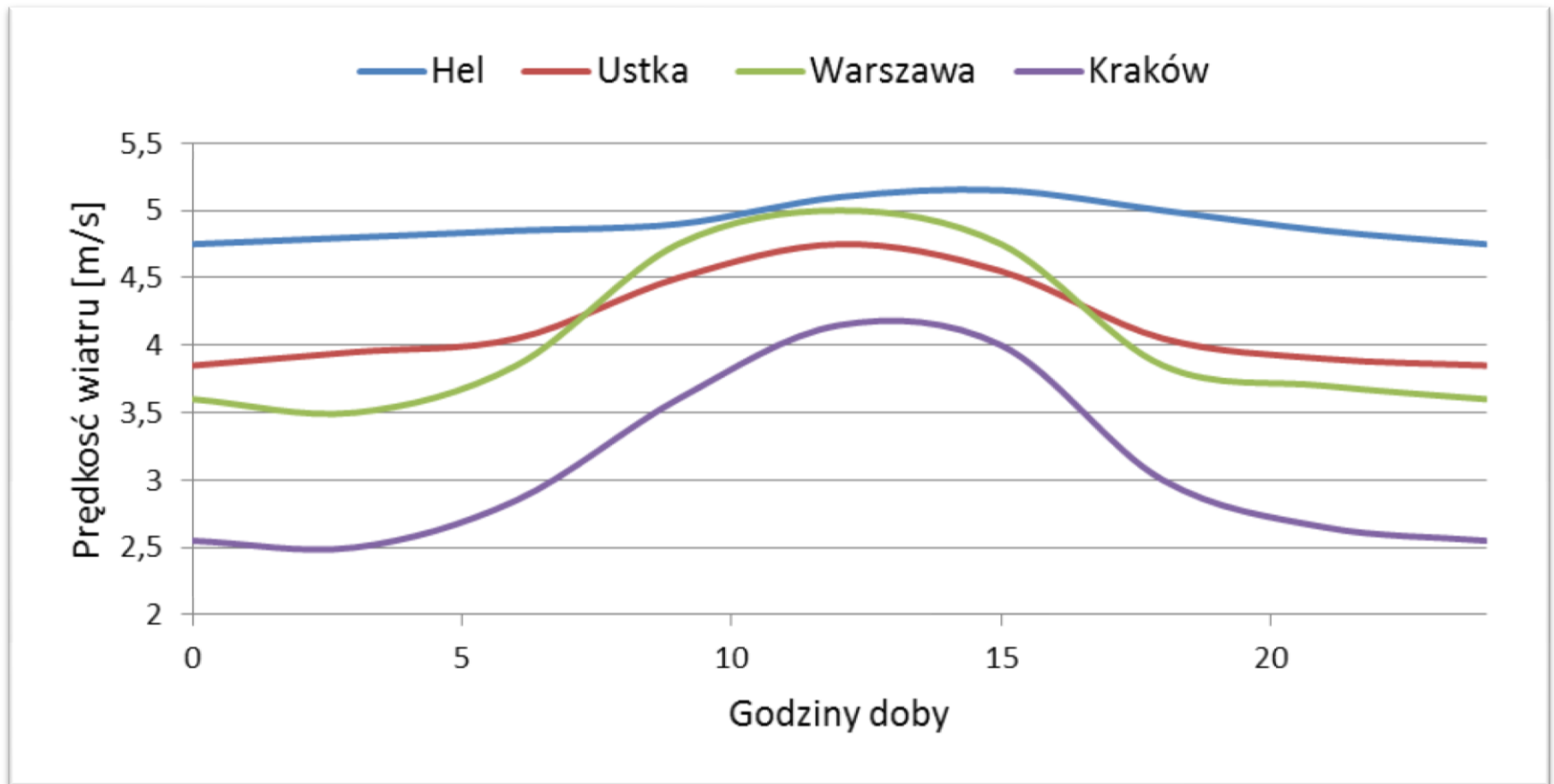
Klasa szorstkości terenu	Współczynnik szorstkości K	Wykładnik potęgowy α	Opis terenu
0	0,005	0,150	Teren płaski otwarty, na którym wysokość nierówności jest mniejsza od 0,5 m
1	0,007	0,165	Teren płaski otwarty lub nieznacznie pofalowany. Mogą występować pojedyncze zabudowania lub drzewa w dużych odległościach 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



