Energetyka wiatrowa

Historia energetyki wiatrowej

Energia wiatru była wykorzystywana od paru tysięcy lat:

- (1000 r.p.n.e) – kamienne pozostałości odkryte w Egipcie,
- (640 r.p.n.e.) – na granicy persko-afgańskiej /wiatraki perskie, pionowa oś obrotu wirnika, do mielenia zbóż/
- (??? r.p.n.e.) – Chiny /pionowa oś obrotu wirnika, osuszanie pól ryżowych/

Europa:

Pierwsze wzmianki źródłowe o młynach wietrznych w Europie Zachodniej pochodzą z XII wieku.

- (1180 r.) – wiatrak kozłowy (Normandia)

Polska

Pierwsze wzmianki o młynach wiatrowych na terenie Polski pochodzą z drugiej połowy XIII wieku:

- (1271 r.) – dokumenty pomorskie – zezwolenie na budowę młynów nadane klasztorowi w Białym Buku przez księcia Wiesława z Rugii)

- Szacuje się, że do połowy XIX wieku w Europie było zainstalowanych 200 tys. wiatraków, powszechnie używanych do napędu maszyn i urządzeń.

- W Stanach Zjednoczonych rozwój lekkich wiatraków datuje się na początek XIX wieku /do napędu pomp/ - ok. 1850 r. Richard Halladay, a następnie przez Leonarda Wheelera.

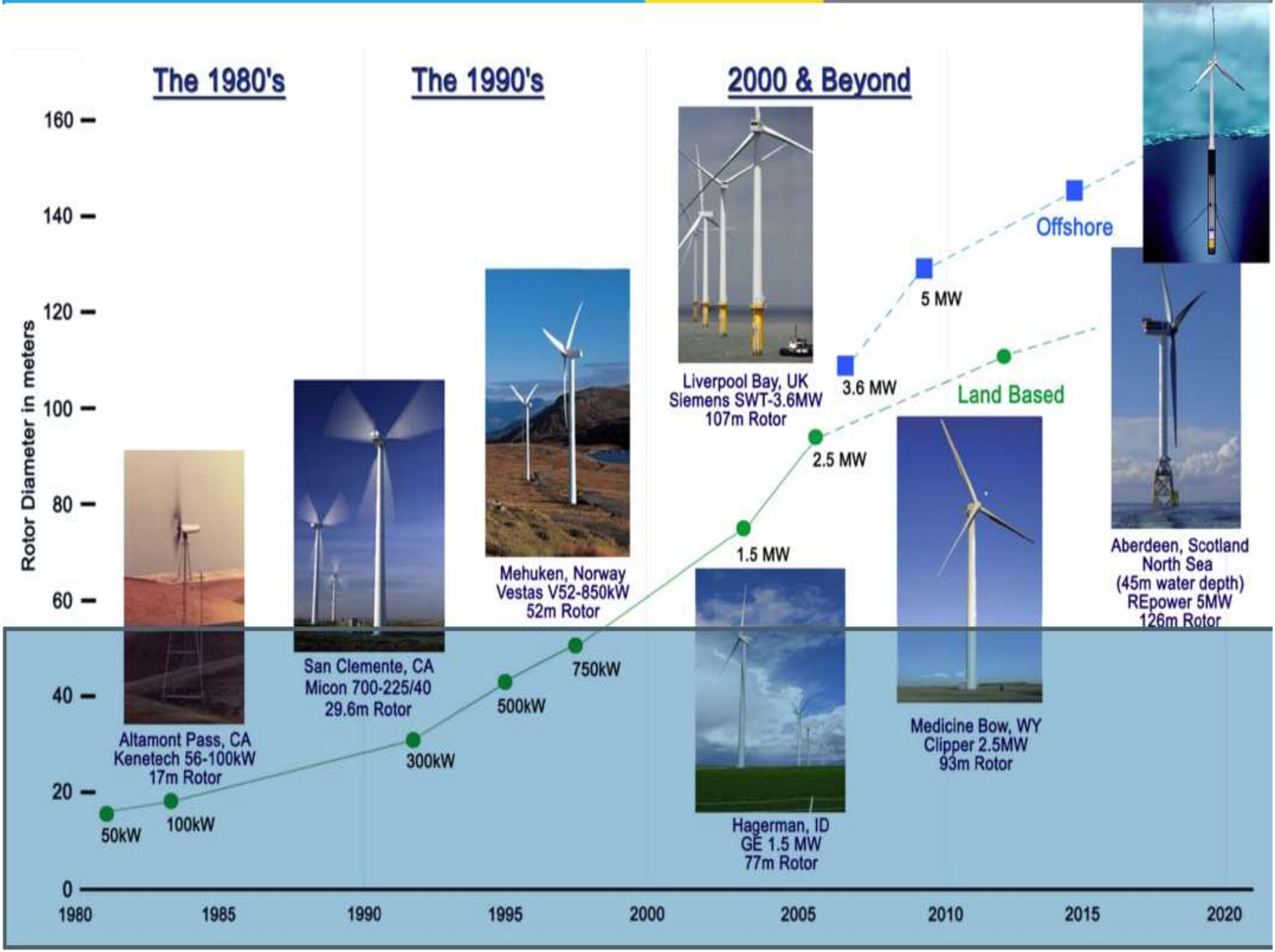
Koniec ery wiatraków nastąpił z kilku powodów:

- nadejście ery maszyn parowych,
- zastosowanie silników spalinowych,
- postępująca elektryfikacja /rozwój sieci elektroenergetycznych.

Powrót wiatraków (elektrowni wiatrowych)

Pod koniec XX wieku nastąpił powrót wiatraków, jako elektrowni wiatrowych, które wróciły niejako wspomagając systemy elektroenergetyczne, które poprzednio spowodowały ich wyparcie.

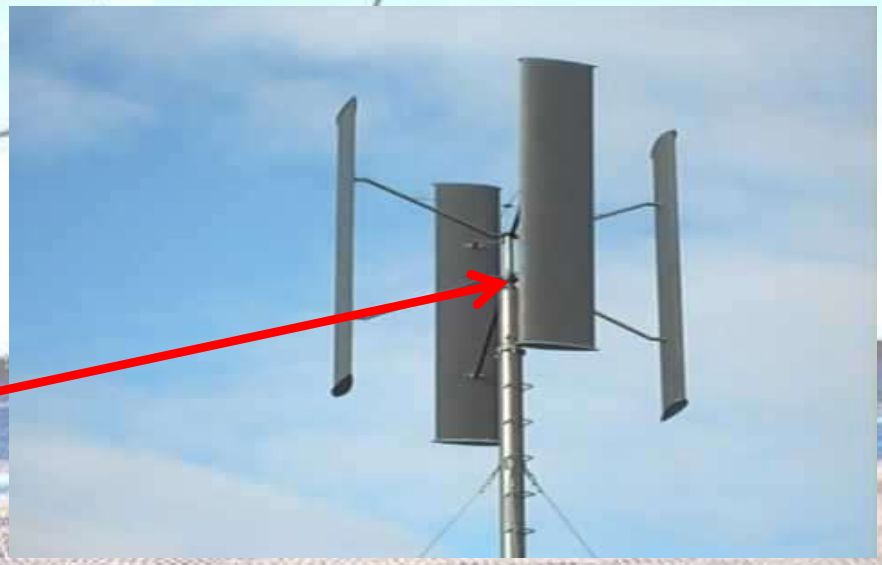
(1891 r) Poul La Cour /Dania/ zbudował eksperymentalną turbinę wiatrową /koło wiatrowe składało się z czterech łopat/ napędzającą tzw. Dynamo, - komercyjne elektrownie wiatrowe o mocach 10-35 kW / do 1918 zbudowano ich ok. 120/ i były używane do zasilania w systemie „wyspowym", współpracując wspólnie z generatorami spalinowymi. (1941 r.) F.L.Smith (Aeromotor) stworzył konstrukcję z dwoma łopatami z laminowanego drewna o średnicy koła wiatrowego 17,5 m. Moc znamionowa wynosiła 50kW (przy 11 m/s) – generator prądu stałego). Następnie powiększono moc do 70kW i zastosowano koło wiatrowe z trzema łopatami oraz zastosowano betonowe wieże.


The 1980's
The 1990's
2000 & Beyond
Rotor Diameter in meters
160
140
120
100
80
60
40
20
0
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
50kW
100kW
300kW
500kW
750kW
1.5 MW
2.5 MW
3.6 MW
5 MW
Offshore
Land Based
Altamont Pass, CA
Kenetech 56-100kW
17m Rotor
San Clemente, CA
Micon 700-225/40
29.6m Rotor
Mehuken, Norway
Vestas V52-850kW
52m Rotor
Liverpool Bay, UK
Siemens SWT-3.6MW
107m Rotor
Hagerman, ID
GE 1.5 MW
77m Rotor
Medicine Bow, WY
Clipper 2.5MW
93m Rotor
Aberdeen, Scotland
North Sea
(45m water depth)
REpower 5MW
126m Rotor

Klasyfikacja elektrowni wiatrowych

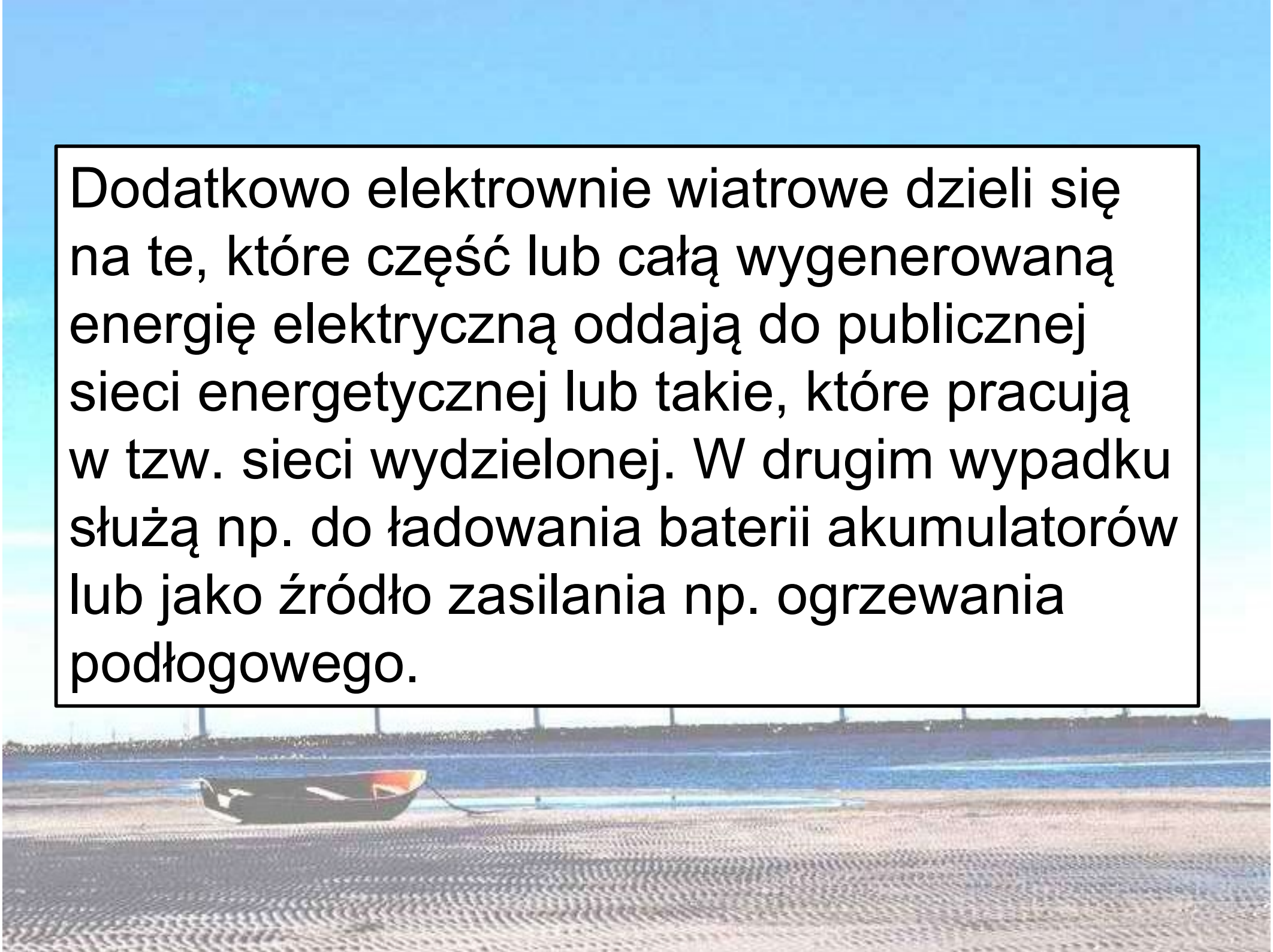
Elektrownie wiatrowe ze względu na konstrukcję turbiny dzielą się na:

- instalacje z poziomą osia obrotu (Horizontal Axis Wind Turbine - **HAWT**),
- instalacje z pionową osią obrotu (Vertical Axis Wind Turbine - **VAWT**).



Oprócz podziału ze względu na konstrukcję, elektrownie wiatrowe klasyfikuje się też według wartości generowanej mocy i tak wyróżnia się:

- instalacje o mocy poniżej kilkuset watów, które mogą zasilać pojedyncze urządzenia;
- elektrownie o mocy do 50kW wykorzystywane np. do zasilania gospodarstw domowych;
- elektrownie o mocy powyżej 100kW, które najczęściej włączane są do sieci energetycznej jako samodzielne jednostki lub ich zespoły, w postaci farm wiatrowych.



Dodatkowo elektrownie wiatrowe dzieli się na te, które część lub całą wygenerowaną energię elektryczną oddają do publicznej sieci energetycznej lub takie, które pracują w tzw. sieci wydzielonej. W drugim wypadku służą np. do ładowania baterii akumulatorów lub jako źródło zasilania np. ogrzewania podłogowego.

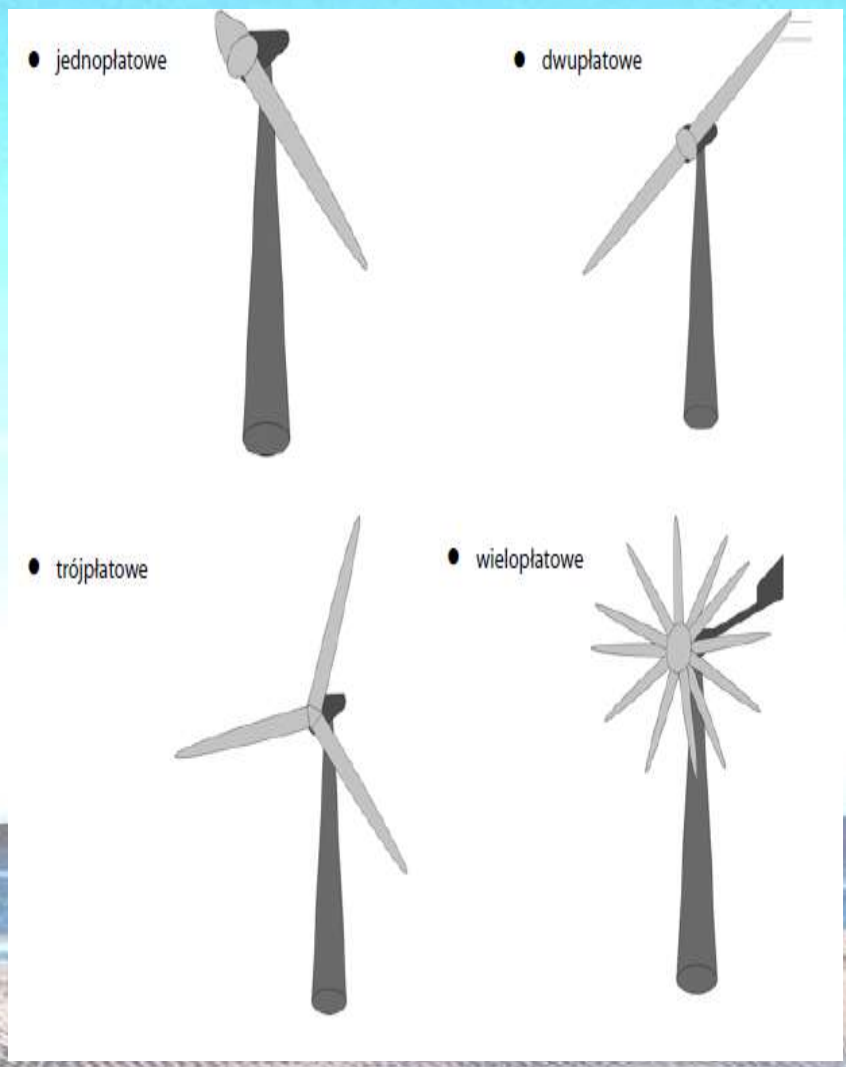
Elektrownie wiatrowe o poziomych osiach obrotu.

Podstawowym elementem elektrowni wiatrowej o poziomej osi obrotu jest;

- wirnik,
- wieża,
- gondola,
- fundament,
- infrastrukturę elektryczną.

Wirnik

Za jego pośrednictwem **energia kinetyczna wiatru** zamieniana jest na energię mechaniczną. Udział masy wirnika w stosunku do masy całej elektrowni wiatrowej mieści się w granicach od 6% do nawet 35% . Wirnik składa się z piasty i przymocowanych do niej łopat. Spotykamy wiele rozwiązań konstrukcyjnych, do których należy zaliczyć:



Elektrownie z wirnikami trójpłatowymi

To najbardziej rozpowszechnione konstrukcje elektrowni wiatrowych na świecie. Użycie trzech łopatek, rozłożonych równomiernie co 120º, zapewnia stały moment bezwładności wirnika. Ze względu na stosunkowo niską prędkość, przy dość dobrym współczynniku wykorzystania energii wiatru, elektrownie te nie emitują zbyt dużego hałasu (w odległości około 500m od nich poziom hałasu jest zgodny z normami).

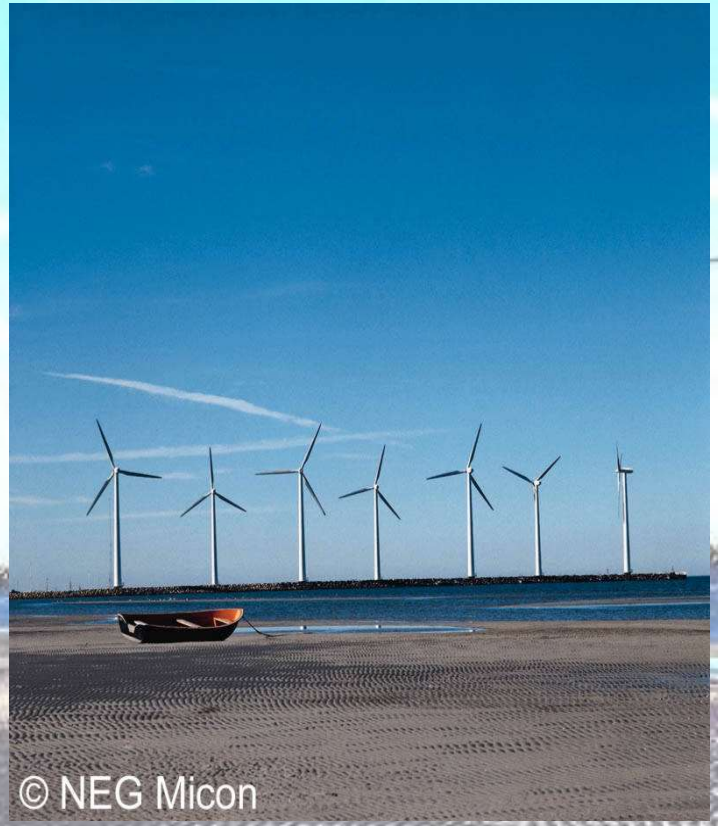
Elektrownie z wirnikami dwułopatowymi

Wyposażona jest w rotor o dwóch, położonych po przeciwnych stronach łopatach. Takie rozwiązanie obniża koszty konstrukcji i zmniejsza masę wirnika, w porównaniu z najbardziej rozpowszechnionymi elektrowniami z trzema łopatami. Z drugiej jednak strony, dla uzyskania tej samej mocy wyjściowej co elektrownia trójłopatowa, prędkość obrotowa wirnika musi być większa, co powoduje emisję większego hałasu.

