Centrum Badawcze PAN
Konwersja Energii i Źródła Odnawialne
KEZO

Badania i aplikacje turbin wiatrowych małej mocy

XVII Ogólnopolski Festiwal Ekoenergetyki
OPOLE 2025

Dr hab. inż. Ryszard Szwaba
ryszard.szwaba@imp.gda.pl

Centrum Badawcze PAN
Konwersja Energii i Źródła Odnawialne
KEZO

IMP PAN GDAŃSK

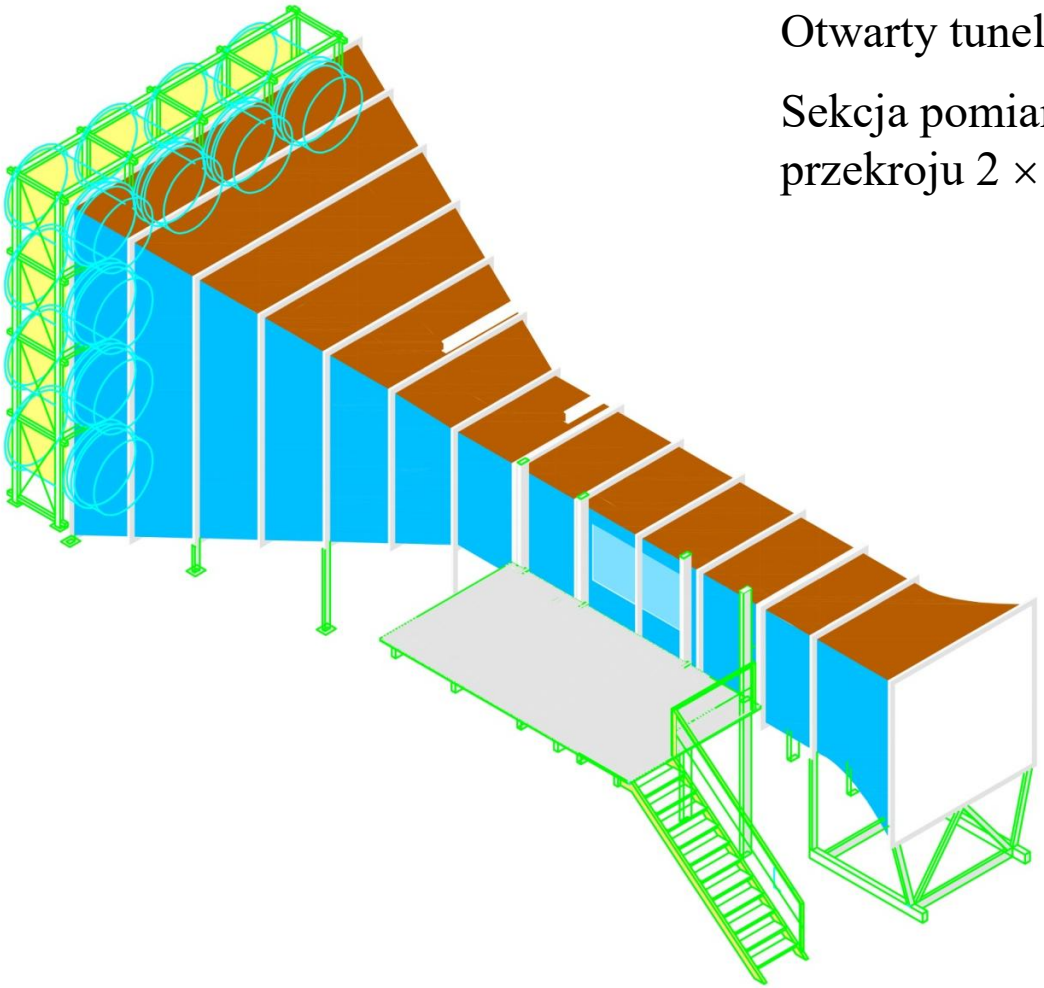
Plan prezentacji:

- Wprowadzenie
- Tunel aerodynamiczny KEZO
- Aplikacje turbin wiatrowych
- Wnioski

Instalacje badawcze

CB KEZO Jabłonna

Tunel aerodynamiczny do pracy ciągłej (KEZO w Jabłonnie)



