

# Energia wiatru - wiatraki

...

Instalacje w budownictwie ekologicznym  
(w aspekcie energii elektrycznej)



# Energia wiatru

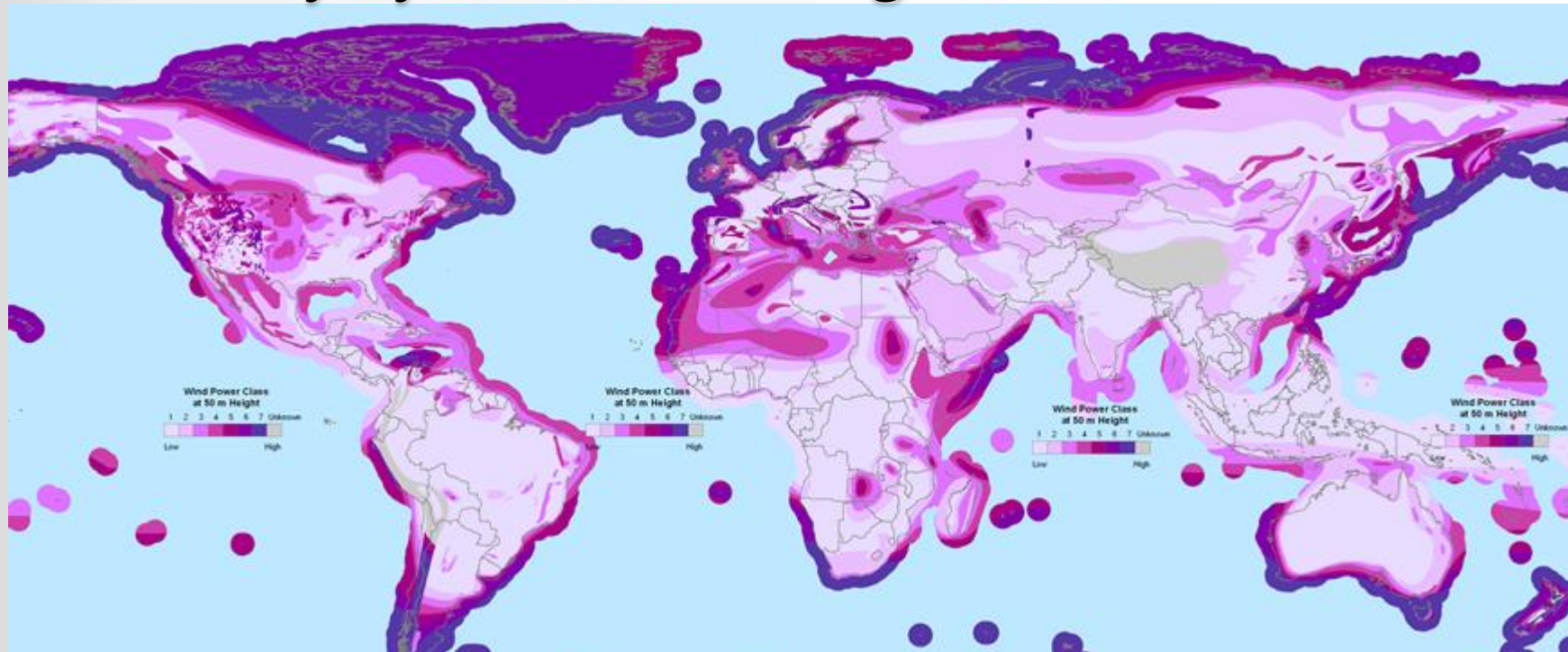
## Charakterystyka źródła energii



- Odnawialne źródło energii. Wiatr – ruch mas powietrza.
- Źródło – przemieszczanie się powietrza o różnej gęstości. Różnica gęstości wynika z różnicy temperatur. Lżejsze/cieplejsze powietrze porusza się ku górze -> chłodniejsze powietrze jest zasysane w miejsce cieplejszego.
- Zmiana temperatury wynika z ogrzewania powietrza energią słoneczną drogą promieniowania, przewodzenia i konwekcji. Dalsza modyfikacja ruchu powietrza wynika z siły Coriolisa oraz ruchu prądów morskich.
- Za wiatr odpowiada 1-2% całkowitej mocy strumienia energii Słońca (173-178 PW) docierającego do Ziemi tj. około 2700 TW.
- Potencjalna i praktyczna możliwość wykorzystania 40 TW mocy wiatrowej nad lądem, 20 TW w siłowniach morskich (z uwzględnieniem lokalizacji, problemów z kotwiczeniem platform i masztów).
- Porównawczo: szacunkowa możliwość praktycznego wykorzystania energii słonecznej 2,2 TW; potencjalna możliwość wykorzystania śródlądowej energii wodnej 4 TW.

# Energia wiatru

## Charakterystyka źródła energii



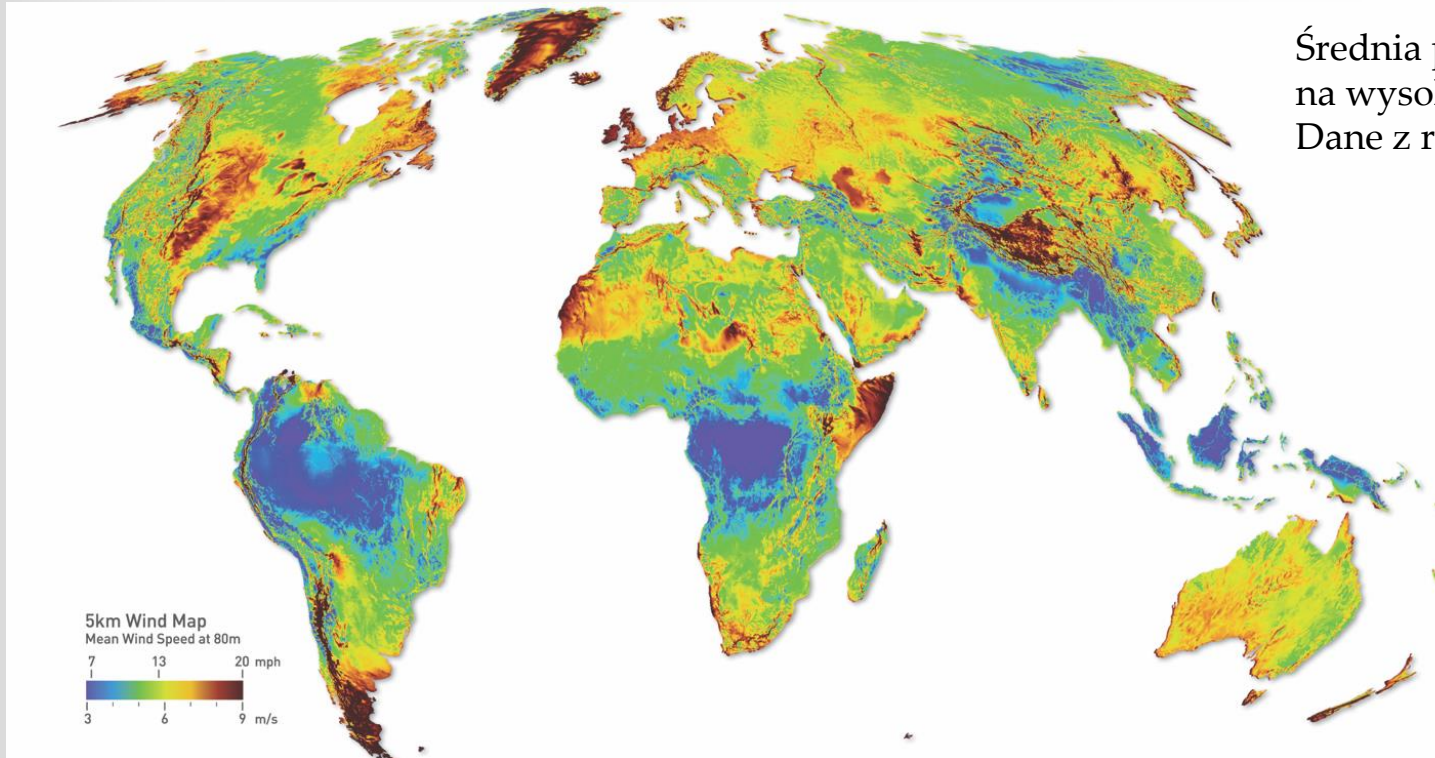
Potencjalne możliwości generowania energii elektrycznej z wiatru  
(stan na 2014, podział na 7 sztucznych klas, dotyczy prędkości wiatru na wysokości 50 metrów)

# Energia wiatru

## Charakterystyka źródła energii

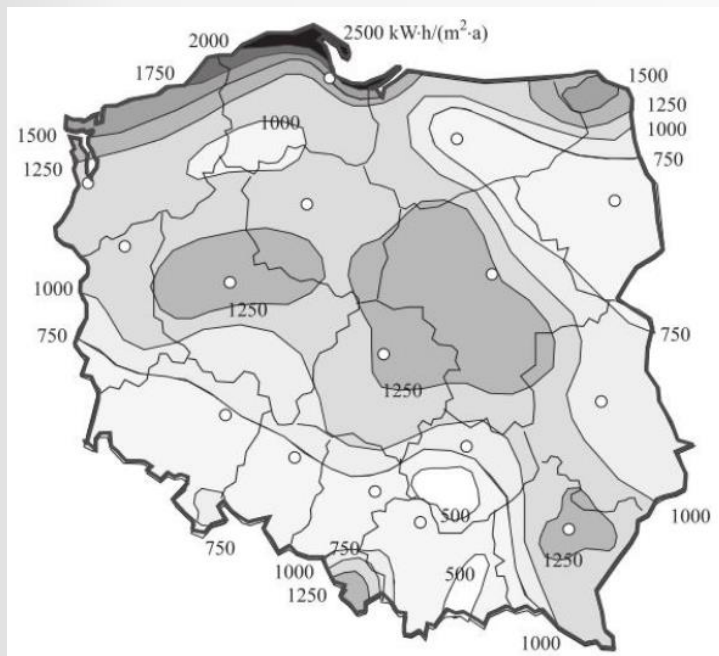


Średnia prędkość wiatru  
na wysokości 80 m.  
Dane z roku 2011.

