



Rozdział 3

Energia wiatrowa

- 3.1. Wprowadzenie
- 3.2. Historia energii wiatrowej
- 3.3. Zasada działania
- 3.4. Rodzaje turbin wiatrowych
- 3.5. Budowa turbiny wiatrowej
- 3.6. Temat zaawansowany: Energia i moc wiatru
- 3.7. Wpływ wysokości wież wiatrowych
- 3.8. Teoretyczny potencjał energetyczny wiatru
- 3.9. Obliczanie energii z turbiny wiatrowej
- 3.10. Współczynnik wydajności
- 3.11. Farmy wiatrowe
- 3.12. Podsumowanie



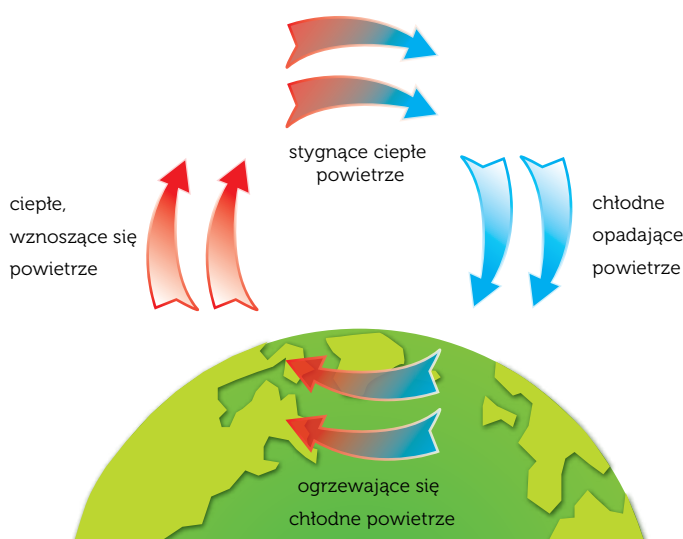
Ilustracja 3-1. Farna wiatrowa

3.1 Wprowadzenie

Czasami trudno jest sobie wyobrazić, że coś, czego nie widać może mieć wystarczająco duży ciąg aby pozyskiwać z niego energię. Masy powietrza zachowują się analogicznie jak płyny – przemieszczając się, dostarczają energię kinetyczną. W turbinie wiatrowej łopatki turbin wychwytyują energię kinetyczną wiatru. Gdy wirnik wiatraka wychwyci energię wiatru, zacznie się poruszać i obracać wał, który połączony jest z generatorem. W ten sposób energia obrotowa jest przetwarzana w energię elektryczną. Typowe turbiny wiatrowe są pokazane na Ilustracji 3-1.

Kiedy powietrze nagrzewa się, staje się lżejsze i szybko się unosi. Ciepłe cząstki powietrza wykazują większe ciśnienie, niż chłodniejsze cząsteczki, dlatego potrzebują mniej cząsteczek do utrzymania tego samego ciśnienia powietrza.

Gdy gorące powietrze unosi się do góry, chłodniejsze powietrze przemieszcza się wypełniając luki po gorącym powietrzu. Ruch takiego powietrza nazywamy wiatrem. Wiatr spycha obiekty, które znajdują się na jego drodze, przenosząc na nie część swojej energii. Tak właśnie turbiny wiatrowe przechwytyują energię z wiatru. Ilustracja 3-2 pokazuje, jak temperatura wpływa na cyrkulację powietrza.



Ilustracja 3-2. Cyrkulacja powietrza ze względu na temperaturę

3.2 Historia energii wiatrowej

Energia wiatru była wykorzystywana do takich zadań, jak pompowanie wody, mielenie ziarna, napędzania żaglowców, zasilania maszyn czy naturalnej wentylacji w budynkach, od co najmniej 5500 lat. W ambitnym projekcie babiloński władca, Hammurabi, planował wykorzystać energię wiatrową do nawadniania już w 17 wieku p.n.e.

W niektórych krajach, takich jak Dania, od około 20 do 40% zapotrzebowania kraju na energię jest realizowane dzięki wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii wiatrowej. To pokazuje, że wiatr nie tylko nadaje się do zasilania małego domu wiejskiego, ale energia wiatrowa może również zasilać całe aglomeracje miejskie.

Hammurabi:

Hammurabi był pierwszym królem imperium Babilońskiego. Imperium to kontrolowało całą Mezopotamię wygrywając serię wojen z sąsiednimi królestwami. Hammurabi stworzył zbiór ustaw zwanym kodeksem Hammurabiego. Był to jeden z pierwszych zestawów pisemnych uregulowań prawnych w historii. Ustanowione przepisy zostały zapisane na kamiennej tablicy, która mierzyła sześć stóp wysokości.

Znaleziono dowody, że w starożytnym Cejlonie 300 lat p.n.e. używano wiatrów monsunowych do zasilania pieców. Energia wiatru była wykorzystana do doprowadzenia temperatury wewnątrz pieca nawet do 1100 – 1200°C [13,16]. Pierwsze wiatraki - młyny wiatrowe zostały zbudowane w Sistan w Afganistanie w VII wieku. Były to wiatraki o poziomej osi obrotu, które miały po 6 - 12 ramion wykonanych z mat lub tkanin. Były wykorzystywane w przetwórstwie czciny cukrowej i do mielenia zbóż. Poziome wiatraki były wykorzystywane w północno-zachodniej Europie od roku 1180, a wiele z nich, głównie wiatraków holenderskich, stoi do dziś. Ilustracja 3-3 pokazuje dawny wiatrak, a Ilustracja 3-4 najważniejsze wydarzenia związane z historią wykorzystania energii wiatru.

Pompy wodne wykorzystujące energię wiatru były głównym czynnikiem rozwoju rolnictwa i hodowli na rozległych obszarach Ameryki Północnej, gdyż w dziewiętnastym wieku znaczna część tego kontynentu nie miała łatwego dostępu do wody. Wiatrowe pompy wodne przyczyniły się również do ogólnoświatowej ekspansji transportu kolejowego, zapewniając dostarczanie wody dla potrzeb parowozów.

