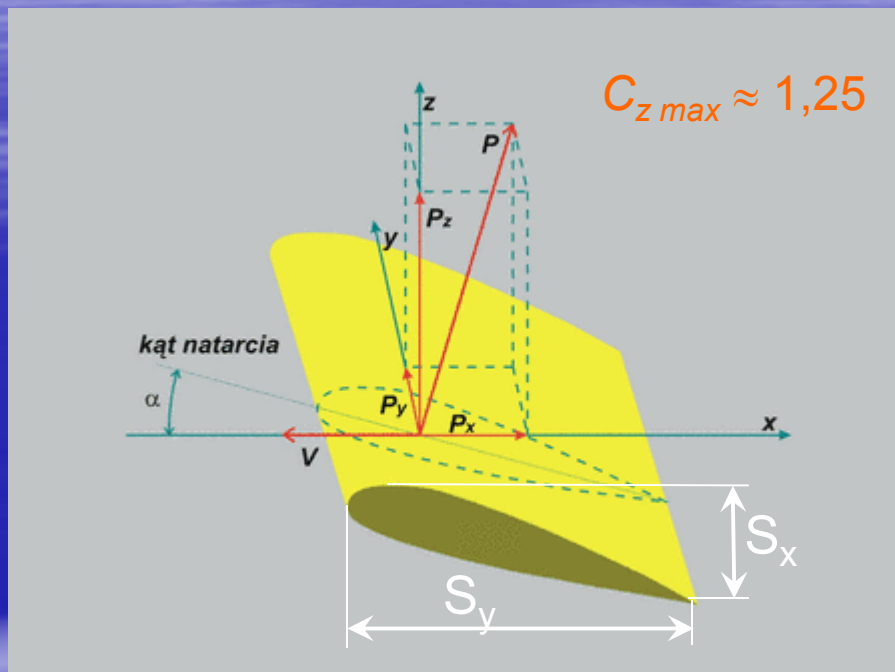


Aerodynamika turbin wiatrowych - historia i rozwiązania innowacyjne

Piotr Doerffer

- 1) Siły aerodynamiczne
- 2) Typy wiatraków
- 3) Historia
- 4) Rozwiązania innowacyjne
- 5) Dostępność na rynku
- 6) Kierunki planowanych badań

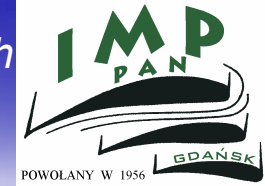


	C_x
a) → ○	0.47
b) → ◐	0.42
c) → ◁	0.50
d) → □	1.05
e) → ◊	0.80
f) → ▭	0.82
g) → ◻	1.15
h) → ◌	0.04
i) → ▭	0.09

$$F_z = c_z S_z \frac{\rho v^2}{2}$$

$$F_x = c_x S_x \frac{\rho v^2}{2}$$

$F \nearrow : v \nearrow S \nearrow$



Siły oporu wiatru generowane są przy małych prędkościach < 10 m/s
wymagają więc dużych powierzchni

Siła nośna końcówki typowych dużych wiatraków < 100 m/s
powierzchnia może być dużo mniejsza

Wpływ prędkości liczy się w kwadracie a powierzchni liniowo

Typy wiatraków

Wiatraki o osi poziomej

Różna ilość łopat

Różne prędkości końcówki

Konieczność przestawiania
łopaty

Potrzebne układy hamowania
wirnika

Konieczne ustawienie
wiatraka w kierunku wiatru

Słaby wiatr



Silny wiatr



© NEG Micon

Wiatraki o osi pionowej

Kierunek wiatru dowolny !!!

The Savonius: **Drag-Type** VAWT



Darrieus **Lift-Type**



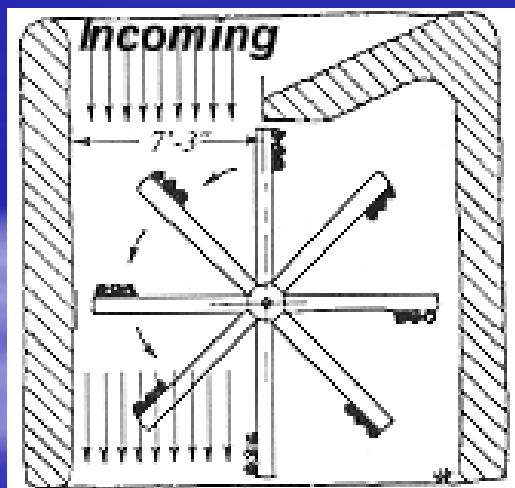
lekkie konstrukcje
wykorzystujące siły oporu
aerodynamicznego

ewolucja

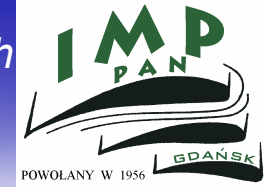
konstrukcje
wykorzystujące
siłę nośną

Siłę nośną znano i wykorzystywano w starożytności do żeglowania.
Miało to wpływ na późniejszy rozwój wiatraków z łopatom żaglowymi.

Podstawowe zadania: mielenie zboża, pompowanie wody.



Pierwszym znanym rozwiązaniem jest wiatrak z 500-600 A.D. z Persji. Uważa się w opisach, że tego typu rozwiązanie jest najmniej sprawne ale najczęściej powielane.



Chiny

Uważa się za kolebkę wiatraków o osi pionowej

Wynalezione 2000 lat temu

Pierwsze pisane dokumenty pochodzą z 1219 roku

Zastosowanie: mielenie zboża i pompowanie wody

Wiatraki Zachodniego Świata

Pierwsze wiatraki miały oś poziomą.

Przyczyny ?? poziomy układ koła wodnego??

Względy techniczne??

wykorzystanie pełnego strumienia wiatru w układzie poziomej osi,

w przypadku osi pionowej połowa strumienia nie jest wykorzystana.

Pierwsze ilustracje z 1270 A.D.

Wiatraki żaglowe.

Szybki rozwój krajach
śródziemnomorskich i w Holandii.

Obrotowy szczyt wieży

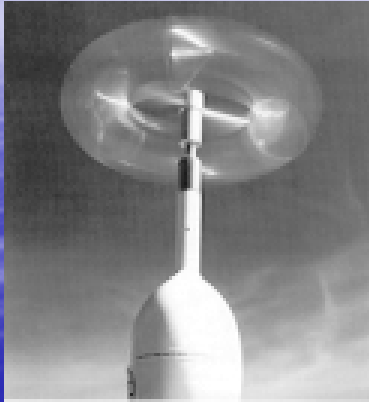


500 lat rozwoju

ostateczne konstrukcje łopat
uwzględniają obecne zasady
projektowania



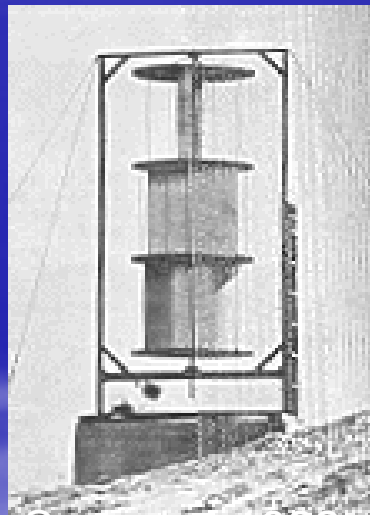
Wykorzystanie sił oporu aerodynamicznego



Końcówki czasz nie mogą poruszać się szybciej niż wiatr.