Otwarty tunel aerodynamiczny do pracy ciągłej

Sekcja pomiarowa o przekroju 2 × 2 m

Zakres prędkości: 0 - 40 m/s

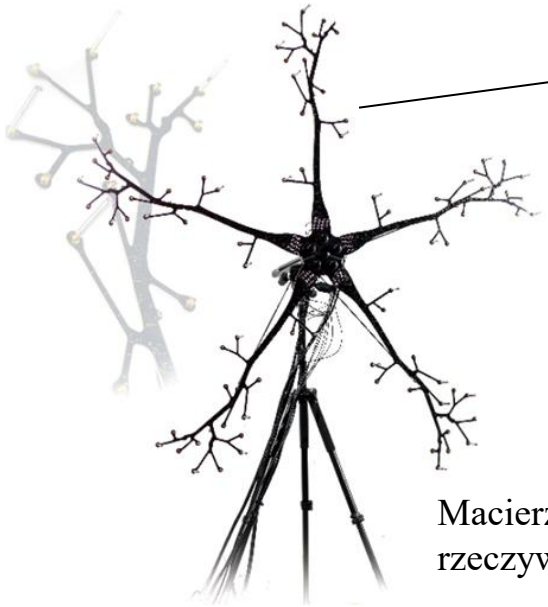
Specjalizowane systemy pomiarowe dla turbin wiatrowych:

- Pomiar sił i momentów działających na model,
- Pomiary wirników (ω, P, M)
- Pomiar rozkładu prędkości w wybranym (ustawianym) przekroju
- pomiary odkształceń (szybkie, optyczne)

Badania aerodynamiczne, prawidłowe pomiary charakterystyk turbin wiatrowych, badanie konstrukcji wystawionych na przepływ.

DIAGNOSTYKA AKUSTYCZNA

Pojedynczy mikrofon



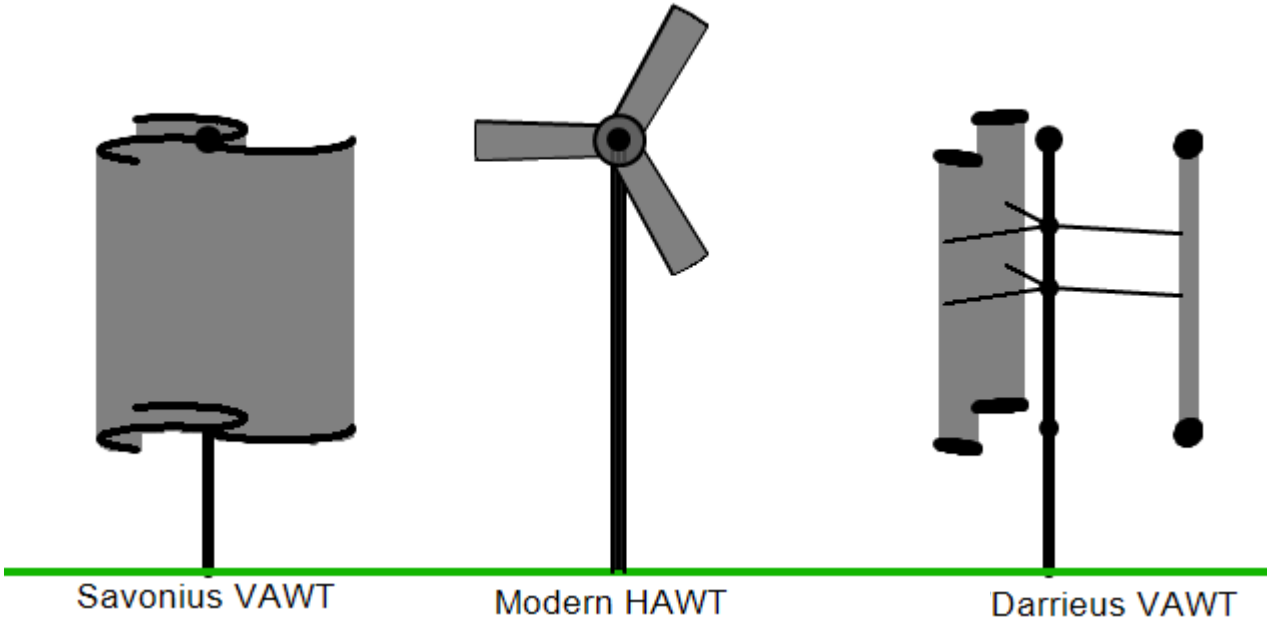
Macierz mikrofonów – rzeczywiste wykonanie