Amerikanin imieniem Charles F. Brush uważany jest za pierwszą osobę, która wytworzyła energię elektryczną przy użyciu maszyny wiatrowej. Po raz pierwszy użył on turbiny wiatrowej zimą 1887 roku [13, 16]. W 1891 roku szkocki naukowiec, profesor James Blyth, podjął się podobnego eksperymentu w Wielkiej Brytanii. Jego 10-metrowa turbina wiatrowa, z łopatom pokrytymi tkaniną, została zainstalowana w ogrodzie domu letniskowego w Szkocji do zasilania oświetlenia w domku. Zbudował on również maszynę wiatrową do awaryjnego zasilania lokalnego szpitala psychiatrycznego, przychodni i ambulatorium w Montrose. Jednakże wynalazek nigdy nie został w pełni wykorzystany, ze względu na nieopłacalność tej technologii w tamtych czasach.

Duńczyk Poul la Cour w 1891 r. zbudował pierwszą elektryczną maszynę wiatrową z uwzględnieniem aerodynamicznych zasad projektowania, wykorzystywanych do budowy europejskich młynów wiatrowych. Wiatraki okazały się bardzo praktyczne, wytwarzając energię elektryczną, i szybko rozprzestrzeniły się w całej Danii. La Cour użył energii elektrycznej, wytworzonej przez turbiny wiatrowe, do elektrolizy wody i produkcji wodoru. Posłużyło to do zasilania lamp gazowych w lokalnej szkole.



W związku z tym możemy powiedzieć, że o 100 lat wyprzedził swój czas, bo jego wizja zawiera rozwiązania spotykane w słonecznych i wiatrowych systemach elektroenergetycznych, które zakładają wykorzystanie wodoru w procesie elektrolizy do wytwarzania energii. Jednak, do końca I wojny światowej, paliwa kopalne i para wyparły wiatraki opracowane przez La Courta [14].

Na początku dwudziestego wieku, setki tysięcy turbin wiatrowych używanych było na obszarach wiejskich, które nie były podłączone do sieci elektrycznej. Zainteresowanie systemami wiatrowymi spadło, kiedy rozszerzyła się, bardziej niezawodna i tańsza, sieć energii elektrycznej. Problem braku ropy naftowej w latach 70-tych dwudziestego wieku spowodował wzrost świadomości problemów energetycznych

VII wiek	Pierwsze wiatraki użytkowe zostały zbudowane w Sistan, w Afganistanie
1180r.	Poziome wiatraki po raz pierwszy zostały wykorzystane w północno-zachodniej Europie
1887r.	Charles F. Brush był pierwszym Amerykaninem, który do produkcji energii elektrycznej wykorzystał turbinę wiatrową
1891r.	Szkocki profesor James Blyth, był pierwszą osobą, która do produkcji energii elektrycznej użyła maszyny wiatrowej. Duńczyk Lacour także opracował pierwszą maszynę wiatrową, dostarczającą prąd dla europejskich wież młynowych
Początek 1900r.	Setki tysięcy młynów wiatrowych w Europie i USA było wykorzystywanych w obszarach wiejskich nie podłączonych do sieci elektrycznej
1980r. do dzisiaj	Liczba instalacji turbin wiatrowych wzrasta na całym świecie, zwłaszcza w Niemczech, Danii, Hiszpanii, USA i Indiach

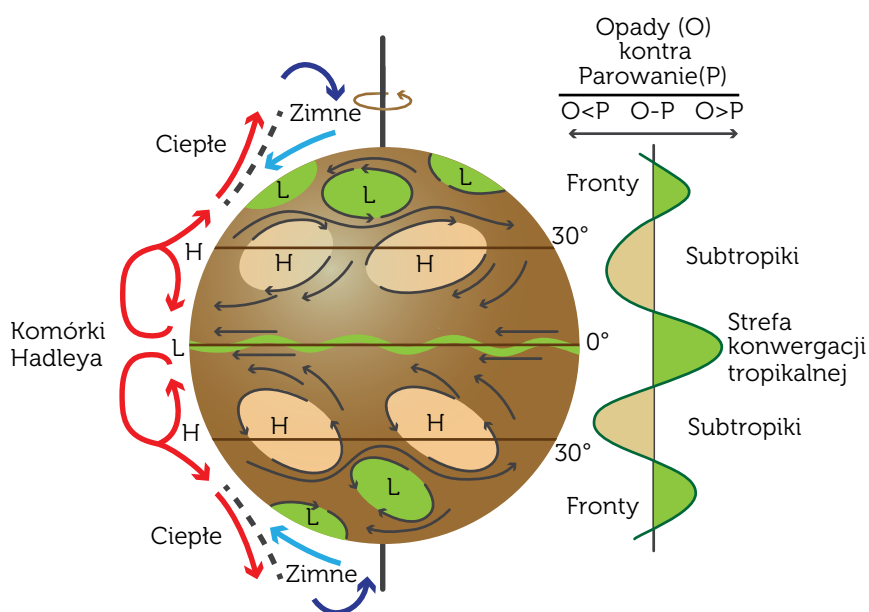
oraz wzrost świadomości wykorzystania energetyki wiatrowej. Podczas następnego dekady, ilość turbin wiatrowych na całym świecie szybko rosła a szczególnie dużo ich powstało w Kalifornii. Stan Kalifornia utworzył specjalną ulgę podatkową, która doprowadziła do znacznego wzrostu popularności energii wiatrowej. Ale w połowie lat osiemdziesiątych, przyznawanie ulgi podatkowej zostało zakończone, co zahamowało rozwój branży energetyki wiatrowej w Stanach Zjednoczonych, aż do wczesnych lat 90.

Rozwój technologii wiatrowej kontynuowany był w Niemczech, Danii i Hiszpanii. Kraje te były przygotowane, gdy zainteresowanie energią wiatrową zaczęło ponownie rosnać w połowie lat 90. Niemcy, Hiszpania, Stany Zjednoczone, Dania i Indie są obecnie światowymi liderami w produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych.

3.3 Zasada działania

3.3.1 Naziemne systemy wiatrowe

Powszechnie wiadomo, że oś Ziemi jest lekko nachylona i że Ziemia porusza się wokół Słońca. Z tego powodu, w różnych częściach Ziemi, występują różne ilości energii słonecznej.