$$TSR = v_{tip}/v_{wind} < 1.0$$

tip speed ratio

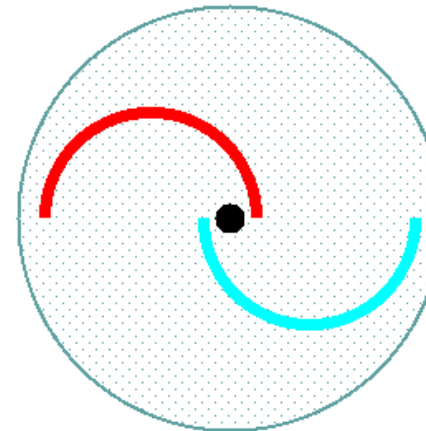


Finlandia -Sigurd J. Savonius 1922

Pierwsza próba:
Johann Bessler w 1745 w Niemczech

Wiatraki o osi pionowej wykorzystujące siłę oporu są wolno-obrotowe < 100 rpm

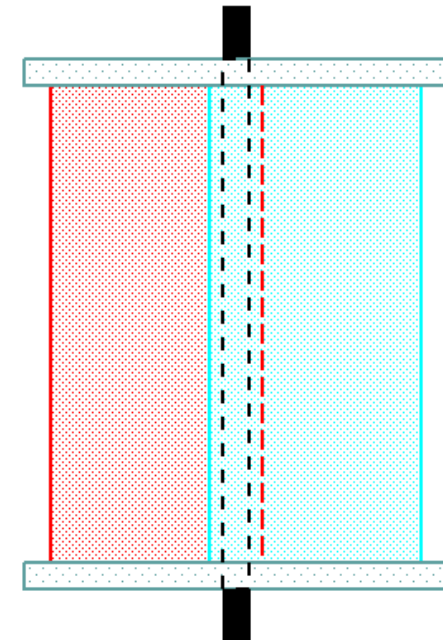
Top View



TSR ≥ 1.0

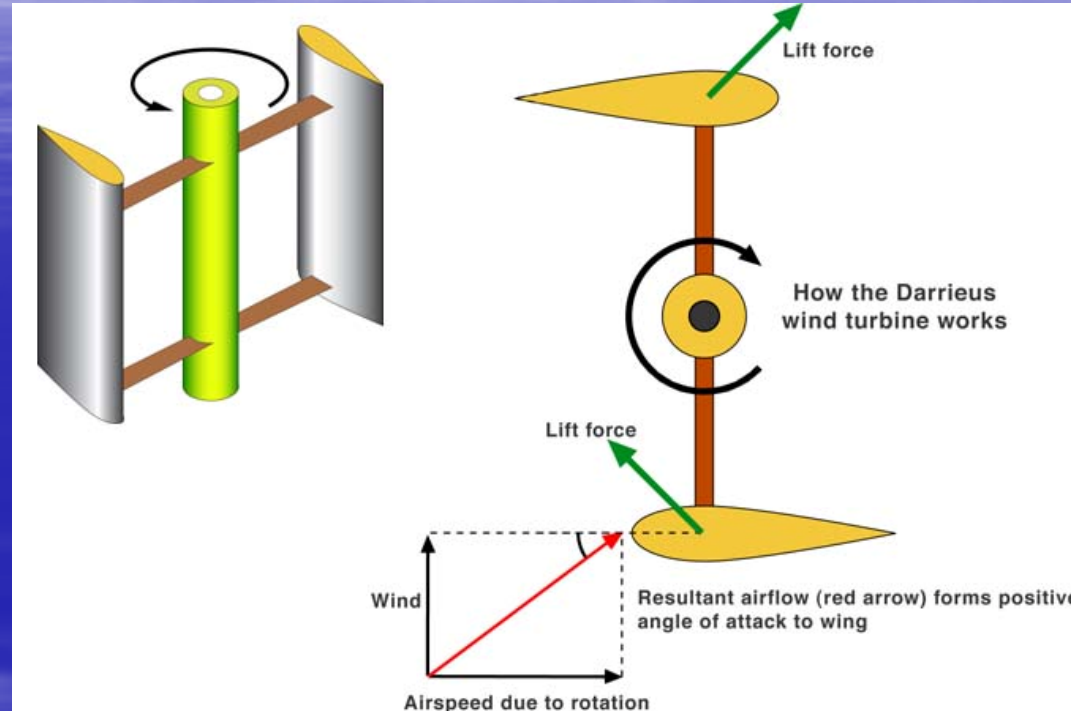
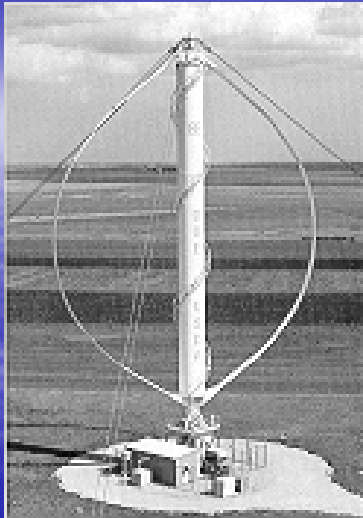
Savonius Rotor

Front View



Wykorzystanie siły nośnej

Darrieus, Francja (patent 1927)



Zerowy moment startowy
szybko-obrotowy !!

Giromills, cycloturbines i ze spiralnymi łopatkami

4) Rozwiązania innowacyjne

Współczesny rozwój

Duże wiatraki

20 kW – 7 MW

Rozwój ustalony
bez przełomów.

Wzrost rynku
zrównowazony.

Problem:

hałas końcówki
łopaty



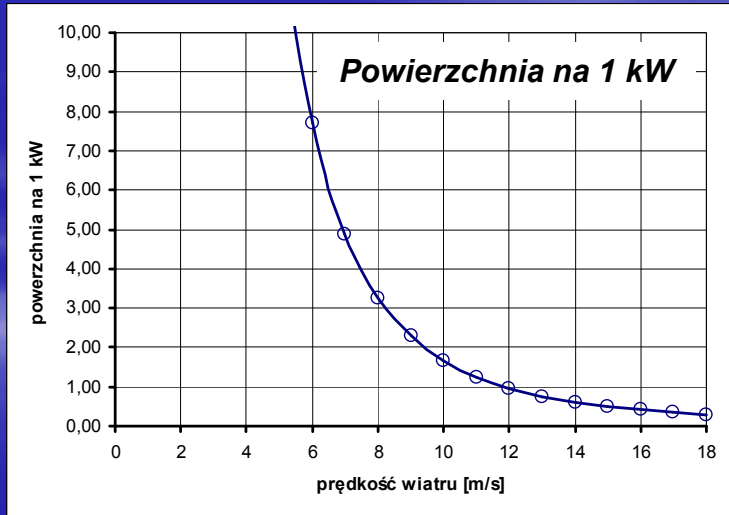
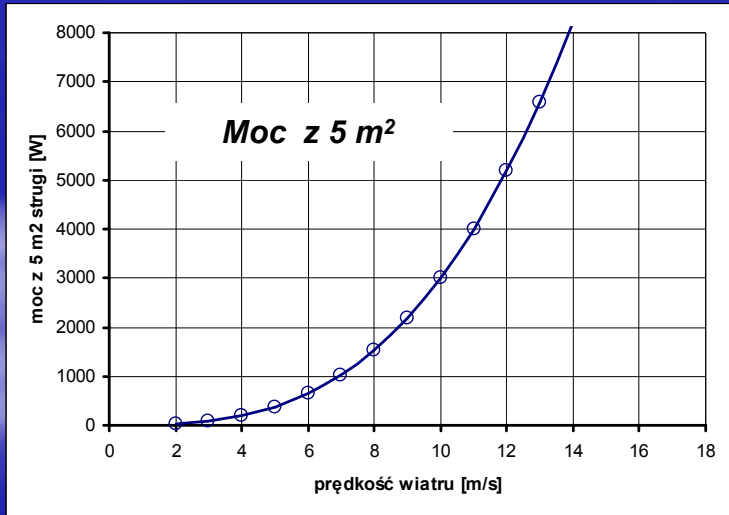
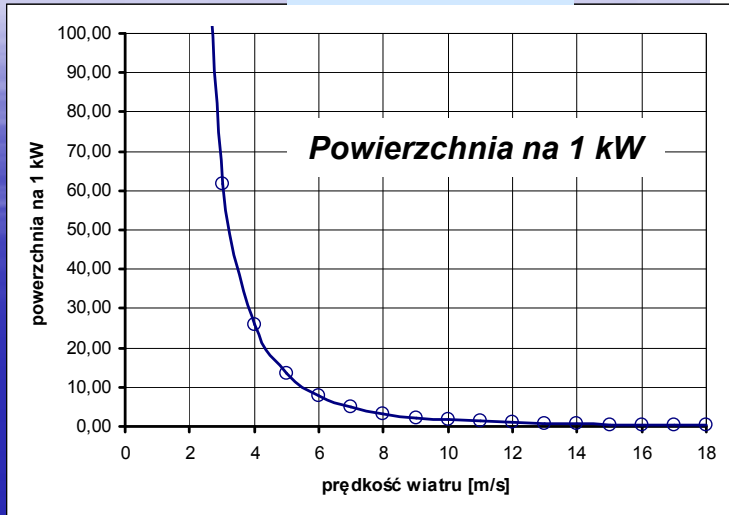
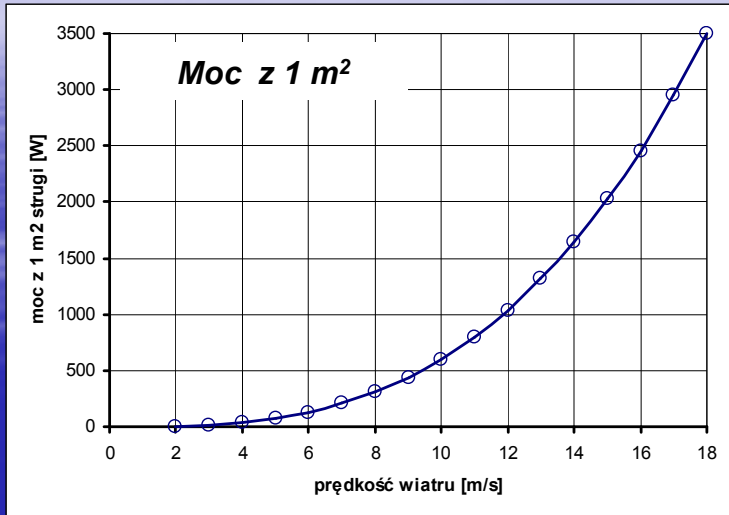
7 MW