Elektrownie z wirnikami jednołopatowymi

Wybór rozwiązania jednołopatowego, powoduje zmniejszenie masy wirnika. Na drugim końcu rotora, po stronie przeciwnej do łopaty, umieszczona jest przeciwwaga. Dla uzyskania porównywalnej z elektrowniami trójłopatowymi sprawności, rotory elektrowni tego typu, obracają się z dwa razy większą prędkością. Powoduje to bardzo wysoki poziom hałasu. Dlatego też Elektrownie z wirnikami jednołopatowymi są bardzo rzadko używane.

© NEG Micon


© NEG Micon

© NEG Micon

Wieża

Na niej umiejscowiona jest głowica z wirnikiem. Udział masy wieży w stosunku do całkowitej masy elektrowni wiatrowej mieści się w granicach 0,304-0,781. Dla elektrowni dużej mocy stosuje się wieże stalowe rurowe, które mają stożkowy kształt - są szersze na dole i zwężają się ku górze. Rozwiązanie takie jest ekonomiczne, gdyż pozwala na oszczędność materiału, z którego wykonana jest wieża, a przy tym zapewnia wytrzymałość. Wieża wykonywana jest z segmentów, co zapewnia łatwość transportu. Wykonuje się je z arkusza blachy o grubości 12.500 mm x 3.500 mm, który następnie się zwija tworząc odpowiedni segment. Do mniej popularnych rozwiązań należą wieże w formie kratownic i maszty podparte stalowymi linami.

Gondola - zbudowana jest ze stali lub tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem szklanym. Od wewnętrznej strony izolowana jest akustycznie. Wewnątrz gondoli znajdują się najważniejsze maszyny i urządzenia.

Fundament - stanowi podstawę dla elektrowni wiatrowej. Jego wymiary muszą być dobierane do warunków geologicznych panujących na terenie lokalizacji elektrowni. Stosuje się fundamenty żelbetowe. Fundament posiada również instalację odgromową, która stanowi uziemienie dla całej konstrukcji elektrowni.

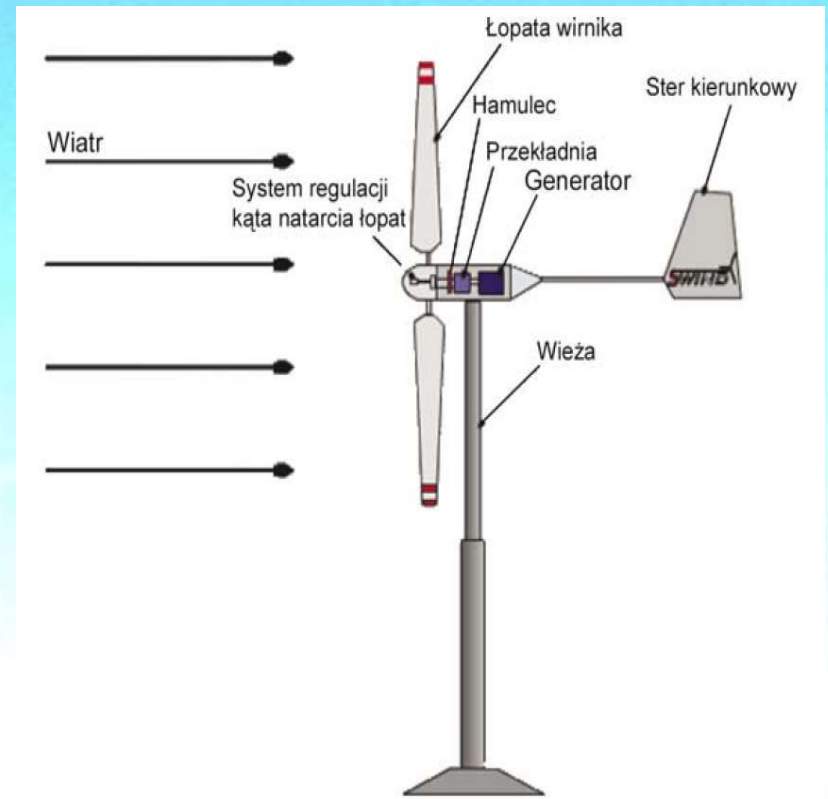
Infrastruktura elektryczna - stacje transformatorowe stanowią integralną część systemu dystrybucji i rozdziału energii, są jednocześnie niezbędnym elementem wyposażenia przyłączy energetycznych elektrowni wiatrowych.

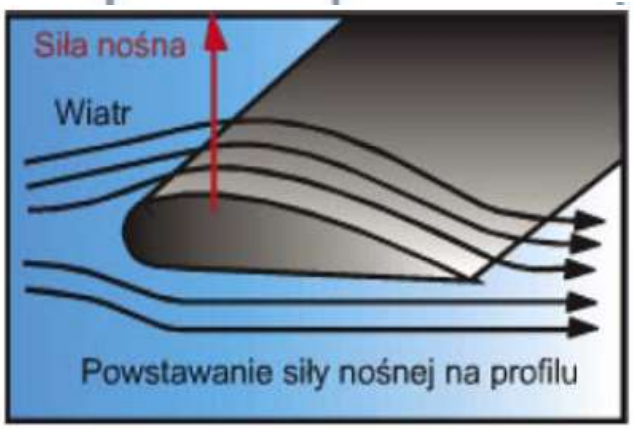
Jak to działa?

Łopaty wirnika dzięki swojemu ustawieniu zaczynają poruszać się ruchem obrotowym

Energia obracającego się wirnika poprzez sprzężony generator wytwarza energię elektryczną

Strumień powietrza napływa na wirnik

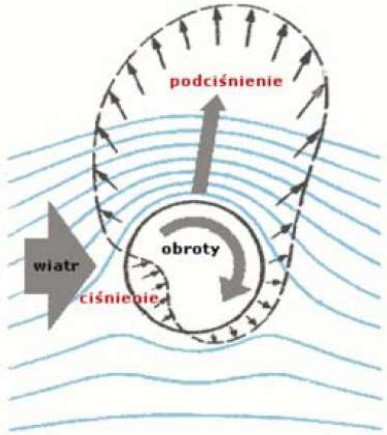


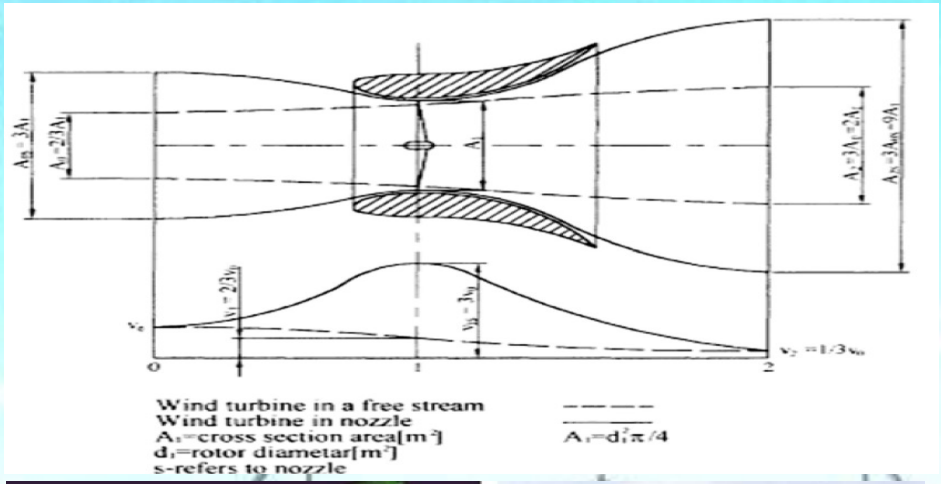


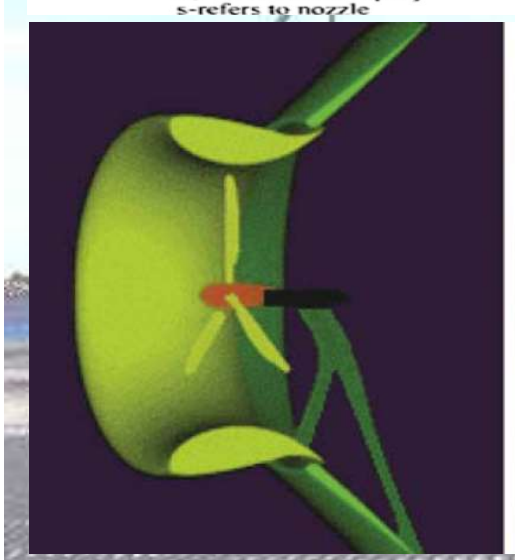
Nowe rozwiązania w elektrowniach wiatrowych o poziomej osi obrotu.

Elektrownie wykorzystujące efekt Magnusa

Efekt Magnusa polega na powstawaniu siły bocznej, prostopadłej do kierunku ruchu płynów, działającej na obracający się walec lub inną bryłę obrotową, poruszającą się względem tego płynu. Elektrownia taka jest wyposażona w wirnik z trzema obracającymi się walcami, napędzanymi silnikami elektrycznymi, w miejsce łopat. Wirniki tego typu mają większą sprawność (wyższy współczynnik wykorzystania energii wiatru). Prędkość obrotowa takiego wirnika jest około 3 razy mniejsza od prędkości obrotowej wirnika z łopatami, co zmniejsza emitowany hałas.







Elektrownie z dyfuzorem

Dyfuzor to pierścieniowy, przewężony „kołnierz” wokół rotora. Elektrownie wiatrowe wyposażone w dyfuzor wykorzystują prawo Bernouliego. Zgodnie z którym prędkość powietrza w rurze o mniejszym przekroju jest większa. Tak więc rotor, umieszczony w przewężeniu kołnierza, będzie się obracał szybciej z uwagi na szybszą prędkość strugi powietrza, niż poza dyfuzorem. Badania wykazały, że współczynnik wykorzystania energii wiatru jest w tego typu elektrowniach o wiele większy, niż w elektrowniach konwencjonalnych. Elektrownie tego typu nie są jednak zbyt rozpowszechnione, z uwagi na koszty materiałowe oraz stosunkowe niskie położenie rotora nad ziemią, gdzie wiatry są słabsze, a ruch powietrza bardziej zaburzony.

Elektrownie wiatrowe o pionowych osiach obrotu.

Większość konstrukcji oparta jest na:

- wirniku Savonius'a
- wirniku Darrieus'a
- rotorze typu H
- wirniku świderkowej

Wirnik typu Darrieus’a

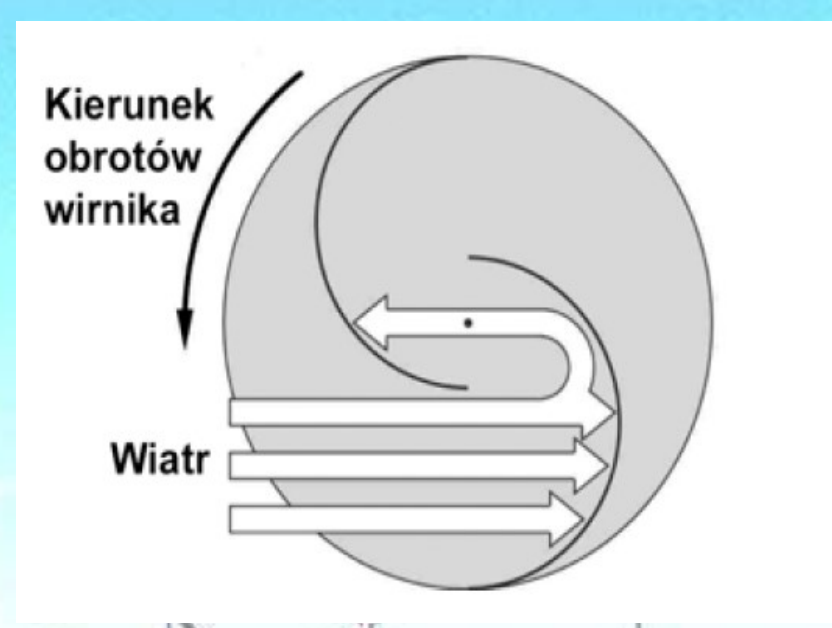
Wirniki takie mają zazwyczaj dwie lub trzy łopaty wygięte w kształt litery C.

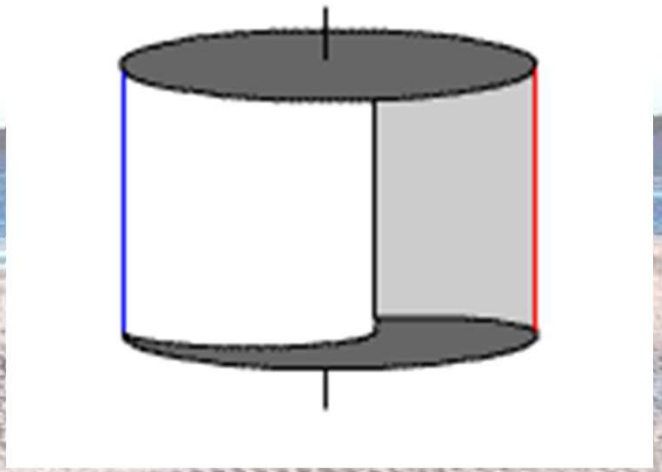
- brak wieży;
- brak mechanizmu odchylania wirnika;
- generator i skrzynie biegów można umieścić na ziemi;
- cicha praca elektrowni.

- wymiana głównego łożyska, narażonego na duże obciążenie wymaga demontażu całej elektrowni;
- wiatr tuż nad ziemią jest zaburzony i słabszy, przez co obniża się efektywność energetyczną elektrowni i jakość energii;
- wymagają wstępnego rozpędzenia z powodu zerowego momentu startowego, w tym celu stosuje się rozruchowe silniki elektryczne lub pomocnicze wirniki Savoniusa.

Elektrownie z wirnikiem Savoniusa

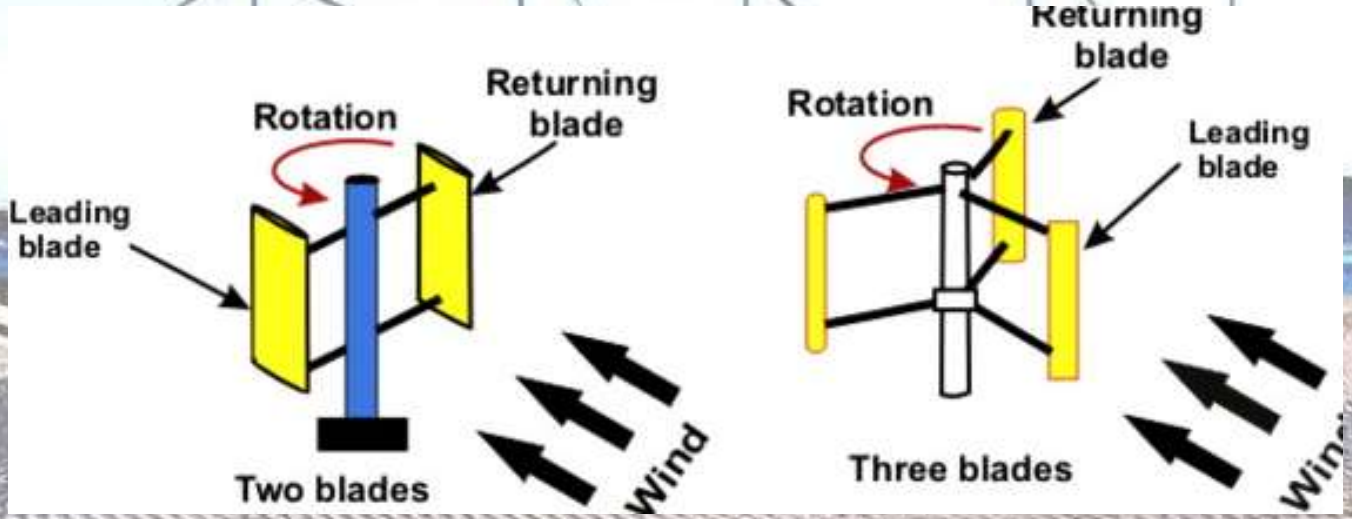
W elektrowniach wyposażonych w wirnik Savoniusa, wykorzystano zjawisko powstawania siły pod wpływem naporu strugi powietrza, na powierzchnię płata wirnika. Różnica w pchaniu przez wiatr strony wypukłej i wklęsłej wirnika, powoduje ruch obrotowy. Turbiny Savoniusa obracają się stosunkowo wolno. Tego typu rozwiązania są spotykane jedynie w małych elektrowniach; do zastosowań przydomowych, w lampach oświetlenia ulicznego zasilanych elektrownią hybrydową, złożoną z elektrowni wirnikiem Savoniusa i baterią słoneczną (Japonia).





Rotor typu H

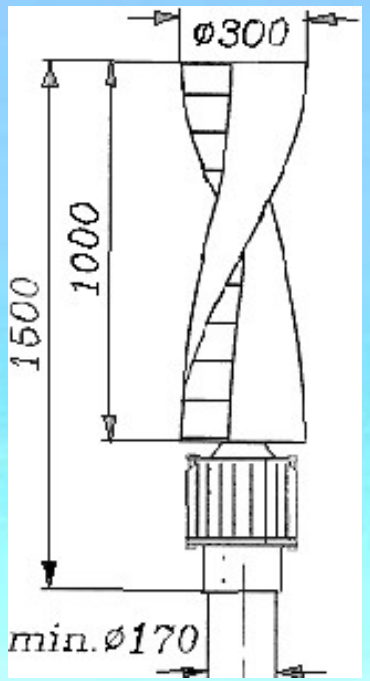
Największą grupę wśród produkowanych turbin VAWT są turbiny z rotorem typu H. Wytwarzają one moment napędowy w wyniku działania siły nośnej powstającej na profilu zbliżonym do płata lotniczego.



Rotor typu H można sklasyfikować także jako modyfikacje wirnika Darrieus'a. Najczęściej budowane są one jako dwu-, trzy-, cztero-płaty. Rotory typu H mają zastosowania tak i w małej energetyce tak i energetyce zawodowej. W ramach rozwoju wirników typu H powstała koncepcja modyfikacji która wykorzystuje strumienie powietrza wiejące od dołu.

Wirniki świderkowe

Wirniki świderkowe są pewnego rodzaju „wariacją” wirników Savoniusa. Ich konstrukcja przypomina „kieszenie” rozmieszczone wzdłuż linii śrubowej. „Kieszenie” są pojedynczymi elementami które łączone tworzą powierzchnię czynną. Atutem konstrukcji jest umiejętność wykorzystania siły wiatru nawet od 1,5 m/s oraz małą zmiennością momentu napędowego.


ø300
1000
1500
min.ø170

Metody regulacji mocy elektrowni wiatrowej

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,
- Active pitch regulation,
- Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora,
- Load control.

