



Energia wiatru

Spis treści

- Wprowadzenie
- Techniczne zasady funkcjonowania
- Techniczne aspekty mające wpływ na przepływy środków pieniężnych przez cały okres użytkowania instalacji wykorzystujących energię wiatru
- Ekonomia projektów wykorzystujących energię wiatru
- Główne czynniki ryzyka związane z wykorzystaniem energii wiatru

Wprowadzenie

☀ energia wiatru jest **czysta**

- energia elektryczna wyprodukowana przy użyciu energii wiatrowej zastępuje energię otrzymaną ze spalania paliw kopalnych, zmniejszając emisję CO₂ (globalne ocieplenie) i zanieczyszczenia chemiczne

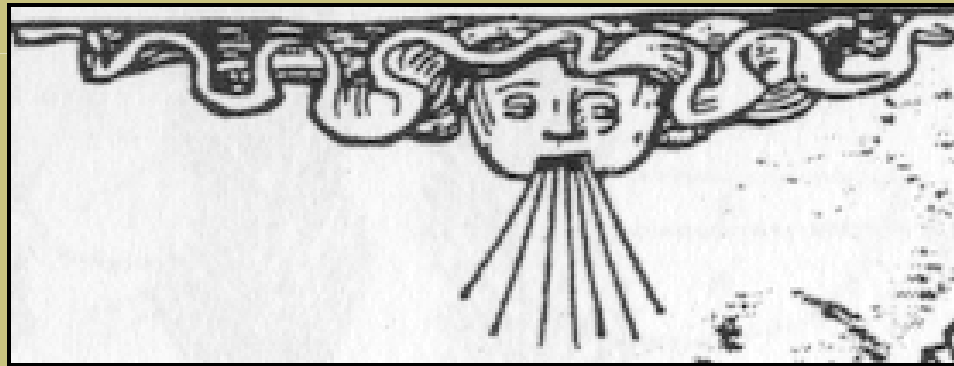


Techniczne zasady funkcjonowania

✓ Moc wiatru

"wiatr" to ruch mas powietrza:

- jest spowodowany różnicami ciśnienia (wskutek różnic temperatury)
- na wiatr ma wpływ ruch obrotowy ziemi i rzeźba terenu



wiatr to przekształcona energia słoneczna (1~2 % energii słonecznej dochodzącej do ziemi)

- Wiatr zawiera energię, która może być przekształcona za pośrednictwem turbin wiatrowych w energię elektryczną.
- Ilość energii elektrycznej produkowanej przez turbiny wiatrowe zależy od:
 - ✓ Ilości energii wiatru przechodzącego przez obszar zabierany przez łopatki turbiny na jednostkę czasu . Ten przepływ energii nosi nazwę:

gęstości energii wiatru

Moc teoretycznie uzyskiwana na turbinie wiatrowej:

$$\text{Moc} = \frac{1}{2} c_p \eta \rho A V^3$$

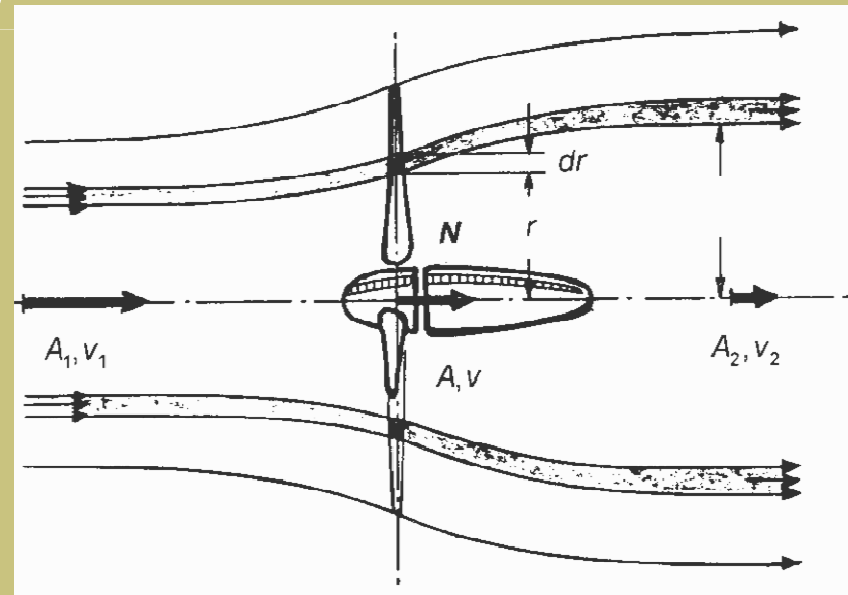
ρ : gęstość właściwa powietrza (kg/m^3)