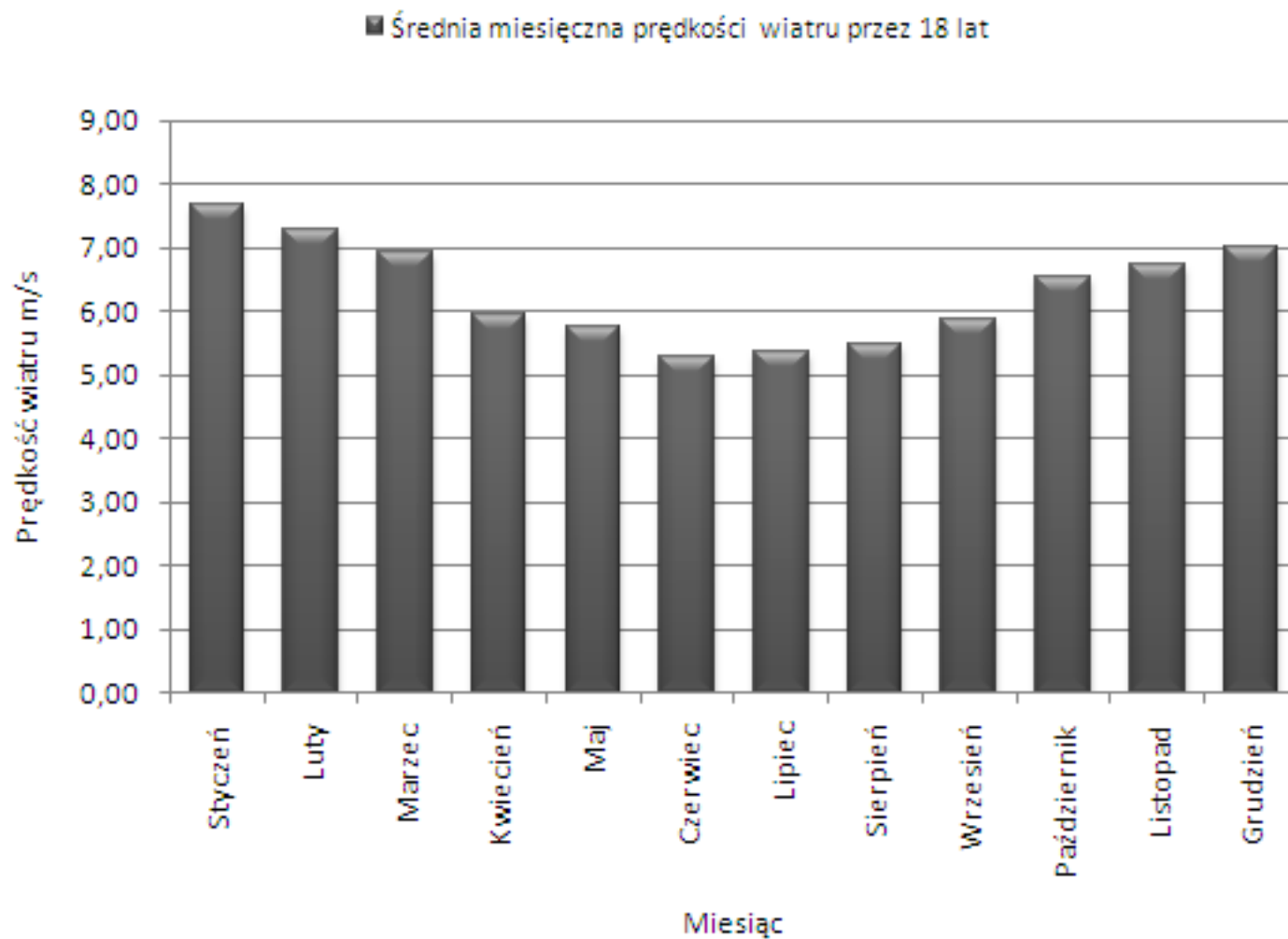
Położenie geograficzne, a energia wytwarzana przez turbiny wiatrową



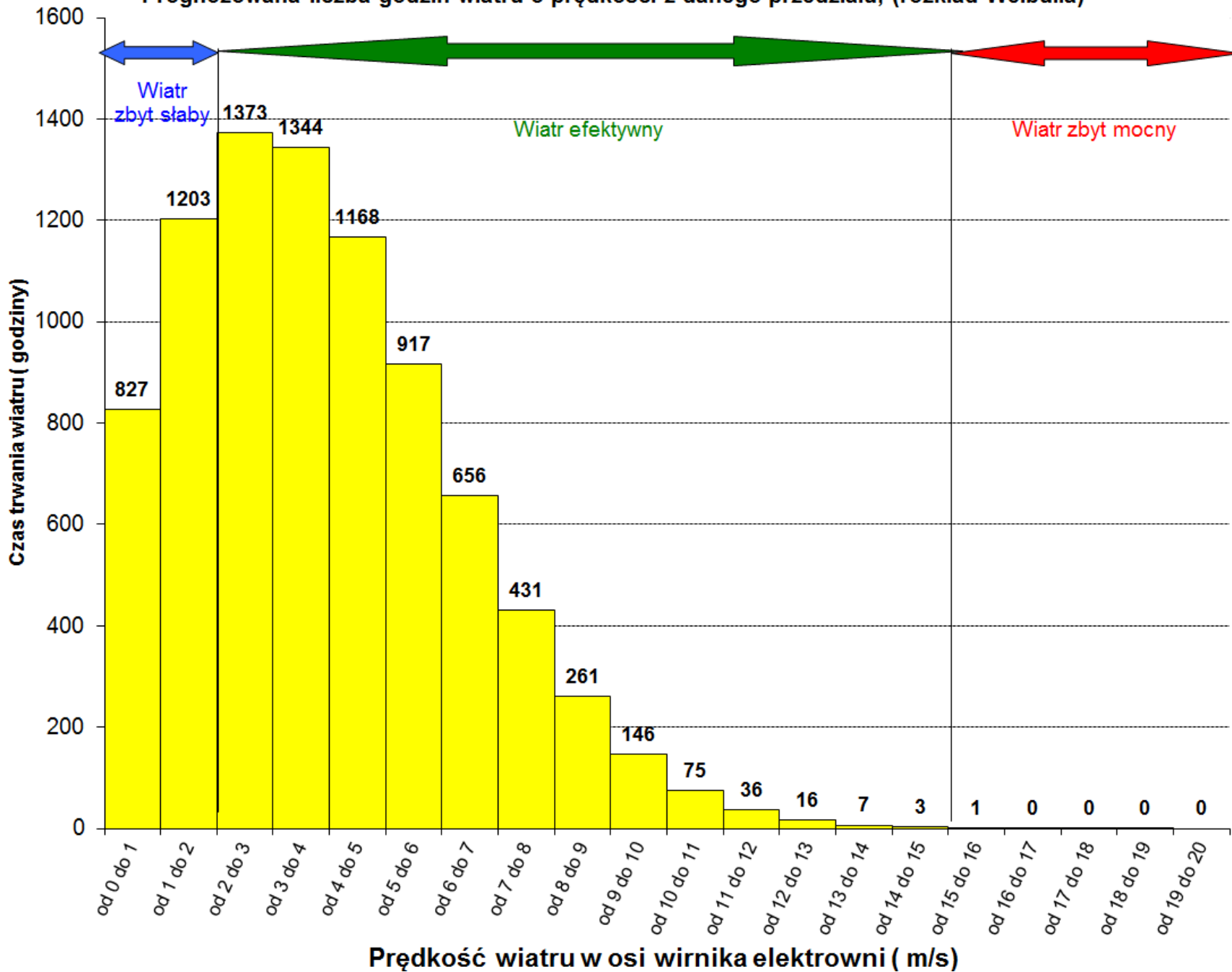
Wpływ pory dnia na produkcję energii z wiatru