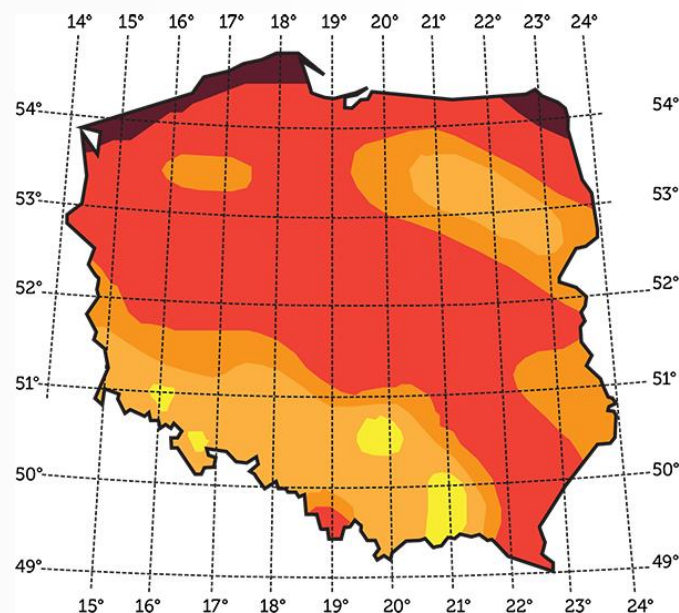


# Energia wiatru

## Charakterystyka źródła energii



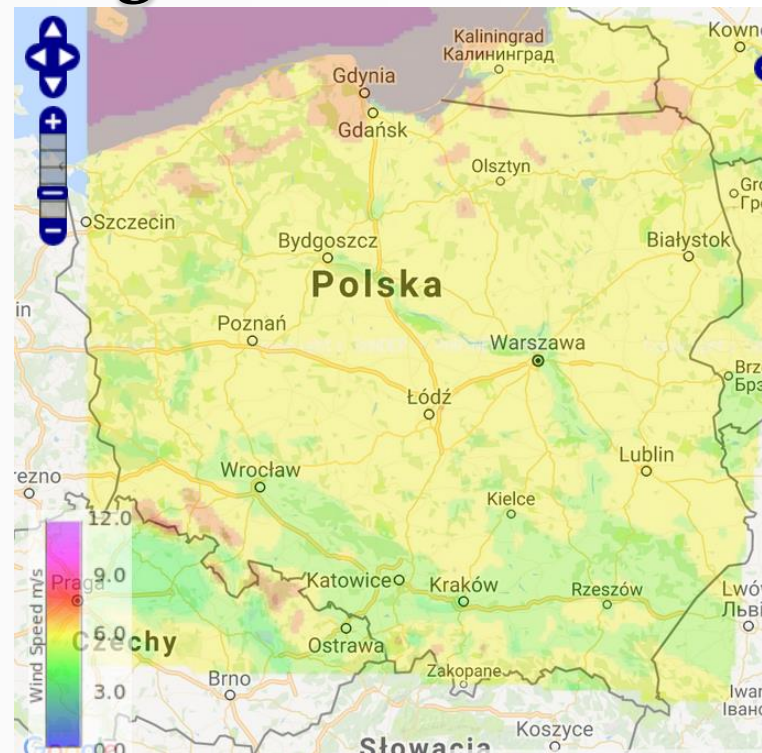
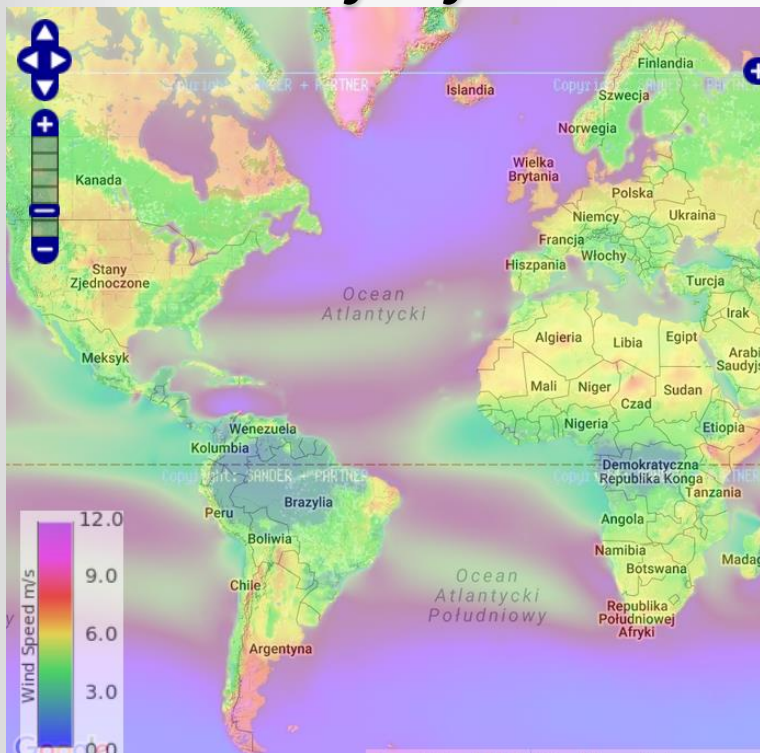
Energia wiatru w kWh/m<sup>2</sup> na rok na wysokości 30 m nad poziomem gruntu wg IMiGW w latach 1971-2000



Nr i nazwa strefy	Energia wiatru na wys. 10m	Energia wiatru na wys. 30m
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 - wybitnie niekorzystna	< 250	< 500
VI - szczytowe partie gór	tereny wyłączone	tereny wyłączone

# Energia wiatru

## Charakterystyka źródła energii



SANDER + PARTNER - a world leader for long-term wind data (z piątku 25.05.2018, na 60 m)

# Energia wiatru

## Charakterystyka źródła energii



### Zalety:

- Wszechobecność (brak problemów transportowych)
- Brak kosztów energii
- Proekologiczność (brak efektu cieplarnianego, skażenia tlenkami siarki, ...)
- Brak wpływu na bilans energetyczny ziemi (inaczej niż ropa, węgiel, gaz)

### Wady:

- Znaczne wahania energii w skali miesięcy: +/- 40% (np. w Danii styczeń 149%, grudzień 126%, czerwiec 68%, sierpień 73%)
- Wahania energii w skali lat: +/- 15 %
- Znaczne koszty związane z budowaniem urządzeń wspomagających

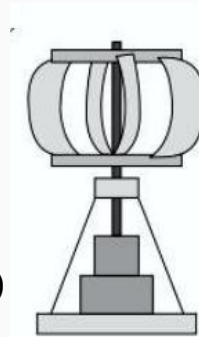
### Ogólnie:

- W Polsce: średnia prędkość wiatru w zimie - 3,8 m/s, w lecie 3,4 m/s.
- I klasa zasobów energetycznych w Polsce (Pomorze, północno-wschodnia Suwalszczyzna) - średnia roczna 7 m/s (na 50 metrach).
- Dolna granica opłacalności - 4 m/s (małe turbiny); 5,5 m/s (elektrownie wiatrowe).  
Maksymalna użyteczna prędkość wiatru 30 m/s.

# Rys historyczny



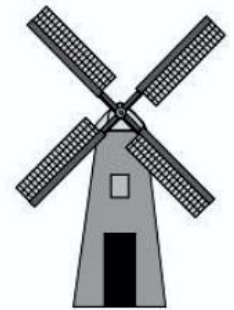
- 1750 r. p.n.e. - wzmianka o urządzeniach wiatrowych w Kodeksie Hammurabiego,
- 400 r. p.n.e. - hinduska księga Arthasatha of Kantilya opisuje wiatrak do pompowania wody,
- I wiek n.e - rysunki wiatraków sporządzone przez Herona z Aleksandrii,
- 833 r. n.e. - wzmianka o wiatrakach w liście Umum Moleniolum Venticum napisanym w Anglii,
- X wiek n.e - dokumenty i wiatrakach perskich o pionowej osi obrotu do mielenia, nawadniania.
- 1105 r. - budowa we Francji pierwszego znanego wiatraka o poziomej osi obrotu,
- 1271 r. - zezwolenie na budowę wiatraka w klasztorze w Białym Buku przez księcia Wiesława z Rugii,
- 1377 r. - zezwolenie na budowę 2 młynów wiatrowych w okolicach Chojnic wydane przez mistrza krzyżackiego,
- XVIII w - ok. 20 tysięcy wiatraków pracujących na terenie Polski
- 1887-88 - Charles F. Brush buduje pierwszą samoczynnie działającą elektryczną siłownię wiatrową (wirnik 17 m, 144 łopaty)



Wiatrak perski



Wiatrak śródziemnomorski



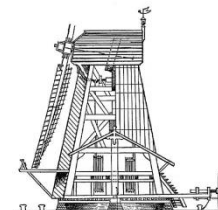
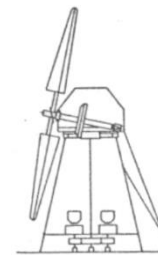
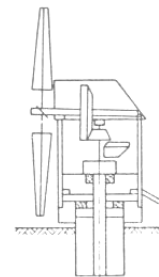
Wiatrak europejski



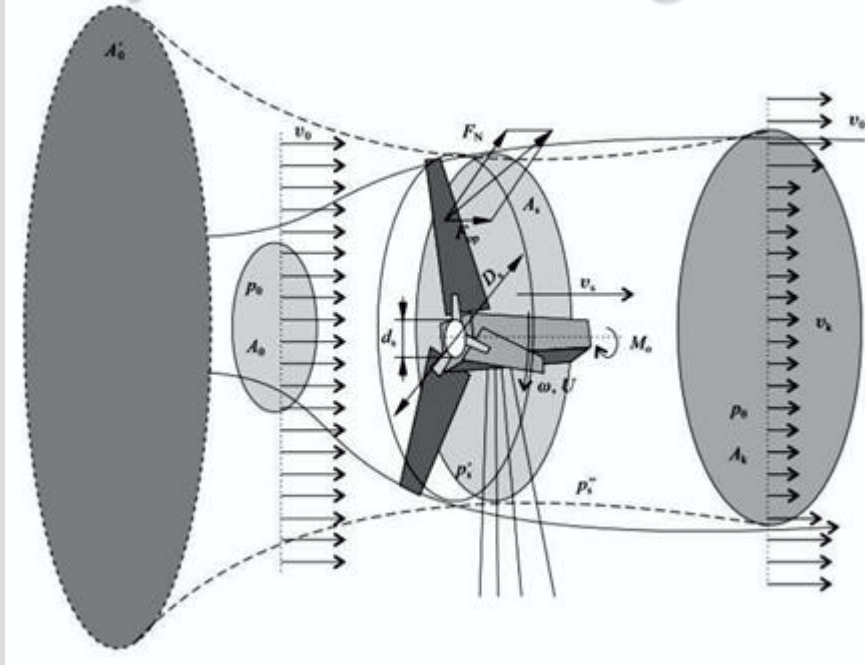
# Rys historyczny

## Wiatraki w Polsce

- **Koźlak** - najstarszym typem wiatraka, który występuje na ziemiach polskich jest „koźlak” czyli wiatrak koźłowy (XIV w). Budowane były z drewna dębowego lub sosnowego, miały cztery śmigła osadzone na poziomym dębowym balu, którego oś przechodziła przez środek ciężkości młyna. Ich cechą charakterystyczną jest to, że cały budynek wiatraka wraz ze skrzydłami obraca się wokół pionowego, drewnianego słupa (tzw. sztembra), który podparty jest najczęściej czterema zastrzałami.
- **Holender** - skrzydła osadzone były na poziomym wale skrzydłowym zamocowanym w przestrzeni dachu. Możliwość obracania dachu. Ruch obrotowy tego wału przenoszony był przez koło palczne na ruch obrotowy pionowego wału przechodzącego przez wszystkie kondygnacje. Pionowy wał obrotowy umieszczony w centralnym punkcie wiatraka umożliwiał dowolne umieszczanie maszyn na różnych kondygnacjach.
- **Paltrak** (wiatrak rolkowy) - Bryłą przypominał koźlaka. Zasada obrotu budynku skrzydłami do kierunku wiatru zapożyczona została z holendra, z tym że płaszczyzna obrotu znajdowała się tutaj nisko, jak najbliżej terenu. W ten sposób cały budynek powyżej podmurówki był obracalny, a jego podstawę stanowiło łożysko kołowe (drewniany korpus paltraka spoczywał na specjalnych metalowych rołkach, które toczyły się po okrągłym torze jezdny).



# Pozyskiwanie energii wiatru z turbiny



$$E = \frac{mv^2}{2}, \quad P = \frac{E}{t}$$

$$v_s = \frac{v_0 + v_k}{2}$$

$$P_u = Q\rho \frac{v_0^2 - v_k^2}{2} = A_s v_s \rho \frac{v_0^2 - v_k^2}{2} = A_s \frac{v_0 + v_k}{2} \rho \frac{v_0^2 - v_k^2}{2}$$

"Energia" wiatru jest proporcjonalna do  $v$  strumienia w 3 potęgze.

$E$  – energia, J, kWh;

$m$  – masa, kg;

$P$  – moc,  $P_u$  – moc użyteczna, W;

$v$  – prędkość, m/s;

$v_0$  – prędkość początkowa,  $v_k$  – prędkość końcowa,

$v_s$  – prędkość średnia, m/s;

$Q$  – strumień objętościowy przepływu, m<sup>3</sup>/s;

$\rho$  – gęstość gazu, kg/m<sup>3</sup>;

$A$  – pole powierzchni,  $A_s$  – średnie pole powierzchni, m<sup>2</sup>;

$D$  – średnica turbiny,  $D_s$  – wartość średnia średnicy, m.

**Przy założeniu trzykrotnego obniżenia prędkości strumienia przez turbinę maksymalna użyteczna moc turbiny wynosi:**

$$P_{u,\max} = \frac{8}{27} A_s \rho v_0^3 = \frac{2\pi}{27} D_s^2 \rho v_0^3$$

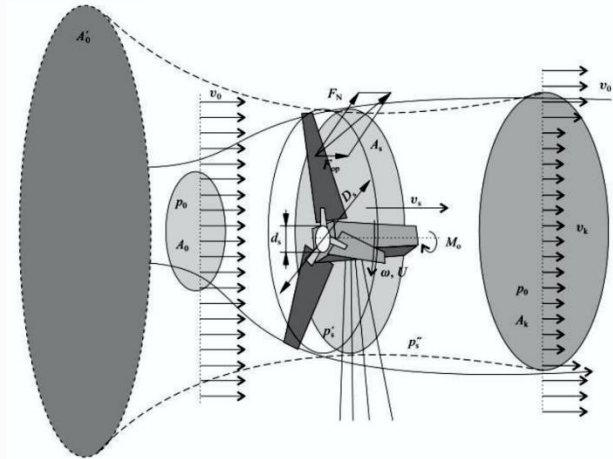
Energia pozyskiwana przez wiatrak pochodzi z energii utraconej przez strumień powietrza.