$\phi = 126 \text{ m}$

Enercon E-126

Moc strumienia wiatru

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



4) Rozwiązania innowacyjne

Eksplozja potencjału małej energetyki wiatrowej

Raport BWEA (British Wind Energy Association)

Co roku podwaja się:

Roczna produkcja energii elektrycznej

Zainstalowana moc całkowita

*Małe wiatraki mają wielki potencjał
implementacji rozwiązań innowacyjnych*

4) Rozwiązania innowacyjne

LOOPWING μ 2850

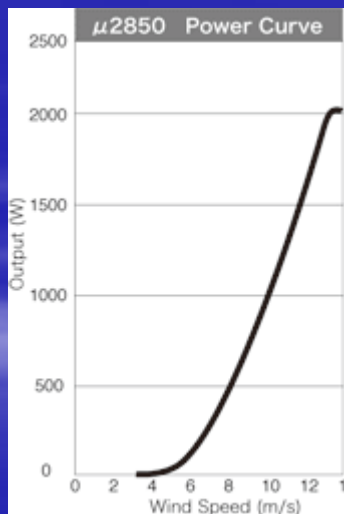
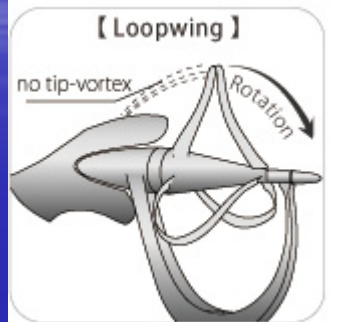
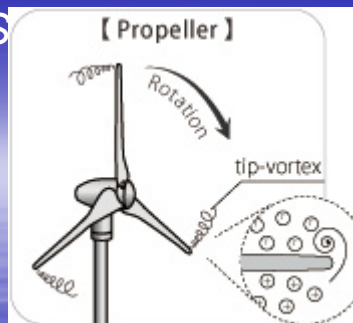
D = 2,85 m

Wiatr – 3 m/s ÷ 14 m/s

4 m/s - 30 W

8 m/s - 270 W

12,8 m/s - 2000 W



4) Rozwiązania innowacyjne

Wiatrak wielowirnikowy

2 kW przy 13 m/s

Start – 3,5 m/s

D = 2,5 m

Cena 2000 \$



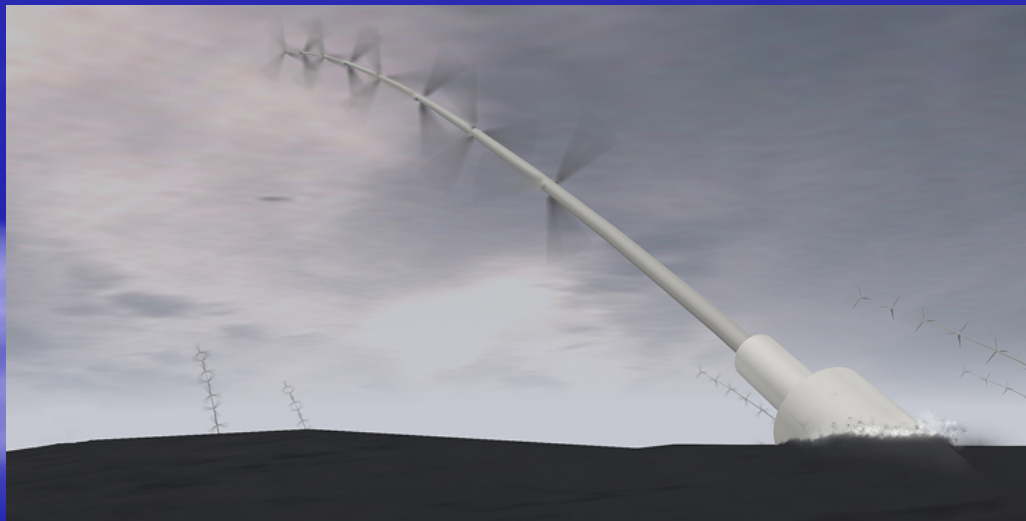
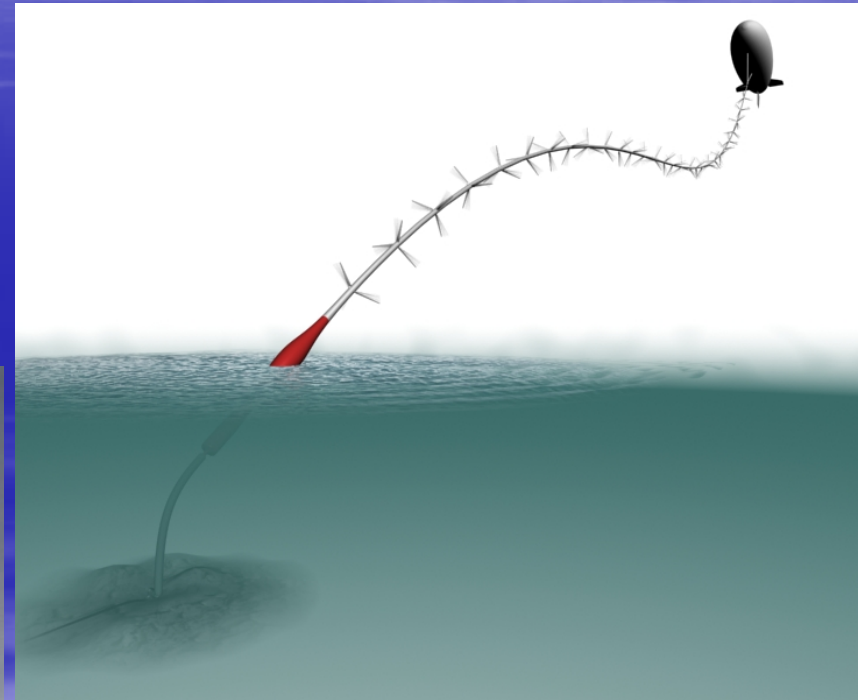
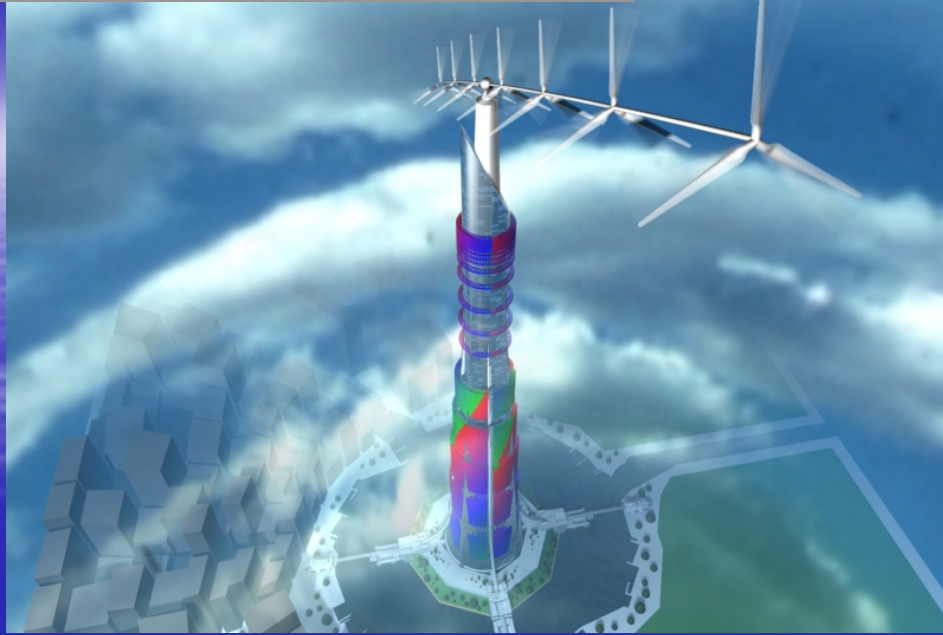
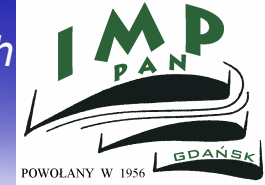
4) Rozwiązania innowacyjne