Produkcja energii z wiatru w poszczególnych porach roku



Prognozowana liczba godzin wiatru o prędkości z danego przedziału, (rozkład Weibulla)



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 zębata pierścień, połączony 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 łopaty 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

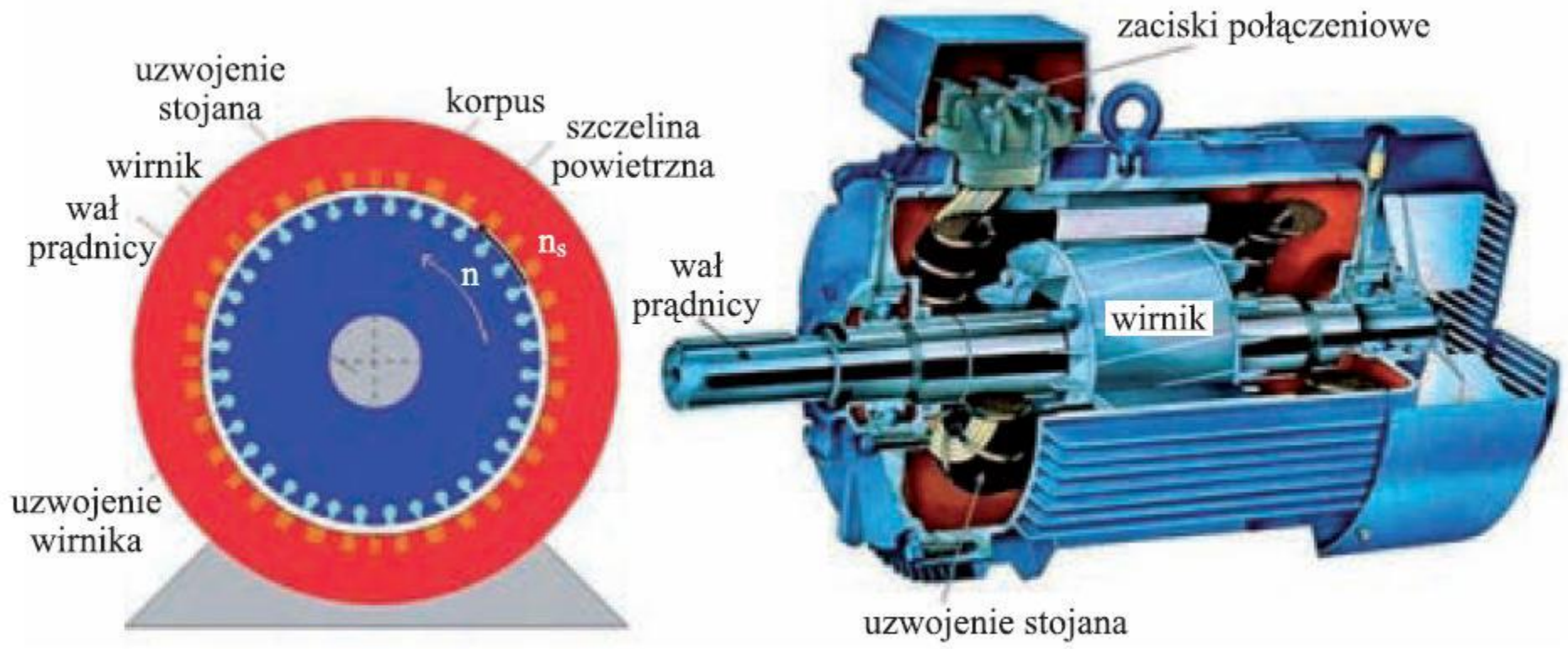
Budowa i zasada działania prądnic asynchronicznych (indukcyjnych)

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

$(n = ns)$.

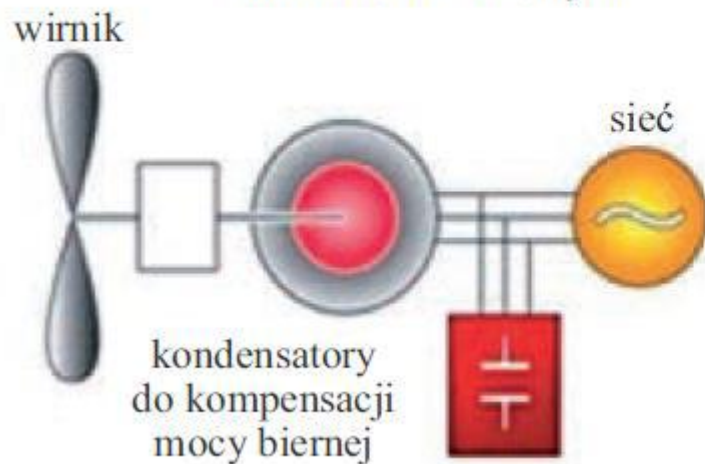
Jeżeli uzwojenie biegunów wirnika (wzbudzenia), zasilone zostanie prądem stałym (przez szczotki i pierścienie ślizgowe), wytwarza on stałe pole magnetyczne. Stałe pole magnetyczne wytwarzają również magnesy neodymowe. Po nadaniu wirnikowi prędkości obrotowej n przez turbinę: wodną, wiatrową, parową,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

W turbinach wiatrowych wcześniejszej konstrukcji, stosowane są prądnice asynchroniczne z wirnikiem klatkowym. Ze względu na dużą różnicę prędkości obrotowych, turbin i prądnicy, konieczne jest sprzężenie ich za pomocą przekładni. Uzwojenia stojana połączone są z siecią. Taki układ jest określony, jako turbina o stałej prędkości, chociaż prądnica indukcyjna, dopuszcza niewielkie zmiany prędkości wirnika (ok. 1%).