Inaczej – energia wynika ze spadku ciśnienia powietrza przed i za turbiną



# Pozyskiwanie energii wiatru z turbiny

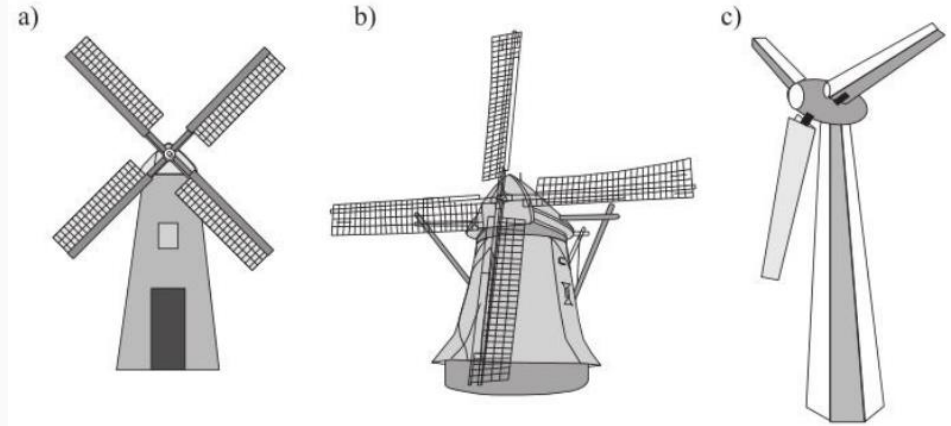
- Sprawność przetwarzania energii wiatru na energię elektryczną jest iloczynem sprawności turbiny wiatrowej i prądnicy połączonej z turbiną sprzęgłem i przekładnią.
- Sprawność przetwarzania energii wiatru wynosi około 60 %.
- Sprawność przetwarzania energii zależy od parametrów strumienia powietrza:
  - spadek temperatury z 15 do 0 stopni C (przy stałym ciśnieniu) powoduje wzrost gęstości powietrza i wzrost energii kinetycznej o około 6 %;
  - wzrost temperatury z 15 do 30 stopni C (przy stałym ciśnieniu) powoduje spadek mocy o około 5 %;
  - wzrost ciśnienia z 973 do 1037 hPa (w stałej temperaturze) powoduje wzrost energii kinetycznej o około 6 %.



# Typy turbin wiatrowych



- Podział ze względu na zastosowanie  
/Podział ze względu na prędkość obrotową:
  - Wiatrak młynarski wolnoobrotowy (a)
  - Wiatrak odwadniający średnioobrotowy (b)
  - Elektrownia wiatrowa szybkoobrotowa (c)
- Charakterystyka szybkobieżności  
- współczynnik szybkobieżności  $z$  ( $\lambda$ )
- Współczynnik szybkobieżności  
- stosunek prędkości obwodowej (liniowej) końca wirnika do prędkości wiatru (strumienia powietrza  $v_0$ ;



$z$  - współczynnik (wyróżnik szybkobieżności), -;

$U$  - prędkość liniowa końca wirnika m/s;

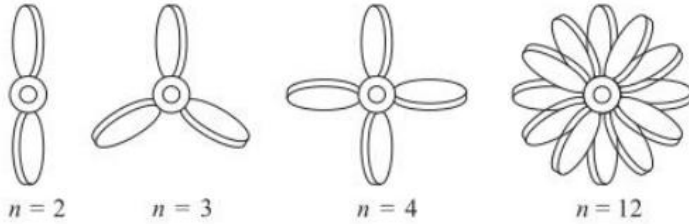
$\omega$  - prędkość kątowna rad/s;

$D_s$  - średnica wirnika,

$v_0$  - prędkość strumienia powietrza m/s.

$$z = \frac{U}{v_0} = \frac{\omega D_s}{2v_0}$$

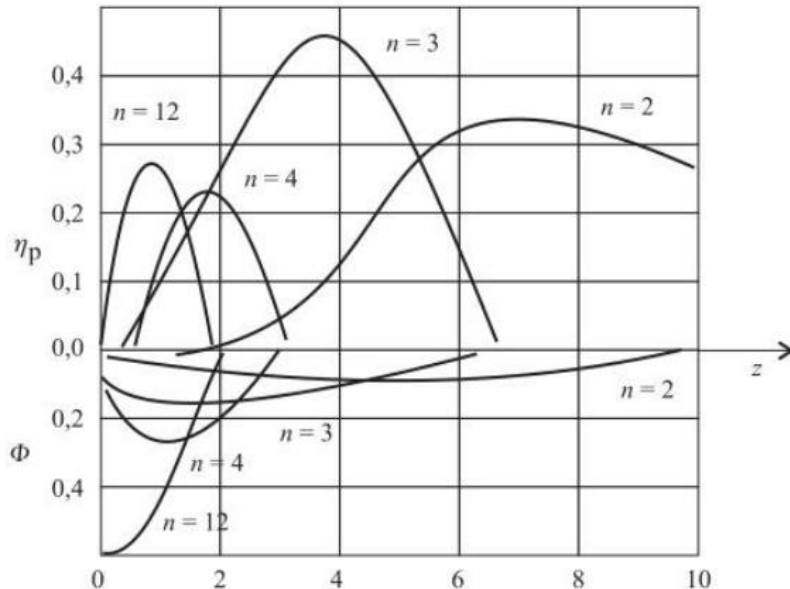
# Współczynnik szybkobieżności



$$z = \frac{U}{v_0} = \frac{\omega D_s}{2v_0}$$

## Turbiny wiatrowe:

- wolnobieżne  $z < 1,5$  (bębnowe, karuzelowe, rotorowe),
- średnobieżne  $1,5 < z < 3,5$  (wielopłatowe, wiatraki),
- szybkobieżne  $z > 3,5$  (silniki śmigłowe, pnemony Dariusza).



Sprawność przepływowa turbiny  $\eta_p$  uzależniona jest od:

- sprawności mechanicznej turbiny  $\eta_s$ ,
- współczynnika szybkobieżności  $z$ ,
- bieżących parametrów strumienia powietrza  $v$ .

$$\eta_p = \eta_s \frac{1}{z} \left( 1 + \frac{v_k}{v_0} \right)^2 \left( 1 - \frac{v_k}{v_0} \right)$$

- $\Phi$  - współczynnik momentu obrotowego (prop. do M).

# Klasyfikacja turbin

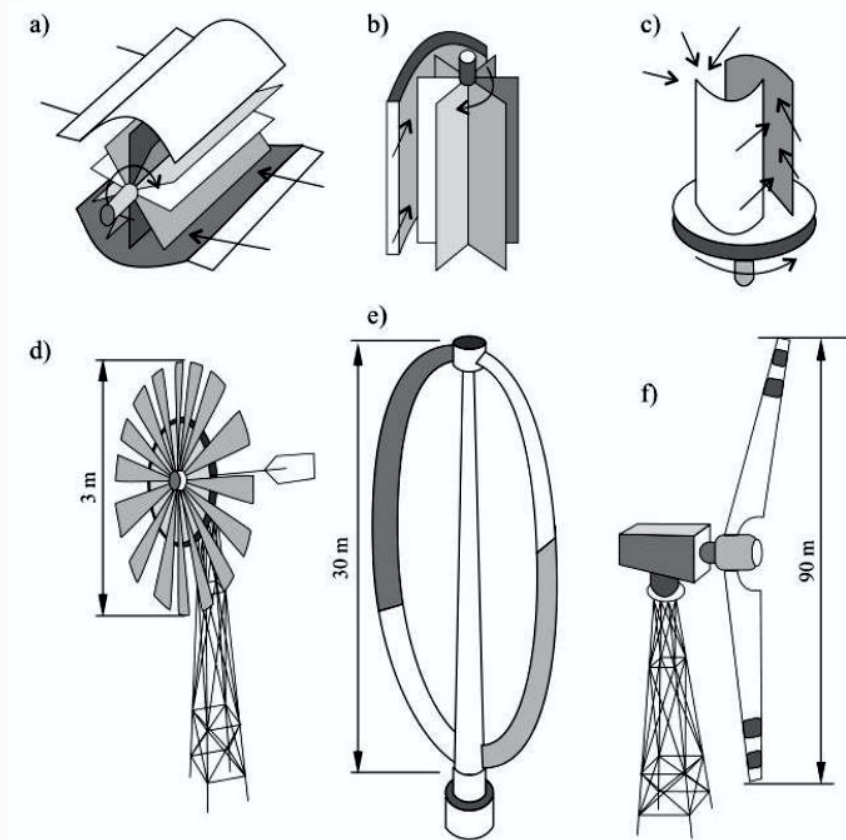


## Klasyfikacja zależny od przyjętych kryteriów np.:

- ustawienie osi obrotu wirnika:
  - pozioma,
  - pionowa,
- wartość wyróżnika szybkobieżności  $\lambda$  (z),
  - wolnobieżne o  $\lambda < 1,5$ ,
  - średnobieżne o  $1,5 > \lambda < 3,5$ ,
  - szybkobieżne o  $\lambda > 3,5$ ,
- wartość mocy:
  - bardzo małej mocy (mikro-elektrownie wiatrowe) o NTW  $< 50$  kW,
  - małej mocy o  $50 \text{ kW} < \text{NTW} < < 250$  kW,
  - średniej mocy o  $250 \text{ kW} < \text{NTW} < 750$  kW,
  - dużej mocy o  $750 \text{ kW} < \text{NTW} < 1\ 500$  kW,
  - o bardzo dużej mocy o  $\text{NTW} > 1\ 500$  kW.
- Inne klasyfikacje pod kątem:
  - liczby łopat
    - jednopłatowe,
    - dwupłatowe,
    - trójpłatowe,
  - konstrukcji wieży,
  - sposobu regulacji prędkości obrotowej,
  - Ustawienie w kierunku wiatru:
    - na wiatr (upwind),
    - z wiatrem (downwind).

# Konstrukcje turbin

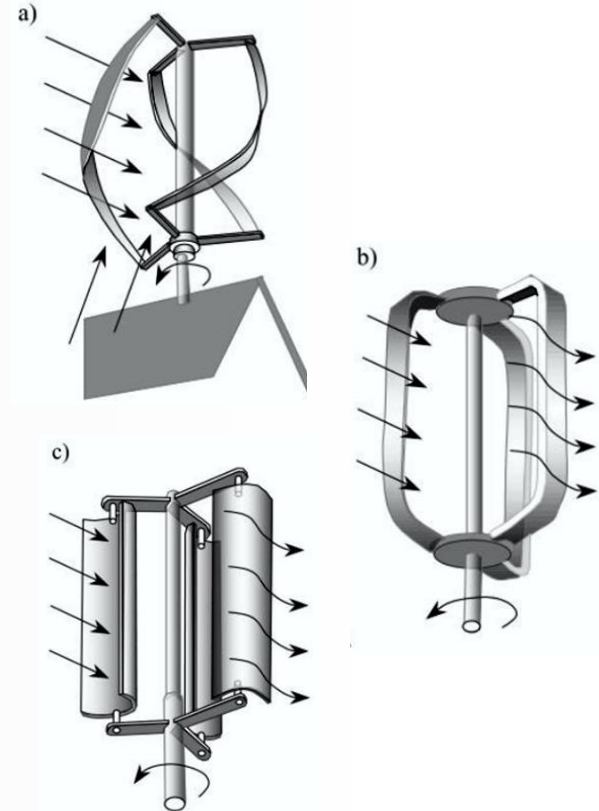
- A) bębnowa,
- B) karuzelowa,
- C) rotorowa - Savoniusa,
- D) wielopłatowa,
- E) Darrieusa (za jednego z prekursorów turbin o prostopadłej względem kierunku wiatru osi obrotu uważa się francuskiego konstruktora Darrieus'a. W 1931 roku opatentował wirnik, nazwany od jego nazwiska. Największa pracująca na świecie turbina Darrieus'a to siłownia o mocy 4 MW, w farmie Cap Chat (Kanada, średnica wirnika 64 m, wysokość 110 m, praca w zakresie (4,5-22,5) m/s),
- F) Boeninga MOD-2





# Małe turbiny wiatrowe – modyfikowane

- **Turbina TURBY** - Modyfikacja turbiny Darrieusa. Opracowana w TU Delft (Holandia). Przeznaczenie - na dachy budynków. Ukośne ustawienie łopatek pozwala na wykorzystanie energii wiatru wiejącego pod różnymi kątami. Pierwsze konstrukcje miały średnicę 2m i testowano je na wieży o wysokości 5-7,5 m. Zgodnie z wynikami pomiarów w przypadku budynku o wysokości 20 m, 5 m ponad jego dachem turbina TURBY o mocy 2,5 kW powinna generować rocznie 1800 kWh energii przy założeniu średniej prędkości wiatru 4,3 m/s.
- **Turbina EHD** - turbina o zwiększonym stosunku wysokości do średnicy, Brak ukosowania łopatek. Opracowana w Sandia National Laboratories (USA). Pierwsze konstrukcje miały średnicę 17 m, stosunek wysokości do średnicy 2,8 oraz moc elektryczną 300 kW.
- **Turbina H-Darrieus** - Opracowana w Australii. Testowane rozwiązania miały wirnik o średnicy 1,9 m, łopaty o długości 2 m na maszcie o wysokości 5,5 m. Osiągnięto moc 1,5 kW. Dzięki pionowemu ustawieniu łopatek i układowi sprężyn możliwa jest samoregulacja obrotów przy różnych prędkościach wiatru. Istnieją konstrukcje firmy Wind Harvest o powierzchni łopatek 58 i 116 metrów kwadratowych i mocach 25 i 50 kW.