Laboratorium wiatrakowe IMP PAN
Mapa hałasu

Badania modeli wiatraków o śr. do d≈1.4 m, Charakterystyki pracy (ω, P, M) – pomiar prędkości obrotowej, mocy i momentu obr. – z generatorem lub bez

Podstawowe typy TW

- Turbina wiatrowa napędzana siłą oporu (VAWT)
- Turbina wiatrowa napędzana siłą nośną (HAWT)
- Turbina wiatrowa napędzana siłą nośną (VAWT)



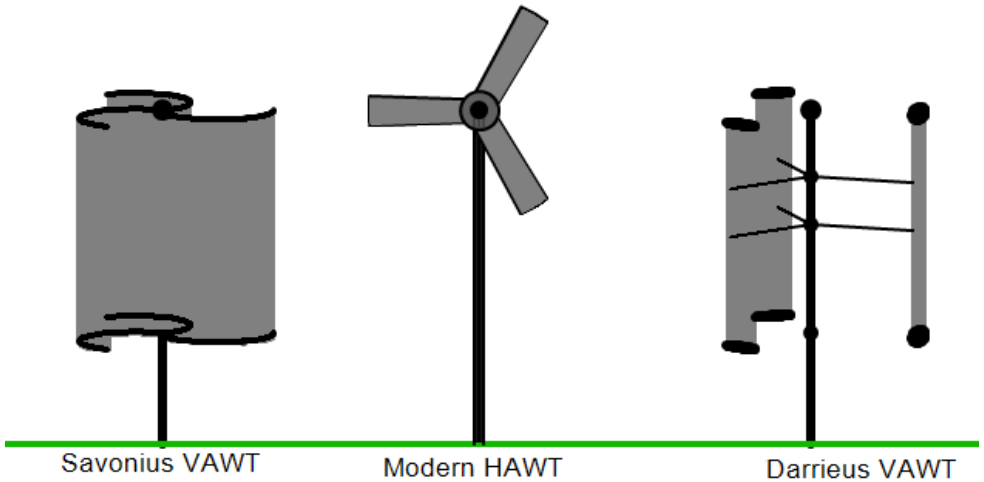
Moc wiatru

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A u^3$$

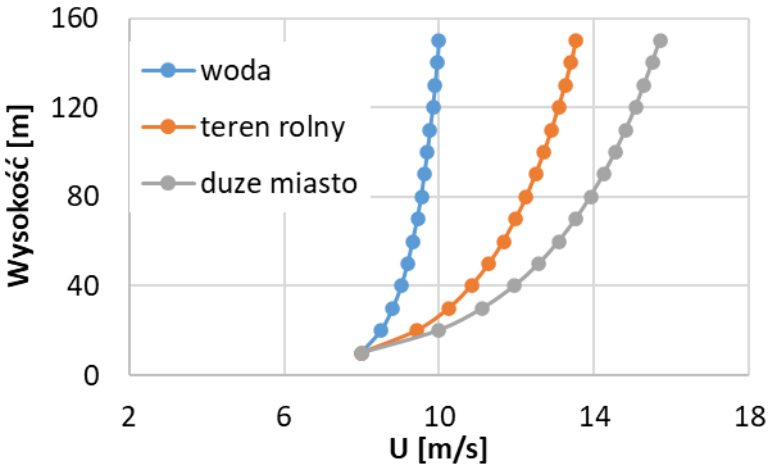
$$P_{WT} = \frac{1}{2}\rho u^3 \eta$$

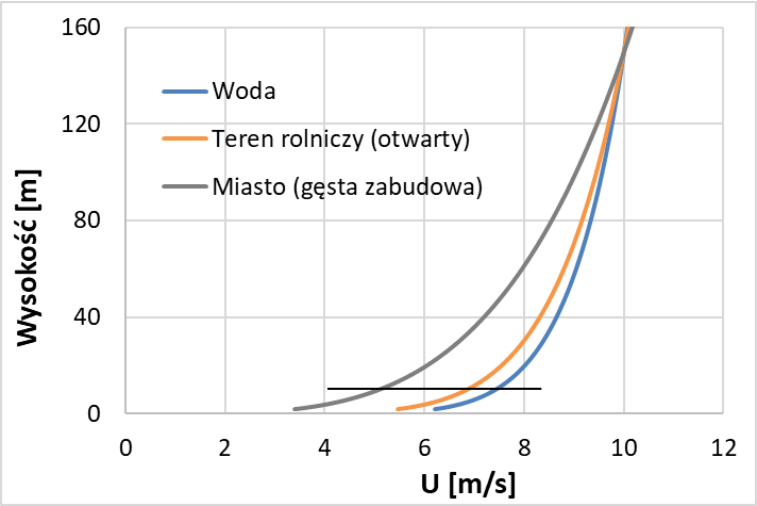
Zakładając, że u = 12 m/s, to $P_w \approx 1$ kW, $\eta \approx 0.25$- 0.35

Stąd dla P_{WT} of 1 kW potrzebujemy ok. 3 do 4 meterów kwadratowych pow. roboczej wiatraka