Ilustracja 3-5. Globalna cyrkulacja wiatrów

Siła wiatru, w danej lokalizacji, uzależniona jest od aktualnego ustawienia Ziemi względem słońca. Ze względu na nachylenie Ziemi, w różnych częściach świata, są ciepłe i zimne pory roku. Te różnice w ogrzewaniu Ziemi tworzą globalny system konwencji atmosfery, który rozciąga się od powierzchni Ziemi, aż do stratosfery. W częściach Ziemi, które są ciepłe, powietrze jest ogrzewane i wznosi się ku górze. Ziemia obraca się co powoduje przemieszczanie się powietrza, a ciepłe jego masy zatrzymuje ziemską grawitacja. Większość energii zmagazynowanej w wietrze można znaleźć na dużych wysokościach, gdzie prędkość wiatru jest w miarę stała i wynosi ponad 160 km/h. Energia wiatru jest ostatecznie rozpraszana w postaci ciepła w wyniku tarcia o powierzchnię Ziemi i atmosferę. Dlatego wiatr faktycznie gromadzi energię słoneczną, a turbiny wiatrowe ją przejmują. Na Ilustracji 3-5 jest przedstawiona globalna cyrkulacja wiatrów.

Na kształt i ruch wiatru wpływają oceany, góry a nawet budynki. Najważniejszy wpływ na wiatr ma jednak gradient temperatury pomiędzy powietrzem nad lądem i wodą. Na mapach pogodowych, można zauważyć, że istnieją regiony wysokiego oraz niskiego ciśnienia i otoczone są one warstwicami. Warstwie te reprezentują linie stałego ciśnienia, co pokazano na Ilustracji 3-6.

3.3.2 Aerodynamika turbin wiatrowych

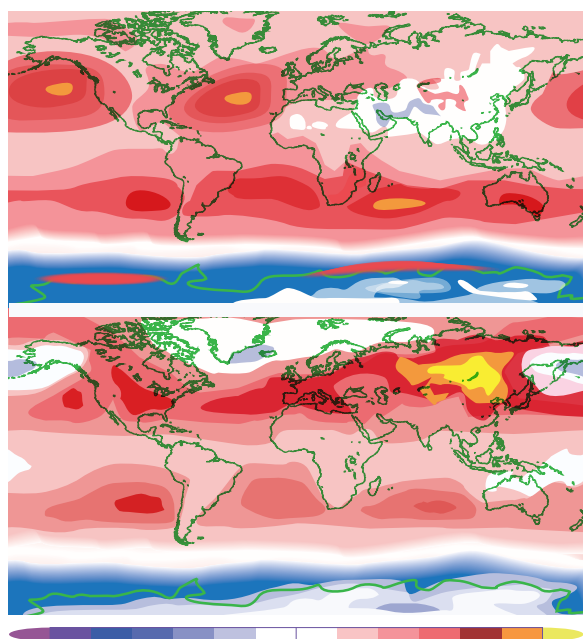
Kiedy siła jest przenoszona z jednego obiektu na drugi, ten drugi obiekt będzie poruszać się w tym samym kierunku co obiekt pierwszy. Jednak, gdy ciało stałe przenosi siłę lub energię do cieczy, reakcja jest zupełnie inna. Tworzą się dwie siły. Jedną to siła oporu, a druga to siła nośna. Siły te działają prostopadle do siebie i zależą od kształtu obiektu, kierunku ruchu, gęstości oraz prędkości każdego z nich. W przypadku turbin wiatrowych ciałem stałym jest skrzydło wirnika, a płynem jest powietrze.

Siła oporu:

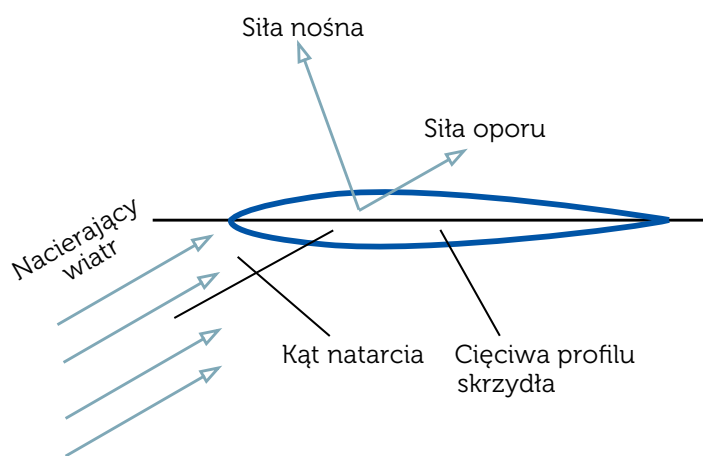
Siła, która występuje, gdy obiekt porusza się poprzez płyn. Jest to opór ruchu obiektu w płynie. Aby obiekt miał mniejszą siłę oporu musi mieć mniejsze tarcie. Części skrzydła samolotu są tak zaprojektowane, aby siły oporu były jak najmniejsze.

Siła nośna (F_n):

Siła, która popycha obiekt w górę, lub pod kątem prostym do wypadkowego kierunku strumienia wiatru.



Ilustracja 3-6. Mapa pogodowa pokazująca wysokie i niskie ciśnienie



Ilustracja 3-7. Koncepcja siły nośnej i siły oporu

3.4. Rodzaje turbin wiatrowych

Turbiny wiatrowe są klasyfikowane przez oś, wokół której obracają się łopatki turbiny. Większość turbin wiatrowych, to turbiny wiatrowe osi poziomej (HAWT-Horizontal Axis Wind Turbines), ale występują również turbiny osi pionowej (VAWT-Vertical Axis Wind Turbines). Ilustracja 3-8 przedstawia poziome i pionowe konfiguracje turbin wiatrowych.