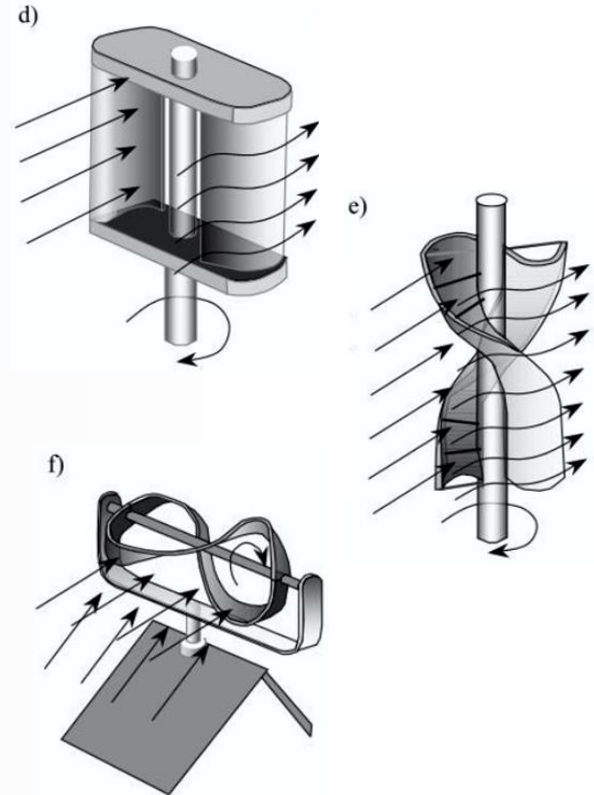




# Małe turbiny wiatrowe – modyfikowane



- **Turbina Wind Rotor** - opracowana w firmie Ropatec AG. Wprowadzono zmianę liczby i szerokości łopaty (tylko 2 łopaty, szersze niż w turbinie Darrieusa, węższe niż w turbinie Savoniusa). Producent produkuje turbiny o mocy od ok 0,75 do 60 kW. Turbina o mocy 0,75 kW ma pracować w zakresie prędkości 3-56 m/s, ma powierzchnię łopaty 2,25 m<sup>2</sup>. Przy 60 kW ma pracować przy wietrze 2-56 m/s, powierzchni łopaty 2x725 m<sup>2</sup>.
- **Turbina świdrowa (śrubowa)** - opracowana w firmie Windside. Modyfikacja turbiny Savoniusa przez skrzywienie łopat. Może pracować przy pełnym zakresie prędkości wiatru 1 m/s - brak górnej granicy. Stabilna i cicha praca. Przykładowy model D=0,5-1,5 m, H=0,8-3,0 m, P=0,18-3,6 kW.
- **Turbina Darrieusa o osi poziomej** - opracowana w firmie Der Wind Wandler. Przeznaczona jak turbina TURBY do pracy na dachu o kącie 30-66 stopni. Prototyp o średnicy 1 m, długości 1,39 m i wysokości 1,28 m wygenerował przy 24 m/s moc 3,5 kW.



# Wykorzystanie energii wiatru

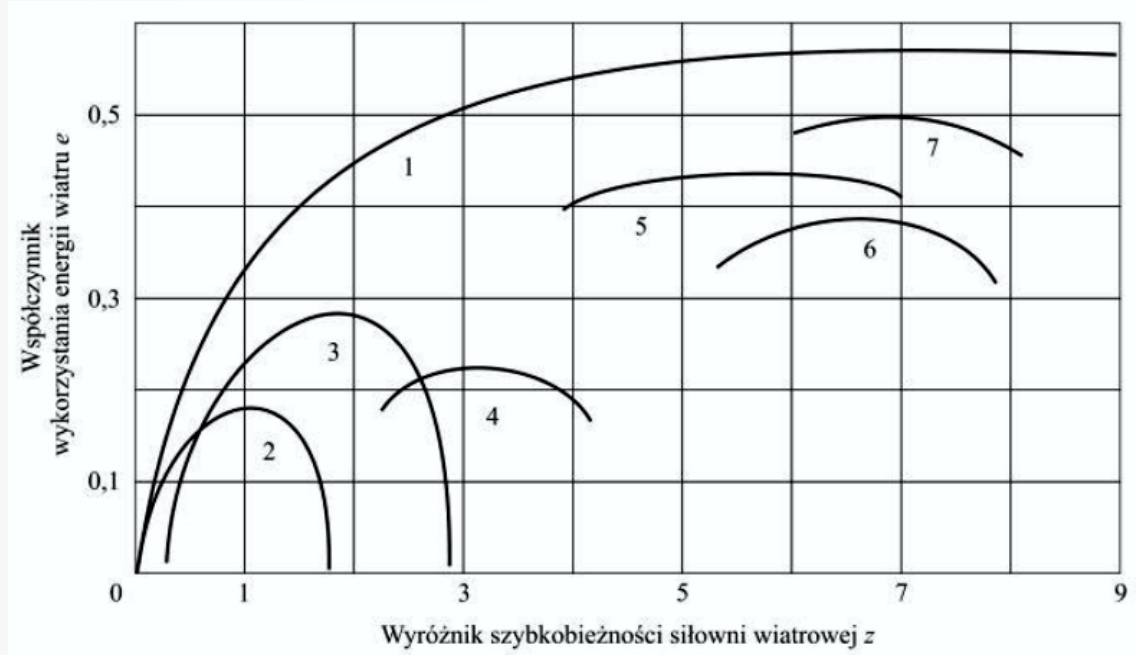


- Współczynnik wykorzystania energii wiatru w funkcji wyróżnika szybkobieżności wybranych wiatraków:

- 1) silnik idealny,
- 2) turbina Savoniusa,
- 3) wiatrak wielopłatowy,
- 4) holenderski,
- 5) jednopłatowy śmigłowy,

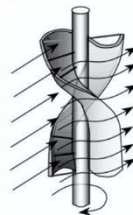


- 6) Darrieusa
- 7) dwupłatowy

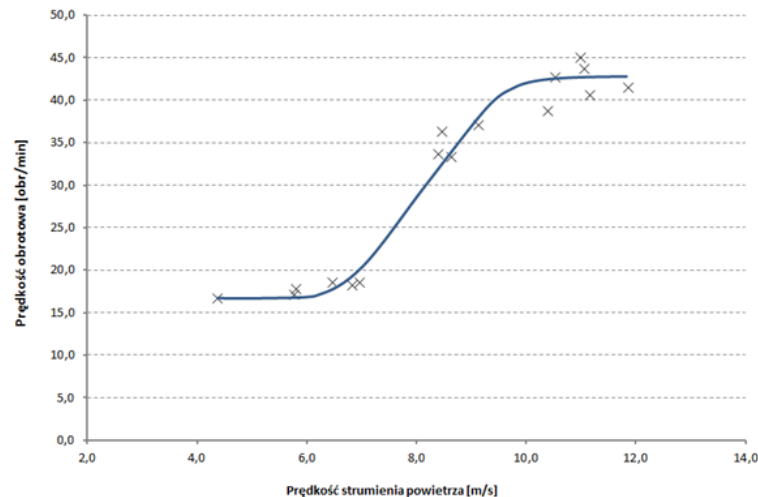
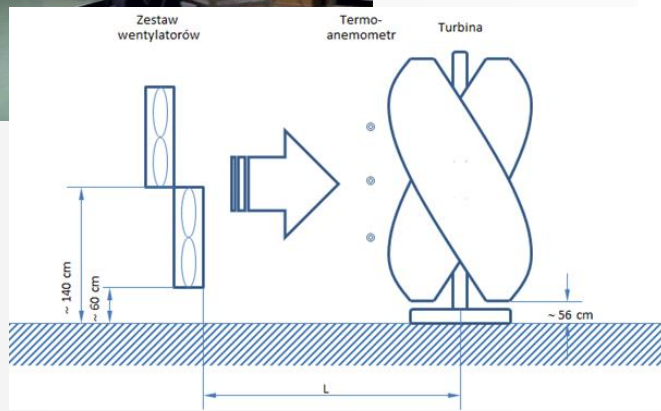


# Turbiny śrubowa

## – doświadczenia lokalne



**Turbina świdrowa (śrubowa)** - turbina Savoniusa o skrzyęonych łopatach. Może pracować przy pełnym zakresie prędkości wiatru 1 m/s - brak górnej granicy. Stabilna i cicha praca.



1. Start od 4 m/s
2. Brak problemów z dużymi prędkościami powietrza.
3. Cicha praca
4. Brak możliwości zasilania jakiegokolwiek urządzenia. Obciążenie prądem rzędu mA wyhamowuje turbinę

# Małe turbiny wiatrowe – z dyfuzorem



Cel stosowania dyfuzora:

- zwiększenie sprawności przetwarzania energii wiatru,
- obniżenie minimalnej, opłacalnej do wykorzystania prędkości wiatru

Realizacja zadania:

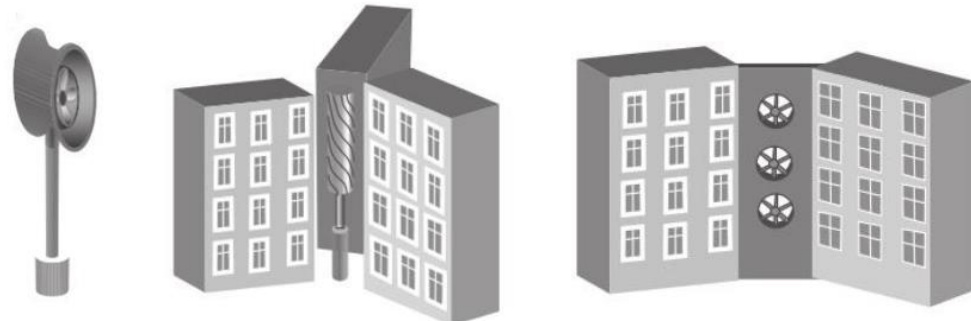
- zwiększenie powierzchni skutecznej  $A$  wykorzystywanej przez wiatrak,
- wyeliminowanie strat energii kinetycznej odśrodkowej na strugach powietrza na skrzydłach.

Dyfuzor:

- specjalna konstrukcja mechaniczna (kompozyty, laminaty, jak łopaty)
- odpowiednia lokalizacja pomiędzy bud.

Efekty stosowania dyfuzora:

- możliwość pracy przy prędkościach mniejszych niż 2 m/s;
- możliwość zastosowania niższych wież lub mniejszych średnic wirnika (mniejsze koszty konstrukcji).



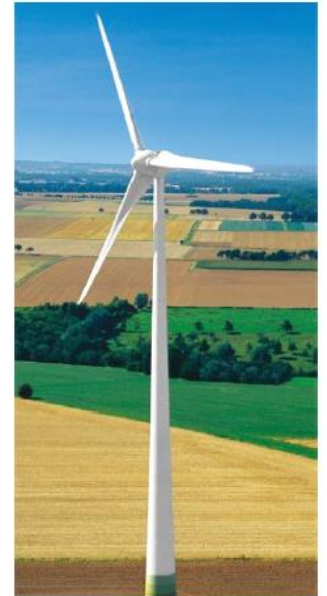
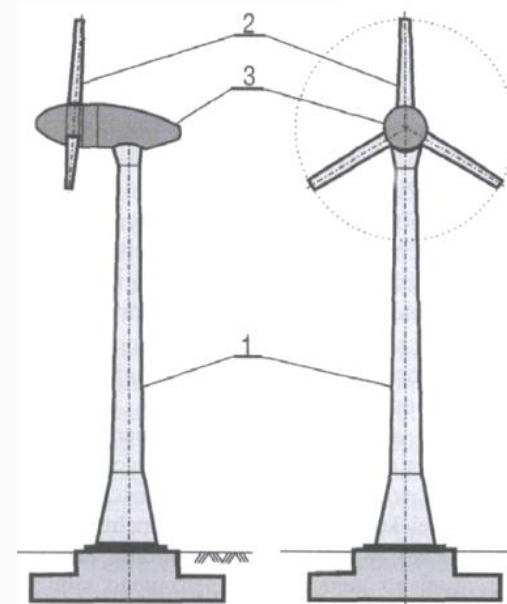
# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Budowa



Elektrownie wiatrowe składają się z następujących podstawowych zespołów:

- wieża nośna 1 z fundamentem;
- turbina wiatrowa zawierająca wirnik turbiny, łopaty i układy sterowania ich położeniem;
- głowica 3 zawierająca: generator, przekładnię (jeżeli w danym typie elektrowni występuje), łożyska, przekształtnik energoelektroniczny, układy smarowania, chłodzenia, hamowania, transformator blokowy (w większych elektrowniach) oraz układy sterowania położeniem turbiny względem wiatru; kabli wyprowadzających energię; układów sterowania elektrownią wiatrową wraz z układami pomiarowymi oraz systemami telekomunikacji.