c_p : współczynnik mocy

η : sprawność mechaniczna/elektryczna

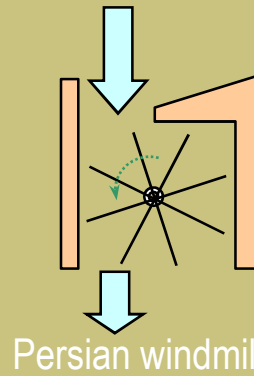
A : powierzchnia tarczy wirnika

V : prędkość wiatru (m/s)

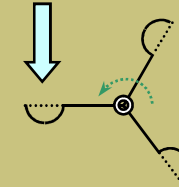


✓ Zasady pracy turbin wiatrowych

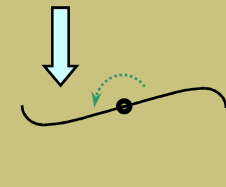
Wirniki typu „aerodynamicznego”
(pionowa oś, widok z góry)



Persian windmill

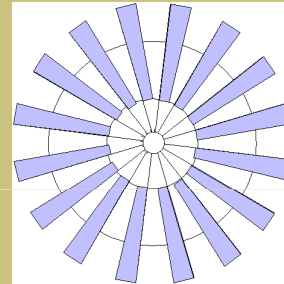


Cup Anemometer



S-rotor

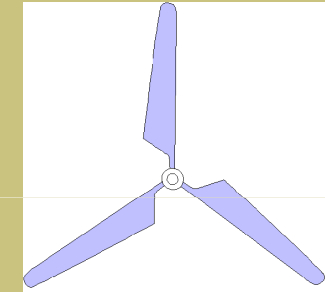
Wirniki o różnym typie
podnoszenia z osią poziomą



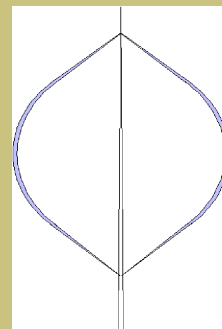
Multi-bladed



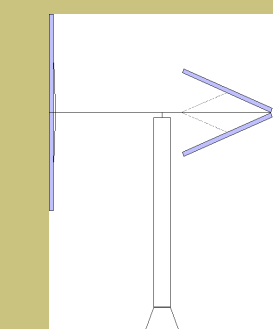
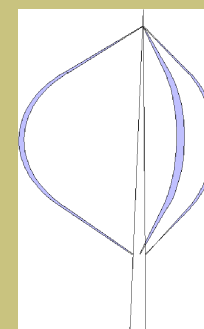
Propeller types



Wirniki o różnym typie
podnoszenia z osią pionową



Darrieus (Troposkien shape)