- **„stall regulation”-** wykorzystanie efektu przeciągania (przy wyższych prędkościach wiatru łopaty wirnika „utykają – efekt przeciągania”),

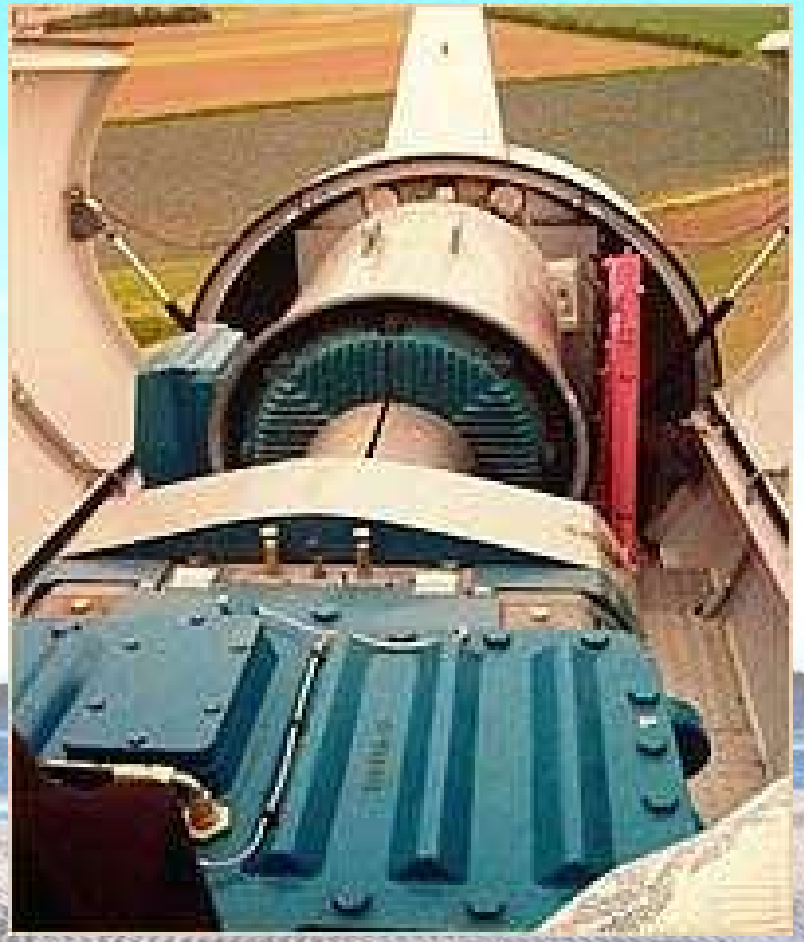
- „**active pitch regulation** – regulacja kąta ustawienia łopat wirnika,

- **regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora** (równoczesne dostosowywanie zmian prędkości wirnika i generatora – eliminuje fluktuacje wytwarzanej energii)

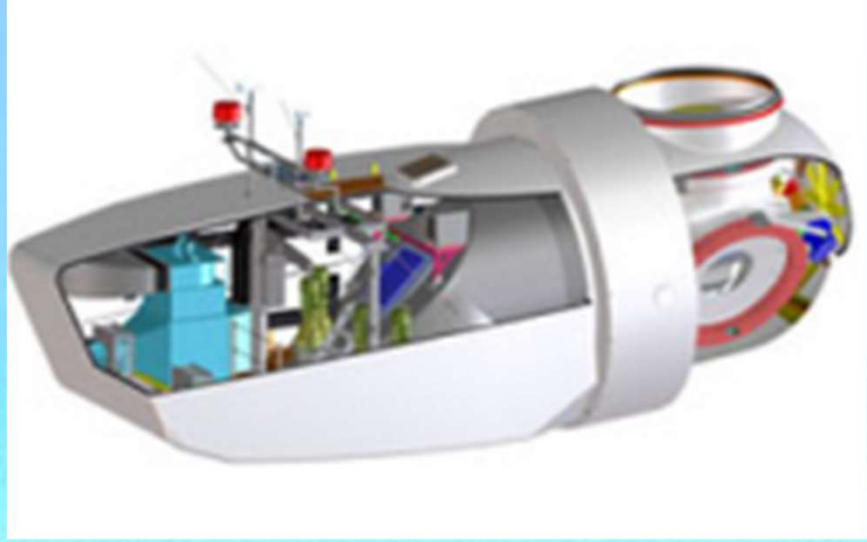
- „**load control**” – regulacja zmiany obciążenia generatora (zmiana rezystancji)

Generatory elektrowni wiatrowych

Zdecydowana większość obecnie produkowanych siłowni wiatrowych jest wyposażona w generatory asynchroniczne o prędkościach synchronicznych 1500 obr.min. i 750 obr./min.



W energetyce wiatrowej stosuje się dwa typy poniższych generatorów asynchronicznych:
klatkowe;
pierścieniowe.



Generator synchroniczny. Coraz bardziej znane, w energetyce wiatrowej, staje się stosowanie generatorów synchronicznych. Prądnice tego typu składają się ze stojana (nieruchomej części prądnicy). Na obwodzie stojana znajdują się uzwojenia, w których, pod wpływem wirującego pola magnetycznego wytwarzanego w części ruchomej (rotora), indukuje się napięcie przemienne.

Generatory synchroniczne stosowane w energetyce wiatrowej mają bardzo dużą ilość par biegunów z uwagi na małą prędkość obrotową wirnika. Zmiany prędkości obrotowej wirnika powodują zmiany częstotliwości generowanego napięcia. Dlatego elektrownie z generatorem synchronicznym są dołączone do systemu energetycznego przez przekształtniki.

Stan pracy elektrowni wiatrowej

Wyróżnia się cztery stany pracy elektrowni:

Postój w gotowości do pracy- jest skutkiem zbyt małej prędkości wiatru.

Praca z obciążeniem częściowym- prędkość wiatru jest niższa od nominalnej, dla której elektrownia oddaje moc znamionową.

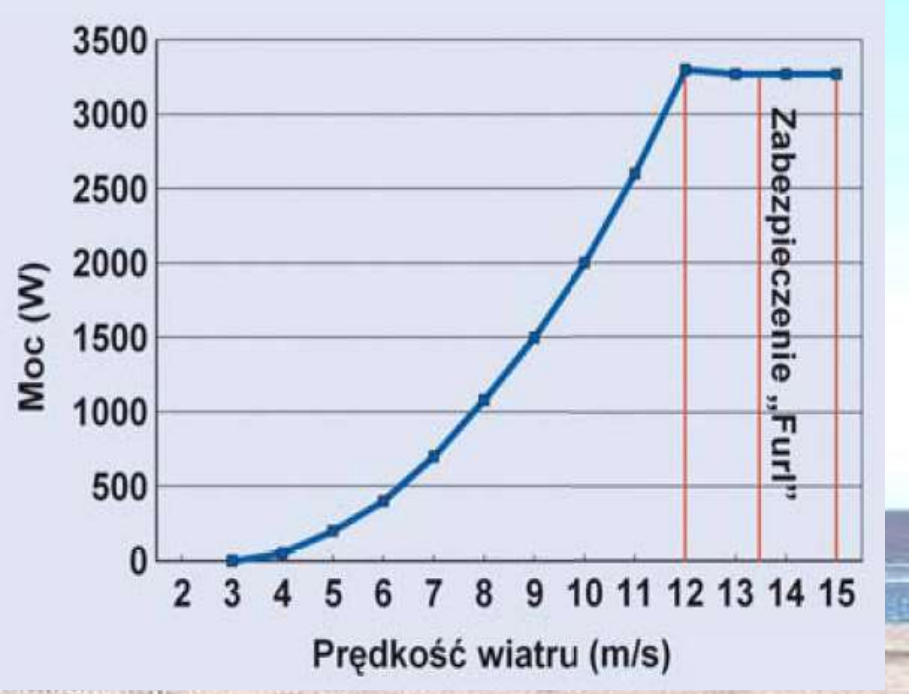
Praca z obciążeniem znamionowym- prędkość wiatru jest równa lub większa od znamionowej.

Postój elektrowni w gotowości- wynikający ze zbyt dużej prędkości wiatru.

Prędkość wiatru a krzywa mocy

Moc wyjściowa elektrowni wiatrowej zależna jest od prędkości wiatru. Zależność tę obrazuje tak zwana krzywa mocy, czyli charakterystyka zewnętrzna elektrowni wiatrowej. Jest to jedna z ważniejszych danych, na jakie musimy zwrócić uwagę przy projektowaniu elektrowni.

Charakterystycznymi punktami tej krzywej są:
punkt startu „cut-on” – prędkość wiatru, przy której włączana jest elektrownia, śmigła zaczynają się obracać i na wale turbiny pojawia się moment mechaniczny. W zależności od konstrukcji turbiny punkt startu ma wartość między 3 a 5 m/s,
punkt wyłączenia „cut-off” – prędkość przy jakiej następuje zatrzymanie turbiny, które wynika z warunków bezpieczeństwa jej pracy, wytrzymałości konstrukcji, wirnika i generatora. Zazwyczaj prędkość wyłączenia turbiny wiatrowej wynosi od 25 do 30 m/s,
punkt prędkości znamionowej – prędkość wiatru, przy której turbina osiąga swoją moc znamionową; przeważnie jest to prędkość od 11 do 16 m/s.



Komercyjne zastosowania elektrowni wiatrowych

- duże farmy wiatrowe (onshore i offshore) – komercyjne przedsięwzięcia, moc zainstalowana od kilku do kilkudziesięciu MW, turbiny multimegawat, nakłady inwestycyjne od kilku do kilkunastu mln euro

Komercyjne zastosowania elektrowni wiatrowych

- **małe farmy wiatrowe** – przedsięwzięcia realizowany przez indywidualnych inwestorów oraz sektor MSP, moc zainstalowana od kilkuset kW do kilku MW, turbiny pochodzące z repowering-u (turbiny używane, po remoncie kapitalnym i regeneracji), nakłady inwestycyjne od kilkuset tys. zł do kilku mln zł.

- **pojedyncze turbiny wiatrowe –** (jak powyżej)

Komercyjne zastosowania elektrowni wiatrowych

• **małe turbiny wiatrowe** - inwestycje realizowane przez gospodarstwa domowe, moc zainstalowana od kilku do kilkuset kW, turbiny nowe, jak i pochodzące z repowering-u (turbiny używane, po remoncie kapitalnym i regeneracji), nakłady inwestycyjne od kilku tys. zł do kilkudziesięciu tys. zł.

Wykorzystywane lokalnie, jako systemy autonomiczne zasilające gospodarstwa w energię elektryczną, zasilanie domków letniskowych itp. , o mocy do kilkudziesięciu kW).

Komercyjne zastosowania elektrowni wiatrowych

- **układy hybrydowe**

Inwestycje o małej i średniej skali realizowane przez inwestorów indywidualnych, moc zainstalowana od kilku kW do kilku MW, nakłady inwestycyjne od kilku tys. zł do kilkuset tys. zł

Wykorzystanie:

Lokalnie, jako systemy autonomiczne zasilające urządzenia czy też gospodarstwa (budynki, domki letniskowe itp..) w energię elektryczną.

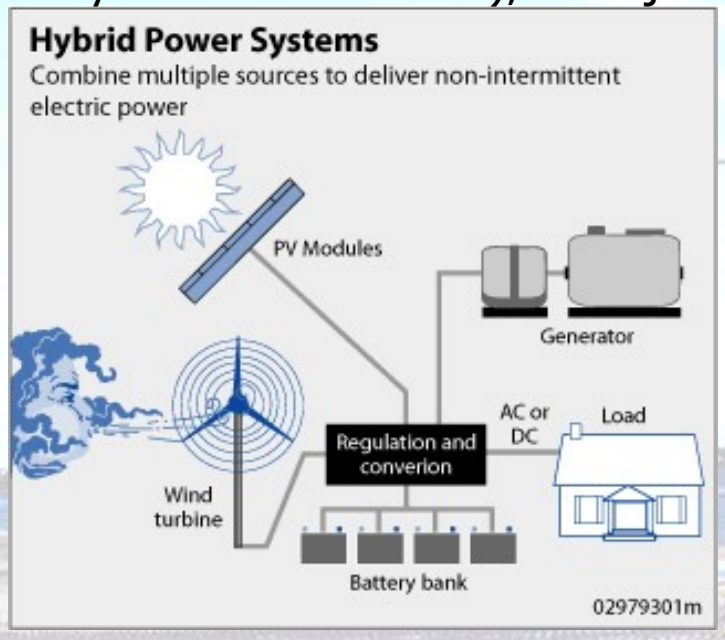
Rodzaje układów hybrydowych:

- słoneczno-wiatrowe,
- gazowo-wiatrowe,
- dieslowo-wiatrowe,
- wodno-wiatrowe,
- wiatrowe z układem sprężania powietrza .

Komercyjne zastosowania elektrowni wiatrowych

- **układy hybrydowe** - słoneczno-wiatrowe

jest systemem przewidzianym do zaspakajania bieżących potrzeb energetycznych gospodarstwa domowego lub niewielkiego zakładu przemysłowego, a także szkół i niewielkich zakładów rzemieślniczych oraz magazynowania energii na czas, kiedy pozyskiwanie energii z tych źródeł jest niemożliwe.
Zaletą tego systemu jest fakt, iż jeżeli energia słoneczna nie jest pozyskiwana (noc dni z dużym zachmurzeniem), istnieje alternatywne źródło energii jakim, jest energia wiatru.



W skład typowego systemu hybrydowego:
- elektrownia wiatrowa,
- bateria ogniw słonecznych,
- elektroniczny układ kontrolno-sterujący,
- bateria akumulatorów,
- przyłącze do sieci energetycznej lub generator
- napędzany silnikiem Diesla (w przypadku pracy wyspowej).

Komercyjne zastosowania elektrowni wiatrowych

- **układy hybrydowe** - słoneczno-wiatrowe

Miasteczko uniwerysteckie w Japonii

W dzień produkują energię w nocy oświetlają ulice

TYPOWE KOMERCYJNE ELEKTROWNIE WIATROWE

- współcześnie komercyjnie najczęściej wykorzystuje się elektrownie wiatrowe o poziomej osi obrotu wirnika z trzema łopatami,

- stosowane są generatory asynchroniczne (prędkość synchroniczna 1500 i 750 obr/min., w celu dostosowania prędkości wirowania do prędkości kół wiatrowych stosuje się przekładnię ok. 60, napięcie znamionowe 690 V),

- są przyłączane do sieci średniego napięcia (10-40 kV) z tego powodu wyposażane są w transformatory blokowe,

- zakres mocy znamionowych wytwarzanych elektrowni sięga od kilkuset kW do kilku MW,

TYPOWE KOMERCYJNE ELEKTROWNIE WIATROWE

- elektrownie wiatrowe grupowane są w farmy, którym moc sięga od kilkudziesięciu MW do 200-300 MW,

- wieże mają wysokość ok. 40-80, istnieją też konstrukcje o wysokości sięgającej 100 m i więcej.

- średnica wirnika waha się w granicach 40-80 m,

- zakres prędkości roboczych od 3-4 m/s (start) do 25 m/s (wyłączenie),

- moc znamionowa najczęściej jest osiągana przy prędkości wiatru 12-16 m/s,

- prędkość obrotu wirnika nie przekracza 40 obr/min (najczęściej wynosi kilkanaście obr/min), jednak koniec łopaty wirnika osiąga prędkości 60 m/s (216 km/h) w stanie pracy ustalonej.

Obecne konstrukcje turbin wiatrowych klasy MW

Typ/Firma	Kraj pochodzenia/ instalacji	Liczba łopat	Średnica wirnika [m]	Wysokość wieży [m]	Prędkość znamionowa wiatru [m/s]	Prędkość znamionowa wirnika [obr/min]	Moc znamionowa
Repower 5M (offshore and onshore)	Niemcy (2004 Brunsbuttel)	3	126	100-120	13	-	5,0
Vestas V120 (offshore)	Dania (będzie dostępna komercyjnie w 2009)	3	120	Dostosowana do lokalizacji	12	12,4	4,5
SIEMENS/Bonus SWT-3.6-107 (offshore and onshore)	2006 Dania	3	107	80-100	12-14	-	3,6
GE Wind Energy 3,6 (offshore)	2002 (testy) USA (zainstalowana w Hiszpanii na lądzie w 2002 r. oraz w Irlandi - Arklow Offshore Wind park 2004)	3	104	Dostosowana do lokalizacji	14	-	3,6
Vestas V90	Dania	3	90	65-105	15	16,1	3,0
Enercon E-70	Niemcy	3	71	58-113	-	-	2,3
Gamesa G90	Hiszpania	3	90	67-100	12	-	2,0
Vestas V80	Dania	3	80	65-100	15	16,7	2,0
Enercon E-82	Niemcy, 2006	3	82	70-108	-	-	2,0

Energia wiatru

Wiatr powstaje w wyniku przemieszczania się mas powietrza na skutek nierównomiernego rozkładu ciśnienia spowodowanego nierównomiernym ogrzewaniem Ziemi prze Słońce. Ruch mas powietrza spowodowany jest różnicą ciśnień, powstałą w wyniku nierównomiernego nagrzewania się powierzchni Ziemi pod wpływem promieniowania słonecznego. Ogrzane powietrze jest lżejsze niż powietrze zimne, toteż warstwy powietrza ogrzanego promieniami słonecznymi wznoszą się do góry, a ich miejsce zajmują warstwy chłodne. Powoduje to cyrkulację powietrza, której rezultatem jest powstanie wiatru.

Moc jednostkową wiatru możemy obliczyć ze wzoru;

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \left[\frac{W}{m^3}\right]$$

Gdzie:

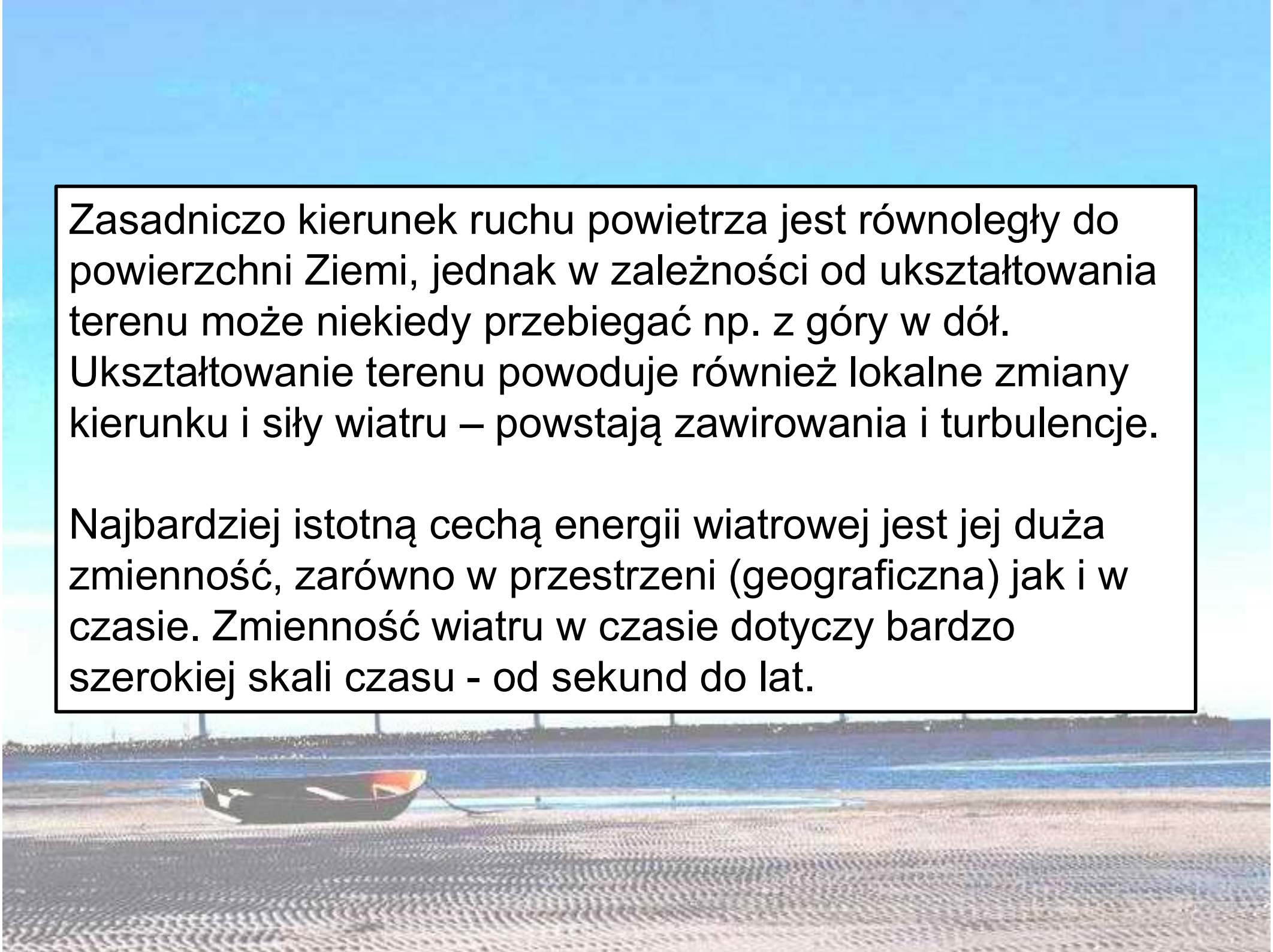
ρ – gęstość powietrza (średnio 1,225 $[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}]$)

A – powierzchnia $[\mathrm{m}^2]$

V – prędkość wiatru [m/s]

Energia wiatru zależy od jego prędkości v w trzeciej potędze, przez co lokalizacje pod siłownie wiatrowe dobierane są bardzo starannie pod kątem częstości występowania silnych (7-20 m/s) wiatrów.