Elementy elektrowni wiatrowej: 1 - wieża (konstrukcja nośna) z fundamentem, 2 - wirnik, 3 - głowica (gondola) oraz widok turbin ENERCON E70

# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Głowica



- Głowica elektrowni wiatrowej zawiera **podstawowe urządzenia**, takie jak:
  - koło wirnikowe,
  - wał główny podparty w dwóch węzłach łożyskowych,
  - przekładnię zębatą,
  - hamulec bębnowy,
  - generator,
  - sprzęgła i mechanizm wykonawczy zmiany kąta nastawienia łopat,
  - powłoka gondoli (konstrukcja skorupowa).
- Głowice mają kształt ciała osiowosymetrycznego, opływowego, o stosunkowo małej wartości współczynnika oporu opływu.
- Gondolę i tym samym osie obrotu wirnika elektrowni można ustawiać względem kierunku napływającego wiatru. Na szczycie wieży znajduje się łożysko wieńcowe połączone z kołem zębatym osadzonym na wale silnika kierunkowego.
- Kiedy elektrownia nie pracuje, układ regulacji kierunku także jest wyłączony. Mechanizm regulacji jest sterowany przez elektroniczny kontroler, który kilka razy na sekundę sprawdza odczyty z wiatrowskazu i w razie potrzeby koryguje ustawienie kierunku.
- Moc z wirnika jest przekazywana do generatora za pomocą wału wolnoobrotowego (głównego), przekładni mechanicznej i wału szybkoobrotowego. Pominięcie tego układu przy zastosowaniu generatora dwu, cztero lub sześciobiegunowego wymagałoby zapewnienia prędkość wirnika 1 000-3 000 obr/min. Natomiast prędkość wirnika wynosi około 22 obr/min. Przekładnia mechaniczna w turbinie pracuje przy jednym, stałym przełożeniu. Dla elektrowni o mocy 600 kW jest to zazwyczaj przełożenie 1:50.

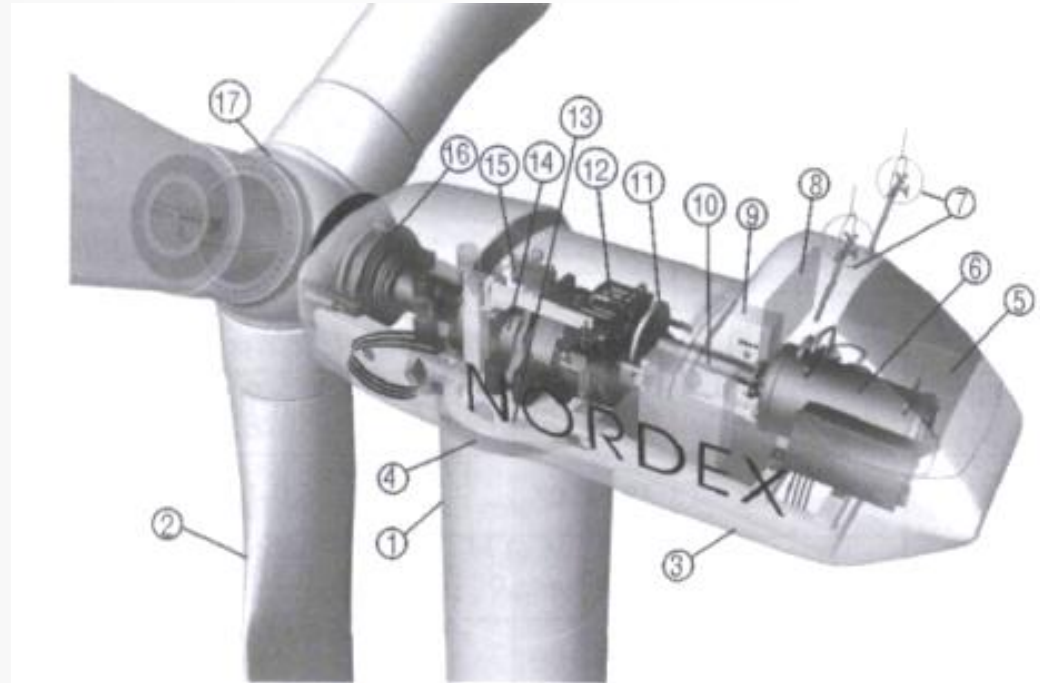
# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Głowica



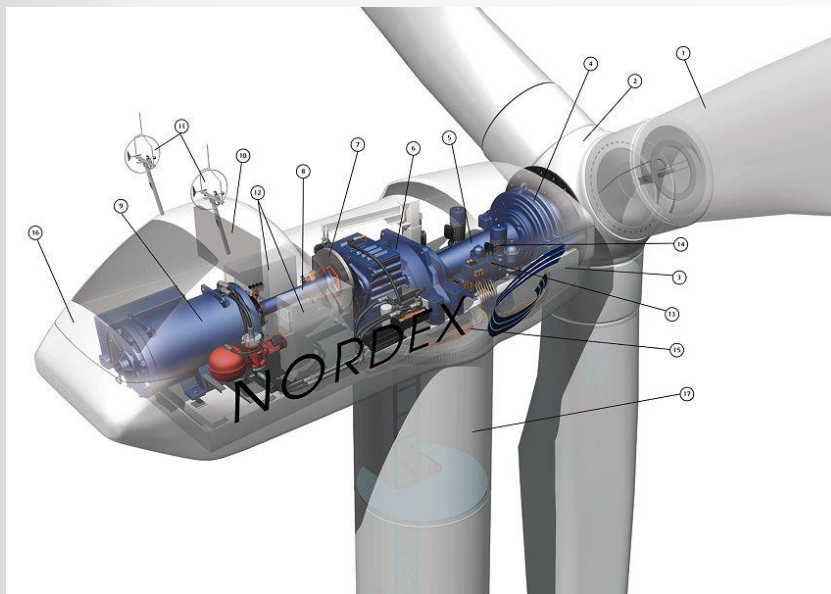
**Głowica (gondola) elektrowni wiatrowej firmy Nordex GmbH:**

1 - wieża typu tubularna, 2 - łopata wirnika, 3 - powłoka nośna gondoli, 4 - łożysko nośne głowicy wiatraka, 5 - pokrywa głowicy, 6 - generator, 7 - czujniki systemu pomiaru wiatru (anemometr, chorągiewka kierunku wiatru), 8 - chłodnica systemu chłodzenia prądnicy i skrzyni przekładniowej, 9 - układ sterowania, 10 - wał napędowy II, 11 - tarcza hamulca, 12 - układ hydrauliczny (utrzymanie i kontrola ciśnienia w układzie hamulcowym), 13 - układ naprowadzania na wiatr, 14 - skrzynia przekładniowa (3-stopniowa), 15 - wał napędowy I, 16 - obudowa łożyska wirnika, 17 - głowica wirnika



# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Głowica



Głowica (gondola) elektrowni wiatrowej firmy Nordex GmbH - przekrój i widok rzeczywisty





# Turbina wiatrowa

## Generator synchroniczny 1/2



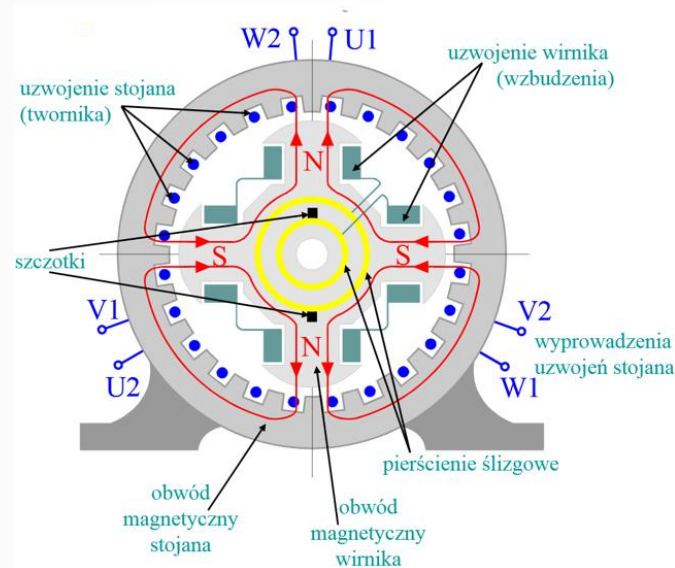
**Stojan** stanowi zewnętrzną, statyczną część maszyny. Na obwodzie stojana umieszczone są uzwojenia (cewki), w których indukuje się napięcie przemienne.

Wewnątrz stojana znajduje się **wirnik** wykonany w postaci rdzenia magnetycznego. Wirnik jest osadzony na wale połączonym z urządzeniem napędzającym.

Na wirniku umieszczony jest **magnes trwały lub tzw. cewka wzbudzająca**, przez którą płynie prąd stały doprowadzany z zewnętrznego źródła. Prąd ten wytwarza stałe pole magnetyczne w wirniku, stanowiącym elektromagnes.

Obrót wirnika powoduje **zmianę strumienia pola magnetycznego** przenikającego przez uzwojenie stojana i na zasadzie zjawiska indukcji elektromagnetycznej powoduje **indukowanie się napięcia** przemiennego w uzwojeniach stojana.

Pod jego wpływem w uzwojeniach płynie prąd przemienny o przebiegu sinusoidalnym. Odpowiednią **częstotliwość** uzyskuje się przez odpowiednią prędkością wirowania wirnika. W celu regulacji napięcia zmienia się natężenie prądu wzbudzającego.



Prądnicą synchroniczną z biegunami utajonymi na stojanie i wydatnymi na wirniku

# Turbina wiatrowa

## Generator synchroniczny 2/2



- Nazwa prądnicy synchronicznej wynika z synchronizmu prędkości obrotowej wirnika i pola magnetycznego maszyny. Pole magnetyczne i twornika wiruje w tym samym kierunku i z taką samą prędkością.
- Aby zachować stabilność napięcia i częstotliwości na zaciskach maszyny, strumień magnetyczny oraz prędkość obrotowa wirnika muszą być stałe.
- Elektrownie oparte na generatorach synchronicznych szybkoobrotowych bezpośrednio podłączane do sieci są stosunkowo rzadko stosowane. Każdy gwałtowny podmuch wiatru stwarza zagrożenie wypadnięcia układu z synchronizmu i uszkodzenia przekładni oraz generatora.
- Częściej stosowanym rozwiązaniem są generatory synchroniczne podłączone przez odpowiedni przekształtnik, a rozwiązaniem, które zapewnia najlepsze wykorzystanie energii wiatru są bezprzekładniowe elektrownie oparte na wolnoobrotowym generatorze synchronicznym



Przykładowy widok prądnicy synchronicznej

# Turbina wiatrowa

## Generator asynchroniczny



- Składa się z stojana i wirnika. Na stojanie umieszczone są uzwojenia (cewki). Obracanie wirnika powoduje wirowanie wytworzonego przez niego pola magnetycznego, a jego zmienność względem uzwojeń stojana indukuje się napięcia w jego przewodach. **Asynchroniczny** – ponieważ prędkość wirowania wirnika jest inna niż wirowania pola. Różnica nosi nazwę poślizgu.
- Trudność sterowania prądnicą. W maszynach **asynchronicznych klatkowych** polega ona na tym, że istnieje jedynie możliwość pomiaru napięcia i częstotliwości, nie ma natomiast dostępu do wirnika.
- W maszynach **asynchronicznych pierścieniowych** jest dostęp do wirnika za pośrednictwem pierścieni ślizgowych, jednak przy sterowaniu parametrami maszyny występują problemy, ponieważ prądnica taka jest bardzo czuła na zmiany obciążenia w sieci. Spowodowane to jest brakiem zasilania wirnika stałym prądem magnesującym (tak jak to się dzieje w prądnicach synchronicznych).
- Dla utrzymania stałości napięcia trzeba odpowiednio **szybko regulować prędkością obrotową wirnika**. Generator asynchroniczny nie zawiera magnesów stałych i nie jest oddzielnie wzbudzany. Oznacza to, że generator asynchroniczny musi pobierać prąd wzbudzenia z sieci, a pole magnetyczne pojawia się dopiero, gdy generator jest podłączony do sieci.



Przykładowy widok prądnicy asynchronicznej

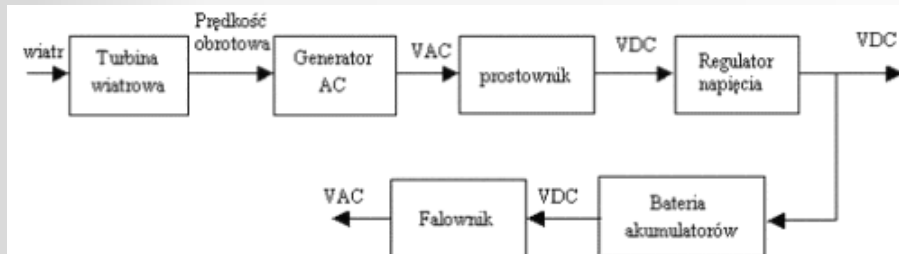
# Turbiny wiatrowe

## Układy zasilania



### Elektrownie pracujące na sieć wydzieloną

- niezależne źródła energii, w których stosowane są prądnice prądu stałego lub małe prądnice trójfazowe w wykonaniu z magnesami trwałymi;
- pracują przy zmiennej prędkości obrotowej wirnika,
- typowy układ: prądnica, bateria akumulatorów, regulator napięcia, falownik;
- zakres napięć nominalnych układów autonomicznych: 12-230 V prądu stałego bądź zmiennego.