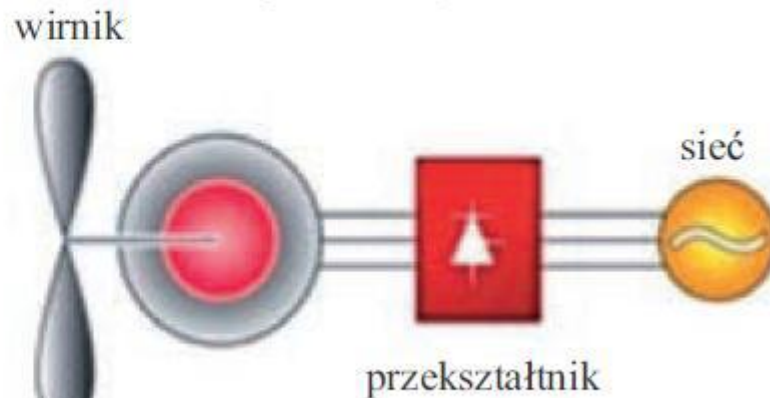
Obecnie w elektrowniach lub farmach wiatrowych pracujących na potrzeby energetyki zawodowej, najczęściej wykorzystywana jest prądnica asynchroniczna o regulowanej liczbie par biegunów stojana. Gdy prądnica asynchroniczna pracuje na sieć wydzieloną, musi współpracować z baterią kondensatorów. Rozwiązanie to rzadko znajduje zastosowanie, rys. 12. Na tym samym schemacie, drugi rysunek przedstawia generator synchroniczny, w którym uzwojenie wzbudzenia (wirnika), zasilane jest bezpośrednio z sieci, poprzez przekształtnik tyrystorowy. W najnowszych rozwiązaniach konstrukcyjnych prądnic synchronicznych, uzwojony wirnik, zastępuje się wirnikiem stalowym, na którym zamocowano magnesy stałe neodymowe. Na trzecim rysunku prądnica asynchroniczna, posiada uzwojony wirnik z zasilaniem wzbudzenia (moc bierna) z sieci. W przypadku pracy tej prądnicy na sieć energetyczną, nie jest potrzebne instalowanie baterii kondensatorów.

Energia elektryczna produkowana w elektrowniach wiatrowych musi mieć takie same parametry (częstotliwość i napięcie) jak sieć, z którą współpracuje (oddaje energię).

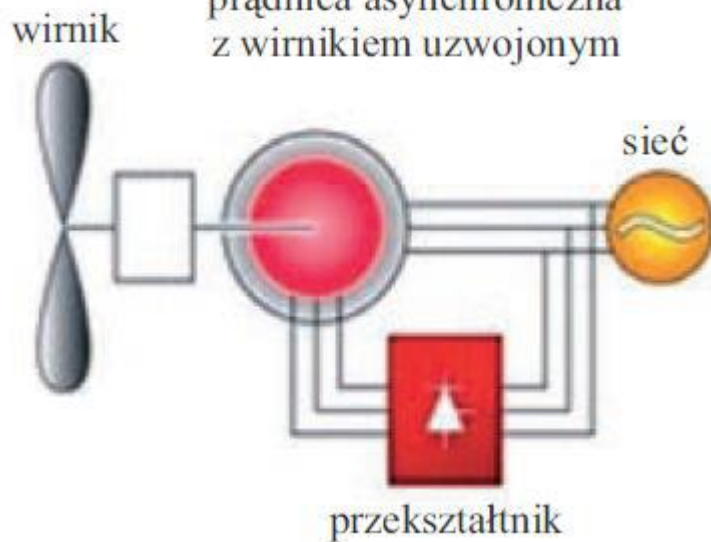
prądnica asynchroniczna
z wirnikiem klatkowym



bezpośrednio napędzana
prądnica synchroniczna



podwójnie zasilana
prądnica asynchroniczna
z wirnikiem uzwojonym



Oddziaływanie elektrowni wiatrowych na środowisko

Zdaniem części ekologów i niektórych mieszkańców, którzy zamieszkują w pobliżu elektrowni wiatrowych, maszyny te negatywnie oddziałują 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 „zastonięcie” wirnika, *drzewami posadzonymi wokół elektrowni (pochłaniają także znaczne natężenie dźwięku).*

Ptaki

Ptaki mogą kolidować z łopatomy 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 rozeznaczyć 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.