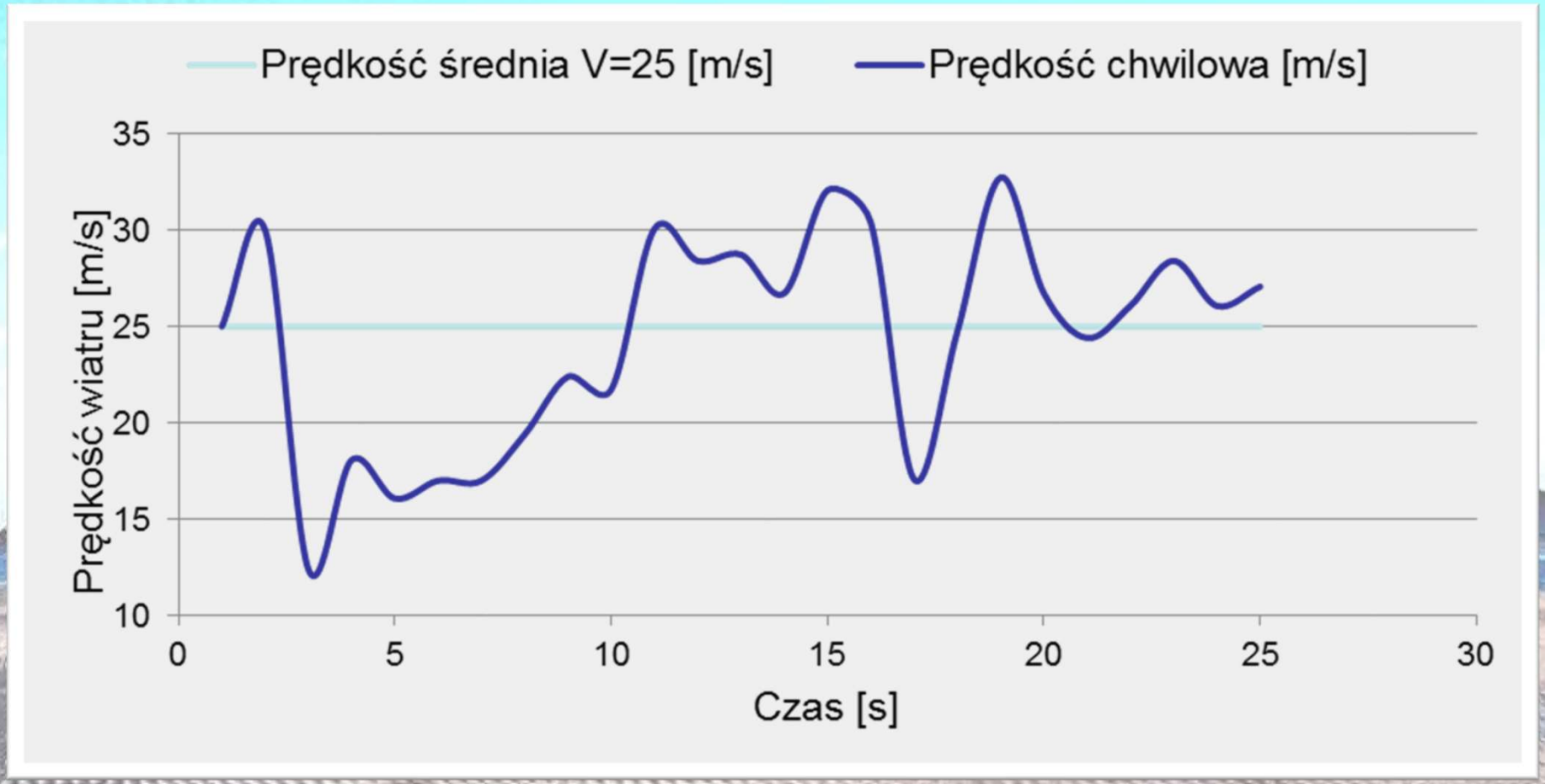
Wpływ prędkości wiatru na jego moc



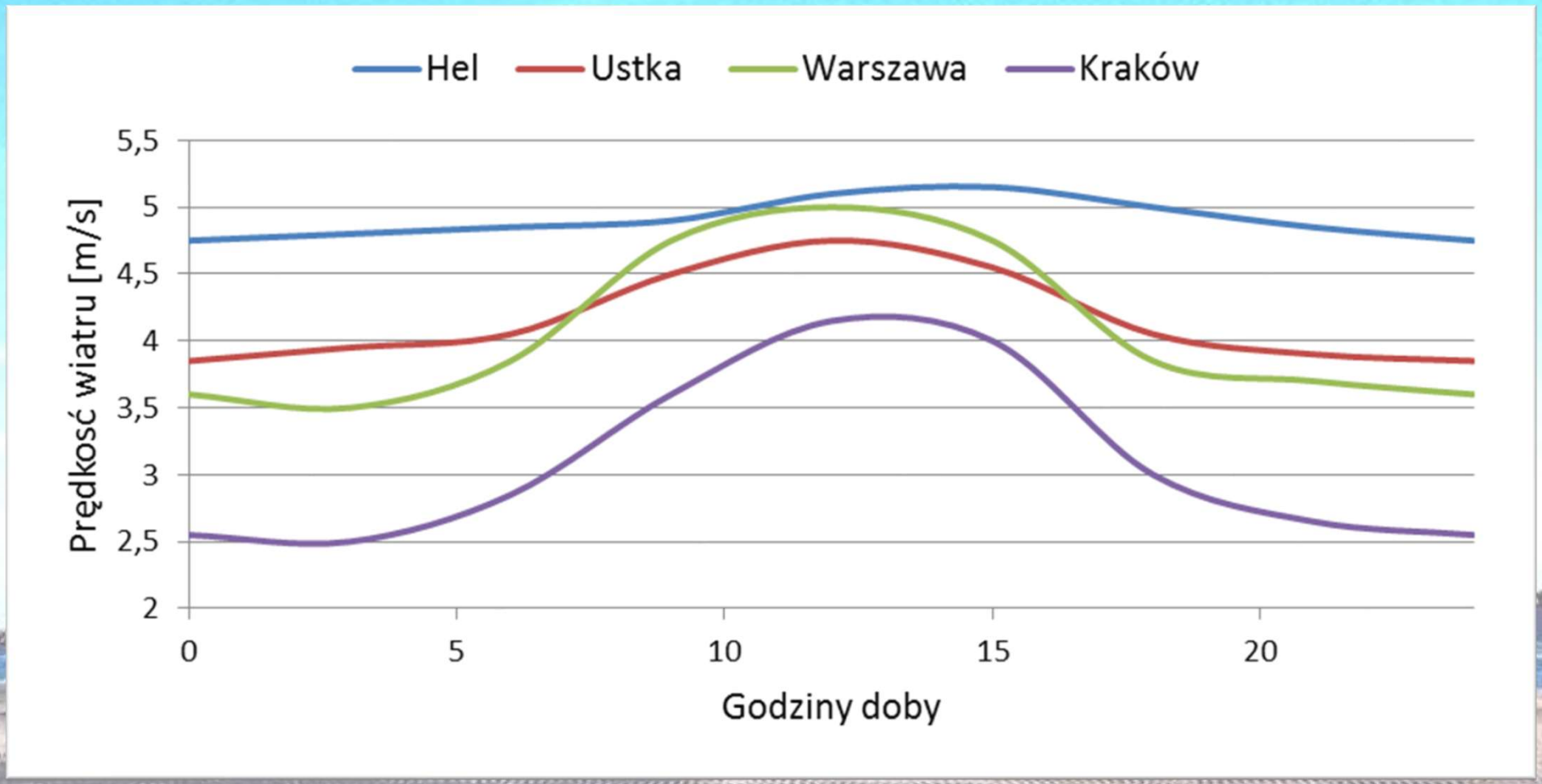
Zasadniczo kierunek ruchu powietrza jest równoległy do powierzchni Ziemi, jednak w zależności od ukształtowania terenu może niekiedy przebiegać np. z góry w dół. Ukształtowanie terenu powoduje również lokalne zmiany kierunku i siły wiatru – powstają zawirowania i turbulencje.

Najbardziej istotną cechą energii wiatrowej jest jej duża zmienność, zarówno w przestrzeni (geograficzna) jak i w czasie. Zmienność wiatru w czasie dotyczy bardzo szerokiej skali czasu - od sekund do lat.

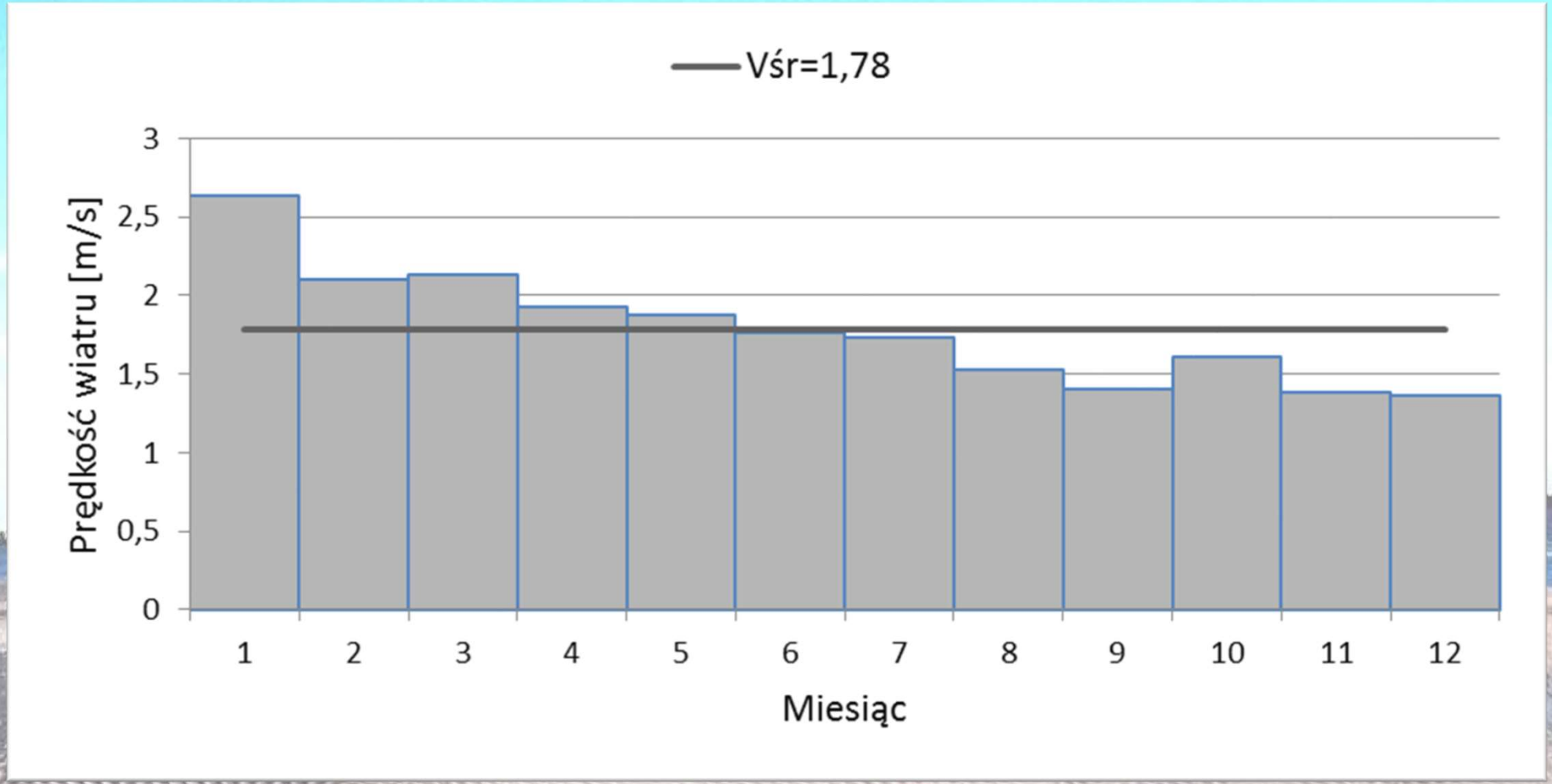
Zmienność wiatru w czasie kilkunastu sekund



Zmienność wiatru w czasie jednej doby



Zmienność wiatru w czasie roku na jednym z budynków AGH w roku 2012



Prawo Betz'a

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

$$\mathbf{m = rF(v_1+v_2)/2}$$

gdzie:
m - masa na sekundę;
r - gęstość powietrza;
F - powierzchnia zakreślana przez wirnik;
$(v_1+v_2)/2$ - średnia prędkość wiatru przechodzącego przez wirnik.

Moc odbierana od wiatru przez wirnik, zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona:

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

Podstawiając za masę wyrażenie z poprzedniego równania otrzymamy:

$$P = (r/4)\, (v_1^2 - v_2^2)\, (v_1+v_2)\, F$$

Teraz porównajmy ten rezultat z całkowitą mocą niezakłóconego przepływu powietrza przez taką samą powierzchnię F; nazwijmy ją P_o

$$P_o = (r/2)\, v_1^3\, F$$

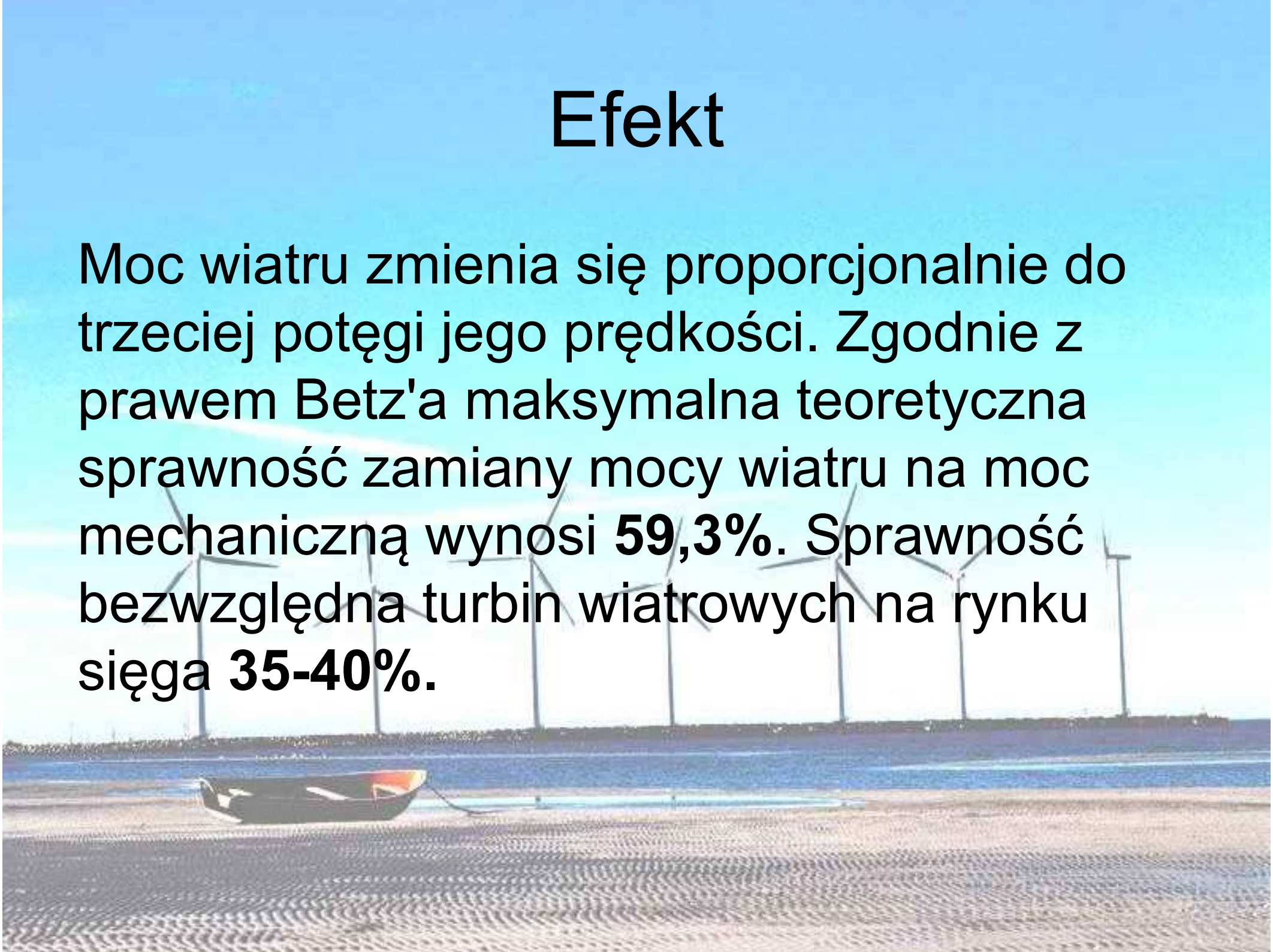
Rozpatrzmy teraz takie równanie:

$$(P/P_o) = (1/2)\, (1 - (v_2 / v_1)^2)\, (1 + (v_2 / v_1))$$

Okazuje się, że wykres funkcji $(P/P_o) = f(v_2 / v_1)$ osiąga maksimum równe 0,59 dla $(v_2 / v_1) = 1/3$. Oznacza to, że idealna turbina wiatrowa spowalnia wiatr do 1/3 jego pierwotnej wartości i odzyska 59 % energii w nim zawartej.