### Elektrownie przyłączone do sieci energetycznej

- Elektrownia wiatrowa musi mieć takie same parametry ( $U$  i  $f$ ) jak sieć, z którą współpracuje. Zwykle prędkość turbiny utrzymywana jest na stałym poziomie.
- Dla zwiększenia produkcji energii stosowane są:
  - dwa generatory, z których jeden pracuje przy dużych prędkościach wiatru, zaś drugi przy słabszych wiatrach.
  - generatory o przełączanej (regulowanej) liczbie par biegunów



# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Wirnik i łopaty



- Wirnik stanowi podstawowy zespół przetwarzający energię wiatru na energię mechaniczną. Wirnik o poziomo usytuowanej osi obrotu może być:
  - jednołopatowy ( $12 < \lambda < 18$ ) (systemy jednołapowe stosowane są najczęściej w jednostkach dużych mocy),
  - dwułopatowy ( $8 < \lambda < 12$ ),
  - trójłopatowy ( $3,5 < \lambda < 8$ )
  - wielołopatowy.
- Podział kół łopatowych może dotyczyć sposobu regulacji kąta łopaty:
  - stałe bez regulacji,
  - regulowane.
- Wirniki o stałym kącie nastawienia łopat pod względem konstrukcyjnym są znacznie prostsze i tańsze, wymagają stosowania profili o nagłym spadku współczynnika siły nośnej po przekroczeniu krytycznego kąta natarcia. Nie istnieją profile łopat zapewniających stałą moc elektrowni wiatrowej dla szerokiego zakresu zmiany prędkości wiatru.
- Łopaty są osadzone w węzłach łożyskowych, ruch obrotowy na łopaty może być przekazywany poprzez układ dźwigni lub zespół: zębata - koło zębate. W turbinach wiatrowych o średnich i dużych mocach są stosowane układy hydrauliczne zarówno do zmiany kąta nastawienia łopat jak i obrotu głowicy. Łopaty wirników o osi poziomej stanowią podstawowy element elektrowni wiatrowej.

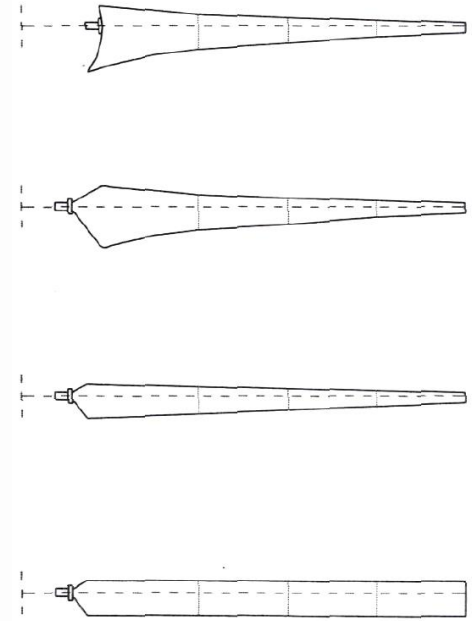


# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Łopaty



- Większość nowoczesnych łopat w elektrowniach wiatrowych jest wykonana z włókna szklanego wzmocnionego poliestrem lub żywicą epoksydową. Jako wzmocnienie używa się też włókien węglowych lub kevlaru. W bardzo małych turbinach stosuje się też łopaty stalowe i aluminiowe (ciężkie i podatne na zmęczenie materiału).
- Ze względów aerodynamicznych istotna jest geometria płata łopaty oraz:
  - liczba płatów (zazwyczaj wykonuje się wirniki trójpłatowe),
  - promień (wraz z liczbą płatów określa optymalną prędkość obrotową),
  - sposób skręcenia płata (zapewnia właściwy rozkład sił i momentów oraz powoduje lepsze wykorzystanie płata i zmniejsza obciążenia mechaniczne).
- Płat powinien posiadać następujące cechy:
  - odpowiednią sztywność (aby przy mocniejszych podmuchach nie doszło do zderzenia łopat z wieżą),
  - możliwie małą masę,
  - trwałość (powinien wytrzymać cały cykl życia siłowni, minimum około 20 lat),
  - niski poziom generowanego hałasu (kształt końcówki płata),
  - odporność na zabrudzenia i oblodzenie,
  - kształt zapewniający odpowiednie własności aerodynamiczne,
  - odporność na wyładowania atmosferyczne.



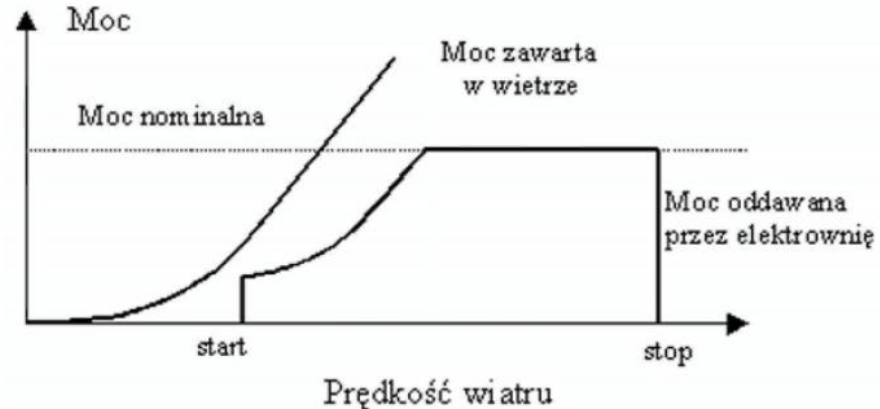
Kształty łopat wirników o poziomej osi obrotu

# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Łopaty



- Wszystkie siłownie wiatrowe charakteryzują takie parametry pracy jak: moc nominalna oraz prędkości wiatru: załączania, nominalna i wyłączania.
- Aby zapewnić optymalne wykorzystanie tych parametrów należy zastosować układy sterowania. Ogólnie mają one na celu wytworzenie żądanego poziomu mocy przy satysfakcjonującej jakości energii elektrycznej i minimalizacji przeciążeń mechanicznych, co ma wpływ na wydłużenie czasu pracy elektrowni.
- Wyróżnia się dwie koncepcje sterowania pracą elektrowni wiatrowej: ze stałą prędkością obrotową oraz ze zmienną prędkością obrotową. Elektrownie wiatrowe o stałej prędkości obrotowej są wyposażone w generatory synchroniczne.
- Załączanie elektrowni wiatrowej odbywa się przy prędkościach (2-6,5) m/s, nominalne warunki pracy to wiatry o prędkościach (9-16) m/s, prędkość wiatru 25 m/s powoduje z reguły wyłączenie elektrowni. Dopóki wiatr nie osiągnie prędkości nominalnej dla elektrowni, strategia sterowania polega na wytworzeniu maksymalnej możliwej mocy.



Obszary pracy elektrowni wiatrowej w odniesieniu do prędkości wiatru

# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Łopaty



- Występująca różnica ciśnień powoduje ciąg aerodynamiczny skierowanego w stronę ciśnienia niższego. Powstały ciąg aerodynamiczny oddziałuje dynamicznie z płatem wirnika, który jest umocowany za pomocą piasty. Różnica ciśnień wytwarza siłę ciągu kierowaną w stronę niższego ciśnienia (łopata zostaje zassana przez obszar o niższym ciśnieniu). W przypadku elektrowni wiatrowej bardziej zależy na ruchu obrotowym śmigła, a minimalizowaniu siły ciągu, która dąży do wyrwania wirnika z gondoli. Siła popychająca łopatę do ruchu obrotowego jest wynikiem dążenia do wyrównania ciśnień. Powietrze szybciej przepływa nad górnym płatem niż dolnym wytwarzając siłę popychającą łopatę do ruchu obrotowego.

- Moc wirnika

$$P_R = C_{PR} \frac{\rho}{2} V_{1-\infty}^3 A$$

$P_R$  – moc wirnika, rotacji, W;

$C_{PR}$  – wskaźnik mocy dla wirnika (łopaty) wyznacza się za pomocą teorii elementu łopaty dla określonego stosunku prędkości końcówki łopaty wirnika do prędkości wiatru;

$V_{1-\infty}$  – prędkość wiatru, m/s;

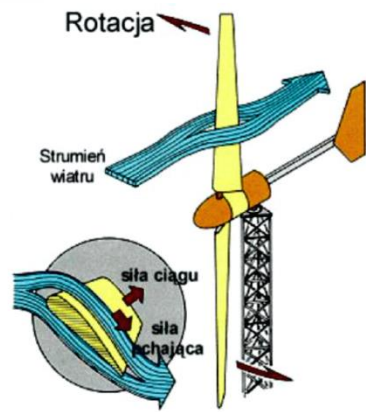
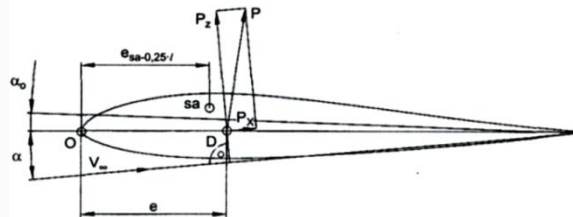
$\rho$  – gęstość gazu, kg/m<sup>3</sup>;

$A$  – pole powierzchni, m<sup>2</sup>.

- Metody regulacji generowanej mocy :

- o ustawieniem elektrowni w kierunku wiatru,
- o regulacja kąta ustawienia łopat,
- o regulacja przez zmianę obciążenia,
- o regulacja przez „przecignięcie”,
- o regulacja lotkami łopat wirnika.

Siły działające na profil łopaty





# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Wieża



- W elektrowniach wiatrowych o poziomej osi obrotu wirnika są stosowane wieże konstrukcji stalowej oraz betonowe. Stalowe konstrukcje wież stosuje się dla jednostek o małych, średnich i dużych mocach. Wieże z betonu wykonuje się dla elektrowni wiatrowych dużych mocy. Można wyróżnić konstrukcje stalowe rurowe, rurowe z odciągami, stożkowe (stożek ścięty), kratowe oraz betonowe.
- Najczęściej wieże są wykonane w postaci segmentów rurowych lub stożkowych z kołnierzami (wewnętrznymi) łączonych śrubami. Udział masy wieży odniesiony do masy całkowitej elektrowni wiatrowej jest zawarty w przedziale od 0,304 do 0,781, średnia wartość wynosi 0,527.
- Elementy wież rurowych to odcinki o długości 20-30 m, które po transporcie na miejsce budowy zestawia się i montuje w całość. Kształt wieży jest stożkowy - średnica wieży wzrasta ku podstawie.
- Wyższa wieża to większa ilość wyprodukowanej energii, z drugiej strony wyższe koszty inwestycyjne. Na podstawie uwzględnienia danych, wysokości  $H$  osi wirnika istniejących elektrowni wiatrowych w świecie i wielkości średnicy wirnika  $D$ , powstał wzór służący do obliczenia wysokości osi wirnika od podłoża:  $H = 10 + 0,9 D$
- Cena wieży stanowi około 20 procent całkowitej ceny elektrowni.

# Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

## Wieża



Przykłady wież elektrowni wiatrowych o konstrukcji kratownicowej



Etapy budowy wieży elektrowni o konstrukcji betonowej



# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne 1/7

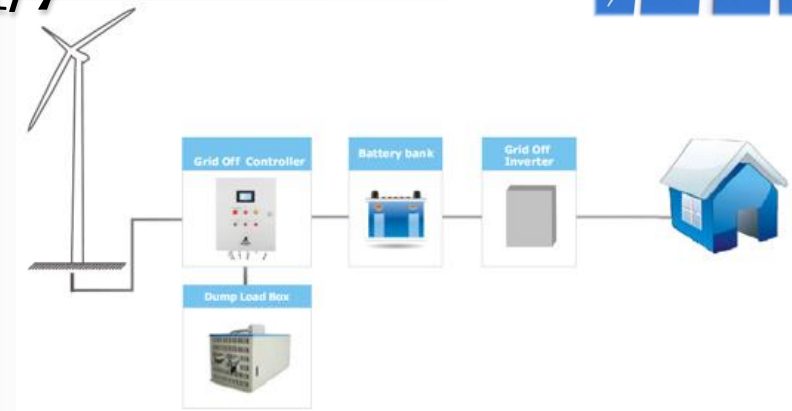


Konieczność uwzględnienia minimum:

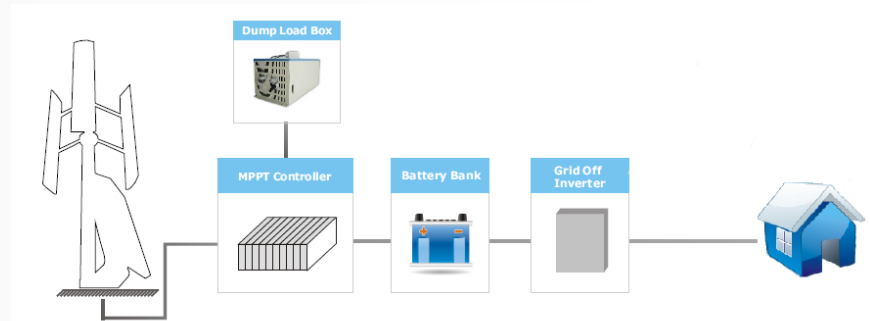
- turbiny,
- masztu,
- akumulatora,
- regulatora ładowania i dodatkowych sterowników (np. kontrolera Maximum Power Point Tracking Controller),
- inwertera (falownika),
- okablowania,
- zabezpieczeń.