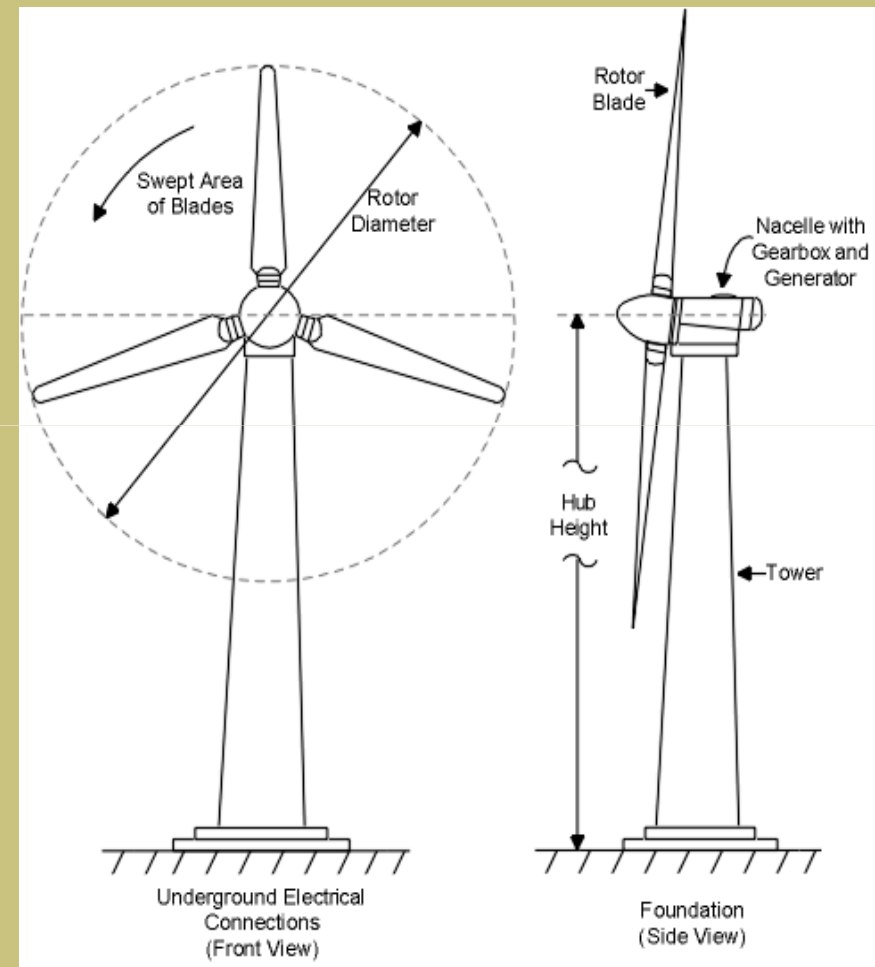


Variable geometry

✓ Opis turbin wiatrowych

❖ Turbina wiatrowa z osią poziomą (HAWT) jest podzielona na 4 podstawowe podsystemy:

- **Wirnik:** składający się zwykle z dwóch lub trzech łopatek, piasty, za pośrednictwem której łopatki są połączone z wałem wolnobieżnego napędu a czasami systemami połączeń hydraulicznych lub mechanicznych do ustawiania skoku wszystkich lub niektórych łopatek.
- **Gondola:** zwykle w jej skład wchodzi skrzynka przekładniowa i generator, wały i sprzęgi, osłona całej gondoli oraz często mechaniczny hamulec tarczowy i system odchylenia kierunkowego.
- **Wieża i fundamenty:** na nich osadzony jest wirnik i gondola.
- **Elektryczny system sterowania i okablowanie** oraz instrumenty do monitorowania i sterowania.



❖ **Wirnik** może być zainstalowany:

- „*pod wiatr*” w stosunku do wieży, tak więc umożliwia przyjmowanie wiatru, niezakłóconego przez samą wieżę,
- „*z wiatrem*” w stosunku do wieży, umożliwia samoistne ustawienie wirnika zgodnie z kierunkiem wiatru (ustawienie odchylenia), powoduje jednak zmianę kierunku wiatru i turbulencje wywołane przez wieżę zanim wiatr dotrze do wirnika (aerodynamiczny cień wieży).