4) Rozwiązania innowacyjne

e Klastrow Ekoenergetycznych

Wizje przyszłości



12 Maj 2010, 12⁰⁰ - 14⁰⁰

Wiatraki – podstawy i zadania

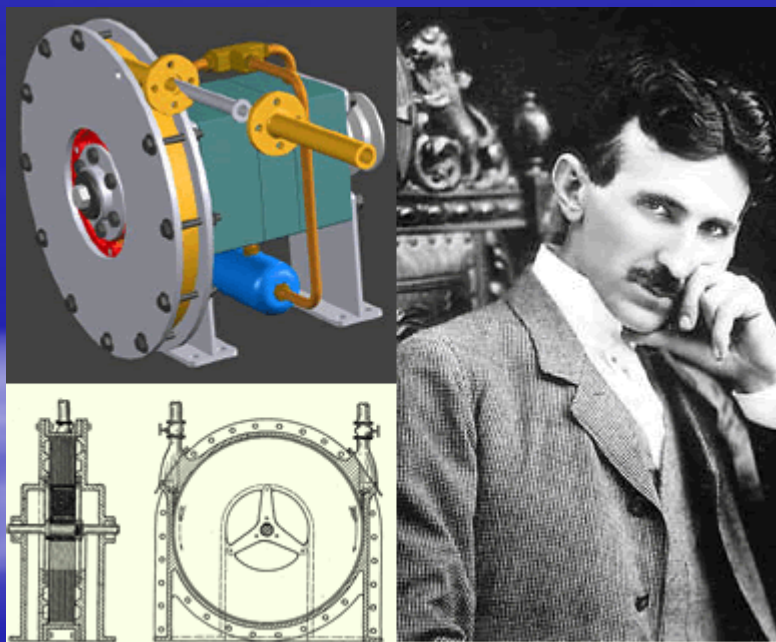
4) Rozwiązania innowacyjne

TESNIC Turbine

Patent 1913 w USA,
Nikola Tesla
Turbina talerzowa

200 dysków z 2 mm szczeliną między nimi

Na obwodzie znajdują się kierownice, które zapewniają styczny napływ na dyski.



Poza typowym wykorzystaniem sił oporu, powietrze przepływając pomiędzy dyskami oddaje energię dzięki siłom adhezji do powierzchni dysku. Dzięki temu sprawność turbiny zwiększa się.



4) Rozwiązania innowacyjne

TESNIC Turbine

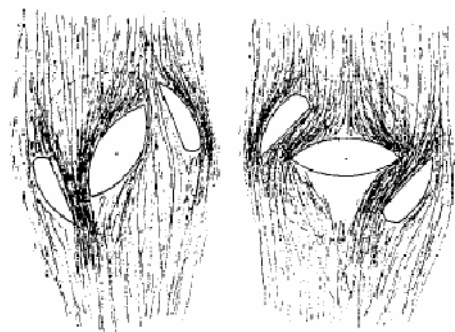
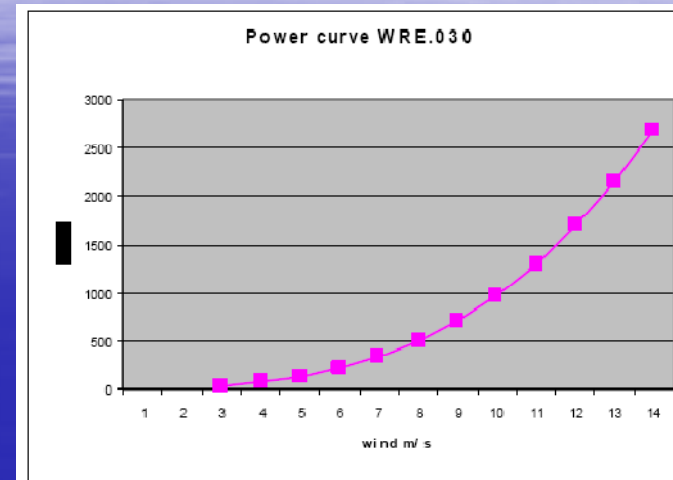
Typ	Moc	Wymiary	Ciężar
T10K	10 kW	H=3,3 m D=3,3 m	350 kg
T3600	3,6 kW	H=2 m D=2 m	150 kg
T2K	2 kW	H=1,5 m D=1,5 m	85 kg
T750	750 W	H=0,9 m D=0,9 m	50 kg

4) Rozwiązania innowacyjne



Hybrydowy wirnik łączący zasadę działania wirnika Savonius'a and Darrieus'a.

Bardzo cichy i odporny na silne wiatry.



Air current through the WindRotor

Model	WRE.007	WRE.030	WRE.060
Hub height	3 – 12 m.	3 – 12 m.	3 – 12 m.
Nominal output	750W	3000W	6000W
Rotor weight	~160 kg.	~400 kg.	~700 kg.
Starting velocity	2 m/s	2 m/s	2 m/s
Nominal velocity	14 m/s	14 m/s	14 m/s
Cut-out velocity	none	none	none
Rotor diameter	1.5 m.	3.3 m.	3.3 m.
Rotor height	1.5 m	2.2 m	4.4 m
Rotor rotat. velocity	2300-250 rpm at 14m/s	90/100 rpm at 14 m/s	90/100 rpm at 14 m/s



Supported by the
European Commission under the
Intelligent Energy - Europe
Programme



Domestic Roof-Mounted Wind Turbines



SWIFT 1500 W, D=2 m, wirnik 50 kg, max wiatr 65 m/s
Bardzo mały hałas <35 dB w warunkach nominalnych
Przy prędkości wiatru 5,5 m/s daje 200 W mocy



WINDSAVE 1000 W, D=1,75 m, wirnik 25 kg, max wiatr 52,5 m/s
32 dB 5 m za łopatkami przy wietrze 5 m/s,
52 dB przy 7 m/s

5) Dostępność na rynku

Międzynarodowe Spotkanie Kłastrów Ekoenergetycznych



1275 Euro

700 Euro

1300 Euro



640 Euro



Dane techniczne:

Moc: 350 Watt (12,5m/s)
Start przy wietrze 3,5m/s
Średnica wirnika: 1,20 m
Obroty: 500 - 1300rpm
Waga: 11,5 kg

12 Maj 2010, 12⁰⁰ - 14⁰⁰

Wiatraki – podstawy i zadania

TYP	MOC[W]	V_nom [m/s]	V_roz [m/s]	MASA [kg]	fi [m]	[W/m ²]
Oś pozioma:						
SouthWest Wind (k)	400	12	3	16	1,2	354
Inclin (k)	600	11	3	40	2,34	140
Geiger (k)	700	11	3	38	2,8	114
Oś pionowa Savoniusa:						
Heynek (s)	400	9	2	42	1,3x1,5	205
SWV-500 (s)	500	10	2	130	1,4x2,2	162
SWV-1000 (s)	1000	12	2	180	1,8x2,2	253
Oś pionowa Darrieus'a:						
Turby (d)	2500	14	2	136	2x2,65	472
FleyMedica (d)	500	12	3	35	1,2x2,3	181
Oś pionowa Tesla:						
T3600	3600	14	3	150	2x2	900
T2K	2000	14	3	85	1,5x1,5	890
T750	750	14	3	50	0,9x0,9	925