Poza tym:

- koszt montażu,
- bieżące koszty eksploatacyjne (łożyska, łopaty, akumulatory)



Schemat podłączeniowy turbiny wiatrowej poziomej osi obrotu



Schemat podłączeniowy turbiny wiatrowej pionowej osi obrotu

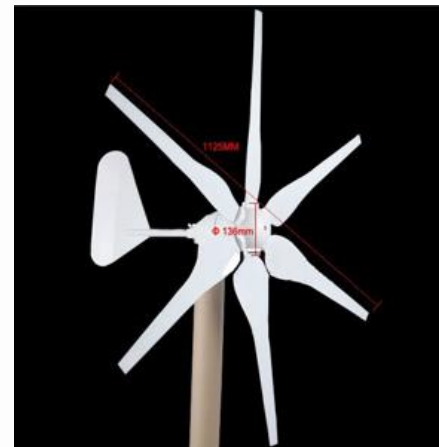
# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne 2/7



### Elektrownia wiatrowa MINI 300W

- Mini 300W/12V lub 24V AC + regulator wiatrowy:
- generator, śmigła, ogon, mocowanie do masztu, regulator ładowania
- Zastosowanie np. na jachty, żagłówki, przyczepy kempingowe, obiekty sezonowe;
- Model 12V (25A) lub 24V (12,5A)
- Moc - 300W (nominalna, 350W maksymalna),
- Prędkość startowa - 2 m/s
- Prędkość startowa ładowania - 2,5 m/s
- Nominalna prędkość wiatru - 12 m/s
- Graniczna prędkość wiatru - 15 m/s
- Prędkość przetrwania - 40 m/s
- Średnica wirnika - 113 cm
- Ilość łopat – 6, masa - 5 kg
- Cena brutto: 1 325,00 zł
- <http://www.ekoland.shoper.pl/>



Widok turbiny wiatrowej MINI 300W



Widok kontrolera napięcia turbiny wiatrowej MINI 300W

# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne 3/7



Zestaw mini elektrownia wiatrowa preVent Black 300 W  
+ Moll Solar 12V 130 Ah

- Turbina wiatrowa preVent Black 300 W
- Kontroler hybrydowy (rozbudowa systemu o moduł fotowoltaiczny)
- Akumulator: 1 x Moll Solar 130 Ah, 12 V
- Zestaw kabli akumulatora
- Wirnik – 3 łopaty
- Materiał łopat Carbon-Nylon
- Typ napędu generatora - bezpośredni
- Napięcie generatora 12V/24V/48V
- Moc nominalna 300W przy prędkości wiatru 9,36 m/s
- Ładowanie od prędkości wiatru 1,8 m/s
- Masa 16 kg
- Cena brutto: 5 999,00 zł
- <http://www.energia-za-darmo.pl/>



Elementy zestawu elektrowni  
wiatrowej preVent Black 300 W  
+ Moll Solar 12V 130 Ah

# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne 4/7



### Elektrownia wiatrowa HAWT - WH 5000W/48V

- Zestaw elektrownia wiatrowa z regulatorem
- Moc nominalna - 5 kW (maksymalna 7,5 kW)
- Średnica wirnika - 5,4 m
- Liczba łopat - 3
- Długość łopat - 2500mm
- Prędkość obrotowa - 260 obr/min
- Prędkość graniczna wiatru - 10m/s
- Prędkość startowa - 3m/s
- Prędkość nominalna - 3-25m/s
- Prędkość przetrwania - 40m/s
- Generator - 3 fazowy
- Kontrola prędkości - hamulec elektromagnetyczny
- Zatrzymywanie - hamulec elektromagnetyczny i ręczny
- Cena brutto: 24 900,00 zł
- <http://www.ekoland.shoper.pl/>



Widok turbiny  
wiatrowej WH  
5000W/48V



Widok kontrolera  
napięcia turbiny  
wiatrowej WH  
5000W/48V

# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne 4/7



### Elektrownia wiatrowa Energiewind 5 KW - FB

- Skład zestawu: generator, inwerter, kontroler, maszt, łopaty
- Moc nominalna 5.000 W przy prędkości wiatru 10 m/s
- Moc maksymalna 7.500 W
- Średnica wiatraka 6,4 m
- Ilość łopat - 3
- Prędkość startowa wiatru 2,5 m/s
- Prędkość maksymalna wiatru 30 m/s
- Napięcie wyjściowe zestawu AC 220 V / DC 240 V
- Akumulatory 20 x 12 V- nie wchodzą w skład zestawu
- Wysokość masztu 12 m
- Masa generatora 147 kg
- Cena brutto: 149 900,00 zł
- <http://www.energia-za-darmo.pl/>



Elementy zestawu  
generatora wiatrowego  
Energiewind 5 KW - FB

# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne 6/7



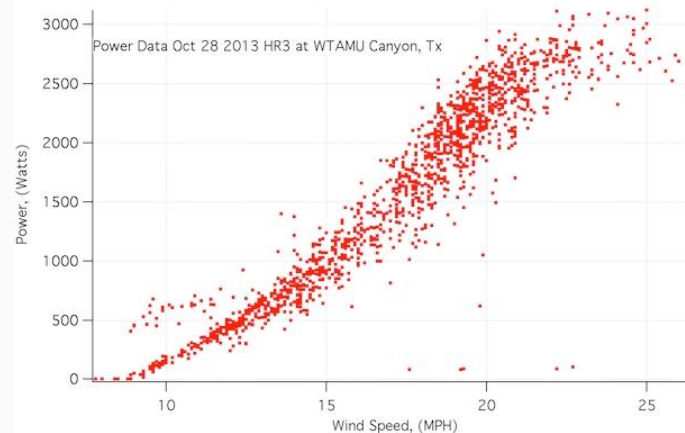
### Elektrownia wiatrowa pionowa VAWT - Hybryda DS 1000W - 48VAC

- Model: Darrieus Savonius Hybryda - model z 6 śmigłami
- Zestaw zawiera: śmigła - Darrieus - Savonius Hybryda - 6 sztuk + 12 sztuk, generator z przekładnią, system mocowania, mostek prostowniczy 88A, maszt - 130cm
- Napięcie: AC 48V (max 58VAC)
- Moc znamionowa 890W
- Moc maksymalna 1000W
- Wymiar: 120cm x 120cm x 190cm
- Waga: 32 kg
- Rozruch wiatr: 2,7 m / s
- Hałas: <40 dB
- Ilość łopat: 6 (+12)
- Gwarancja: 2 lata
- Cena brutto: 5 900,00 zł
- <http://www.ekoland.shoper.pl/>



Widok turbiny DS  
1000W - 48VAC

Krzywa mocy  
w funkcji prędkości  
wiatru dla turbiny DS  
1000W - 48VAC





# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne 7/7



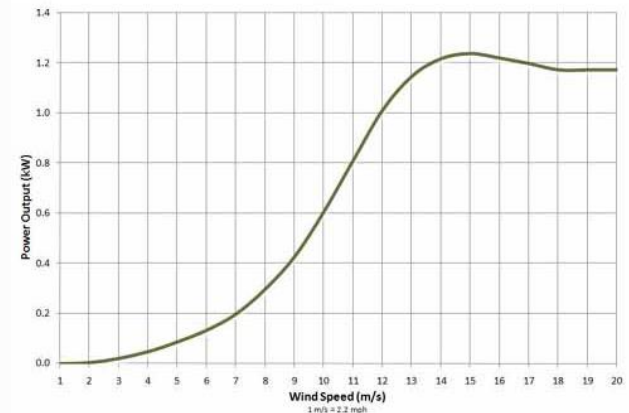
### Elektrownia wiatrowa Eddy GT zestaw off-grid UGE - 1KW

- Zestaw: turbina Eddy GT UGE-1K - 1 szt, maszt 7 m UGE-1K-T700 - 1 szt, kontroler UGE-1K-OGC - 1 szt, brak akumulatorów oraz inwertera.
- Wymiary wirnika średnica 1.8m ; wysokość 2.7m
- Powierzchnia robocza 3.24 m<sup>2</sup>
- Maszt - wysokość 7m standard
- Masa generatora 175 kg
- Prędkość wirnika RPM 180 obr/min
- Osiągi turbiny:
- Prędkość nominalna wiatru 12 m/s (27 mph)
- Prędkość startowa 3 m/s (7 mph)
- Prędkość krytyczna 50 m/s (110 mph)
- Poziom głośności w odl 3 m dla <7 m/s 38 dB
- Poziom głośności w odl 3 m dla 10-13 m/s 47 dB
- Cena brutto: 44 900,00 zł
- <http://www.energia-za-darmo.pl/>



Widok turbiny wiatrowej Eddy GT

Krzywa mocy w funkcji prędkości wiatru dla turbiny Eddy GT



# Turbina (elektrownia wiatrowa)

## Rozwiązania komercyjne



w koszyku nic nie ma



### Czy jak kupię wiatrak to będę mieć prąd za darmo ?

Tak pod warunkiem, że :

- będzie wiał silny wiatr non-stop jak na antarktydzie,
- zakupu elektrowni dokonamy za cudze pieniądze np. Unii Europejskiej.

W innym przypadku jeśli na (wiatrak + osprzęt) wyłożymy około 12 500 PLN to koszt zwrotu przy normalnych warunkach wietrznych w Polsce (**5 m/s ~ 200 Watt moc z wiatru**).

- $0,2 \text{ kWh} \times 24\text{h} = 4,8 \text{ kWh} \times 0,5 \text{ zł} = 2,4 \text{ zł}$  dzień
- $365 \text{ dni} \times 2,4 \text{ zł} = 876 \text{ zł}$  rok zarobek na wiatraku.
- $12\,500 \text{ zł} / 876 \text{ zł} [\text{rok}] = \sim 14,5 \text{ lat}$

Nie brano pod uwagę części eksploatacyjnych np.

- łożysk w wirniku (400 zł),
- szczotek w zwrotnicy (60 zł),
- akumulatorów (800 zł - 1800 zł).

wg <http://www.elektrownie-tanio.net/>

[o nas](#)

[oferta - sklep internetowy](#)

[magnesy neodymowe](#)

[magnesy płytkowe](#)

[magnesy walcowe](#)

[magnesy pierścieniowe](#)

[zabawki magnetyczne](#)

[magnetyzery](#)

[elektrownie wiatrowe](#)

[BLACK 300](#)

[BLACK 600](#)

[doświadczenie](#)

# Przydomowe elektrownie wiatrowe - przepisy prawne (nieaktualne)



Montaż elektrowni wiatrowej - w przypadku budowy małej elektrowni wiatrowej, która nie przekracza mocy 40-50 kW, nie podlega ona procedurze lokalizacji. Dla generatorów powyżej 50 kW, warunki zabudowy powinny być określone w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego (Ustawa z dnia 27 marca 2003r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, Dz. U. 2015 poz. 199 ze zm.).

Montaż elektrowni wiatrowej:

1. Na stałe związana z gruntem – maszty montuje się do fundamentów, z uwagi na solidne związanie z gruntem konieczne jest uzyskanie pozwolenia na budowę masztu. Jest to obiekt budowlany w rozumieniu ustawy z dnia 7 lipca 1994r. Prawo Budowlane (t. j. 2013r. poz. 1409 ze zm.). W przypadku braku planu zagospodarowania przestrzennego konieczne jest przed wystąpieniem o pozwolenie na budowę uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy. Do wniosku o pozwolenie na budowę dołączyć należy również m. in. projekt budowlany i oświadczenie o posiadanych prawie do dysponowania nieruchomością na cele budowlane.
2. Nietrwale związane z gruntem – zastosowane do masztu zostały odciąg liniowy, a stopa masztu nie została zamontowana na fundamencie. W takim przypadku wystarczy zgłoszenie zamiaru postawienia elektrowni w urzędzie/starostwie. Jeżeli w ciągu 30 dni organ nie wniesie sprzeciwu, można rozpocząć montaż.
3. Na budynku – montaż w obrębie 3 metrów wokół budynku nie wymaga żadnych pozwoleń, dla tych powyżej 3 metrów konieczne jest zgłoszenie.