3.4.1 Turbiny wiatrowe osi poziomej

Poziome turbiny wiatrowe (HAWTs) składają się z głównego wału wirnika i generatora elektrycznego umiejscowionego na szczycie wieży. Mają zazwyczaj przekładnię, która zmienia wolniejsze obroty na szybsze, w celu uzyskania większej ilości energii elektrycznej. Łopatki turbin są zwykle bardzo sztywne, ale dodatkowo, aby zapobiec uszkodzeniu wieży łopat, są one umieszczone w pewnej odległości od wieży.

HAWTs może mieć dowolną liczbę łopat. Wiedza dotycząca nowoczesnych turbin wiatrowych bazuje na doświadczeniach z aerodynamiki, uzyskanych głównie przy projektowaniu skrzydeł i śmigieł samolotów. HAWTs są jak dotąd, najbardziej popularnymi wiatrakami wykorzystywanymi do produkcji energii elektrycznej.

Ilustracja 3-8. Pozioma i pionowa konfiguracja turbiny wiatrowej



Optymalna liczba łopat wirujących zależy od rodzaju zastosowań turbin wiatrowych. Wieloskrzydłowe wiatraki z pompą wodną wykorzystywane są często na farmach do pompowania wody i są zaprojektowane inaczej, niż wiatraki przeznaczone do wytwarzania energii elektrycznej. Wiatraki wykorzystywane do pompowania wody muszą posiadać wysoki moment rozruchowy do pokonania ciężaru i tarcia wału pompy, który porusza się w górę i w dół studni. Działają one przy niskich prędkościach wiatru, w celu zapewnienia ciągłego pompowania wody. Czym większa ilość obrotów na minutę (RPM), tym turbulencja od jednej łopaty silniej wpływa na następną.



Łopaty turbin wiatrowych są zwykle w kolorze szarym tak, aby zlewały się z chmurami, a ich długość może wahać się nawet od 20 do 40 metrów. Wieże wiatrowe mierzą od 20 do 40 metrów. Łopaty wirnika zazwyczaj obracają się od 10 do 22 obrotów na minutę. Niektóre turbiny wiatrowe działają ze stałą prędkością, inne z prędkością zmienną.

Wszystkie mają system automatycznego wyłączania przy bardzo niskich lub bardzo wysokich prędkościach wiatru.

3.4.2 Turbiny wiatrowe osi pionowej

Francuski inżynier G.M. Darrieus jako pierwszy, w 1920 roku, opracował generator wiatrowy z pionową osią obrotu. Pionowo zamontowane łopaty miały kształt ręcznej ubijaczki do jajek. Pierwszy duży pionowy generator wiatrowy z wirnikiem, o średnicy 34 metrów, został zbudowany przez Sandia National Laboratories w Stanach Zjednoczonych i wytwarzał moc 500 kW.

Turbiny wiatrowe osi pionowej mogą, w przypadku zmiany kierunku wiatru, wykorzystać wiatr wiejący ze wszystkich stron, bez konieczności zmiany położenia wirnika. Największą zaletą turbiny osi pionowej jest brak konieczności kontroli znoszenia AYC, której zadaniem jest utrzymywanie wirnika pod wiatr. Kolejną zaletą jest łatwość wykonywania kontroli i napraw serwisowych, ponieważ konstrukcja wiatraka znajduje się bliżej ziemi. Ponadto w układzie pionowym, konstrukcja wieży nie musi być tak mocna jak turbina osi poziomej HAWT, ponieważ sprzęt zainstalowany na szczycie wieży nie jest taki ciężki. Pionowe wiatraki mają również dość lekką konstrukcję, ponieważ łopaty osi pionowej nie są tak wrażliwe na wyginanie. Ciężar całkowity takich turbin można, dodatkowo, zmniejszyć korzystając z odciągów.

Pionowa konfiguracja wiatraka ma również i tę przewagę nad poziomą, że umożliwia kontrolowanie przez sam wiatr odchylenia (ruch w lewo-prawo), powodując naturalne prawidłowe ustawienie wiatraka do kierunku wiatru. W turbinach osi poziomej kiedy łopatki wirnika, umiejscowione na wieży, napotkają na chwilowo słabszy wiatr, lekko się uginają. Takie ugięcie zmniejsza moc wiatraka, zwiększa hałas łopat i może doprowadzić do ich uszkodzenia.

Turbiny o osi pionowej również mają kilka wad. Jedną z nich jest problem wysokości wirnika. Jego łopatki znajdują się bliżej ziemi, gdzie prędkość wiatru jest znacznie niższa. Dodatkowo wiatry bliżej ziemi nie tylko są wolniejsze, ale również o wiele bardziej nieregularne - co zwiększa naciski na turbinę VAWTs. Wiatraki o niskiej prędkości, takie jak wirniki Darrieus'a mają bardzo mały moment rozruchowy, a moc wyjściowa musi być dodatkowo kontrolowana w celu ochrony generatora.

3.5 Budowa turbiny wiatrowej

Zasada działania turbin wiatrowych jest bardzo prosta: energia wiatru obraca dwie lub trzy łopaty wokół wirnika. Wirnik jest połączony z wałem, który napędza generator i wytwarza energię elektryczną.

Turbiny wiatrowe są montowane na wieżach, aby uchwycić większą energię wiatru. Dłuższe łopaty, mogą lepiej wykorzystać szybszy i mniej burzliwy wiatr. Prosta turbina wiatrowa składa się z trzech głównych części: łopat, wału i generatora tak, jak pokazano na Ilustracjach 3-10 i 3-11:

Łopaty:

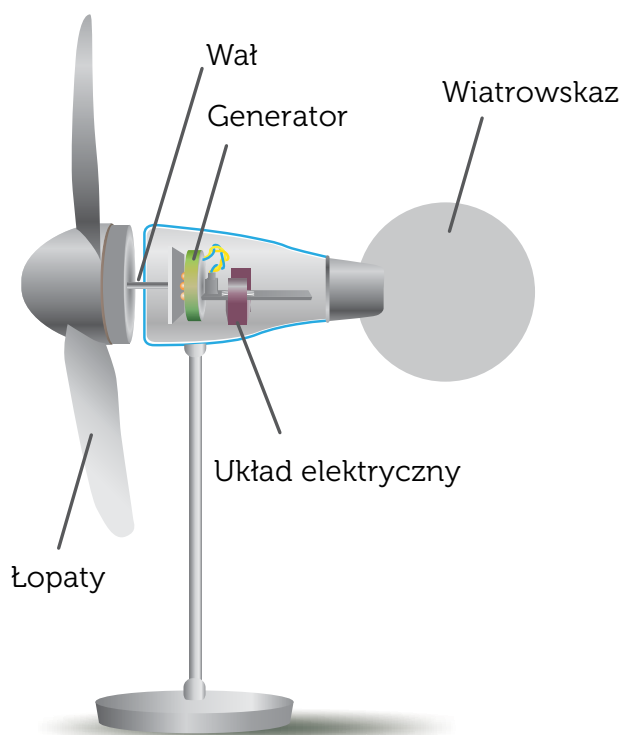
Łopata działa jako bariera dla wiatru. Kiedy wiatr zmusza łopatę do poruszania się, część energii wiatrowej jest przekazywana do wirnika.

Wał:

Gdy wirnik obraca się, obraca się również wał, przenosząc energię mechaniczną na energię obrotową.

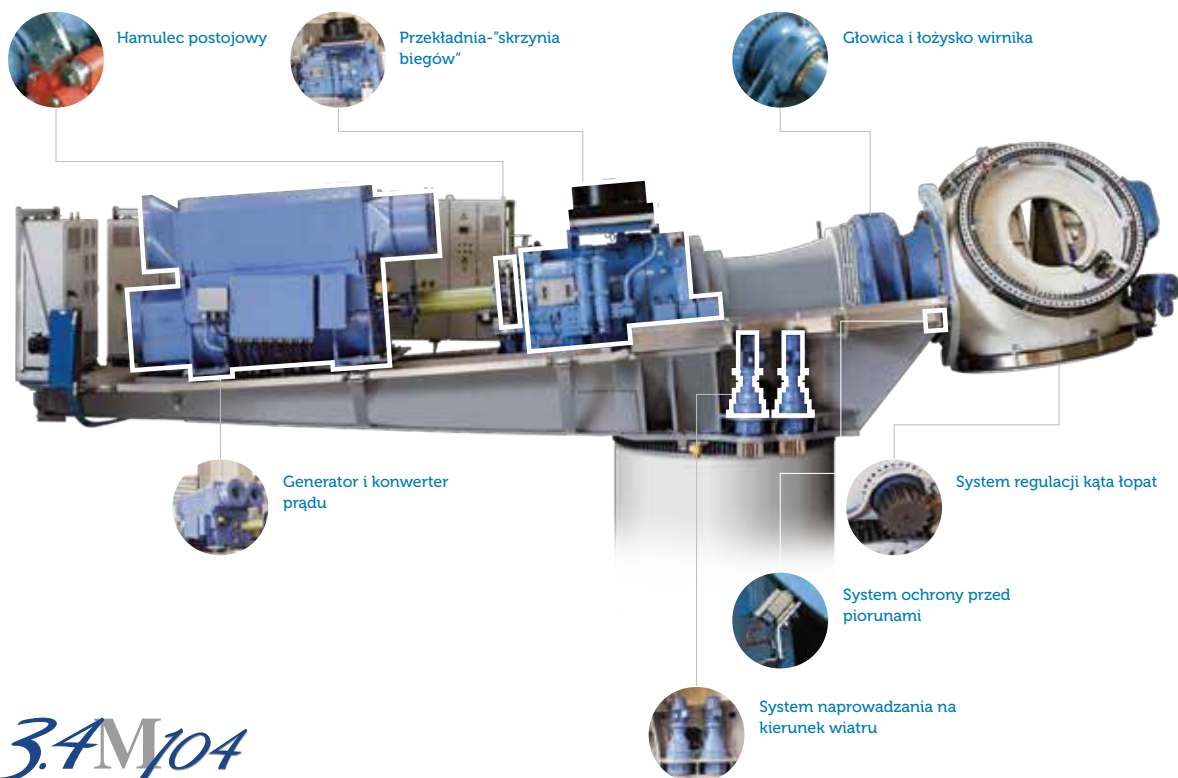
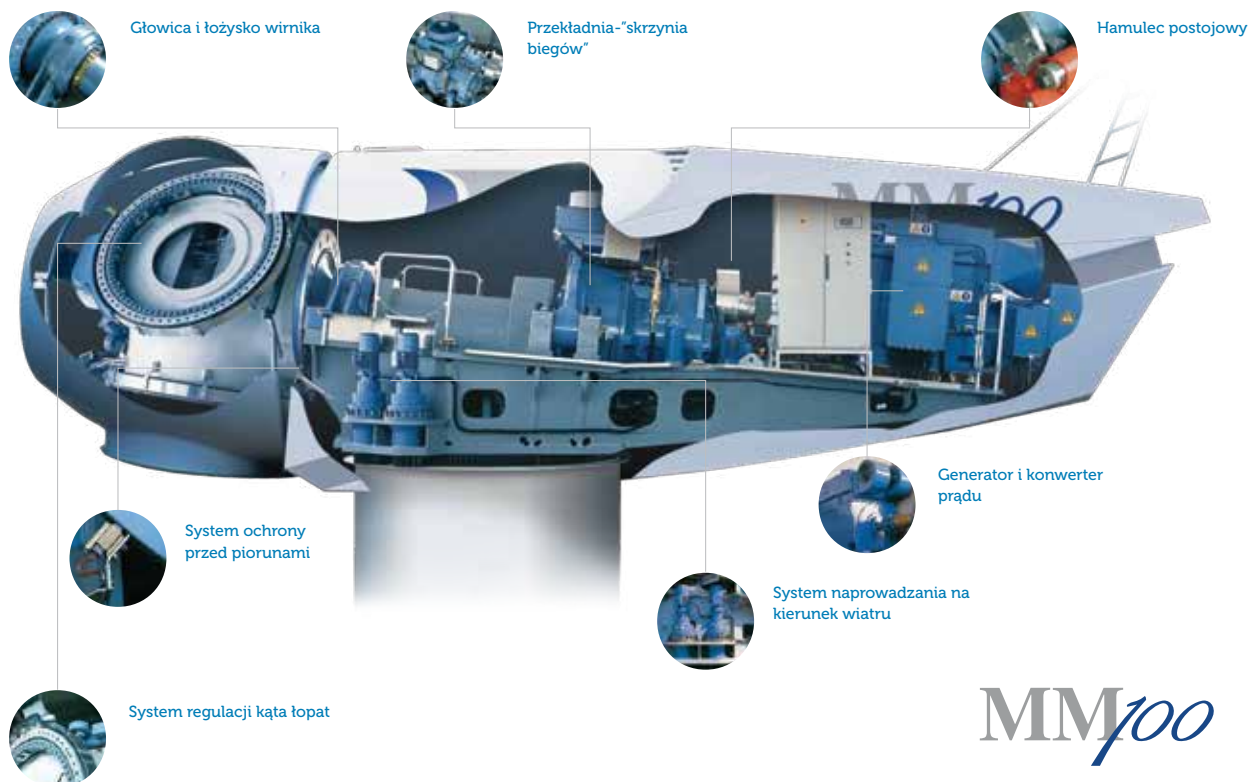
Generator:

Generator wykorzystuje różnicę ładunku elektrycznego (indukcja elektromagnetyczna) do wytwarzania zmian w napięciu. Napięcie jest, tak naprawdę, elektrycznym ciśnieniem, którego siła porusza prąd elektryczny. Napięcie elektryczne (prąd zmienny) przenoszone jest do odbiorców poprzez linie elektryczne.



Energia elektryczna wytwarzana w farmach wiatrowych jest najczęściej przekazywana do sieci elektrycznej. Poszczególne turbiny są połączone z systemem magazynowania energii i z siecią komunikacyjną. W podstacji, wytworzone z wiatru średnie napięcie elektryczne jest zwiększane przez transformator, a następnie jest przesyłane do systemu linii wysokiego napięcia. Jeżeli powstaną nadwyżki energii elektrycznej, które nie mogą zostać wprowadzone do sieci, wówczas generatory wiatrowe mogą dostarczać energii niezbędnej np. do wytwarzania wodoru z którego można wytworzyć energię elektryczną np. wtedy gdy będą niesprzyjające warunki pogodowe do pracy generatorów wiatrowych.

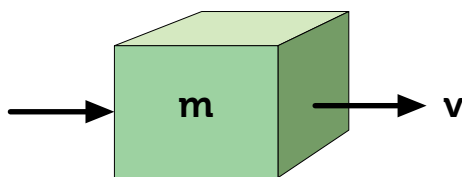
Ilustracja 3-10. Podstawowa budowa turbiny elektrycznej



Ilustracja 3-11. Komponenty turbiny wiatrowej RE Power Systems o mocy 1 MW i 3,4 MW

3.6 Temat zaawansowany:

Energia i moc wiatru



Ilustracja 3-12. Masa porusza się z wiatrem z pewną prędkością

Mnożąc objętość powietrza przez gęstość powietrza ρ , (która wynosi $1,2256 \text{ kg/m}^3$), masa powietrza przepływającego przez objętość na sekundę może być wyrażona przez [12]:

$$\text{Masa powietrza na sekundę (m)} = \text{gęstość powietrza} \times \text{objętość powietrza przepływającego na sekundę}$$

Ilustracja 3-13 prezentuje moc jako energię przypadającą na jednostkę czasu, a to może być reprezentowane przez masy powietrza poruszające się z prędkością v przez obszar A :

Współczynnik przepływu masy m , przez obszar A jest iloczynem gęstości powietrza ρ , prędkości V , oraz powierzchni przekroju A i może być wyrażony matematycznie jako:

$$\frac{\text{Masa przechodząca przez } A}{\text{Czas}} = m = \rho AV$$

Podstawiając za m do powyższego wzoru, daje nam ważną relację:

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

gdzie P jest mocą wiatru (w watach), ρ jest gęstością powietrza (kg/m^3) (przy 15°C i 1 atm , $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$); A to powierzchnia zakreślana przez wirnik (m^2) oraz V jest prędkością wiatru w kierunku prostopadłym do A (m/s).

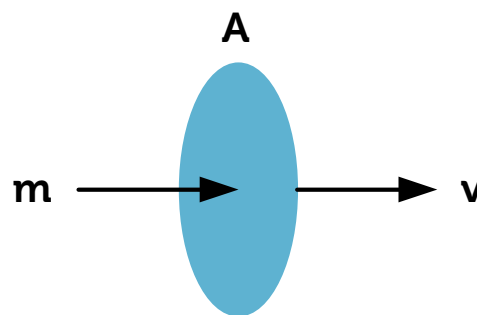
Wzrost energii wiatru do sześciastu prędkości wiatru - oznacza, że podwojony wiatr zwiększa moc ośmiokrotnie. Wiele turbin wiatrowych jest automatycznie wyłączanych przy niskich prędkościach wiatru. Równanie wskazuje również, że energia wiatru jest proporcjonalna do obszaru powierzchni obrotu wirnika turbiny i średnicy łopaty. Podwojenie średnicy zwiększa dostępną moc czterokrotnie. Moc uzyskana z turbiny wiatrowej jest również związana z gęstością powietrza. Na większych wysokościach, takich jak obszary górskie, gęstość jest niższa. Gęstość powietrza w zimnym klimacie jest również o 10% wyższa, niż w regionach tropikalnych. To pomaga wyjaśnić dlaczego warto korzystać z większych turbin wiatrowych.

Jeśli mamy jakąś określoną masę m powietrza, która porusza się z prędkością V , jej energia kinetyczna (KE) może być wyrażona przez relację przedstawioną na ilustracji 3-12:

Energia kinetyczna = połowa masy x prędkość do kwadratu

lub
$$KE = \frac{1}{2} mV^2$$

gdzie m jest w kilogramach, a V jest w metrach na sekundę (m/s).