Wnioski

- 1) Na rynku dostępne są zarówno wiatraki o osi poziomej jak i pionowej wszystkich typów
- 2) Wiatraki są projektowane na wysokie prędkości wiatru 10 – 14 m/s
- 3) Prędkość startu jest mniejsza dla wiatraków o osi pionowej
- 4) Wiatraki o osi pionowej są cięższe
- 5) Nie jest regułą, że uzysk energii z wiatru (W/m^2) jest większy z wiatraków o osi poziomej
- 6) Największą efektywność uzyskuje się z wiatraka o osi pionowej typu Tesli

6) Kierunki planowanych badań

Założenia do badań i projektowania turbin wiatrowych dla regionu pomorskiego

- 1) Nominalna prędkość wiatru 6-8 m/s (a nie 12-14 m/s)
Powyżej tej prędkości dopuszczalny jest spadek sprawności
- 2) Mała prędkość startowa wiatraka
Duża powierzchnia płatów wiatraka
Wskazanie na turbinę o osi pionowej
Turbina o osi poziomej powinna być wielo-łopatowa
- 3) W konsekwencji wiatrak będzie wolno obrotowy co oznacza potrzebę zastosowania przekładni do generatora
- 4) Moc wiatraka rzędu 3 kW

6) Kierunki planowanych badań

Podstawowe wyzwanie – wiatrak musi być **tani**

Przekłada się to na minimalizację ciężaru

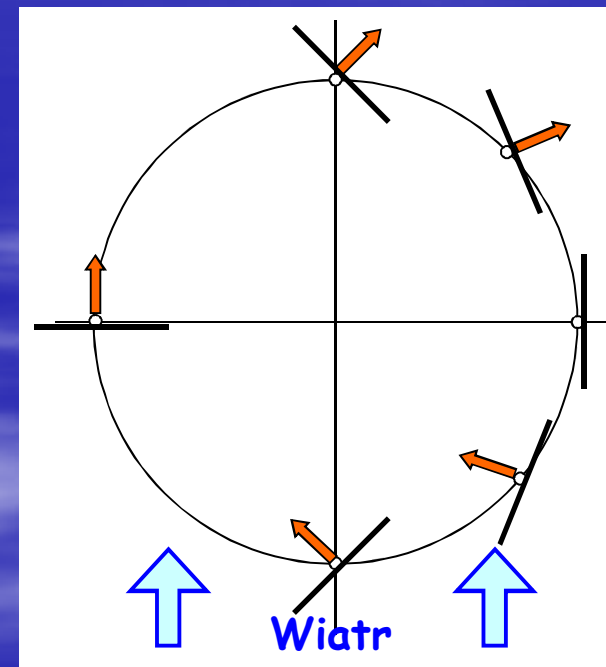
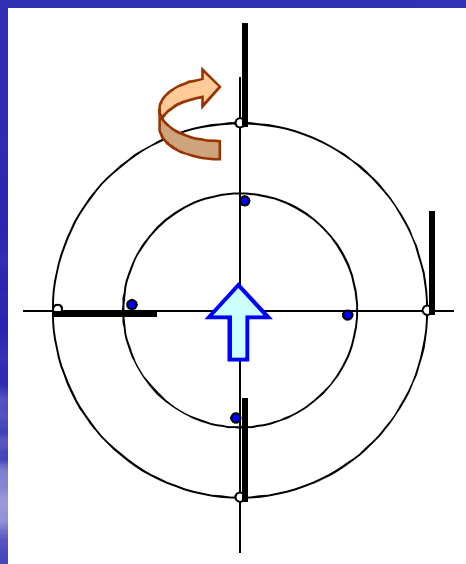
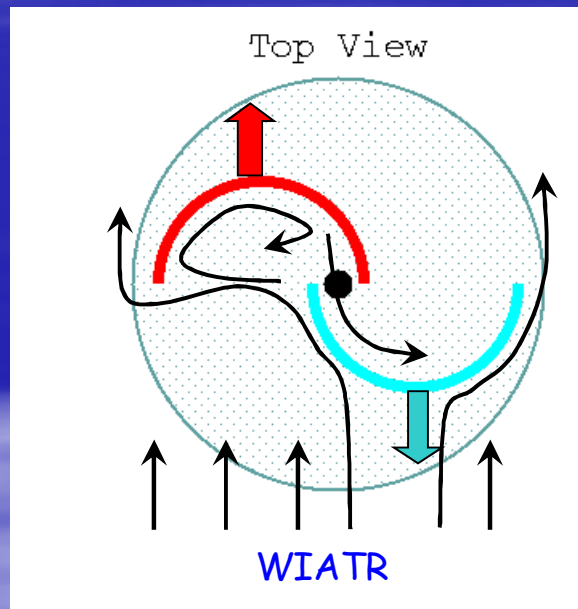
Lekki wirnik – zastosowanie nowoczesnych materiałów
(tworzywa, kompozyty)

Lekki generator – tradycyjny wysokoobrotowy (przekładnia)
z magnesami neodymowymi (3 kW – 13 kg)

Lekki i składany maszt – 5 – 7 m, (tworzywa, kompozyty)

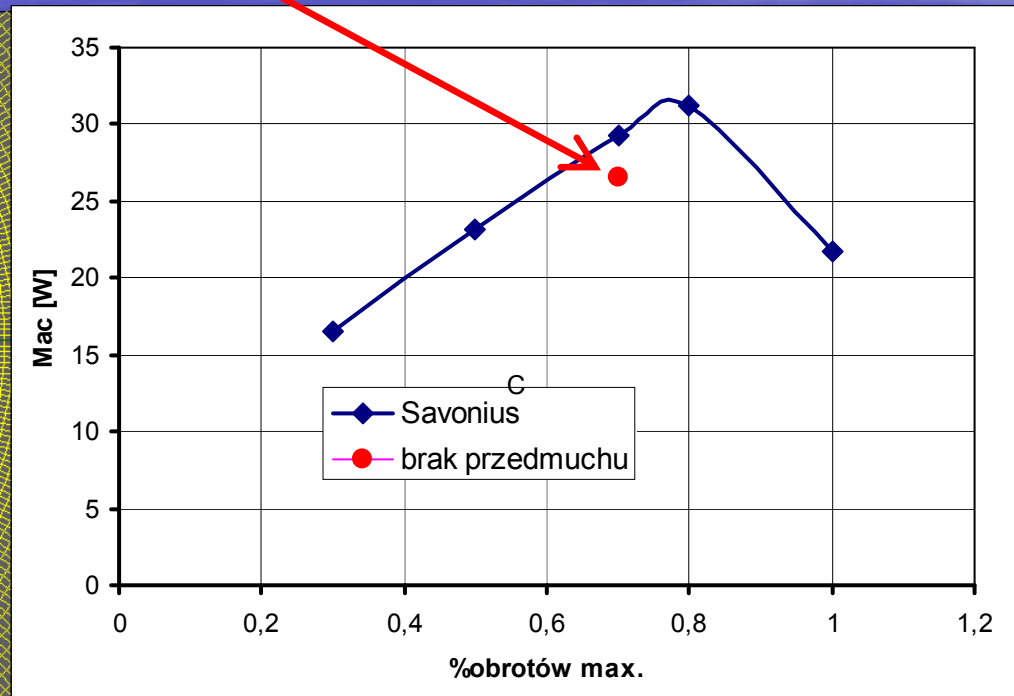
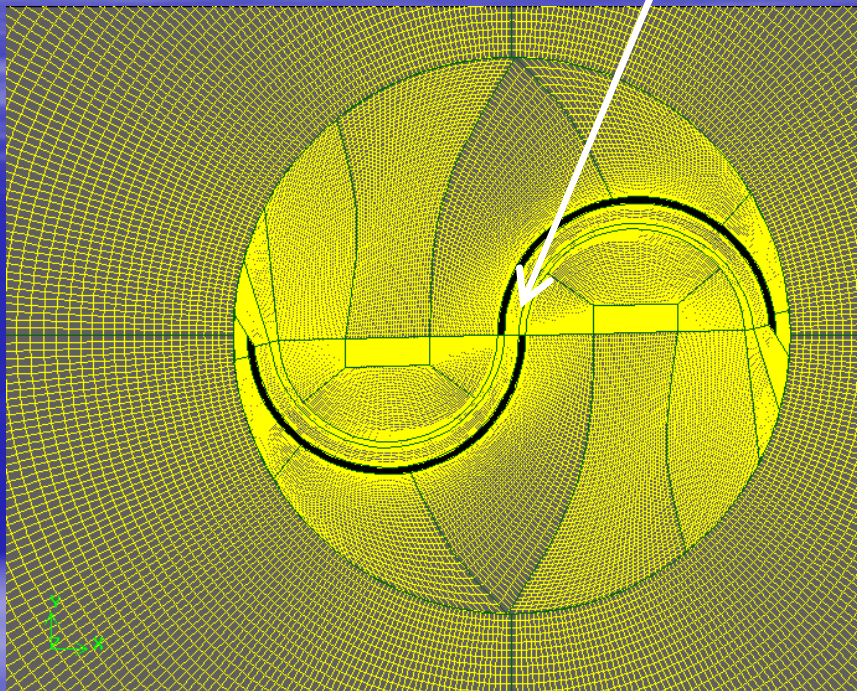
Wiatrak pionowy