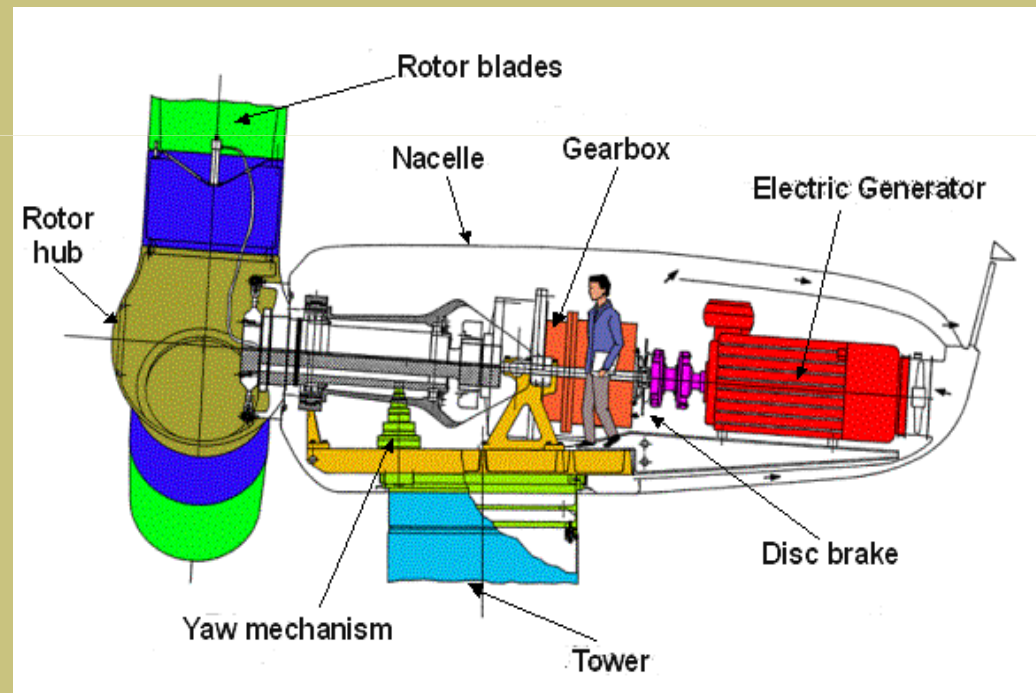
❖ **Przy wyborze liczby łopatek obowiązuje zasada, że:**

„im mniejsza liczba łopatek, tym szybciej obraca się wirnik”

- Całkowity okres użytkowania wirnika jest związany ze zmiennymi obciążeniami i warunkami środowiska, w których pracuje wirnik.
- Z tego względu mechaniczne właściwości wirnika i jego projekt mają wpływ na okres użytecznej eksploatacji.
- Materiały użyte do konstrukcji łopatek turbiny wiatrowej można podzielić na trzy główne grupy: drewno, syntetyczne kompozyty i metale.

✓ Wyposażenie typowej gondoli

- **Główny wał:** Przenosi pierwotny moment obrotowy z zespołu wirnika na przekładnię zębatą. Główny wał jest podparty na łożyskach poprzecznych. .
- **Przekładnia:** Prąd elektryczny wyprodukowany przez turbinę wiatrową musi mieć częstotliwość zgodną z lokalną siecią dystrybucyjną (50 - 60 Hz). Częstotliwość wirnika wynosi na ogół około 0,5 Hz, natomiast wzrost częstotliwości można uzyskać poprzez połączenie przekładni i generatora wielobiegunowego.
- **Hamulec tarczowy:** Hamulec może być zamontowany albo na głównym wale przed przekładnią zębatą, lub na wale szybkobieżnym, za przekładnią.
- **Generator:** zmienia energię mechaniczną wału wejściowego na energię elektryczną.
- **Zespół kierunkowy:** W celu uzyskania jak największej energii kinetycznej wiatru, oś wirnika powinna być ustawiona odpowiednio do kierunku wiatru.