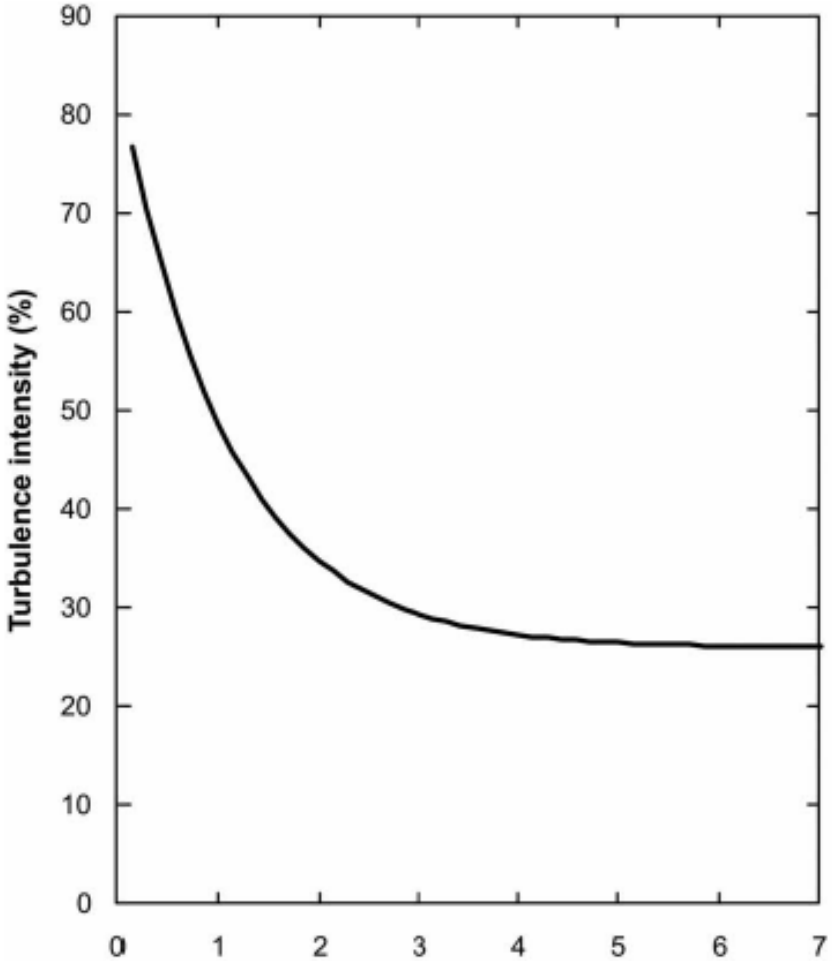


Średnia wysokość przeszkód w środowisku wiejskim, H=10 -15 m



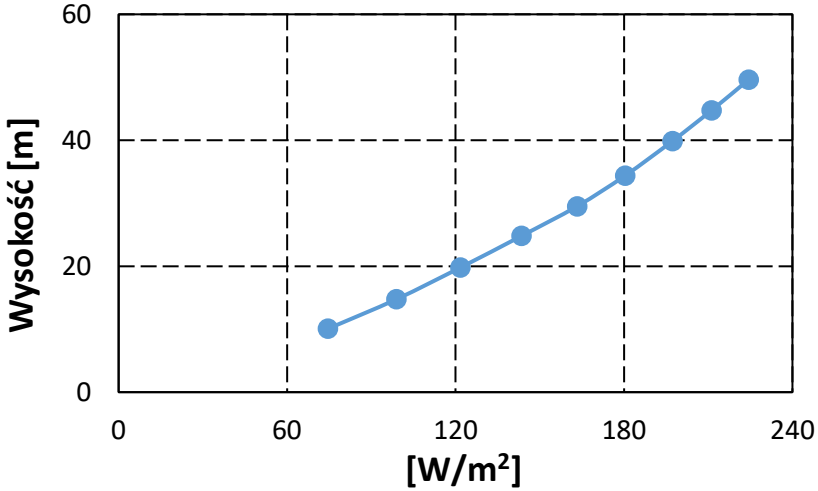


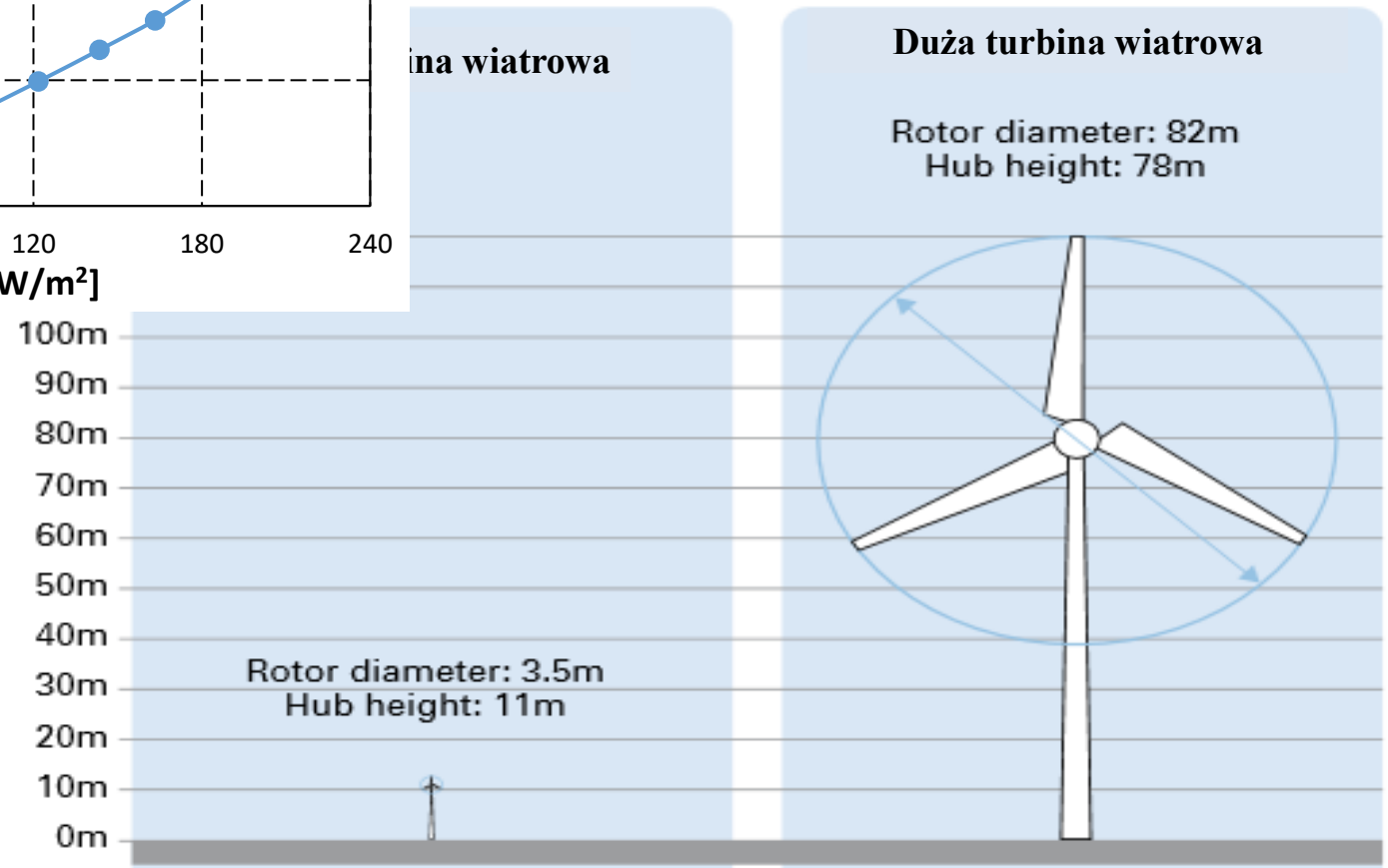
Turbulencja



Wysokość znormalizowana przez średnią lokalną chropowatość

Wykres zależności energii wiatru od wysokości, dla V_0=5m/s at H=10 m



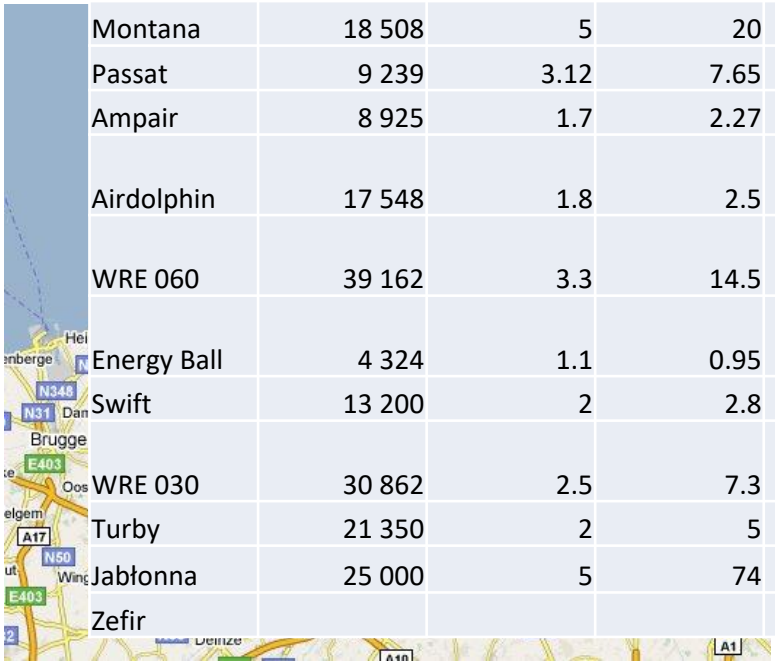


Wielkość rzeczywista		
Moc znamionowa	2.5 kW	1,650 kW