- Zastosowanie lekkich materiałów (tekstylnych),
- Zwiększenie zakresu pozytywnego działania siły napędowej



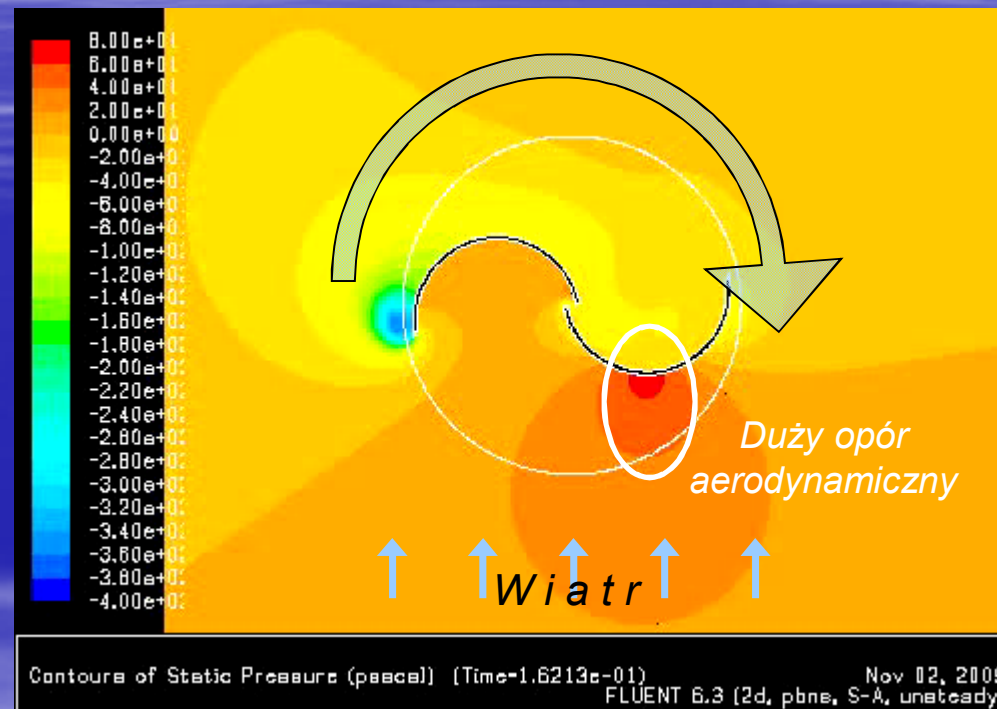
Wirnik Savoniusa – symulacje numeryczne

Możliwość zamknięcia przedmuchu

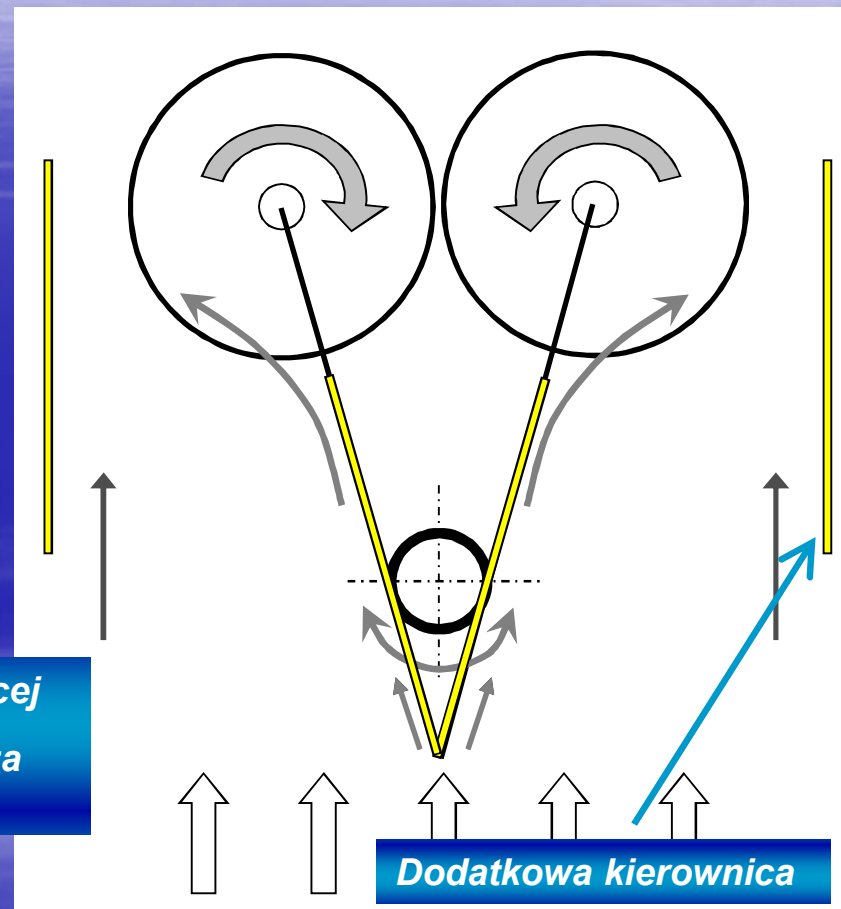
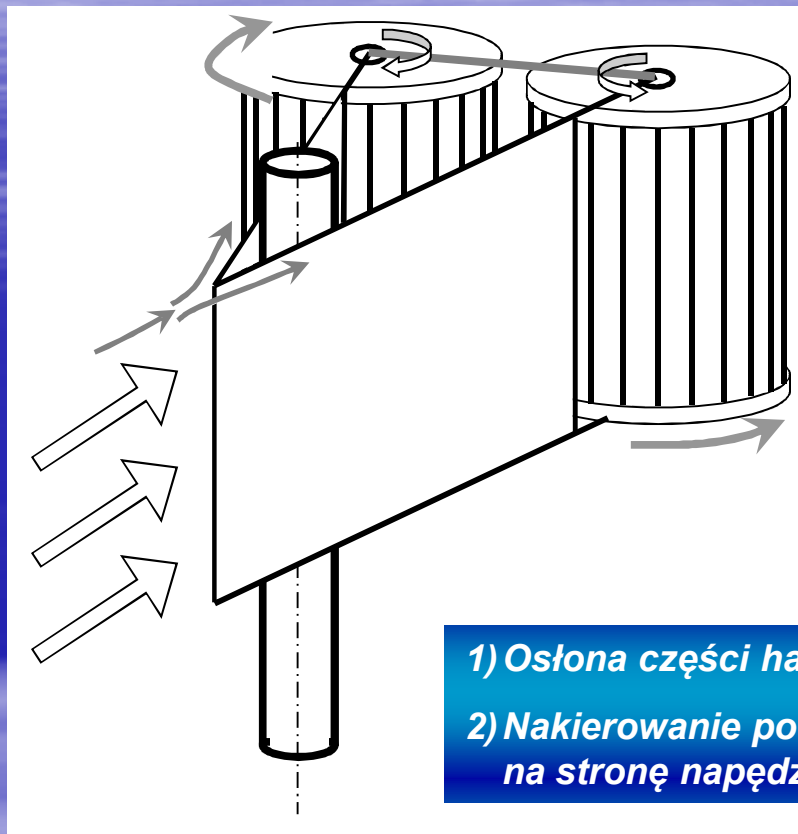