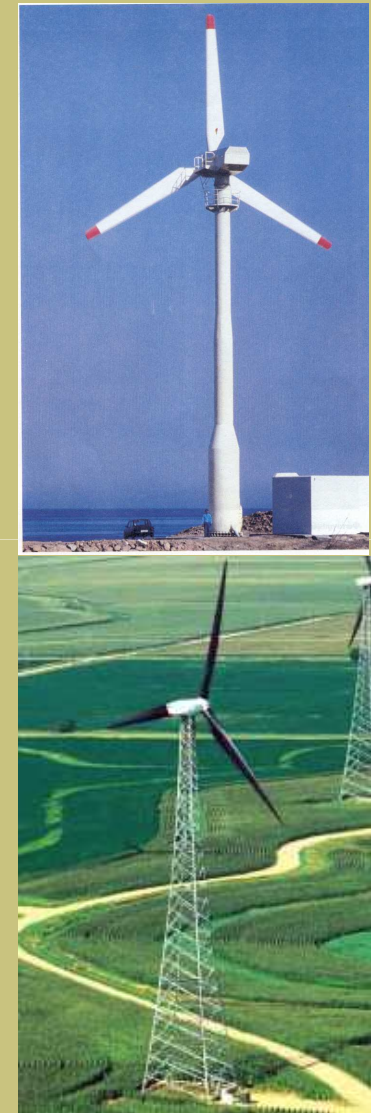
✓ Podstawowe typy wież

❖ Turbina wiatrowa z wieżą ze stali rurowej:

- Stałe wieże rurowe są produkowane ze stali trapezowej lub betonu. Są one produkowane w odcinkach 20-30 metrów, z kołnierzami po każdej stronie i skręca się je na miejscu.
- Wieże są stożkowe, by zwiększyć ich trwałość, a jednocześnie oszczędzić materiał.
- Obecnie większość dużych turbin wiatrowych jest dostarczanych wraz z wieżami ze stali rurowej.

❖ Turbina wiatrowa z wieżą kratową.

- Ich budowa jest względnie tania i wymaga słabszych fundamentów niż wieże rurowe. Do budowy wieży kratowej wymagana jest połowa materiału w porównaniu z wolnostojącą wieżą rurową.
- Podstawową wadą wież kratowych jest ich wygląd.



Techniczne aspekty mające wpływ na przepływy środków pieniężnych przez cały okres użytkowania instalacji wykorzystujących energię wiatru

✓ Zmienność wiatru:

⇒ Zmienność w czasie

- W celu dokładnego przewidzenia sprawności turbiny wiatrowej konieczna jest nie tylko znajomość **średniej prędkości wiatru** w danym miejscu, ale także **zmian prędkości wiatru w czasie**.
- Użyteczne jest określenie różnic w trzech skalach czasowych: **krótkiej** (sekundy do minut), **średniej** (godziny do dni) oraz **długiej** (tygodnie do lat).