Efekt

Moc wiatru zmienia się proporcjonalnie do trzeciej potęgi jego prędkości. Zgodnie z prawem Betz'a maksymalna teoretyczna sprawność zamiany mocy wiatru na moc mechaniczną wynosi **59,3%**. Sprawność bezwzględna turbin wiatrowych na rynku sięga **35-40%.**



Wpływ wysokości oraz ukształtowania terenu na prędkość wiatru - wzór Sutona

$$V_h = V_0\left(\frac{h}{h_0}\right)^{\alpha}$$

Gdzie:

V_0 – prędkość obliczona na wysokości h_0 [m/s]

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

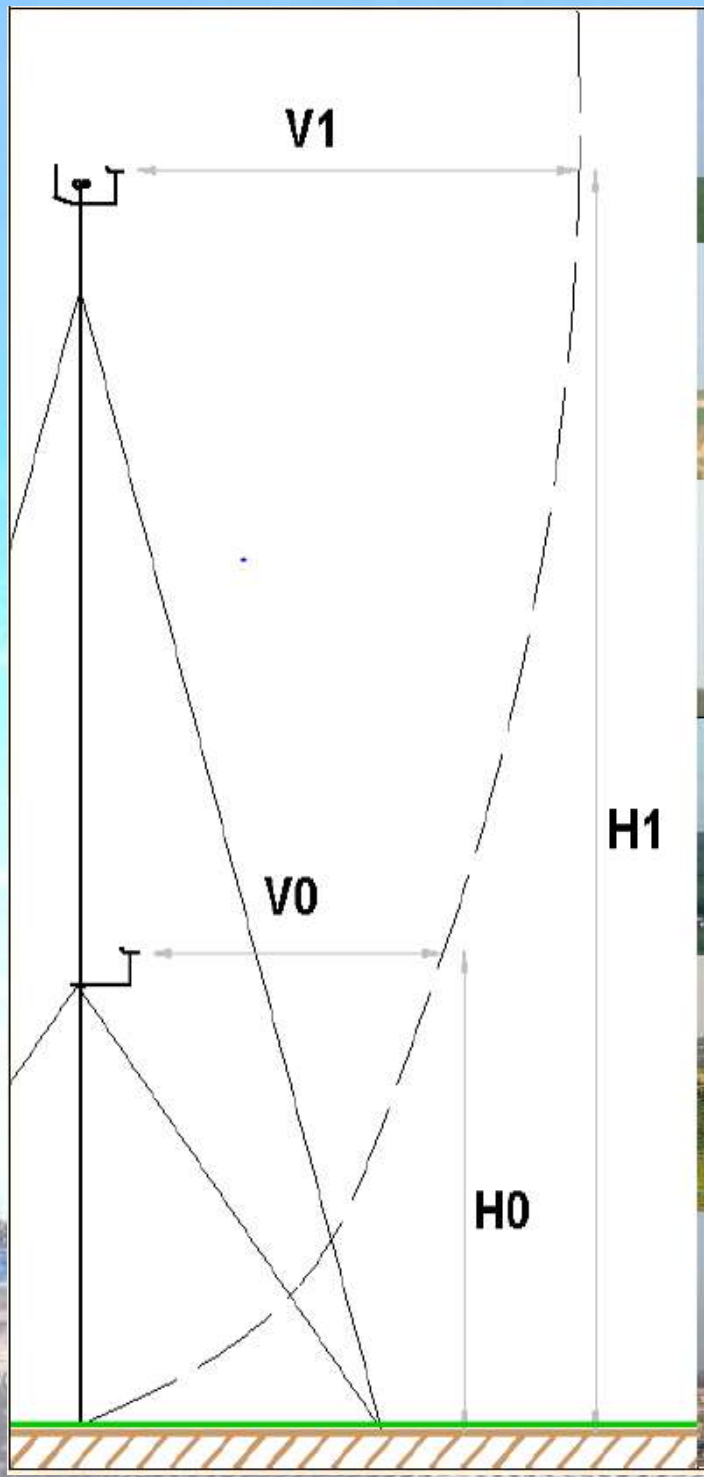
h – wysokość dla której oblicza się prędkość V_h [m]

h_0 – usytuowania watomierza [m]

α – wykładnik potęgowy

Klasy szorstkości terenu, skala sześciostopniowa

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



α=0.15

α=0.17

α=0.19

α=0.22

α=0.27

α=0.35

Analiza parametrów energetycznych energii wiatrowej

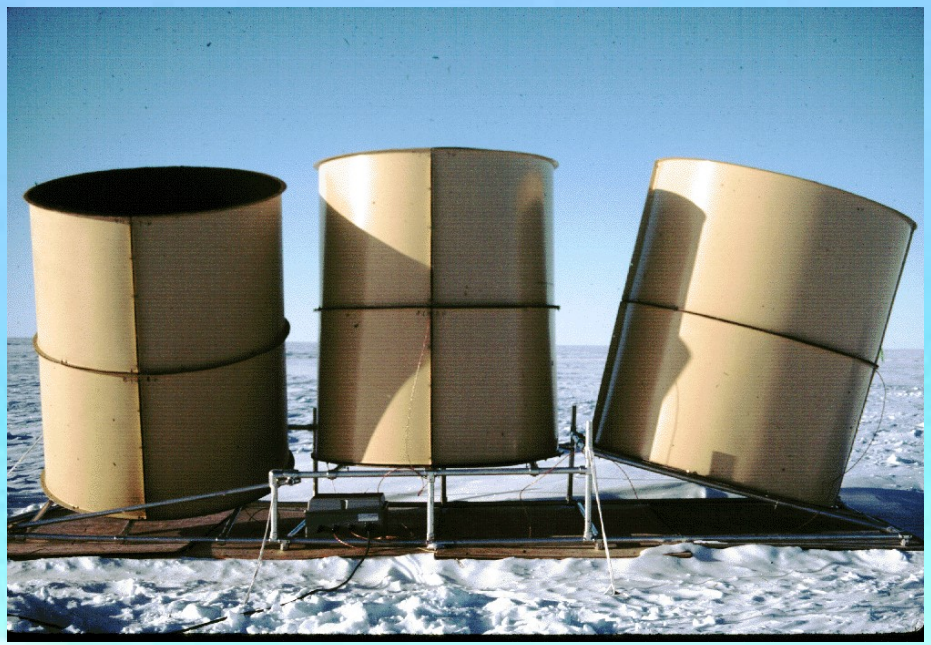
Oceniając potencjał drzemiący w wietrze na danym obszarze, należy wziąć pod uwagę parametry turbin wiatrowych (podawane przez producenta), które wpływają na możliwości wykorzystania energii wiatru. Analizę parametrów energetycznych energii wiatrowej dokonuje się metodami takimi jak:

- metody obserwacyjne
  - in-situ - w miejscu
  - techniki teledetekcyjne - zdalne
- metody wykorzystujące modele meteorologiczne prognostyczne oraz diagnostyczne

Metody teledetekcyjne, pomiary satelitarne

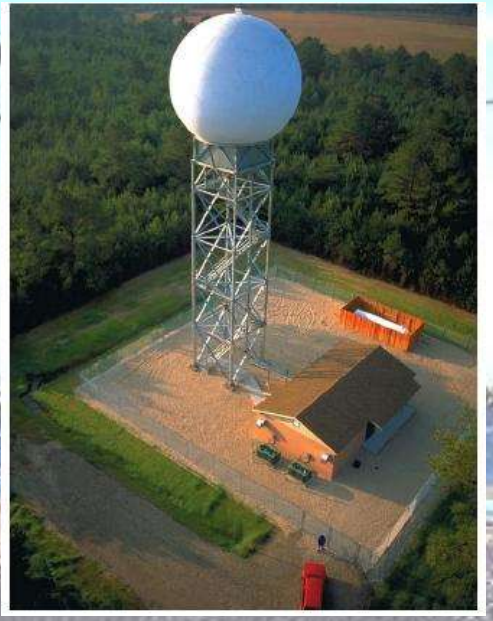
Metody teledetekcyjne stosowane są zarówno w obserwacjach prowadzonych z powierzchni ziemi jak i orbit okołoziemskich. Wszystkie metody teledetekcyjne wykorzystują oddziaływanie fal elektromagnetycznych oraz dźwiękowych.

Obserwacje satelitarne wiatru są na ogół związane z wykorzystaniem teledetekcji pasywnej i aktywnej. W pierwszym przypadku bada się promieniowanie słoneczne rozproszone lub promieniowanie emitowane przez powierzchnię ziemi i atmosferę. Przykładem może być w tym przypadku szacowanie pola wiatru na podstawie zmian położenia chmur obserwowanych w święte widzialnym czy w podczerwieni. Niestety tego typu technika nie nadaje się do pomiaru wiatru przyziemnego. W przypadku teledetekcji aktywnej, podobnie jak w pomiarach prowadzonych z powierzchni ziemi, stosuje się radary mikrofalowe. Metody pomiaru wiatru zostały jednak głównie rozwinięte nad oceanami w oparciu o skaterometrię atmosferyczną. Na podstawie skanowania powierzchni oceanicznej pod różnymi kątami tworzy się obraz falowania powierzchni wody. Prędkość oraz kierunek wiatru wyznacza się na podstawie modeli fizycznych wiążących falowanie z przemilczaniem się powietrza tuż nad wodą.



Sodar (Upstream B)

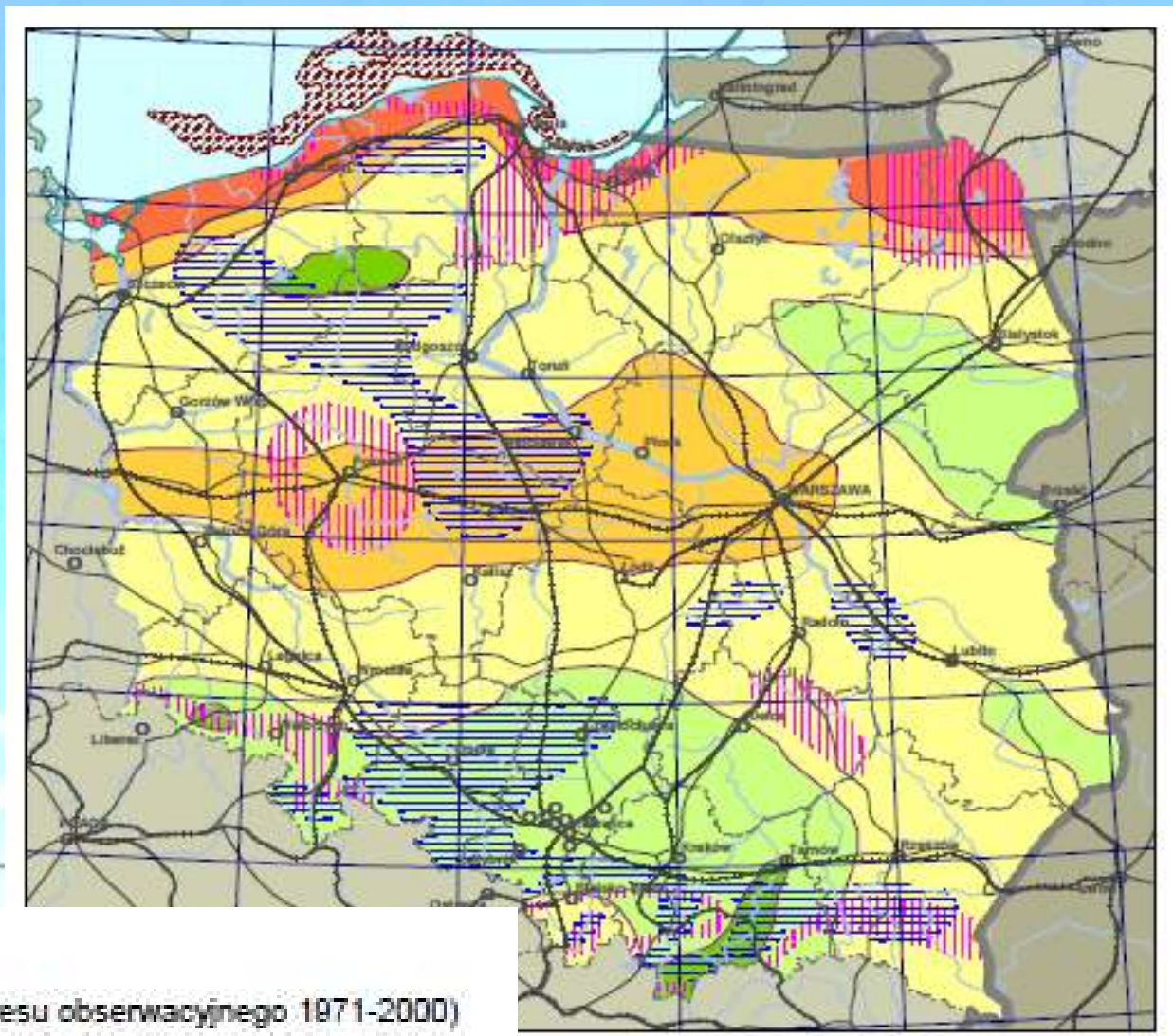
Lidar dopplerowski "WindTracer"



Radar dopplerowski

Anteny radaru profilującego

Warunki wietrzności dla celów energetycznych w Polsce określa się jako średnie, ale na tyle duże, że stanowią potencjalnie wydajne źródło energii elektrycznej. Dla całego kraju średnioroczne prędkości wiatru w skali roku zawierają się w przedziale od 2,8 m/s do 3,5 m/s.



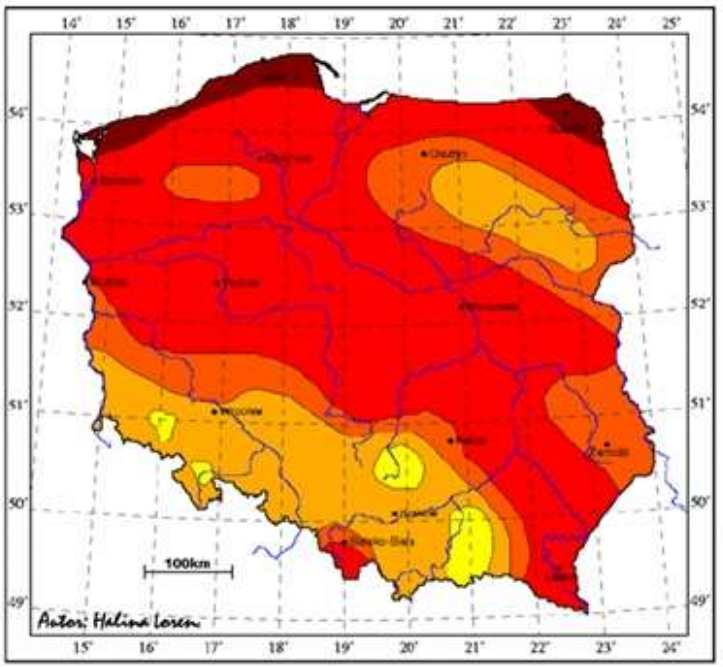
) ENERGIA WIATROWA

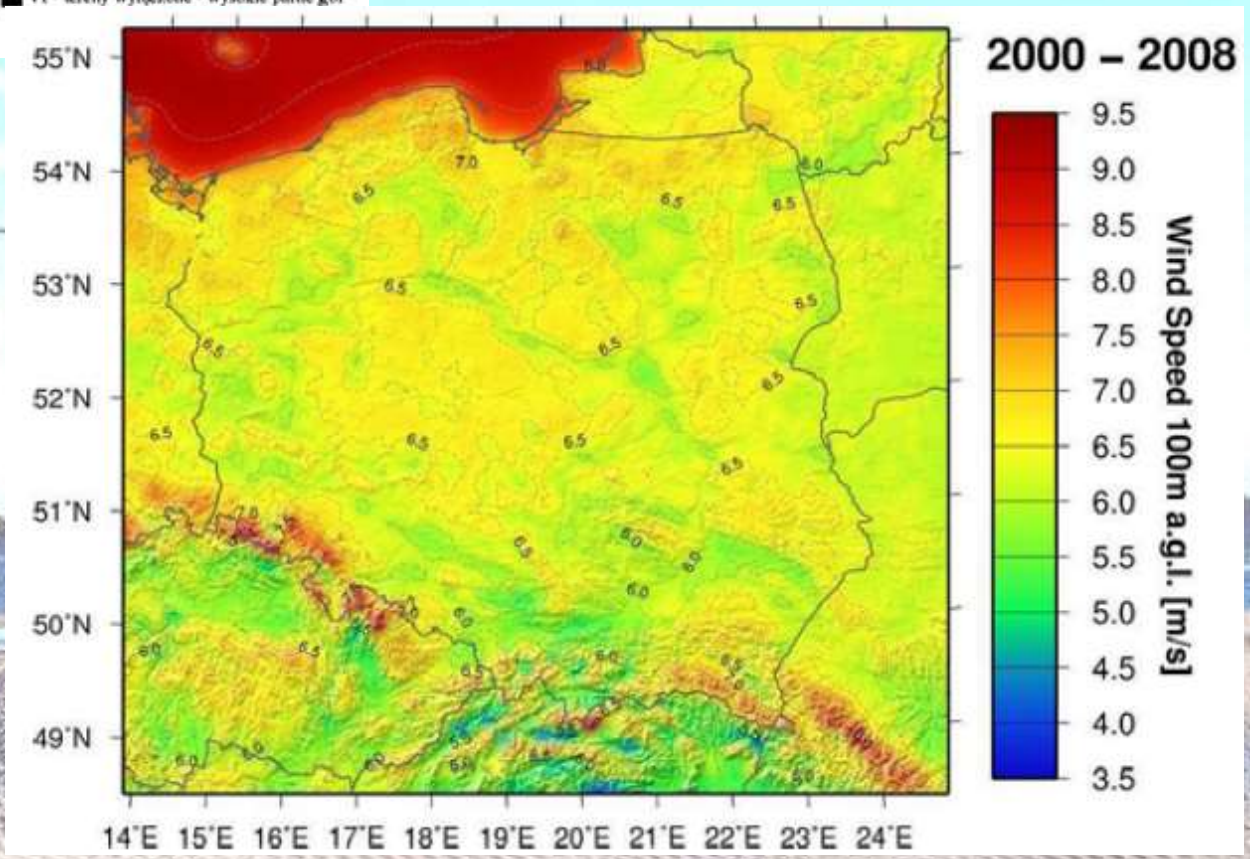
Strefy energetyczne wiatru na lądzie
(według H. Lorenc / IMiGW, na podstawie okresu obserwacyjnego 1971-2000)

I - wybitnie korzystna
II - bardzo korzystna
III - korzystna
IV - mało korzystna
V - niekorzystna
obszary na morzu korzystne dla rozwoju energii wiatrowej

Obszary o częstości występowania wiatrów
(według T. Niedźwiedzia, J. Paszyńskiego i D. Czekierdy, 1994)

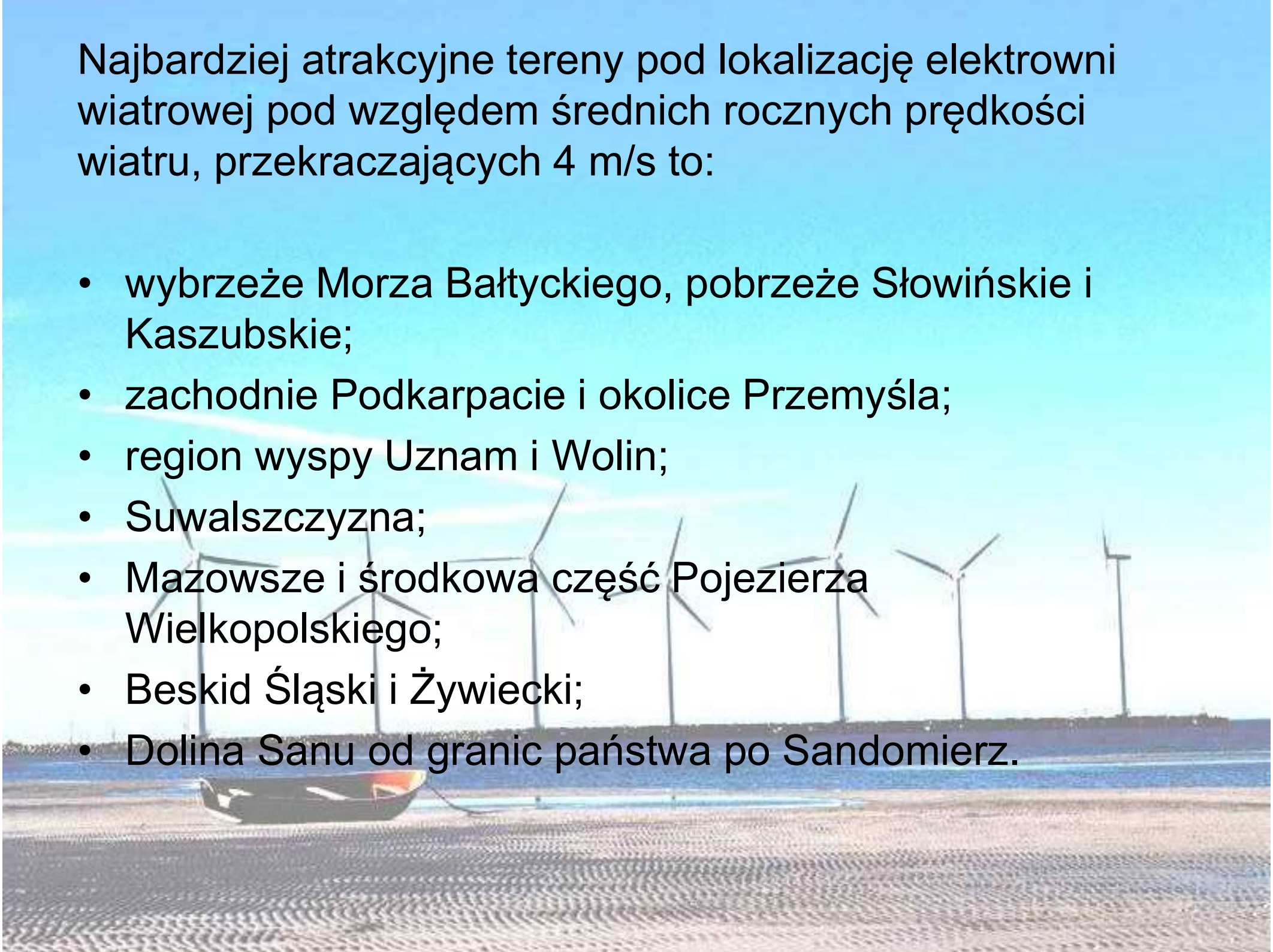
średnio powyżej 40 dni rocznie z wiatrem silnym (10 m/s i więcej)
średnia roczna częstość ciszy i słabego wiatru (2 m/s i mniej) powyżej 60%