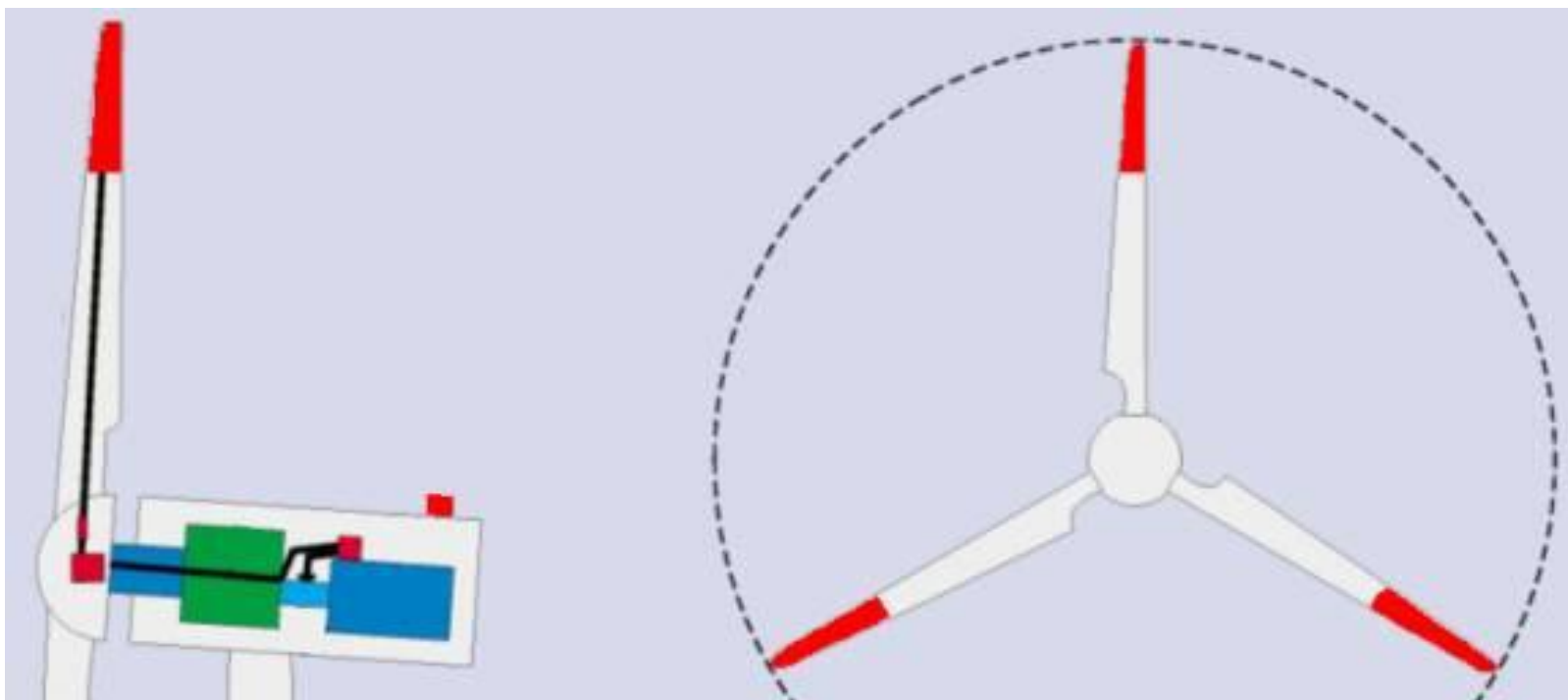
Obszary Natura 2000

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 przejmują 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 zakłócenkowe;
- 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 wyspowa;
- 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 $0,9 U_n$ oraz wzroście generowanego napięcia powyżej $1,1 U_n$ 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 oddziaływania 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.

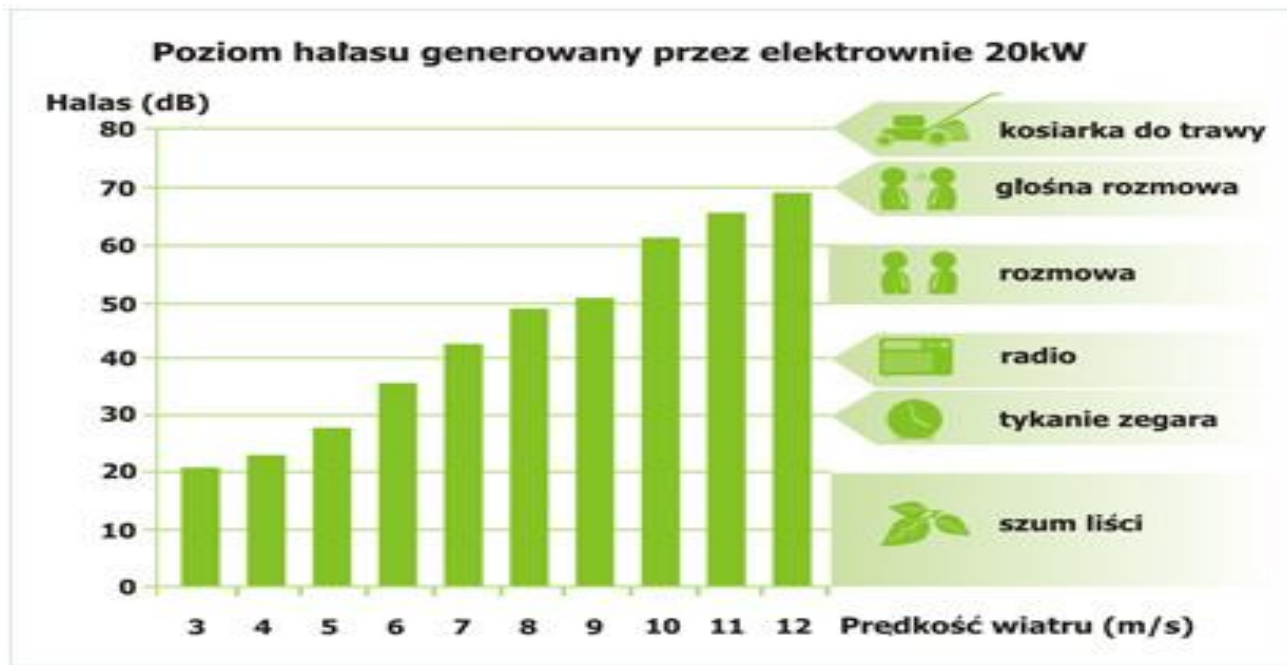
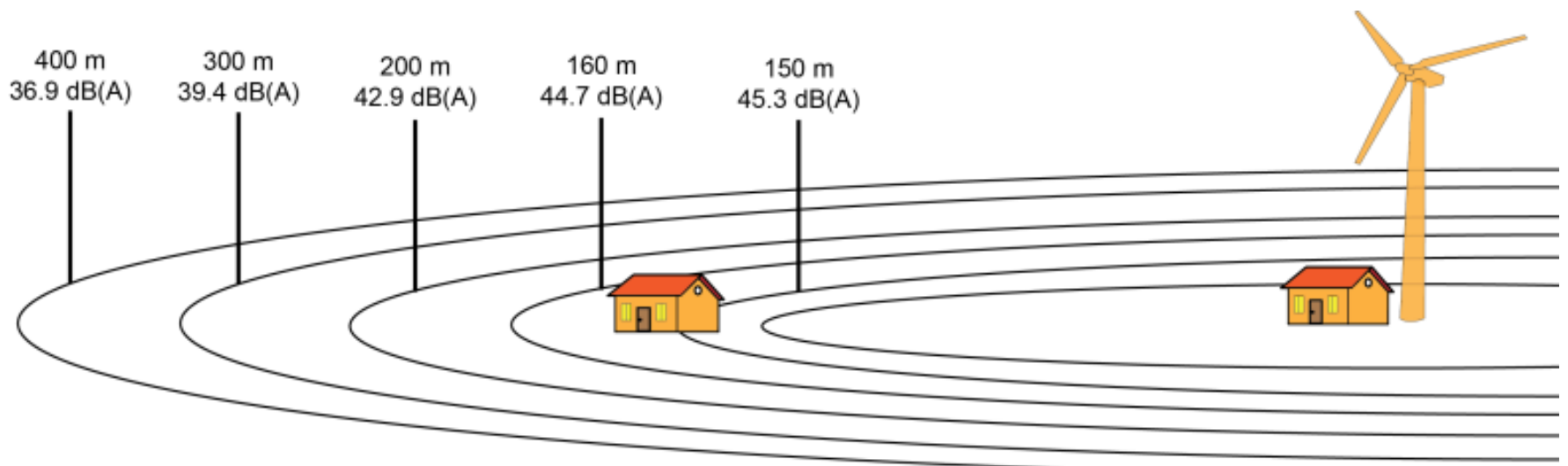
W polskim systemie elektroenergetycznym produkcja 1 MWh energii w oparciu o węgiel kamienny powoduje emisje **0,9 t CO₂**, zaś w oparciu o węgiel brunatny **1,05 t CO₂**.