Ilustracja 3-13. Masa powietrza przechodzącego z daną prędkością przez określony obszar

3.7 Wpływ wysokości wież wiatrowych

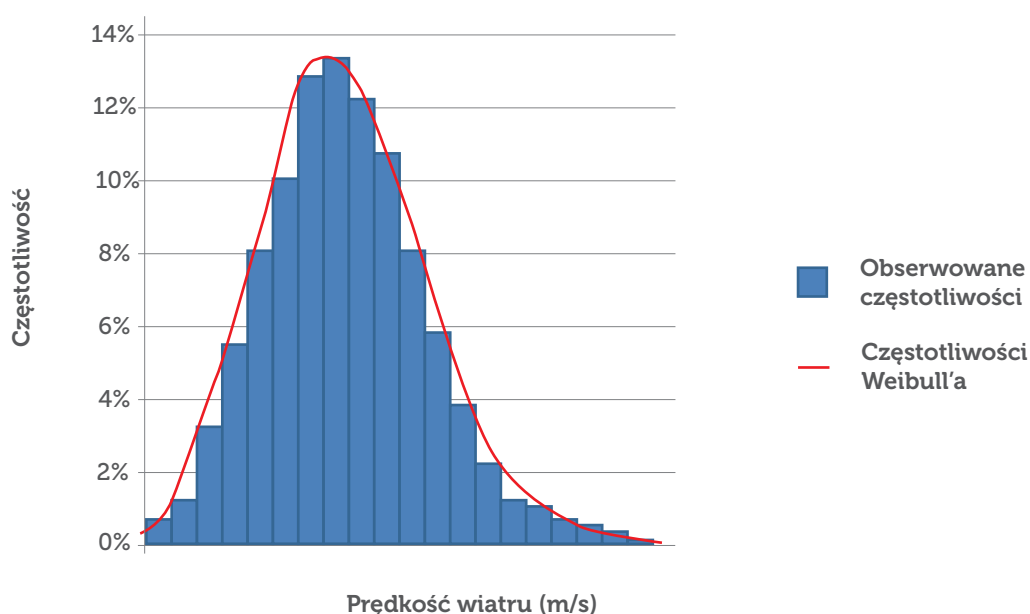
Ponieważ moc wiatru jest proporcjonalna do sześcianu prędkości wiatru, to nawet niewielki wzrost prędkości wiatru może mieć znaczenie. Jedną z metod wykorzystywania większej prędkości wiatru jest zamontowanie turbiny na wysokiej wieży. W pierwszych kilkuset metrach nad ziemią, duży wpływ na prędkość wiatru ma tarcie, ponieważ powietrze porusza się po powierzchni Ziemi. Powierzchnie, takie jak morze stwarzają znacznie mniejszy opór wiatrom, w przeciwieństwie do łądów, gdzie wiatry spowalniane są przez budynki, lasy i inne struktury.

3.8 Teoretyczny potencjał energetyczny wiatru

Potencjalna energia wiatru, dostępna w atmosferze, jest znacznie większa niż obecne zużycie energii na całym świecie. Potencjał energetyczny wiatru na łądzie i w jego pobliżu wynosi około 72 terawat (TW), co odpowiada 54.000 milionom ton ekwiwalentu ropy naftowej rocznie lub pięciokrotnemu całkowitemu światowemu zużyciu energii. Wzięto tu pod uwagę tylko te lokalizacje, na których średnia roczna prędkość wiatru jest większa lub równa 6.9 metrów na sekundę (m/s) na 80 metrach. Zakłada to wykorzystanie około 13% powierzchni łądów, gdzie na każdym kilometrze kwadratowym umieszczono po 6 turbin o mocy 1,5 MW (uwzględniając wykorzystanie tych obszarów również do innych celów, takich jak rolnictwo).

3.8.1 Rozkład prędkości wiatru

Siła wiatru jest zmienna, a średnia wartość dla wybranych lokalizacji nie oznacza, że wiatr tam może być produktywny. Aby określić prędkość wiatru w konkretnych miejscach, należy wykorzystać funkcje rozkładu prawdopodobieństwa dla zaobserwowanych danych, tak jak pokazano na Ilustracji 3-14. Rozkład prędkości wiatru zależy od lokalizacji i pory roku.



Ilustracja 3-14. Prawdopodobieństwo rozkładu sił prędkości wiatru



Ilustracja 3-15. Budowa wieży turbiny wiatrowej (RE Power Systems)

Ponieważ energia jest generowana przez wiatr o odpowiedniej prędkości, może dochodzić do przerw w dostarczaniu energii. Dlatego energetyka wiatrowa nie może dostarczać energii w sposób tak stabilny jak elektrownie węglowe. Wytwarzanie energii z wiatru wymaga łączenia wiatraków w farmy, tak aby wyeliminować okresy, kiedy zmienność wiatrów powoduje przerwy w dostawie energii. Hybrydowe systemy energii odnawialnej (energia słoneczna, ogniwa paliwowe oraz systemy oparte na elektrolizatorach) są projektowane tak, aby maksymalnie zniwelować okresy, kiedy odnawialne źródła energii nie produkują energii.

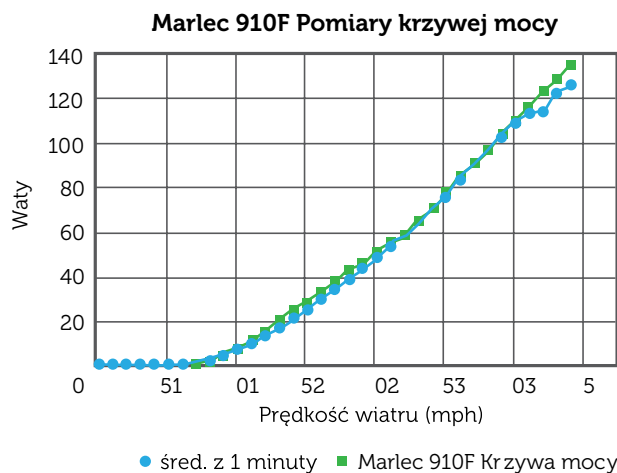
Jeśli jest znana lub można oszacować średnią roczną prędkość wiatru w konkretnym miejscu, to wstępną szacowaną wielkość produkcji energii elektrycznej można obliczyć z następującego równania:

Roczna produkcja energii elektrycznej = KV^3AT

Gdzie $K = 3.2$ to współczynnik oparty na typowych charakterystykach turbin, V to roczna średnia prędkość wiatru (m/s), A to powierzchnia zakreślana przez wirnik (m^2) i T oznacza liczbę turbin. Wzór ten należy stosować z ostrożnością, ponieważ opiera się na dostępnych uśrednionych charakterystykach turbin wiatrowych oraz zakłada również średnią roczną prędkość wiatru i częstotliwość prędkości wiatru.