100km
Autor: Halina Lorenc
STREFY:
I - wybitnie korzystna
II - korzystna
III - dość korzystna
IV - niekorzystna
V - wybitnie niekorzystna
VI - tereny wyłączone - wysokie partie gór


2000 – 2008
Wind Speed 100m a.g.l. [m/s]
9.5
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
55°N
54°N
53°N
52°N
51°N
50°N
49°N
14°E 15°E 16°E 17°E 18°E 19°E 20°E 21°E 22°E 23°E 24°E

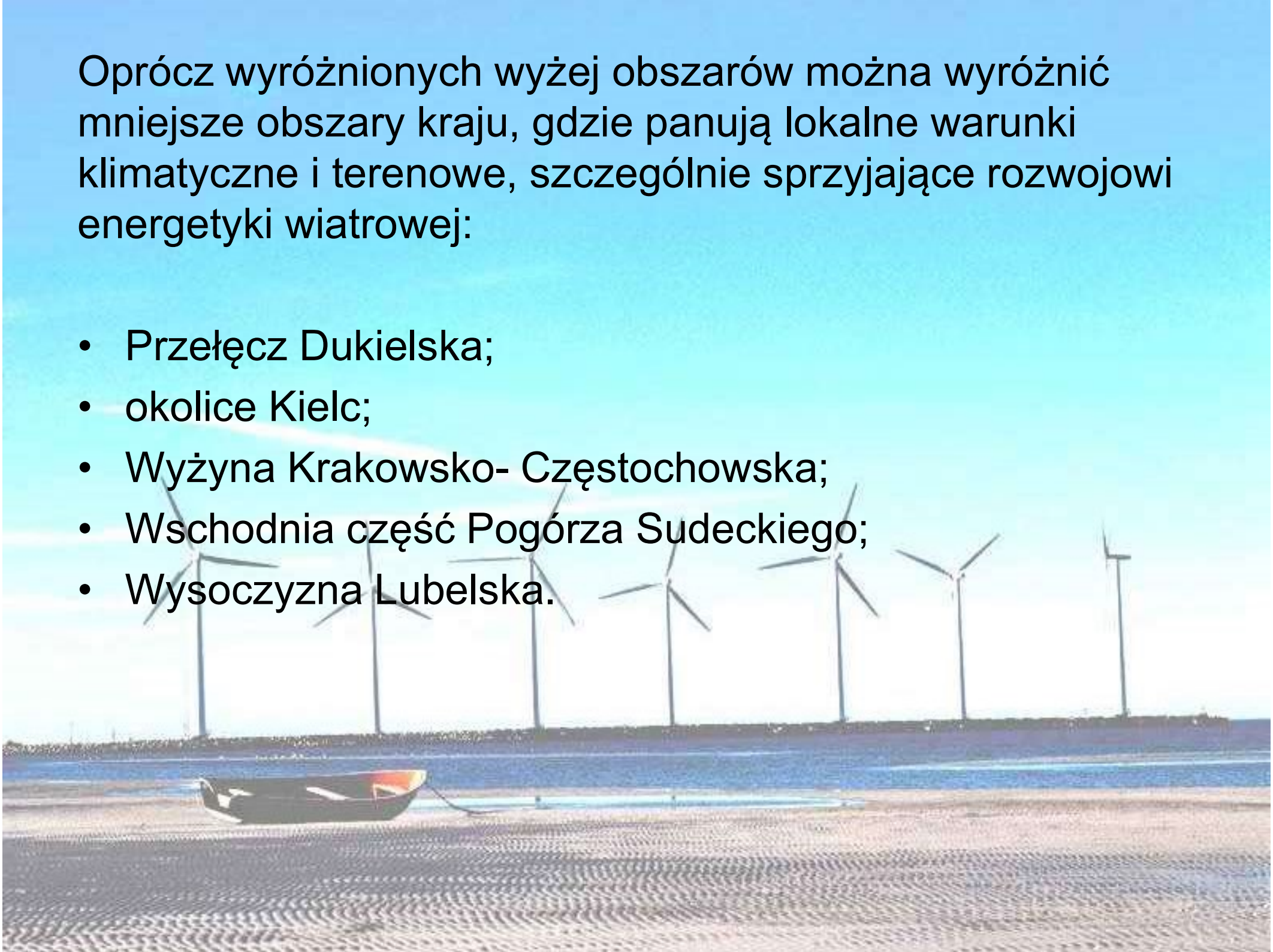
Najbardziej atrakcyjne tereny pod lokalizację elektrowni wiatrowej pod względem średnich rocznych prędkości wiatru, przekraczających 4 m/s to:

- wybrzeże Morza Bałtyckiego, pobrzeże Słowińskie i Kaszubskie;
- zachodnie Podkarpacie i okolice Przemyśla;
- region wyspy Uznam i Wolin;
- Suwalszczyzna;
- Mazowsze i środkowa część Pojezierza Wielkopolskiego;
- Beskid Śląski i Żywiecki;
- Dolina Sanu od granic państwa po Sandomierz.



Oprócz wyróżnionych wyżej obszarów można wyróżnić mniejsze obszary kraju, gdzie panują lokalne warunki klimatyczne i terenowe, szczególnie sprzyjające rozwojowi energetyki wiatrowej:

- Przełęcz Dukielska;
- okolice Kielc;
- Wyżyna Krakowsko- Częstochowska;
- Wschodnia część Pogórza Sudeckiego;
- Wysoczyzna Lubelska.



Przykładowe metody oceny zasobów energetycznych wiatru.

- Metoda szacunkowa oparta na danych meteorologicznych i standardowych rozkładach prędkości wiatru.
- Metoda opierająca się na mapie potencjału energetycznego wiatru.
- Metoda oceny energii wiatru i wydajności elektrowni wiatrowej na podstawie średniorocznych prędkości wiatru wg. rozkładu Weibulla i prędkości znamionowej elektrowni wiatrowej.

Metoda oceny energii wiatru i wydajności elektrowni wiatrowej na podstawie średniorocznych prędkości wiatru wg. rozkładu Weibulla i prędkości znamionowej elektrowni wiatrowej.

$$AEP = A_{av} \cdot T \int_{V_z}^{V_w} f(V) \cdot P_{ew}(V) \cdot dV$$

Gdzie:

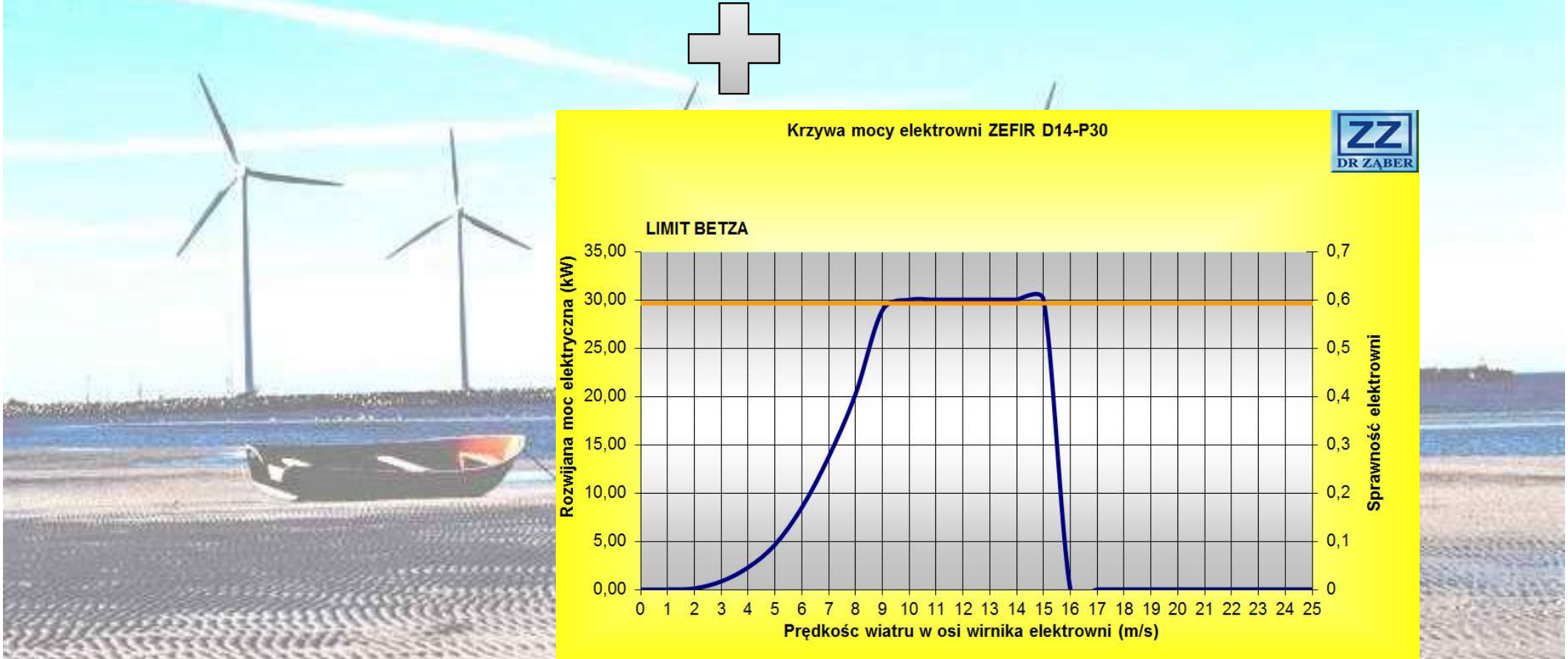
- AEP – wielkość energii elektrycznej wyprodukowana w ciągu roku,
- A_{av} – wszpółczynnik gotowośći, wykorzystania rzeczywistego czasu pracy elektrowni wiatrowej,
- T – liczba godzin pracy w czasie roku (8760),
- $P_{ew}(V)$ – zależność mocy elektrowni wiatrowej od prędkości wiatru określona przez krzywą mocy,
- $f(V)$ – statystyczny rozkład prędkości wiatru,
- V_z - prędkość rozruchu,
- V_w - prędkość wyłączenia.

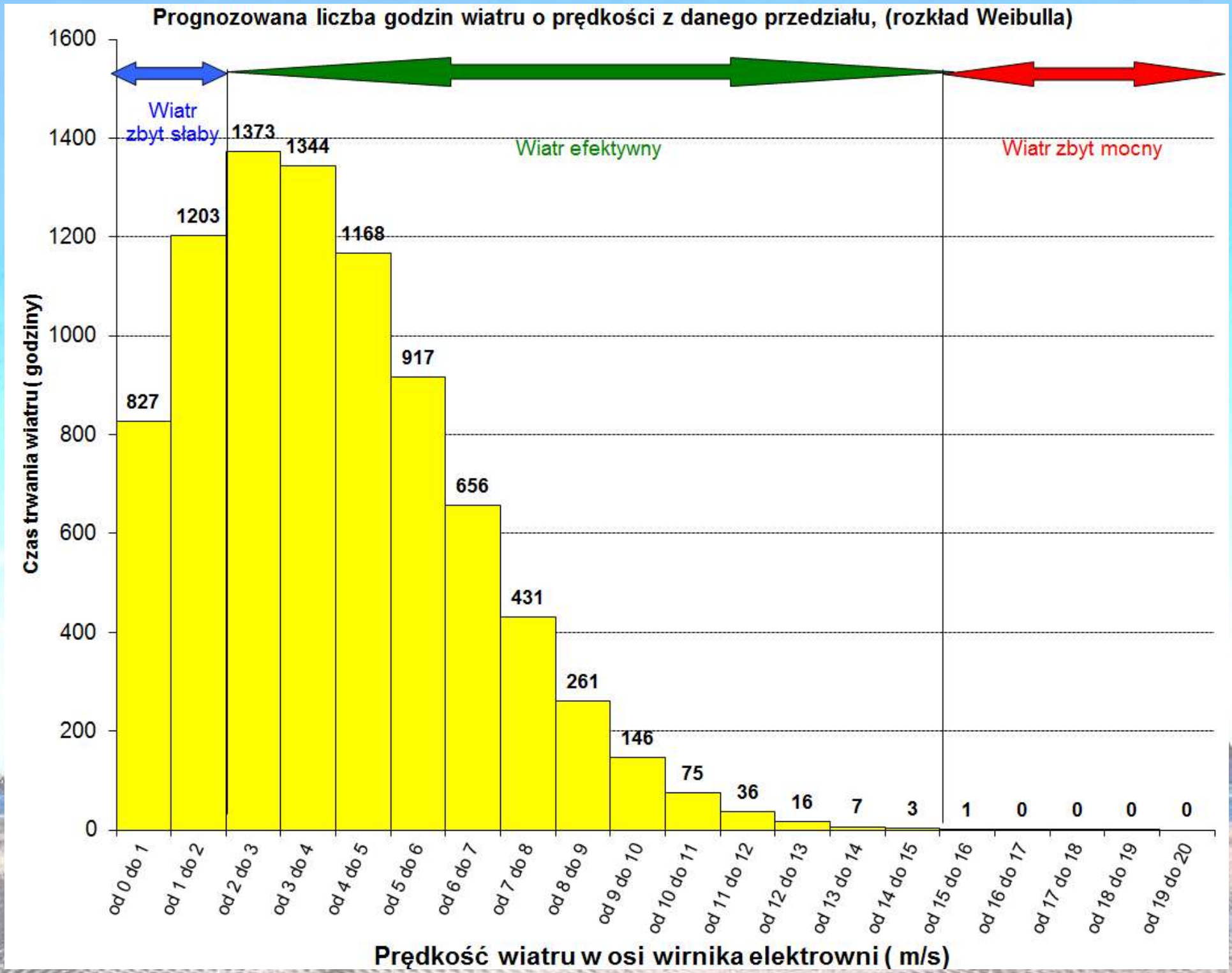
Zagórze. Częstości występowania prędkości wiatrów na wysokości zamontowania turbiny - według pomiarów wykonanych przez firmę VESTAS.

Wyniki pomiarów i aproksymacja funkcją Weibulla

Parametry funkcji Webulla:

- współczynnik skali - C = 7,8
- współczynnik kształtu - k = 2,57
- najczęściej występująca prędkość wiatru w_m = 6,9 m/s




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

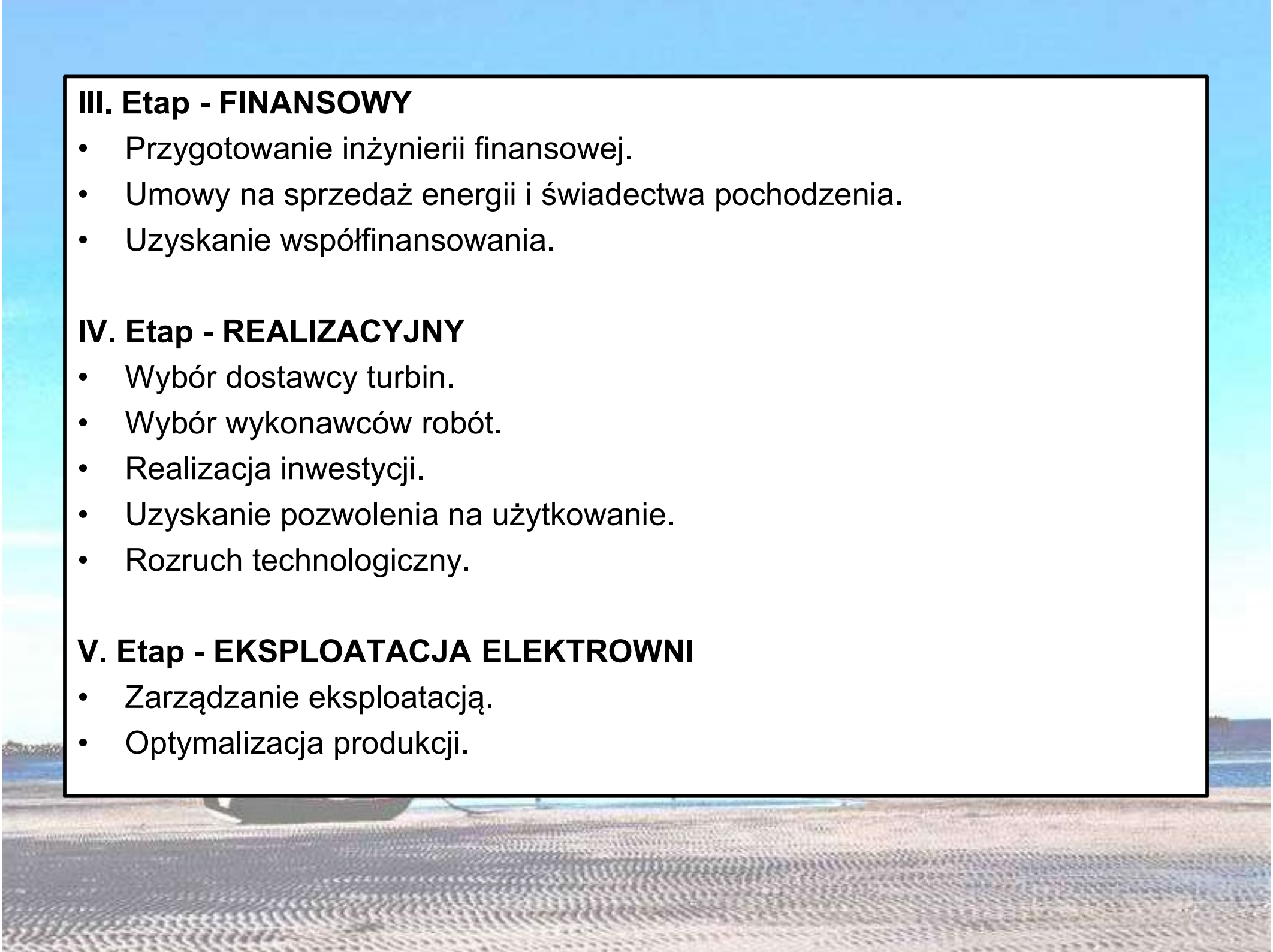
Proces inwestycyjny

I. Etap - KONCEPCYJNY

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

II. Etap - ADMINISTRACYJNO - PRAWNY

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



III. Etap - FINANSOWY

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

IV. Etap - REALIZACYJNY

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

V. Etap - EKSPLOATACJA ELEKTROWNI

- Zarządzanie eksploatacją.
- Optymalizacja produkcji.