⇒ Zależność prędkości wiatru od wysokości

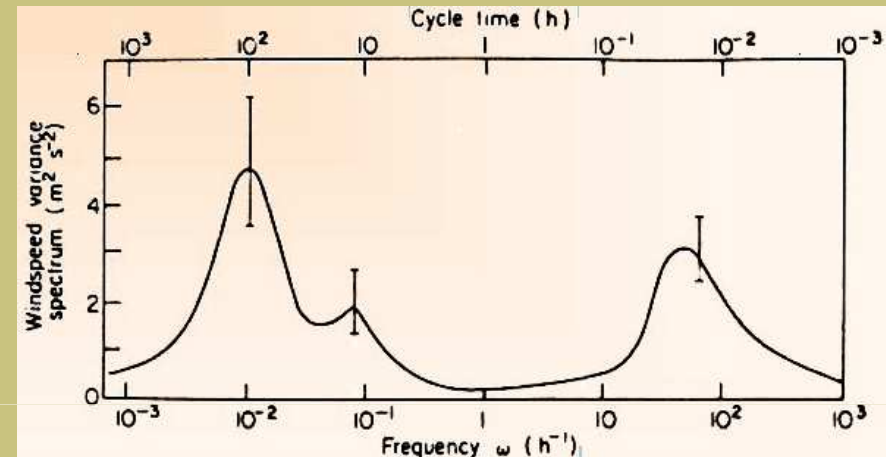
Profil logarytmiczny

$$v = \frac{v_\tau}{K} \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)$$

Zależność
wykładnicza

$$v = v_R \left(\frac{h}{h_R}\right)^\alpha$$

Typowe spektrum zmienności prędkości wiatru



⇒ Zróznicowanie przestrzenne



✓ Ocena zasobów wiatru

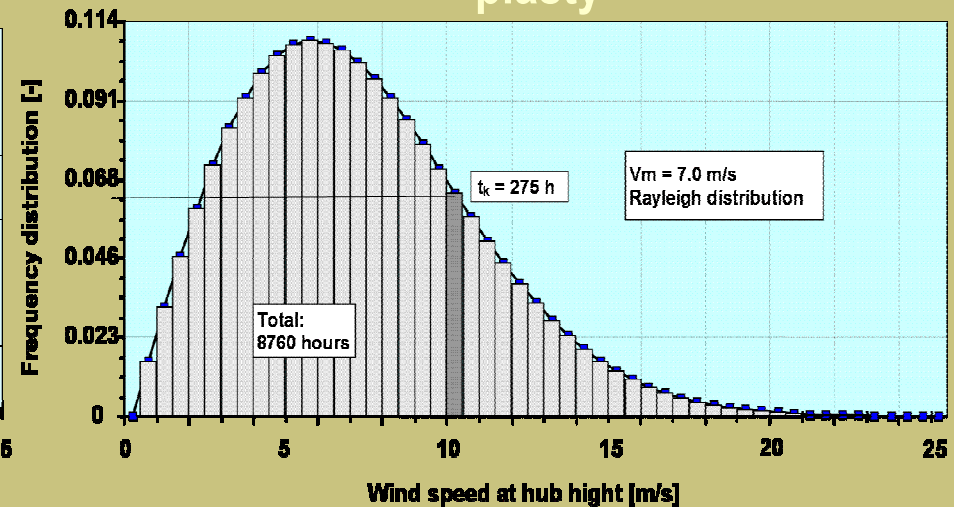
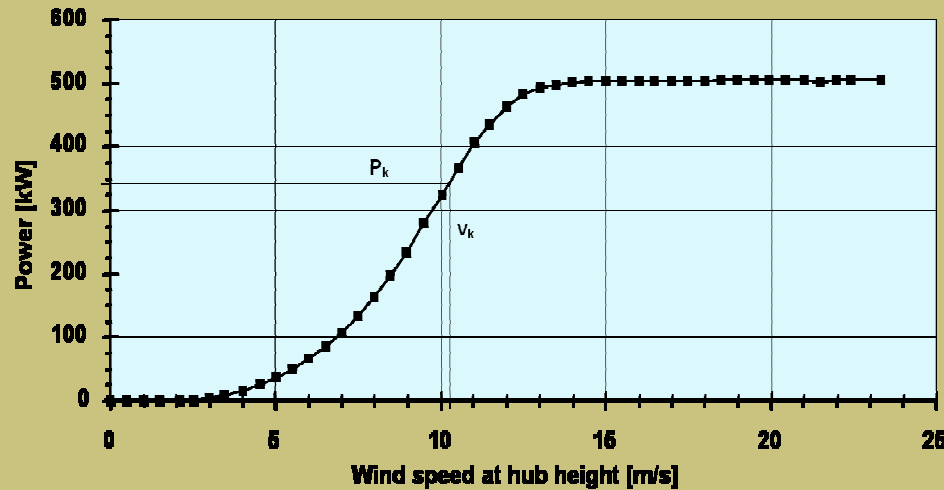


Ile energii zostanie wyprodukowane przez daną turbinę wiatrową w danym miejscu?



1) Krzywa użycia mocy turbiny wiatrowej

2) Połączenie z danymi statystycznymi dla lokalizacji turbiny na wysokości piasty



✓ Współczynnik mocy

- ✓ Systemy wiatrowe nie produkują energii przez cały rok,
- ✓ Nawet jeśli turbina produkuje energię, nie zawsze osiąga pełną moc znamionową.