3.9 Obliczanie energii z turbiny wiatrowej

Ilość energii w wietrze, która może zostać przechwycona i przekształcona w energię elektryczną zależy od wielu czynników, takich jak: budowa wiatraka (wirnik, generator, wieża i sterowanie), terenu (topografia, chropowatość powierzchni i przeszkód) oraz cechy wiatru (prędkość, czas i przewidywalność).



Ilustracja 3-16. Krzywa mocy w zależności od prędkości wiatru

Budując wydajne farmy wiatrowe należy wziąć pod uwagę parametry wyjściowe oferowane przez wiele różnych turbin. Kilka prostych obliczeń może dać dobrą ocenę energetyczną. Jeżeli jednak potrzebujemy bardziej rozbudowanych obliczeń wydajności turbin wiatrowych będziemy musieli wykonać bardziej dokładne pomiary.

Moc turbiny wiatrowej zmienia się wraz z prędkością wiatru, a każda turbina posiada krzywą mocy. Przykładowy wykres krzywej mocy jest pokazany na Ilustracji 3-16.

3.10 Współczynnik wydajności

Nie jest łatwo obliczyć roczną produkcję energii z farmy wiatrowej, która jest współczynnikiem wykorzystania turbiny wiatrowej pomnożonym przez ogólną liczbę godzin i dni w roku. Współczynnik wydajności (CF) jest to stosunek rzeczywistej produktywności w roku do teoretycznego maksimum, a to zazwyczaj daje 20 - 40%. Ilość megawatogodzin (MWh) można obliczyć z następującego równania:

$$\text{Ilość MWh} = \text{CF} * \text{ilość godzin} * \text{ilość dni}$$

Na przykład, turbina o mocy 1 MW i współczynniku wydajności 35%, nie jest w stanie produkować 8760 MWh w roku ($1 \times 24 \times 365$), ale tylko $0,35 \times 24 \times 365 = 3066$ MWh, co daje średnio 0,35 MW. Dostępne są dane dla poszczególnych lokalizacji na świecie, dzięki temu możliwe jest obliczenie rocznej produkcji.

3.11 Farmy wiatrowe

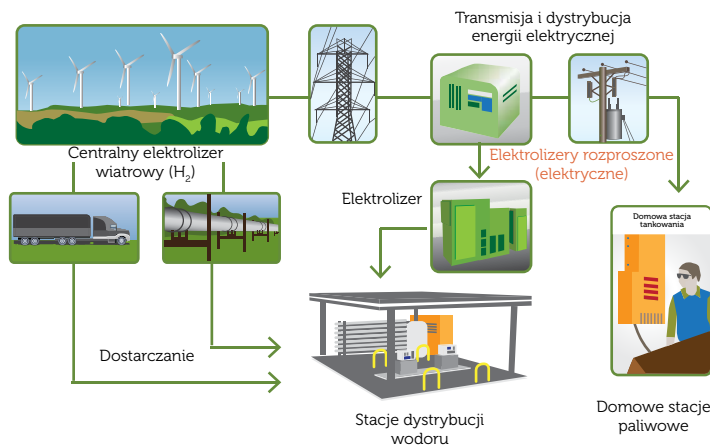
W miejscach cechujących się silnym wiatrem, wiele turbin może tworzyć farmy wiatrowe lub parki wiatrowe. Do zalet takich zbiorów elektrowni wiatrowych zalicza się zmniejszenie kosztów eksploatacji, scentralizowany dostęp oraz łatwe połączenie liniami przesyłowymi. Ilustracja 3-17 prezentuje wykorzystanie energii wiatru do elektrolizy w systemach scentralizowanych oraz rozproszonych wśród odbiorców.

Turbiny wiatrowe nie mogą być umieszczone zbyt blisko siebie, ponieważ będą one kolidować ze sobą, co spowoduje efekt „downwind”.

Downwind:

Wiatr o energii częściowo zabranej przez wirnik, powodujący zmniejszenie dostępnej mocy dla dalszych maszyn wiatrowych.

Jest oczywiste, że energia wiatrowa jest bardzo korzystnym źródłem energii odnawialnej i jest jednym z najlepszych sposobów dostarczania energii w przyszłości. Rządy na całym świecie są bardzo zainteresowane pomyślnym i szybkim rozwojem energetyki wiatrowej.



Ilustracja 3-17. Przykłady centralnej i rozproszonej elektrolizy wiatrowej

3.12 Podsumowanie

Energia wiatrowa, będzie zapewne podstawowym elementem przyszłej gospodarki energią odnawialną. Energetyka wiatrowa wykorzystuje ruch wiatru, aby pozyskać energię kinetyczną. Trzy główne elementy turbiny wiatrowej to: łopaty, wał i generator. Energia kinetyczna wiatru jest przechwytywana przez łopaty turbiny, gdy tylko zaczynają się one poruszać. Ruch łopat obraca wał, podłączony do generatora. Energia obrotowa jest następnie przekształcana w energię elektryczną. Turbiny wiatrowe są klasyfikowane przez oś, wokół której obracają się łopaty turbiny. Dwa główne typy turbin wiatrowych to turbina z osią poziomą (HAWT) i turbina z osią pionową (VAWT). Na większą skalę (skala megawatowa) energię można pozyskiwać z wielkich farm wiatrowych lub poprzez integrację turbin wiatrowych z elektrolizerami i ogniwami paliwowymi jako część hybrydowego systemu energetycznego. Energia wiatrowa jest bardzo efektywnym źródłem energii odnawialnej i jest jednym z najlepszych sposobów dostarczania energii w przyszłości.

Ilustracja 3-18. Wnętrze wieży turbiny wiatrowej (RT Power Systems)