Wirnik $\Phi=0,4\text{ m}$, $H=1\text{ m}$

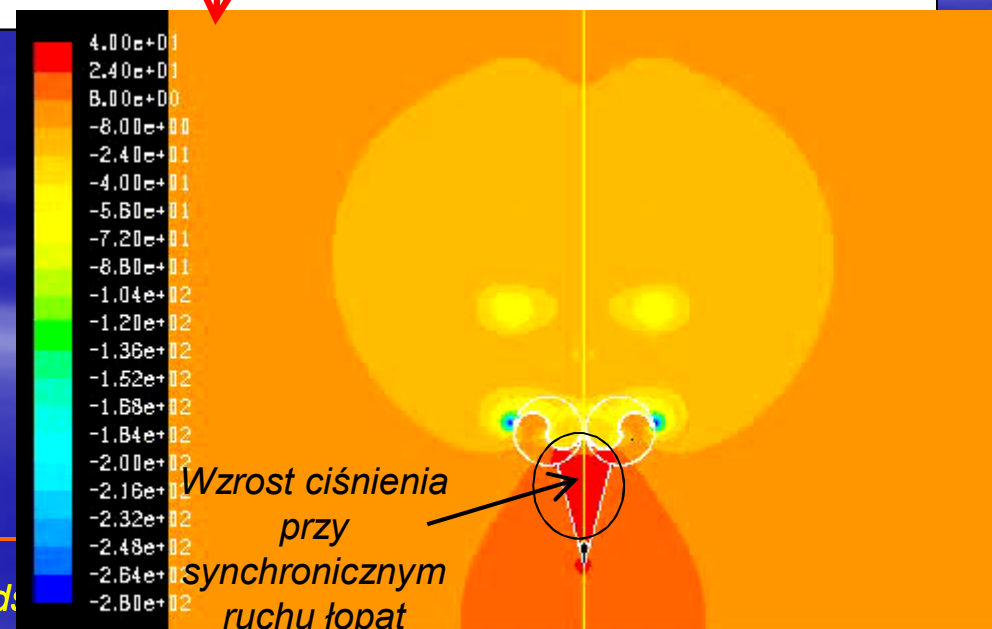
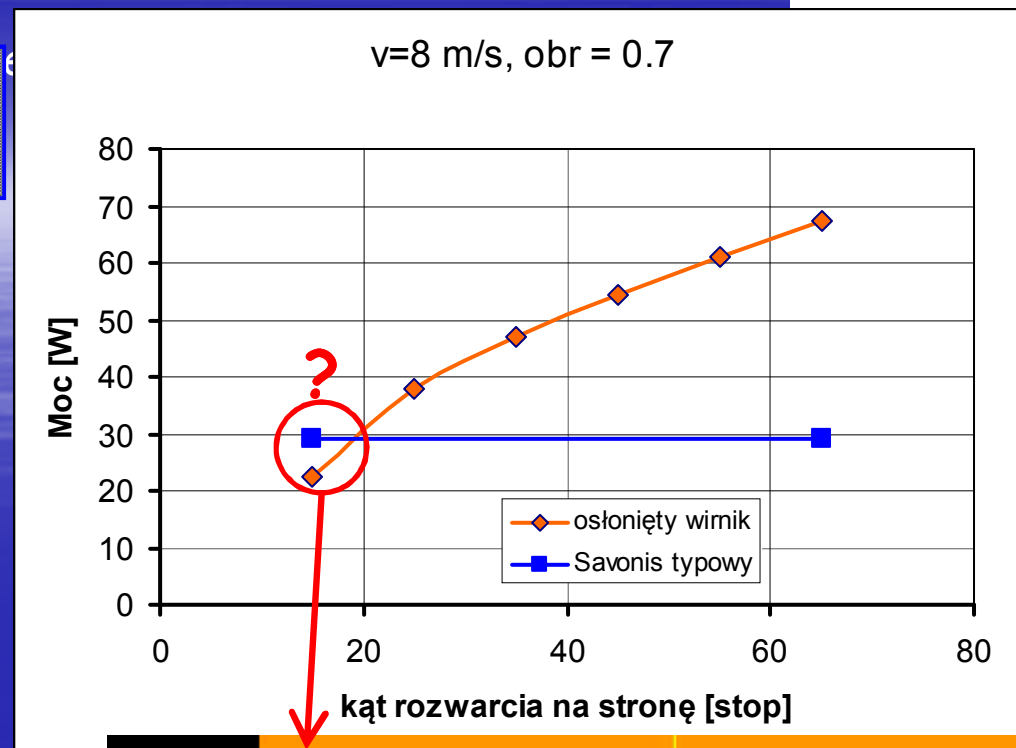
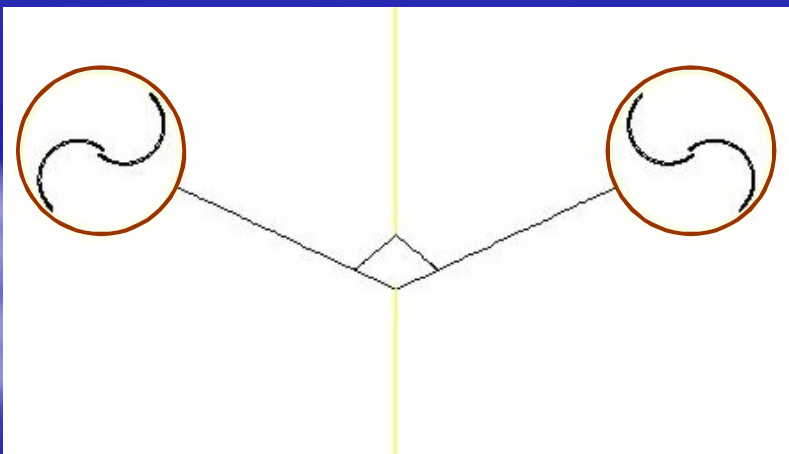
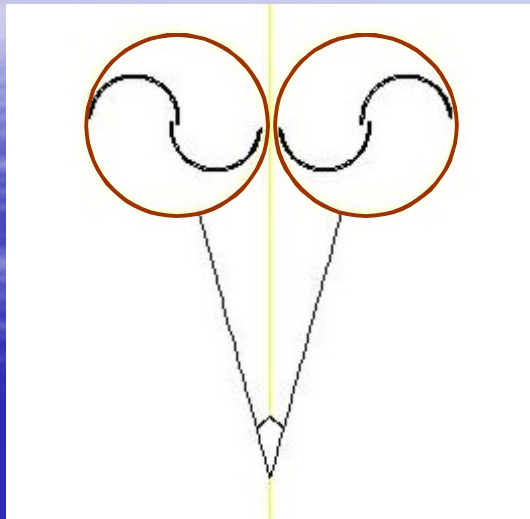
$V = 8\text{ m/s}$