Zastępowanie źródeł konwencjonalnych przez źródła energii odnawialnej pozwala więc na uniknięcie 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.



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 przeciwdziałania 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 OZE względem konwencjonalnych źródeł energii stale wzrasta,
- + stosunkowo niewielkie straty w przesyłaniu energii z elektrowni wiatrowej do odbiorcy. Nie ma znaczenia czy budujemy siłownię wiatrową 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.

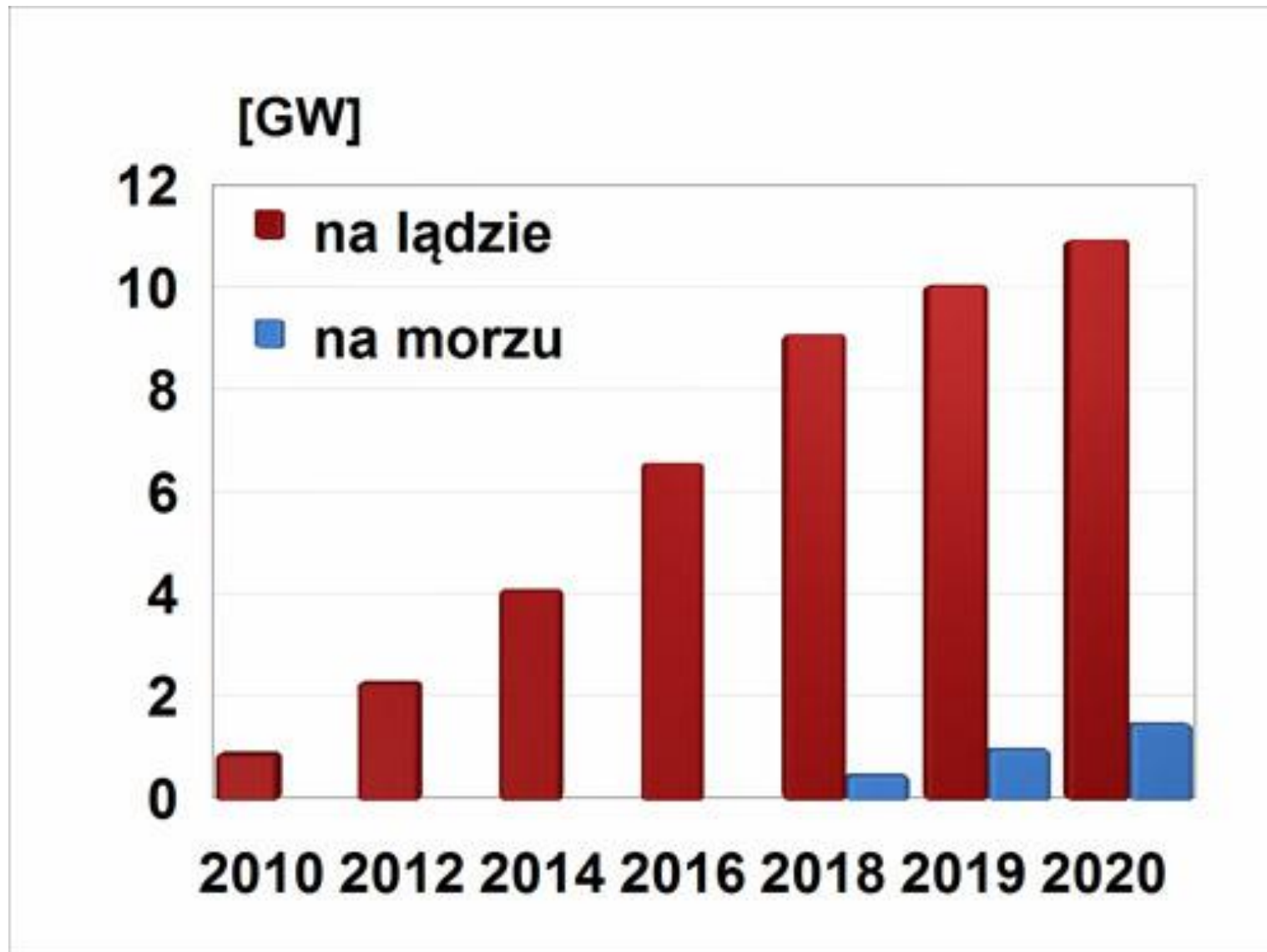
- Elektrownie wiatrowe pociągają za sobą duże koszty inwestycje. Obecnie jednak cena zbudowania siłowni wiatrowych ciągle maleje, dzięki nowym osiągnięciom w dziedzinie technologii. Co za tym idzie cena energii pozyskiwanej z wiatru ciągle spada,
- siły wiatru nie możemy w jakikolwiek sposób kontrolować, 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 części krajobrazu.

Dlaczego energia wiatru?