# Wpływ na środowisko

## Hałas

- Każda siłownia wiatrowa jest źródłem hałasu, a więc fal akustycznych rozchodzących się w przestrzeni, często przybierających postać dźwięków niepożądanych. Sprawcą hałasu emitowanego przez elektrownię są łopaty wirnika, które wykonując ruch obrotowy muszą pokonywać opór powietrza.
- Turbina o mocy 2 MW emituje hałas na poziomie 105,6 dB (na wysokości 100m) i dalej 100m – 52,5 dB, 200m – 47,7 dB, 300m – 44,8 dB, 400m – 42,8 dB, 500 m – 41,3 dB.
- Polskie przepisy - poziom hałasu na obszarach zabudowy jedno- i wielo- rodzinnej oraz rekreacyjno- wypoczynkowej ma nie przekraczać 45 dB w nocy i 50 dB w czasie dnia. Więc elektrownie powinny być dalej niż 200 metrów od zabudowań (zazwyczaj dalej niż 500 m).
- Infradźwięki (0,1 Hz do 20 Hz) paśmie częstotliwości mieszczą się w zakresie 50–70 dB. W tym paśmie częstotliwości próg słuchu człowieka leży powyżej 80 dB, a więc znacznie wyżej. Zmiany zdrowotne u człowieka, pojawiają się wtedy, gdy sygnał jest słyszalny, więc zakres częstotliwości nie stanowi problemu zdrowotnego wbrew opiniom przeciwników wiatraków. Problem to składowe niskoczęstotliwościowe z przedziału 100–500 Hz. Poziom dźwięku generowanego przez turbiny w tym przedziale częstotliwości przekracza progi słuchu. Odbiorcy opisują jako „kłapanie”, „świsł”, czy „pulsowanie”, dźwięk przejeżdżającego nieskończenie długiego pociągu.

# Wpływ na środowisko



## Populacja ptaków

- Opinie naukowców na temat negatywnego oddziaływania infrastruktury związanej z energetyką wiatrową na wielkość populacji ptaków są bardzo podzielone, niektórzy uważają, że migrujące stada ptaków potrafią omijać elektrownie wiatrowe, a inni wręcz odwrotnie. Migrujące ptaki potrafiły przystosować się do obracających się łopat wirników i skutecznie je omijają. Mniej niż 1% wszystkich zaobserwowanych ptaków przelatywało w niebezpiecznej odległości.

## Krajobraz

- „Wizualne zanieczyszczenie” środowiska. Problem polega na tym, że odpowiednie do budowy farm wiatrowych obszary to zazwyczaj tereny nadmorskie bądź górskie. Istnieje przekonanie, że wybudowanie elektrowni może negatywnie odbić się na rozwoju turystyki i sportów wodnych, bądź górskich.

## Migotanie cienia

- Ekspozycja związana z tym zjawiskiem, sama przez się jest niewątpliwie męcząca i uciążliwa, a przez fakt, że przypomina efekt stroboskopowy, wywołuje obawy przed wywołaniem ataków epileptycznych u osób chorych na epilepsję, a w szczególności wrażliwych na migotania światła, tzw. światłowrażliwych. Epilepsja światłoczuła występuje u ok. 5% chorych.
- Najczęściej stosowana częstotliwość w badaniach napadów foto-epileptycznych wynosi 3–30 Hz. U większości osób reakcja ze strony organizmu pojawia się przy częstotliwościach rzędu 16–25 Hz. Zatem częstotliwość migotania cienia – poniżej 2 Hz (od 0,5 do 1,1, Hz) powodowana przez duże turbiny wynosząca leży znacznie poniżej granicy ryzyka wywołania takich napadów u osób chorych na epilepsję światłoczułą. W obecnie budowanych turbinach nie występuje zjawisko migotania światła przez odbicia światła od powierzchni obracających się śmigieł turbin. Płaty pokryte są powłoką nieodbijającą światła.



# Problemy „urzędowe” farm wiatrowych



- USTAWA z dnia 22 lipca 2016 r. o zmianie ustawy – Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw (D. U. RP Warszawa, dnia 2 sierpnia 2016 r. Poz. 1165) dwa restrykcyjne przepisy
  - każdy nowy wiatrak musi stać w odległości co najmniej 10-krotności swojej wysokości (wliczając najwyższy punkt, w którym może znaleźć się jej wirnik) od najbliższych zabudowań mieszkalnych, wszelkich form ochrony przyrody lub leśnych kompleksów promocyjnych (wiatrak o wysokości 150 m = 1,5 kilometra promienia spełniającego te kryteria).
  - wiatraki są w całości traktowane jako budowle (nie jak dotychczas tylko ich fundamenty i wieża), podlegają więc kontroli nadzoru budowlanego.
- Spadek cen zielonych certyfikatów
  - certyfikat = dotacja od ich prowadzenia, kompensującą inwestorom ewentualne straty wynikające z różnicy między wysokimi kosztami np. budowania wiatraków a niskimi cenami energii. Certyfikat jest przyznawany za każdą wyprodukowaną kWh. Popyt na zieloną energię, z różnych omawianych tu powodów, zaczął się kurczyć. Z notowań Towarowej Giełdy Energii wynika, że zielone certyfikaty są dziś warte o około 90 proc. mniej niż jeszcze kilka lat temu.
- W 2016 roku w Polsce udział energii z OZE w końcowym zużyciu energii brutto wyniósł 11,3 %, a unijne zobowiązanie Polski na 2020 rok to 15 %.

# Produkcja energii z wiatru w Polsce



## Production capacities

Year	Capacity (MW)	Growth (MW)	Growth (%)
1997	2	-	-
1998	5	3	+150
1999	5	0	-
2000	5	0	-
2001	22	17	+340
2002	28	6	+27.3
2003	58	30	+107.2
2004	58	0	-
2005	73	15	+25.9
2006	153	80	+109.6
2007	276	123	+80.4
2008	472	196	+71.1
2009	725	253	+53.7
2010	1,180	455	+62.8
2011	1,616	436	+37
2012	2,497	881	+54.6
2013	3,390	893	+35.8
2014	3,834	444	+13.1
2015	5,100	1,266	+33.1
2016	5,782	682	+13.4



## Production capacities

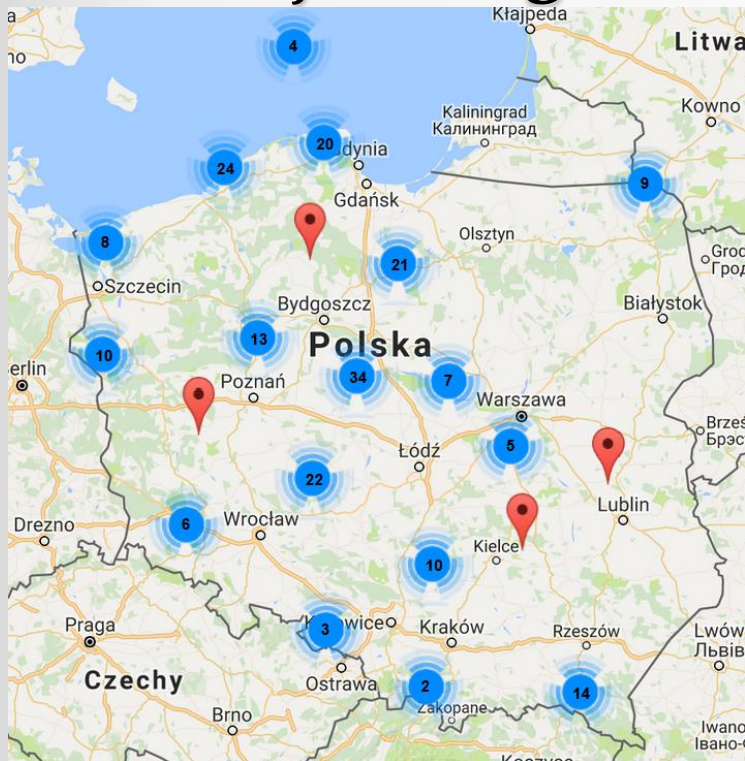
Year	Capacity (MW)	Growth (MW)	Growth (%)
1997	1,066	-	-
1998	1,383	317	+29.8
1999	1,771	388	+28.1
2000	2,417	646	+36.5
2001	2,383	-34	-1.4
2002	2,880	497	+20.9
2003	3,110	230	+8
2004	3,124	14	+0.5
2005	3,128	4	+0.2
2006	3,136	8	+0.3
2007	3,125	-11	-0.3
2008	3,160	35	+1.2
2009	3,465	305	+9.7
2010	3,749	284	+8.2
2011	3,927	178	+4.8
2012	4,162	235	+6
2013	4,772	610	+14.7
2014	4,883	111	+2.4
2015	5,064	181	+3.8
2016	5,228	164	+3.3



## Production capacities

Year	Capacity (MW)	Growth (MW)	Growth (%)
1997	1,673	-	-
1998	1,820	147	+8.8
1999	2,534	714	+39.3
2000	2,564	30	+1.2
2001	4,258	1,694	+66.1
2002	4,685	427	+10.1
2003	6,370	1,685	+36
2004	6,725	355	+5.6
2005	9,149	2,424	+36.1
2006	11,603	2,454	+26.9
2007	16,819	5,216	+45
2008	25,170	8,351	+49.7
2009	35,159	9,989	+39.7
2010	40,200	5,041	+14.4
2011	46,919	6,719	+16.8
2012	60,007	13,088	+27.9
2013	61,108	1,101	+1.9
2014	65,754	4,646	+7.7
2015	74,347	8,593	+13.1
2016	82,184	7,837	+10.6

# Produkcja energii z wiatru w Polsce



List of the 15 zones present in the database:

- Unclassified (2,093,538 kW, 960 turbines)
- Dolnoslaskie (45,420 kW, 24 turbines)
- Lodzkie (208,300 kW, 107 turbines)
- Lubuskie (175,600 kW, 83 turbines)
- Malopolskie (320 kW, 2 turbines)
- Mazowieckie (88,250 kW, 45 turbines)
- Opolskie (30,750 kW, 15 turbines)
- Podkarpackie (131,900 kW, 61 turbines)
- Podlaskie (41,400 kW, 18 turbines)
- Pomorskie (587,610 kW, 278 turbines)
- Slaskie (320 kW, 2 turbines)
- Swietokrzyskie (300 kW, 1 turbine)
- Warmińsko-mazurskie (129,000 kW, 64 turbines)
- Wielkopolskie (199,950 kW, 74 turbines)
- Zachodniopomorskie (339,075 kW, 144 turbines)

Struktura mocy zainstalowanej w KSE [MW].

	31.12.2013 r.	31.12.2014 r.	31.12.2015 r.
<b>Ogółem</b>	<b>38 406</b>	<b>38 121</b>	<b>40 445</b>
Elektrownie zawodowe	32 341	31 631	31 927
Elektrownie zawodowe wodne	2 221	2 369	2 290
Elektrownie zawodowe ciepłe, w tym:	30 120	29 262	29 637
na węglu kamiennym	19 812	18 995	19 348
na węglu brunatnym	9 374	9 268	9 290
gazowe	934	999	999
Elektrownie wiatrowe i inne odnawialne	3 504	3 877	5 687
Elektrownie przemysłowe	2 561	2 613	2 831





# Materiały źródłowe

- Stryczewska H.D. (red): Energie odnawialne. Przegląd technologii i zastosowań. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2012.
- Lewandowski W.M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT, Warszawa 2013.
- <http://generatory-wiatrowe.pl> - AirGenerator, ul. Hodowlana 16, 81-606 Gdynia
- <https://energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>
- <http://www.sander-partner.com/>
- <http://www.windpowermonthly.com/>
- Generatory stosowane w elektrowniach wiatrowych - <https://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKER7uzTAhXFCpoKHcezCq0QFggoMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.sep.iew.uz.zgora.pl>
- Paska J., Kłós M., Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym – stan obecny i perspektywy, stosowane generatory i wymagania. Rynek Energii, nr 10/2009, <http://www.energetyka-jadrowa.cire.pl/pliki/2/paskakloswiatr.pdf>
- [http://www.thewindpower.net/media\\_maps\\_en.php](http://www.thewindpower.net/media_maps_en.php) - OK.
- <http://www.oze.otwartaskola.edu.pl/Biblioteka/Artyku%C5%82y/Farmywiatrowe.aspx>
- <https://www.brasit.pl/elektrownie-wiatrowe/zestawy-magazynujace/>
- <http://www.eko-przeglad.eu/jaki-wplyw-na-srodowisko-maja-elektrownie-wiatrowe/>
- Pawalas K., Pawalas N., Boroń M.: Życie w publiżu turbin wiatrowych i ich wpływ na zdrowie - przegląd piśmiennictwa. Medycyna Środowiskowa, vol. 15, nr 4, 150-158.