- "Miarą wydajności energetycznej systemu wiatrowego" jest

Współczynnik mocy (CF):

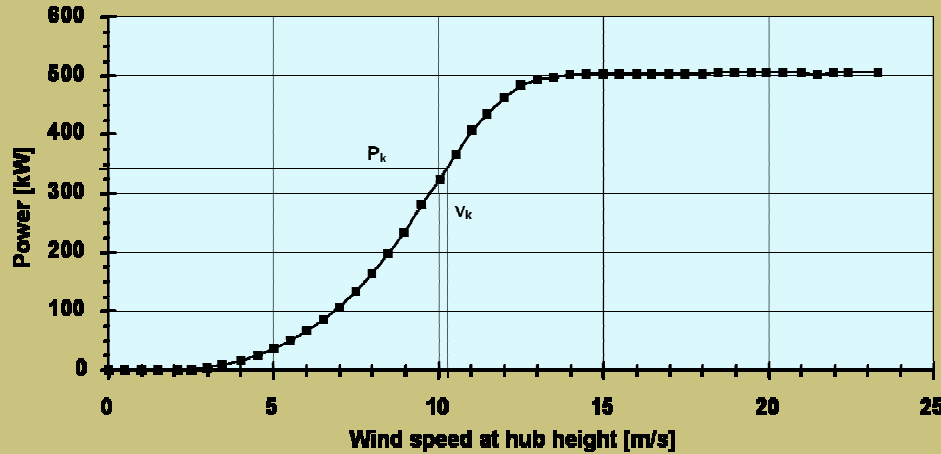
zależność między rzeczywistą produkowaną energią a produkcją energii, którą można byłoby uzyskać z eksploatacji przy pełnej mocy przez wszystkie godziny w roku:

$$CF_{Yr} = \frac{\text{Produkcja energii/ Rok}}{(\text{Oszacowana energia} \times 8760h / \text{rok})}$$

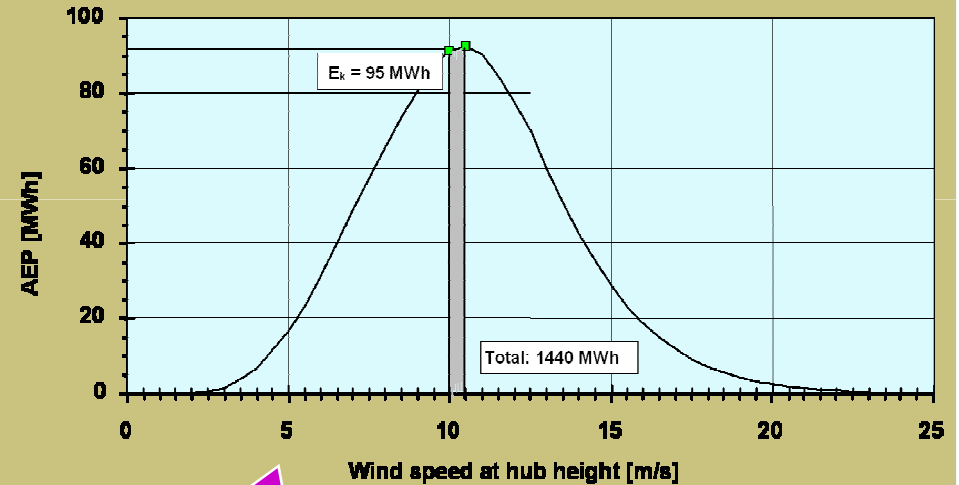
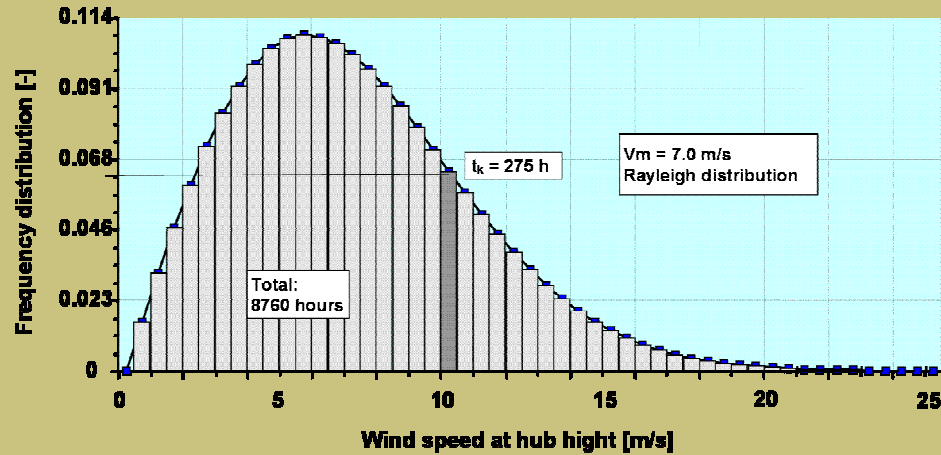
- ✓ Z definicji $0\% < CF < 100\%$,
- ✓ Wartości współczynnika mocy większe od 30% osiąga się poprzez usprawnienie pracy farm wiatrowych, 28% to współczynnik dla dobrze funkcjonującej instalacji.