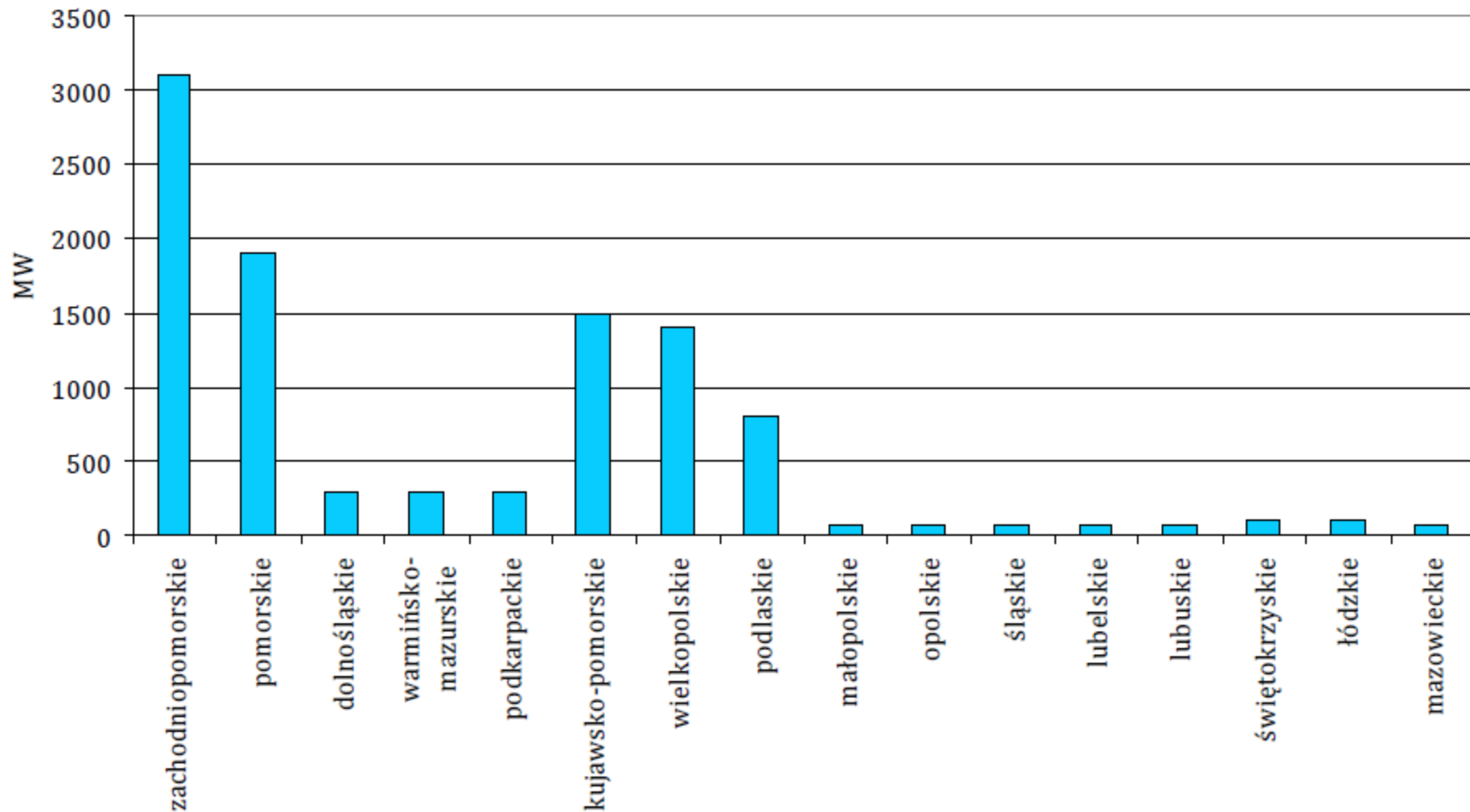
Turbina Enercon E-112 o mocy 5
MW i średnicy wirnika 112 m.



Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 roku



Potencjał rynkowy energetyki wiatrowej w Polsce do roku 2020



MITY DOTYCZĄCE ENERGETYKI WIATROWEJ

- **Mit : elektrownie wiatrowe mają negatywny wpływ na ludzi, ponieważ powodują hałas i efekt cienia.**
- **Fakt: nowoczesne urządzenia i dobre rozplanowanie pozwalają uniknąć tych problemów.**

Fakt jest taki, że przy budowie elektrowni wiatrowych należy przestrzegać licznych przepisów oraz stosować się do obszernych analiz, które mają na celu ochronę mieszkańców okolic przeznaczonych pod budowę elektrowni wiatrowych. Dotyczą one między innymi ochrony przed hałasem i efektem cienia. Poza tym turbiny są ciągle ulepszone, na przykład poprzez optymalizację kształtu śmigieł, lepszą izolację i niższą prędkość obrotową. Do tego dochodzą jeszcze słyszalne dźwięki otoczenia, takie jak wiatr czy szum lasu, które zagłuszają dźwięki wydawane przez elektrownie wiatrowe. Jeśli chodzi o niesłyszalne dźwięki, które rzekomo są bardzo szkodliwe dla ludzi, to liczne badania wykazały, że dźwięki te, zwane infradźwiękami, nie mają absolutnie negatywnego wpływu na ludzi. Infradźwięki są zresztą emitowane również przez telewizory, silniki samochodów, lodówki, telefony komórkowe i również w sposób naturalny – przez wiatr, deszcz czy morze.

- **Mit: wiatr nie wieje zawsze, dlatego w dalszym ciągu potrzebujemy elektrowni atomowych lub węglowych.**
- **Fakt: energia ze źródeł odnawialnych zastępuje elektrownie węglowe czy atomowe**

Fakt jest taki, że dzięki nowoczesnym programom komputerowym można obliczyć oczekiwaną wietrzność na danym obszarze już na długo wcześniej, zanim stanie tam elektrownia wiatrowa. Energia uzyskana z innych źródeł musi zabezpieczać tę znikomą część zapotrzebowania energetycznego, której nie da się do końca obliczyć w prognozach, jednak ilość ta ciągle maleje dzięki coraz lepszej możliwości prognozowania, inteligentnym sieciom oraz nowoczesnym urządzeniom, które gromadzą energię na czas słabszego wiatru. Twierdzi się, że zasilanie ze słońca i z wiatru nie ma żadnego wpływu na bezpieczeństwo energetyczne. Wręcz przeciwnie – nowoczesne urządzenia przyczyniają się do stabilizacji sieci. W przyszłości energia ze źródeł odnawialnych będzie wyrównywała wahania spowodowane przez inne elektrownie.