Wykonanie raportu odziaływania na środowisko

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

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

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

Oraz:

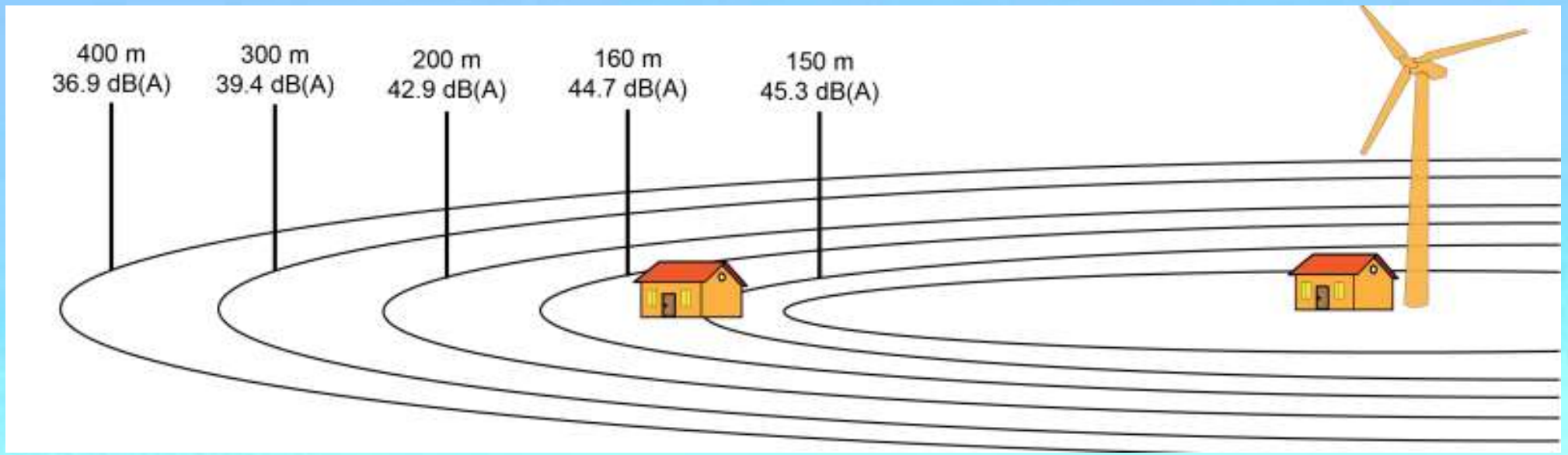
- Wpływ na wartość nieruchomości.
- Oddziaływanie na turystykę.
- Oddziaływanie efektu migotania cieni i refleksów świetlnych.
- Wpływ na sieć.

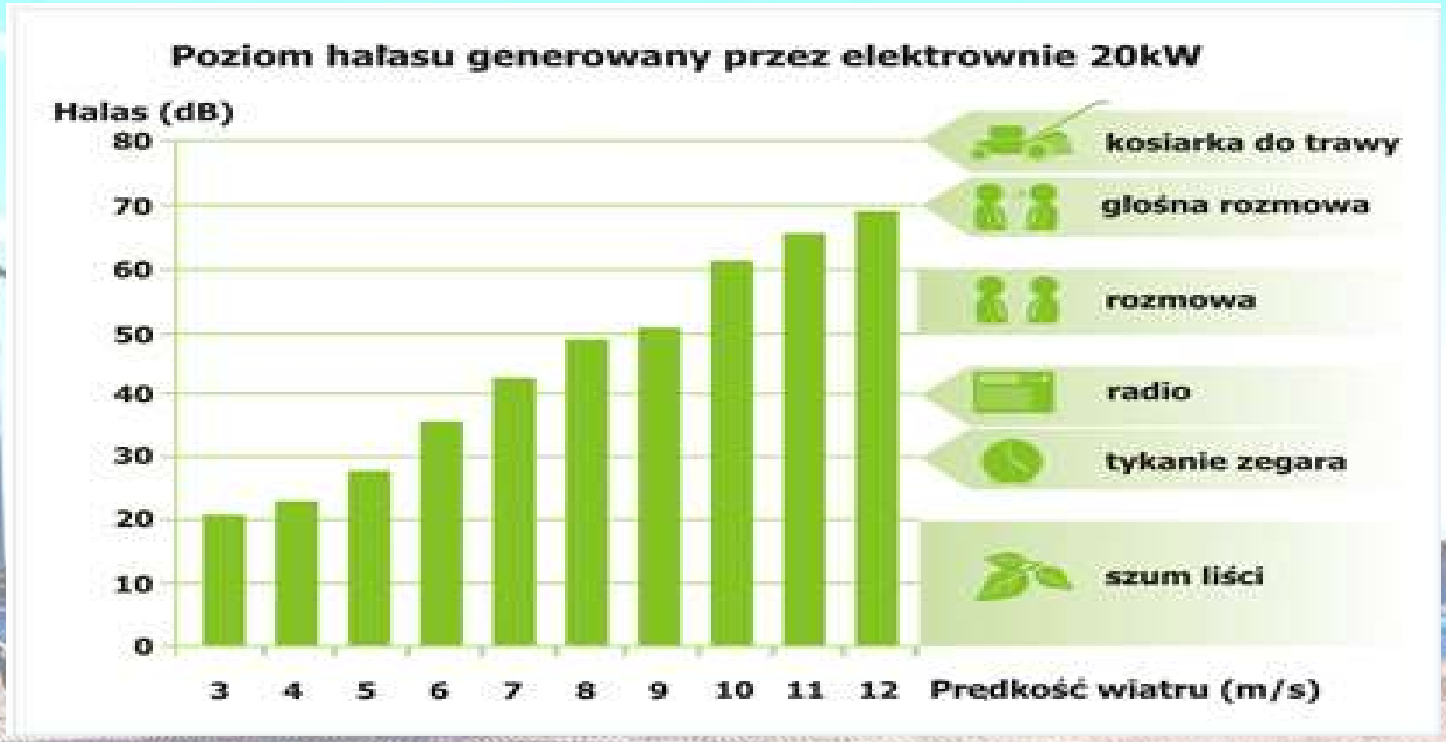
W polskim systemie elektroenergetycznym produkcja 1 MWh energii w oparciu o węgiel kamienny powoduje emisje **0,9 t CO_2**, zaś w oparciu o węgiel brunatny **1,05 t CO_2**. Zastępowanie źródeł konwencjonalnych przez źródła energii odnawialnej pozwala wiec na unikniecie emisji dużej ilości dwutlenku węgla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

Klimat akustyczny

Turbiny wiatrowe generuje dwa rodzaje hałasu słyszalnego przez człowieka:

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


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


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

Koszty inwestycji

Nakłady inwestycyjne na środki trwałe:

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

Koszty przedprodukcyjne kapitałowe:

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

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

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

Towarowej Giełdy Energii (TGE)

Z dniem 1 października 2005 roku, wprowadzony został system gwarantujący pochodzenie energii z odnawialnych źródeł energii. Zakłada on, że to prezes URE przekazuje informacje do Towarowej Giełdy Energii (TGE) o wydawanym wytwórcom świadectwa pochodzenia. Najważniejszymi konsekwencjami tych zmian jest podział przychodów z sprzedaży energii wytworzonej z odnawialnych źródeł energii na dwa strumienie:

- przychody ze sprzedaży energii elektrycznej,
- przychody ze sprzedaży praw majątkowych wynikających ze świadectw pochodzenia energii, powstałej w momencie dokonania transakcji kupna i sprzedaży. Sprzedaż owych świadczeń zapisana jest w rejestrze prowadzonym przez TGE.

Zakupem fizycznej energii odnawialnej od producentów, którzy są przyłączeni do sieci energetycznej zajmują się sprzedawcy z urzędu (dokładnie spółki dystrybucyjne). Podmioty te zostały zobligowane do zakupu tylko energii oferowanej przez producentów energii w źródle odnawialnym. Z tego też powodu cena jaką można uzyskać przy sprzedaży energii z elektrowni wiatrowych składa się z dwóch kwot:

	Cena [zł/kWh]
URE - średnia ceny energii elektrycznej	0,1989
Średnioważony OZEX_A	0,2867
Suma	0,4856

Uśrednione ceny z pierwszej połowy 2013 roku.

Współfinansowanie

Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko

Środki unijne, które dostępne są w ramach priorytetu 10 Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko gwarantują kompleksowe podejście do finansowania energetyki wiatrowej poprzez finansowanie: realizacji projektów OZE, w tym budowy elektrowni wiatrowych; sieci ułatwiających odbiór energii z OZE oraz rozwój przemysłu (dostawców maszyn i urządzeń) dla OZE.
W działaniu 10.4 finansowane będą inwestycje umożliwiające wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych, w tym budowa lub zwiększenie mocy jednostek wytwarzania energii elektrycznej wykorzystujących energię wiatru. Minimalna wartość projektu wynosi 20 mln zł.

Programy regionalne

Projekty o niższej wartości można sfinansować z Regionalnych Programów Operacyjnych. Należy sprawdzić, czy we właściwym RPO dla interesującego nas województwa jest przewidziane takie działanie.

Środki krajowe

Finansowanie inwestycji w elektrownię wiatrową może odbywać się również ze źródeł publicznych, np. w formie pożyczki preferencyjnej z NFOŚiGW. Na wsparcie w programie krajowym organizowanym przez NFOSiGW mogą liczyć np. inwestycje w elektrownie wiatrowe o mocy do 10 MW. Należy zaznaczyć, że całkowita wartość inwestycji nie może być wyższa niż 10 mln PLN.

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.**

Ocena efektywności ekonomicznej turbin wiatrowych.

- analizy ceny 1 kWh wyprodukowanej w skali roku

$$C_r = \frac{J}{P_r}$$

Gdzie:

- C_r – cena 1 kWh wyprodukowanego w skali roku [zł/kWh],
- Pr – obliczona produkcja roczna elektrowni [kWh],
  J – nakłasy inwestycyjne [zł],

- metody wskaźników rentowności przedsięwzięć inwestycyjnych
  - metody statyczne
    - okres zwrotu nakładów inwestycyjnych

$$J = \sum_{i=1}^{t_z} Z_i + A_i + O_i$$

Gdzie:

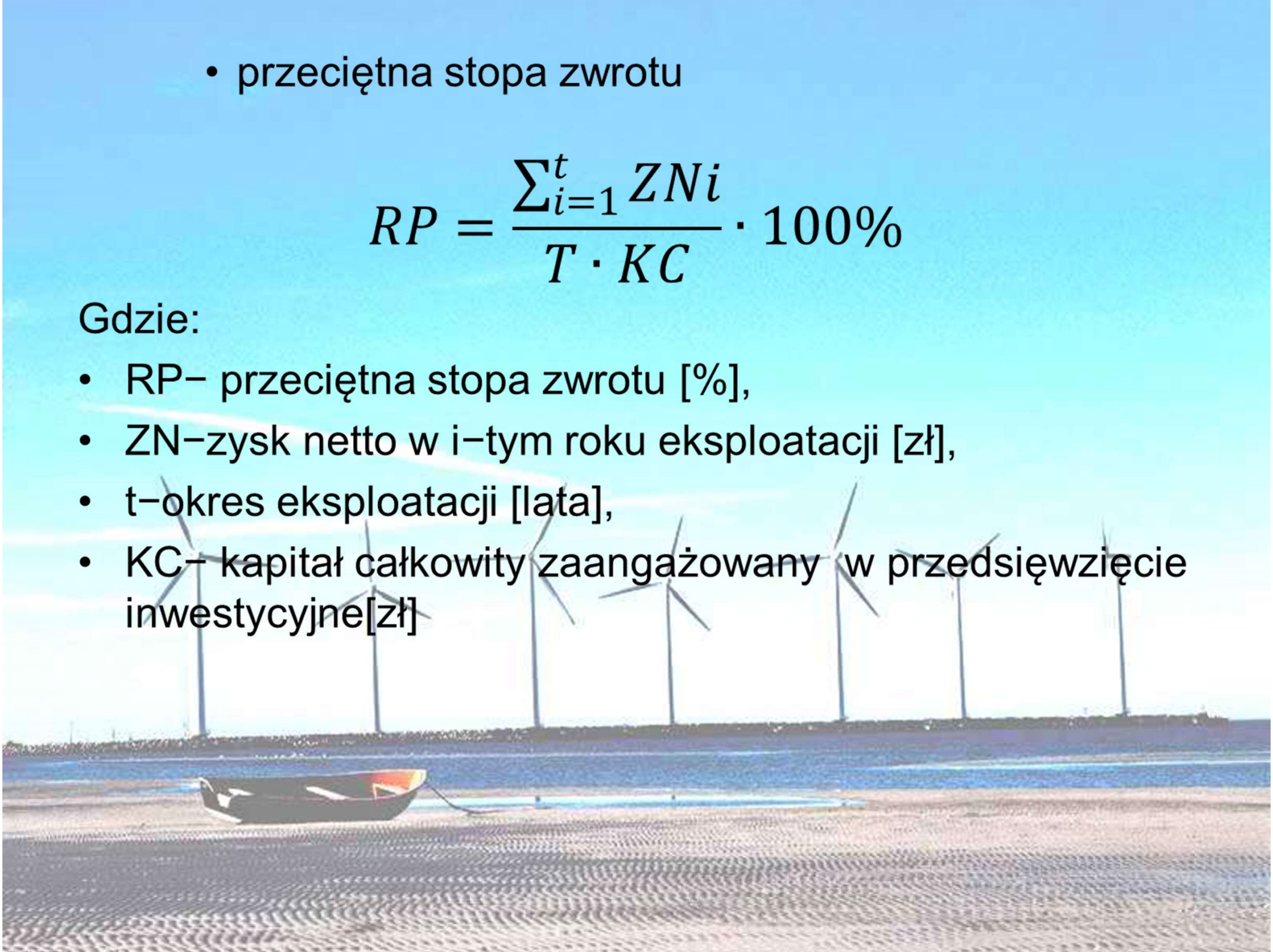
- J – nakłady inwestycyjny [zł],
- Z_i – zysk netto w i – tym roku eksploatacji [zł],
- A_i – stawka amortyzacji w i – tym roku eksploatacji [zł],
- O_i – odsetki od zaciągniętego kredytu w i – tym roku eksploatacji [zł],
- t_z – rok, w którym nastąpi zrównanie sumy J z sumą $Z_i + A_i + O_i$ stanowi okres zwrotu nakładów inwestycyjnych,

- przeciętna stopa zwrotu

$$RP = \frac{\sum_{i=1}^{t} ZNi}{T \cdot KC} \cdot 100\%$$

Gdzie:

- RP− przeciętna stopa zwrotu [%],
- ZN−zysk netto w i−tym roku eksploatacji [zł],
- t−okres eksploatacji [lata],
- KC− kapitał całkowity zaangażowany w przedsięwzięcie inwestycyjne[zł]



– metody dynamiczne

- metoda zaktualizowanej wartości kapitałowej netto NPV

$$NPV = \sum_{i=1}^{t} [W_i - (J_i + K_i)] \cdot (1 + p)^{-i}$$

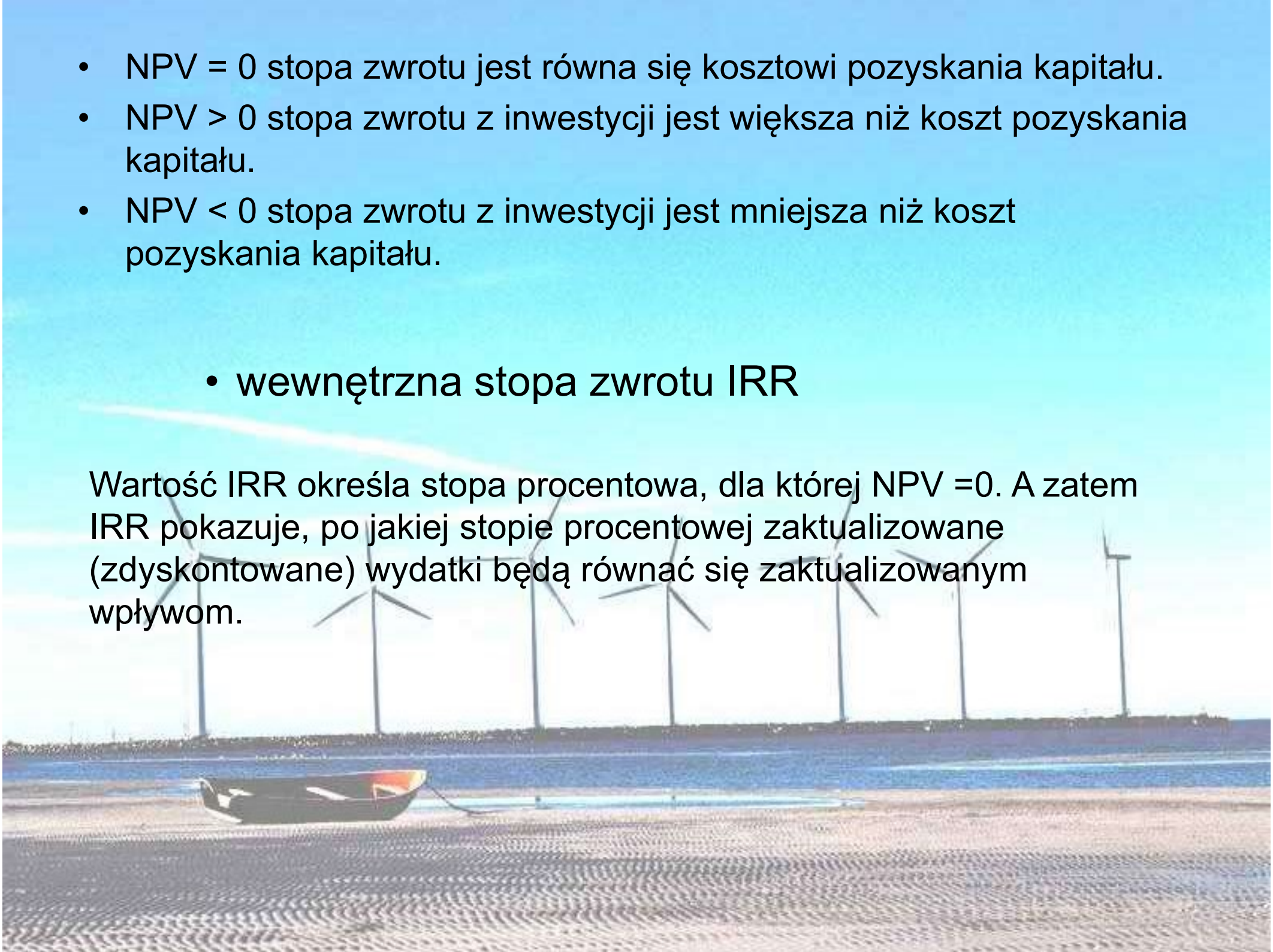
Gdzie:

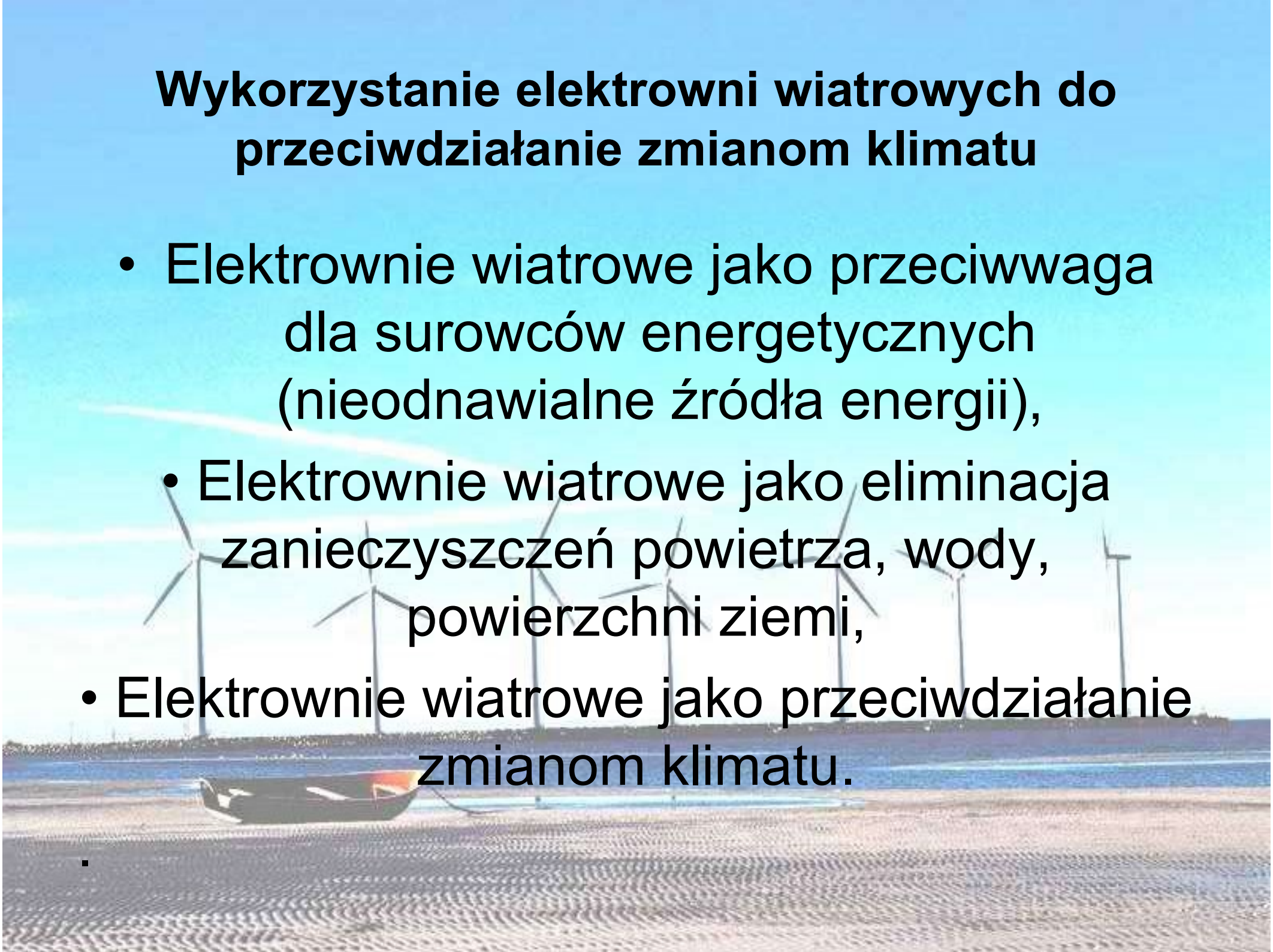
- $NPV -$ wartość zaaktualizowana netto [zł],
- $W_i -$ wartość produkcjii w i – tym roku [zł],
- $J_i -$ nakłady inwestycyjne w i – tym roku [zł],
- $K_i -$ koszty bierzące produkcji w i – tym roku [zł],
- $i = 1,2,3, \dots, t -$ lata budowy i eksploatacji,
- $p -$ stopa dyskontowa wytażona ułamkiem,

- NPV = 0 stopa zwrotu jest równa się kosztowi pozyskania kapitału.
- NPV > 0 stopa zwrotu z inwestycji jest większa niż koszt pozyskania kapitału.
- NPV < 0 stopa zwrotu z inwestycji jest mniejsza niż koszt pozyskania kapitału.