✓ Oszacowanie rocznej produkcji energii



X =



Całkowity obszar = Roczna Produkcja Energii

Ekonomika instalacji wykorzystujących energię wiatru

Cykl eksploatacji farmy wiatrowej



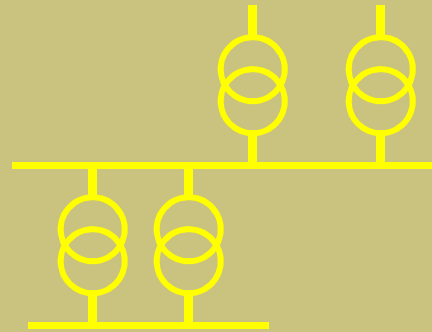
Kluczowi uczestnicy



Czy ten teren jest dostępny?

Wykonalność techniczna?

Wykonalność
ekonomiczna?



TAK



Prace nad przygotowaniem inwestycji

Główne czynniki ryzyka związane z wykorzystaniem energii wiatru

❖ Finansowanie przedsięwzięć w zakresie wykorzystania energii wiatru obejmuje zwykle:

- *strony zainteresowane projektem:*

- ✓ zakład energetyczny,

- ✓ wykonawcę budowlanego,

- ✓ wykonawcę udzielającego gwarancji, usługodawcę zajmującym się utrzymaniem i serwisem,

- ✓ operatora

oraz

- *pożyczkodawców:*

- ❖ pierwszym etapem, który muszą zrealizować pożyczkodawcy projektu jest przeprowadzenie dogłębnej analizy możliwości realizacji projektu przez właściciela. Badania takie powinny obejmować analizy dotyczące wiatrów i powinny udowodnić, że projekt taki jest uzasadniony pod względem ekonomicznym.

- ❖ badania te mają decydujące znaczenie dla pożyczkodawcy przy ocenie ryzyka projektu.



- ❖ Oprócz oceny ryzyka przeprowadzonej przez pożyczkobiorców, pozostałe czynniki ryzyka należą do trzech głównych kategorii:
 - **Ryzyko dotyczące uzyskiwania przychodu:** czy istnieje ryzyko, że firma realizująca projekt nie będzie otrzymywać płatności w ramach kontraktów na sprzedaż energii lub jakichkolwiek innych umów mających dawać przychody.
 - **Ryzyko niezakończenia:** jest to ryzyko, że projekt nie zostanie zakończony lub zostanie opóźniony.
 - **Ryzyko operacyjne,** które obejmuje ryzyko technologiczne, to ryzyko, że projekt nie osiągnie poziomu wystarczającego, by osiągnąć przewidywane przepływy środków pieniężnych lub że koszty eksploatacji i utrzymania projektu będą większe od wartości określonych w budżecie.
- *Każda z tych kategorii ryzyka jest zabezpieczona jednym lub więcej podstawowych dokumentami prawnymi, które zostaną przygotowane do tego celu:*
 - **Umowa na zakup energii**
 - **Umowy na budowę i utrzymanie**
 - **Umowa pożyczki i zabezpieczenia**