- **Mit: elektrownie wiatrowe zabijają ptaki i szkodzą innym zwierzętom**
- **Fakt: oddziaływania na ptaki i inne zwierzęta są znikome**

Fakt jest taki, że ptaki praktycznie nie giną od elektrowni wiatrowych – jest to wniosek licznych badań i długoletnich obserwacji prowadzonych w wielu krajach. Ulice, linie wysokiego napięcia i inne wysokie budowle są dla ptaków dużo bardziej niebezpieczne niż elektrownie wiatrowe. W dodatku każdy nowy projekt parku wiatrowego poprzedza obserwacja w terenie, czy na obszarze pod planowaną inwestycję gniazdują ptaki i czy pokrywa się on z trasą przelotu ptaków, co prowadzi do tego, że podczas wyboru lokalizacji omija się tereny chronione i takie, które miałyby negatywny wpływ na faunę i florę.

W przypadku zwierząt hodowlanych poddawanych codziennie wielu innym najróżniejszym bodźcom nie zaobserwowano w ogóle zmian w zachowaniu spowodowanych oddziaływaniami elektrowni wiatrowych. Zwierzęta dzikie natomiast przyzwyczajają się bardzo szybko do elektrowni wiatrowych, co potwierdzają między innymi myśliwi.

- **Mit: branża energetyki wiatrowej nie tworzy nowych miejsc pracy**
- **Fakt: branża energetyki wiatrowej jest prawdziwym motorem powstania nowych miejsc pracy**

Fakt jest taki, że dzięki rozwojowi tej branży w Niemczech mieliśmy do czynienia w ostatnich latach z prawdziwym boomem zatrudnienia (dla przykładu: pod koniec 2007 roku ponad 85 000 osób pracowało w branży energetyki wiatrowej, a w branży energii odnawialnych w ogóle było to aż 250 000 osób). Zatrudnienie znalazły osoby z regionów słabo rozwiniętych i ten trend znajdzie kontynuację w przyszłości.

- **Mit: elektrownie wiatrowe mają ujemny bilans energetyczny**
- **Fakt: bilans ekologiczny elektrowni wiatrowych jest jak najbardziej dodatni**

Fakt jest taki, że elektrownia wiatrowa wytwarza w trakcie jej eksploatacji 40 – 70 razy tyle energii, ile zużywa się do jej postawienia, eksploatacji i demontażu. Badania wielu niezależnych instytutów potwierdzają, że w przypadku turbiny wiatrowej na lądzie zużyta przez nią energia „oddawana” jest z powrotem do sieci już po 3 – 12 miesiącach od jej postawienia, a w przypadku turbin na morzu (offshore) nawet już po 4 – 6 miesiącach. Zakładając średnio 20 lat eksploatacji takiej elektrowni, jest to jak najbardziej dodatni bilans energetyczny, którego konwencjonalne elektrownie wiatrowe nie będą w stanie osiągnąć nigdy, ponieważ trzeba im dostarczać ciągle energii w postaci surowców.

- **Mit: elektrownie wiatrowe szkodzą turystyce**
- **Fakt: turyści oceniają elektrownie wiatrowe bardzo pozytywnie, same elektrownie często stają się celem wycieczek**

Fakt jest taki, że elektrownie wiatrowe ingerują w krajobraz tak samo jak wszystkie inne budowle. Badania empiryczne ruchów turystycznych wykazały jednak, że turyści oceniają elektrownie wiatrowe raczej jako widoczny znak aktywnej ochrony klimatu i środowiska niż jako coś negatywnego. Niektóre gminy wykorzystują pojawiające się w związku z tym szanse i włączają stojące na ich terenie wiatraki do oferty turystycznej, na przykład jako punkt tras pieszych czy rowerowych, organizując przy okazji spotkania informacyjne poszerzające wiedzę o ochronie środowiska i o odnawialnych źródłach energii.

- **Mit: energia wiatrowa wymaga wysokich dopłat**
- **Fakt: bez subwencji do energii z wiatru byłoby to najtańsze źródło prądu na rynku**

Fakt jest taki, że żadne pieniądze z podatków nie idą na dopłaty do pozyskiwania energii z wiatru. Prąd produkowany przez elektrownie wiatrowe jest skupowany przez przedsiębiorstwa energetyczne a dodatkowe koszty pokrywają wszyscy klienci. Szczegółowo reguluje to Prawo energetyczne.

- Przeciętna czteroosobowa rodzina zużywająca rocznie około 2 500 kilowatogodzin dopłaca do ekoprądu jedyne 2,1 euro miesięcznie, co stanowi około 25 euro rocznie na rzecz aktywnej ochrony klimatu i na rzecz inwestycji zapewniających pewną i korzystną energię w przyszłości.
- Państwo dopłaca natomiast do elektrowni węglowych czy atomowych. W dodatku ogromne podatki wpompowywane latami w te technologie uniemożliwiły sprawiedliwą konkurencję na rynku wytwórców energii. Bez dopłat państwowych do gospodarki energetycznej energia z wiatru byłaby już dziś najbardziej opłacalnym źródłem energii.
- **Mit: większość społeczeństwa nie akceptuje energetyki wiatrowej**
- **Fakt: energia z wiatru cieszy się pełną akceptacją**

Fakt jest taki, że według aktualnych sondaży największych instytutów badania opinii publicznej większość ludzi odbiera elektrownie wiatrowe jak najbardziej pozytywnie, z czego spora większość jest za tym, żeby udział elektrowni wiatrowych w rynku energetycznym był sukcesywnie zwiększany. Dalsze badania pokazują, że zgodę na to dają przede wszystkim ludzie, w których najbliższym otoczeniu stoją już elektrownie.

Dziękuję za uwagę.