- wewnętrzna stopa zwrotu IRR

Wartość IRR określa stopa procentowa, dla której NPV =0. A zatem IRR pokazuje, po jakiej stopie procentowej zaktualizowane (zdyskontowane) wydatki będą równać się zaktualizowanym wpływom.





Wykorzystanie elektrowni wiatrowych do przeciwdziałanie zmianom klimatu

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

.

160 kW z elektrowni wiatrowej to:

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

mniej

Zalety siłowni wiatrowych.

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

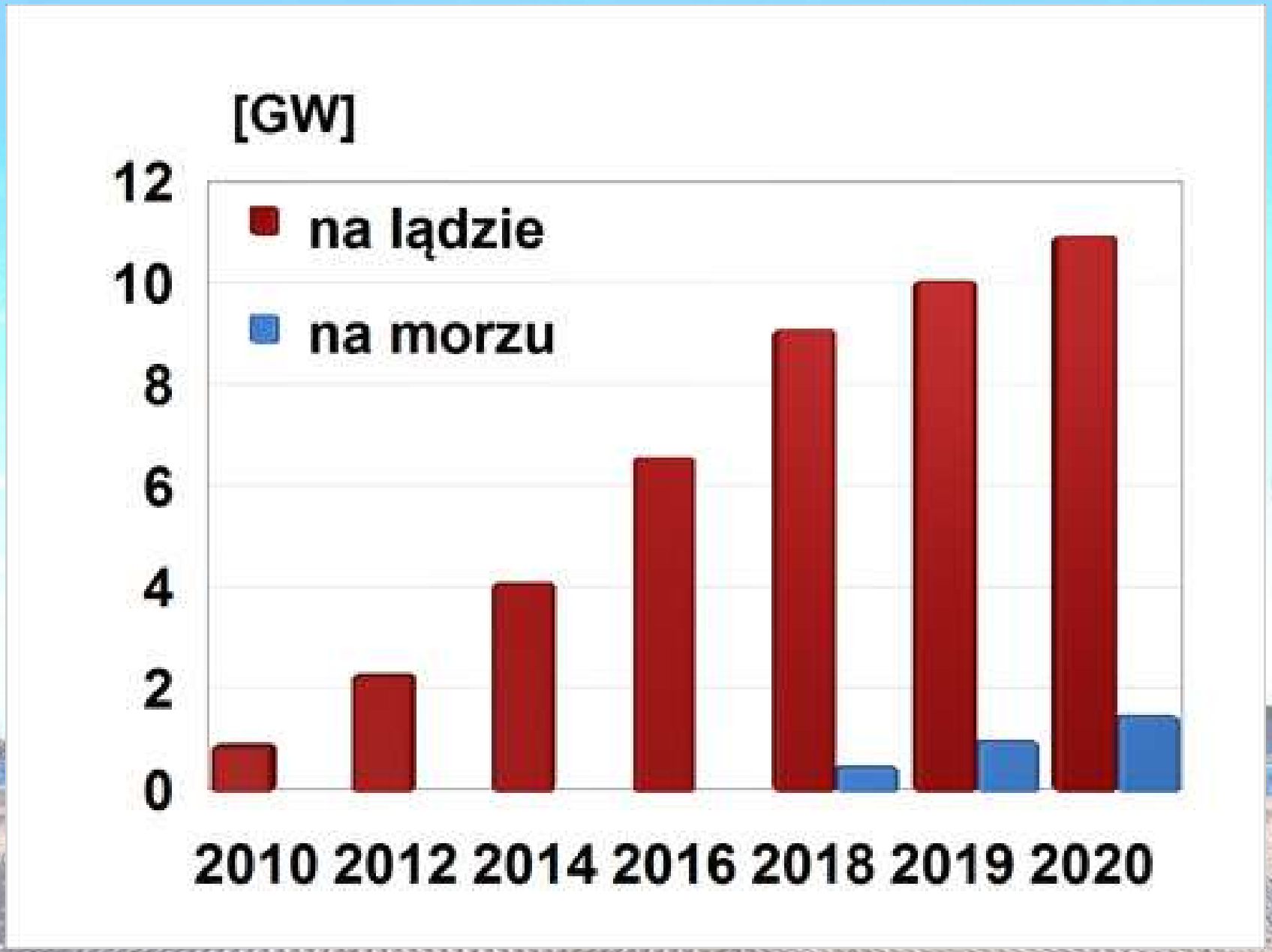
Wady siłowni wiatrowych.

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

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



MORSKA FARMA WIATROWA

W ciągu 20 lat moc pojedynczej turbiny wiatrowej wzrosła ponad 100-krotnie (z 25 kW do 2500 kW i więcej), a koszt wyprodukowania jednostki energii zmniejszył się około 5-krotnie.

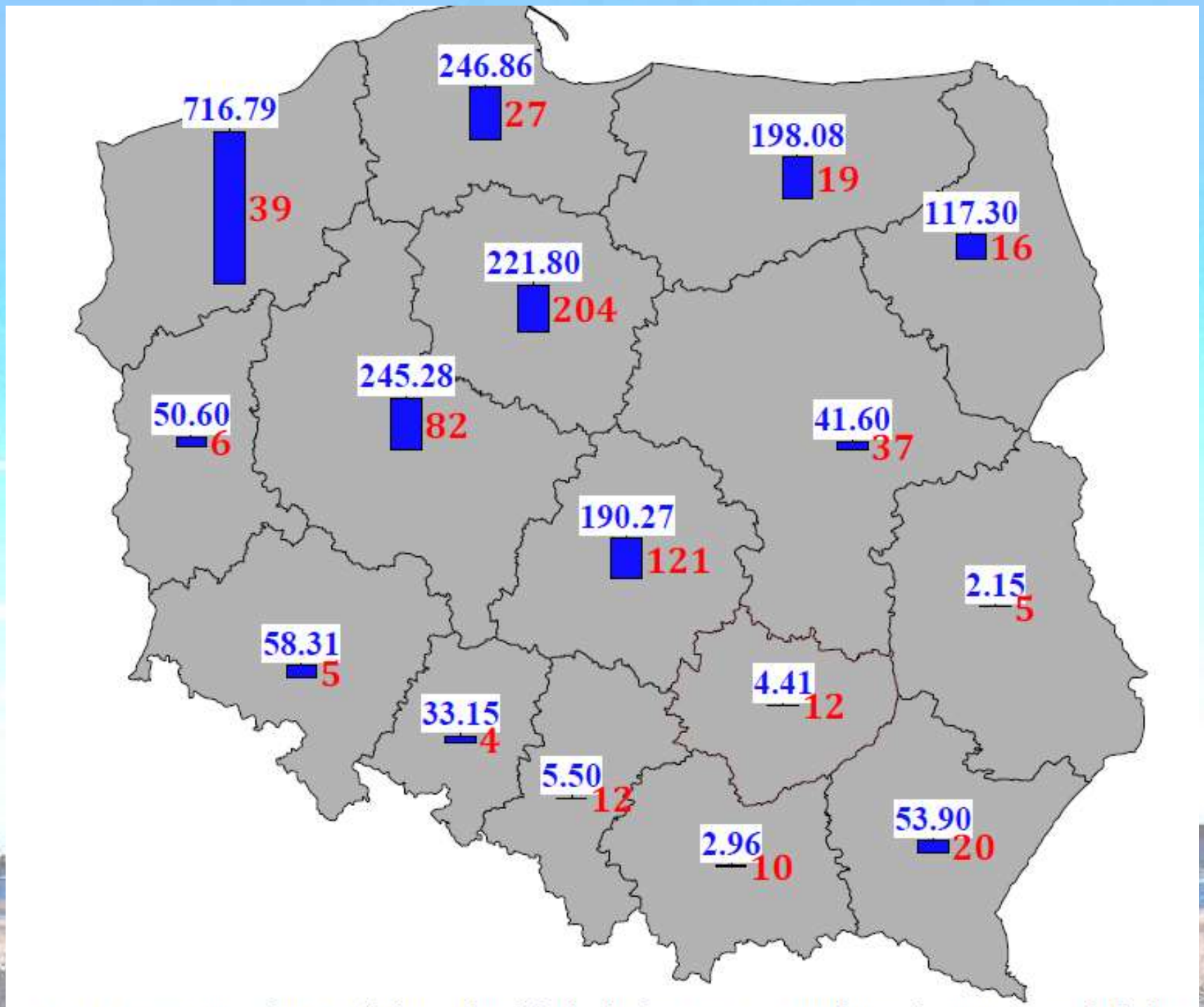
Najdłuższe obecnie produkowane na świecie łopaty turbin wiatrowych to **75 m** dla **7 MW** morskich turbin firmy Siemens

Najwyższa zastosowana dotąd wieża turbiny wiatrowej Nordex ma **142 m**

Typowe turbiny instalowane obecnie w Polsce mają moc **2-3 MW**, wysokość wieży rzędu **100 m** i długość łopaty **50 m**.

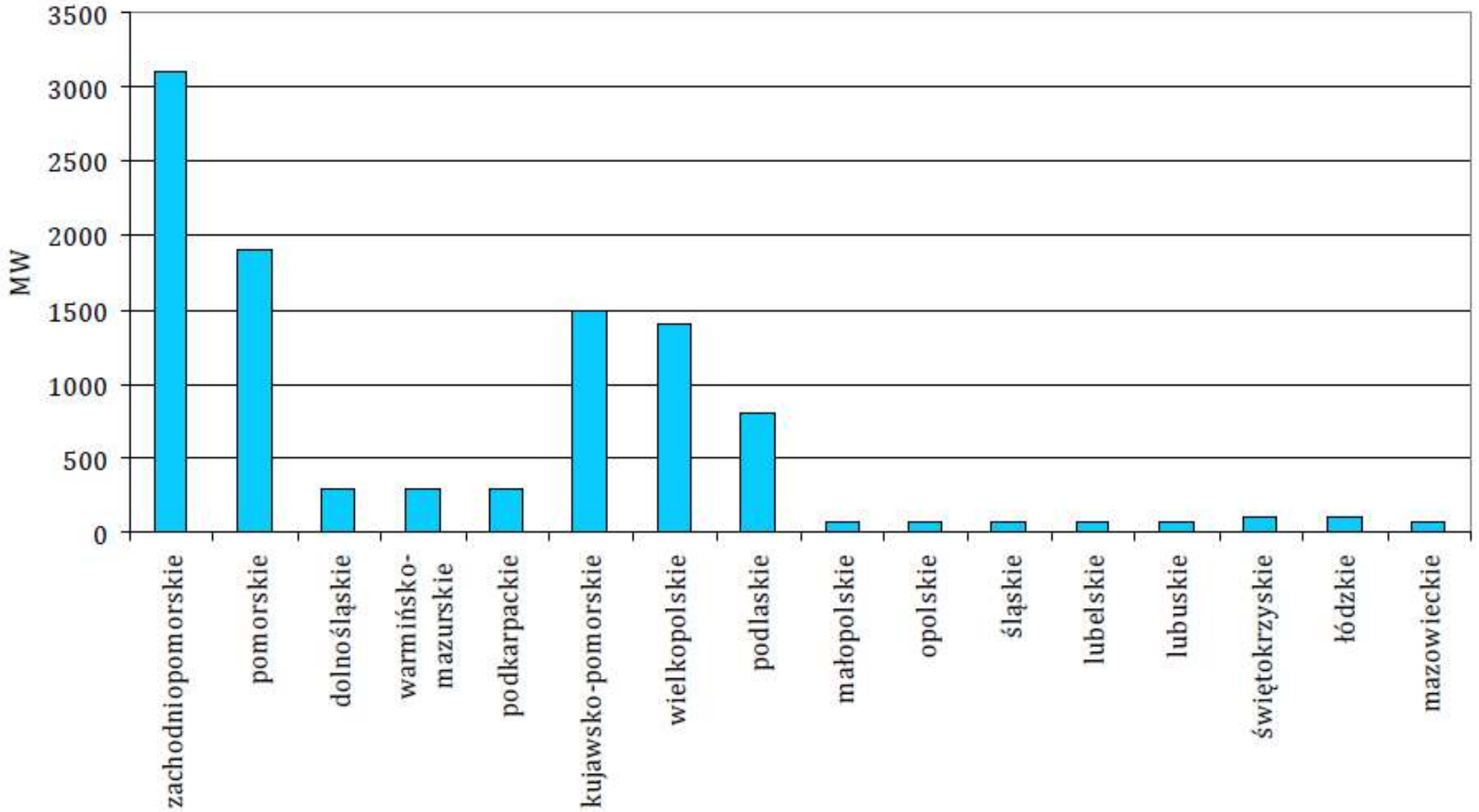
Największa działająca obecnie farmą wiatrową w Polsce jest zlokalizowana w Margoninie. Jej całkowita mocy zainstalowana to **120 MW** (60 turbin o mocy 2 MW każda).

źródło: EWEA



Rys. 1.9 Moc zainstalowana (kolor niebieski) i liczba koncesjonowanych instalacji wiatrowych (kolor czerwony) w poszczególnych województwach, czerwiec 2012.

Potencjał rynkowy energetyki wiatrowej w Polsce do roku 2020



POTENCJAŁ ENERGETYKI WIATROWEJ W POLSCE
Podsumowanie

	Na lądzie		Na morzu	
	Moc (GW)	Energia (TWh)	Moc (GW)	Energia (TWh)
Potencjał teoretyczny	3100	6830	130	380
Potencjał techniczny	1400	3600	130	380
Potencjał techniczny z uwzględnieniem ograniczeń środowiskowych	600	1500	20	60
Potencjał ekonomiczny	82	210	7,5	22,5
Potencjał rynkowy 2020	11,5	28	1,5	4,5

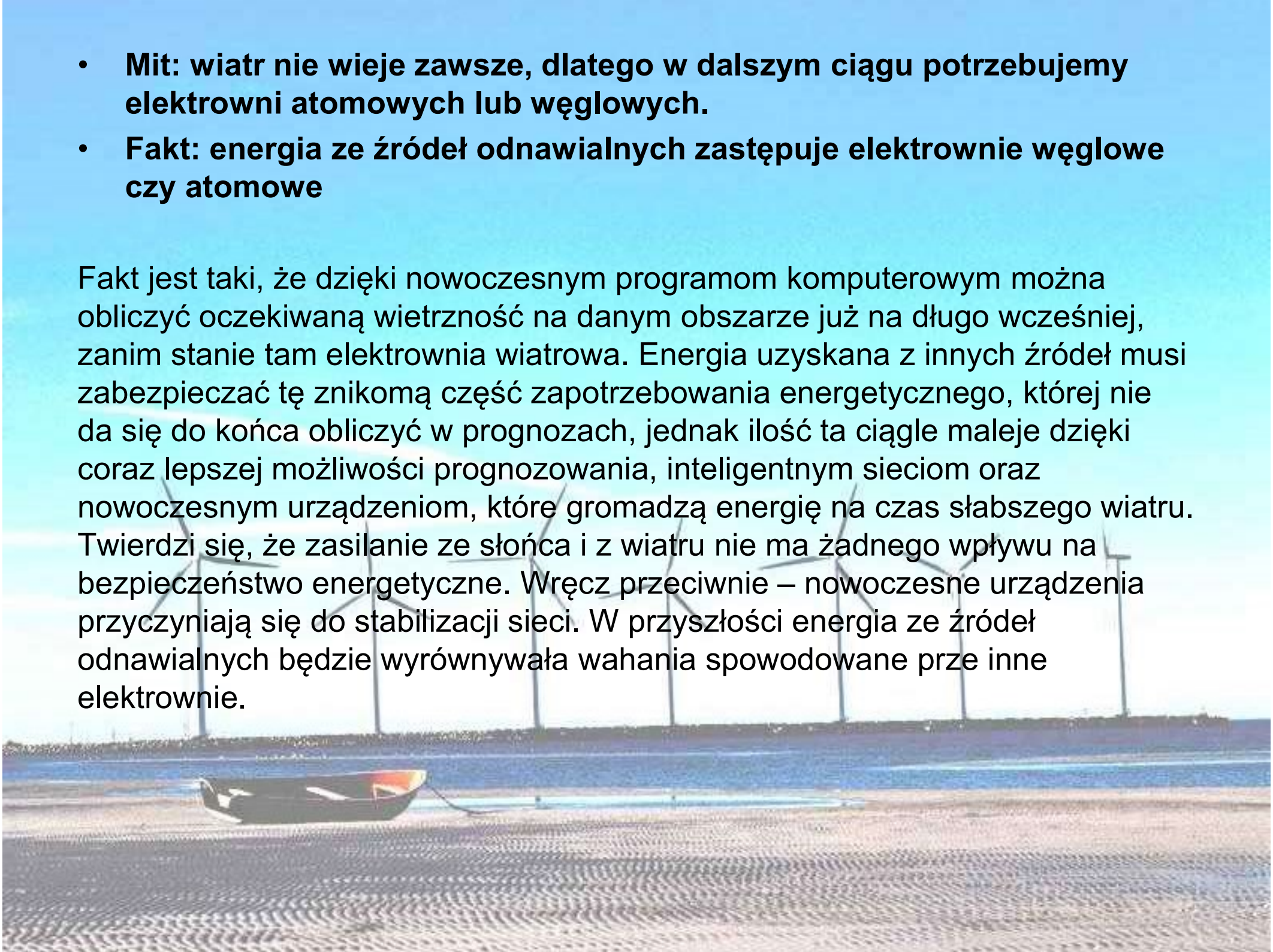
Czarny PR

- **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 ulepszane, 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 prze 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 dodatki 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.

Dziękuje za uwagę.