Zgłoszenie patentowe IMP PAN



Regulowany kąt kierownicy strumienia



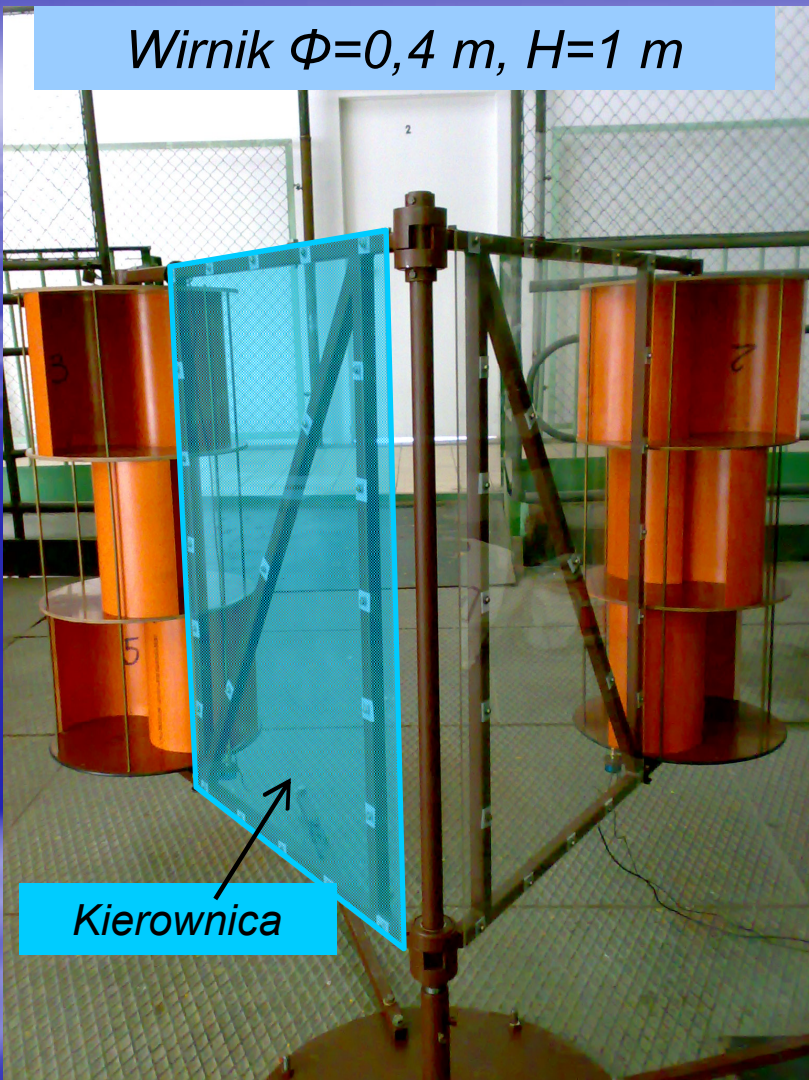
12 Maj 2010, 12⁰⁰ - 14⁰⁰

Wiatraki – pod

Contours of Static Pressure (pascal) [Time=4.2754e-01]

Dec 19, 2009
 FLUENT 6.3 (2d, pbns, S-A, unsteady)

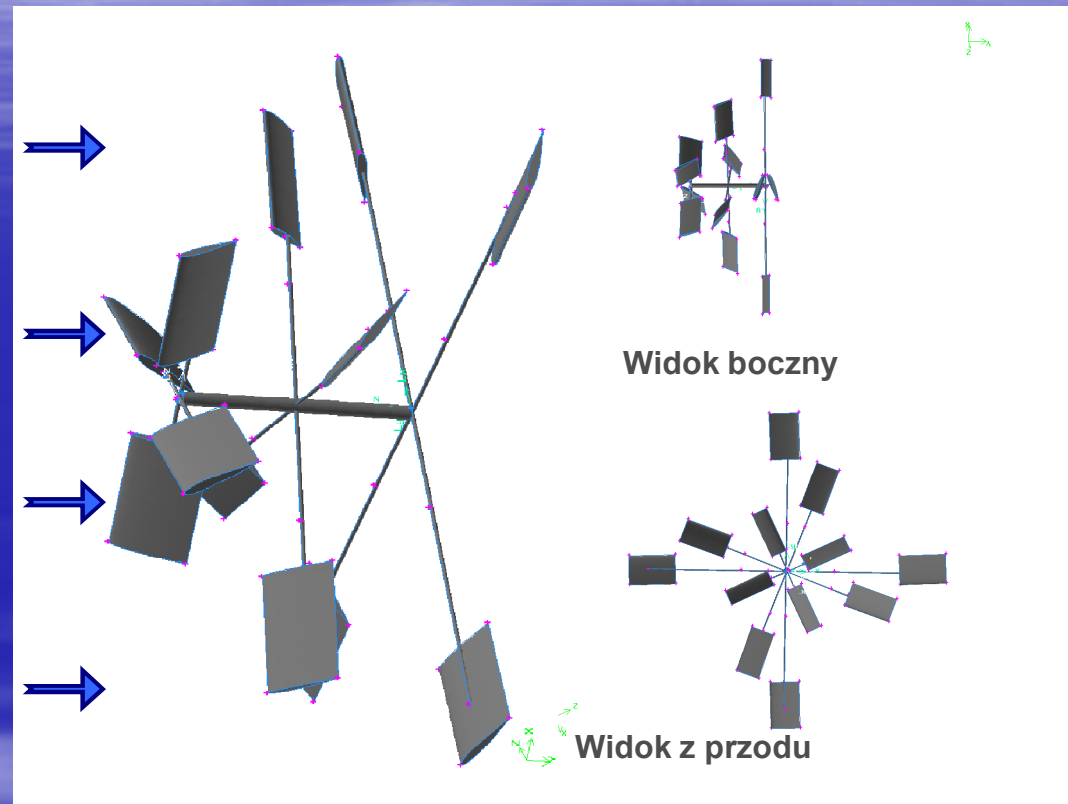
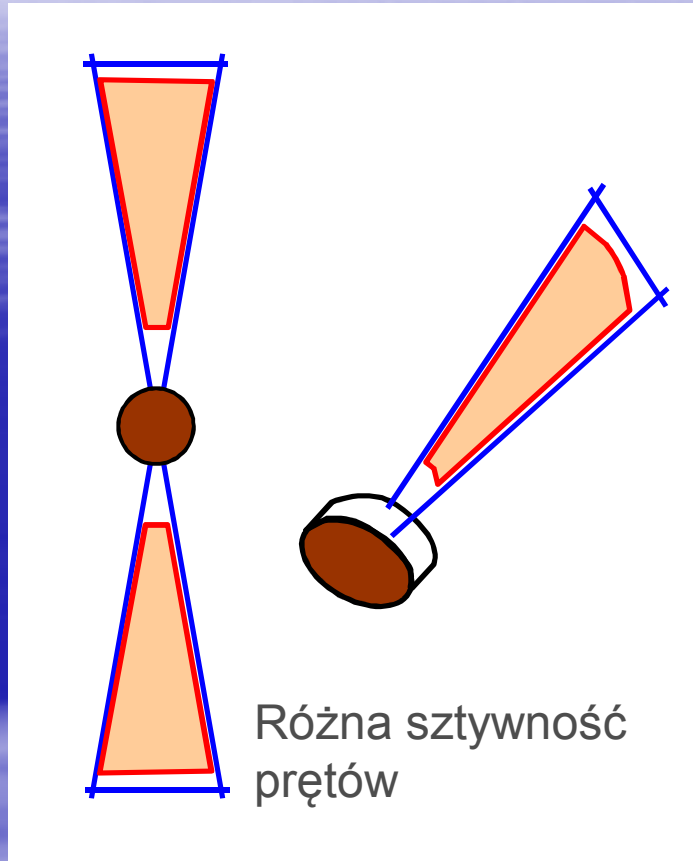
Wirnik $\Phi=0,4\text{ m}$, $H=1\text{ m}$





Wiatrak o osi poziomej – samonastawny

Lekka i tania konstrukcja



Każdy płat na własnym pręcie – skręcanie i zginanie

Możliwości badań doświadczalnych

1) Obecnie badania modeli w strudze powietrza o

$$\varphi = 800 \text{ mm}$$

2) Złożony wniosek w POIG 5.1, w którym zawarto zbudowanie nowoczesnego tunelu aerodynamicznego do badań wiatraków w strumieniu 2m x 2m

3) We współpracy z firmą ENERGA planujemy budowę stanowisk:

- do badań szczegółowego badania generatorów, sterowników i inwerterów
- mobilne laboratorium do badań wirników

Uwagi końcowe

- 1) Zmniejszenie kosztów wiatraków małej mocy jest wyzwaniem dla innowacyjnych rozwiązań oraz dla zastosowania nowoczesnych materiałów. Technologie masowego wytwarzania będą tu mieć duże znaczenie.
- 2) Energetyka odnawialna jest i będzie dodatkowym źródłem mocy. Wielkie moce zainstalowane w wiatrakach są wyzwaniem dla sieci energetycznej.
- 3) Nasz udział w dynamicznym rozwoju małej energetyki wiatrowej wymaga szybkich i skutecznych działań w ścisłej współpracy specjalistów od mechaniki – materiałów – elektrotechniki.



Bezpieczeństwo !!!!!

Wysokie wymagania projektowe



British Standards:

BS EN 61400 Part 2: (1996)

'Safety of Small Wind Turbines'