Produkcja energii	3.3 MWh/year	4,300 MWh/year
Produktywność	**6%**	**27%**

Wyniki pomiarów różnych typów turbin wiatrowych

Netherland, Zeeland

Name	Price	Dia.	Surface	Power	Energy production	Cost of kWh for 10 years			
WT					apr-sep 6 months	Small WT	Off-shore	On-shore	Small WT
	Euro	m	m^2	kW	kWh	Euro/kWh	PLN/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh
Skystream	10 742	3.7	11	1.8	776	0.69	350	280	3 470
Montana	18 508	5	20	2.7	1164	0.80			3 986
Passat	9 239	3.12	7.65	0.95	234	1.98			9 898
Ampair	8 925	1.7	2.27	0.6	75	5.97			29 832
Airdolphin	17 548	1.8	2.5	0.6	123	7.15			35 764
WRE 060	39 162	3.3	14.5	2	213	9.22			46 091
Energy Ball	4 324	1.1	0.95	0.1	21	10.32			51 617
Swift	13 200	2	2.8	0.9	27	24.51			122 557
WRE 030	30 862	2.5	7.3	0.8	62	24.96			124 784
Turby	21 350	2	5	1	42	25.49			127 432
Jabłonna	25 000	5	74	12	10138	**0.60**			2 932
Zefir					4 years				



Średnia prędkość wiatru – 3.7 m/s

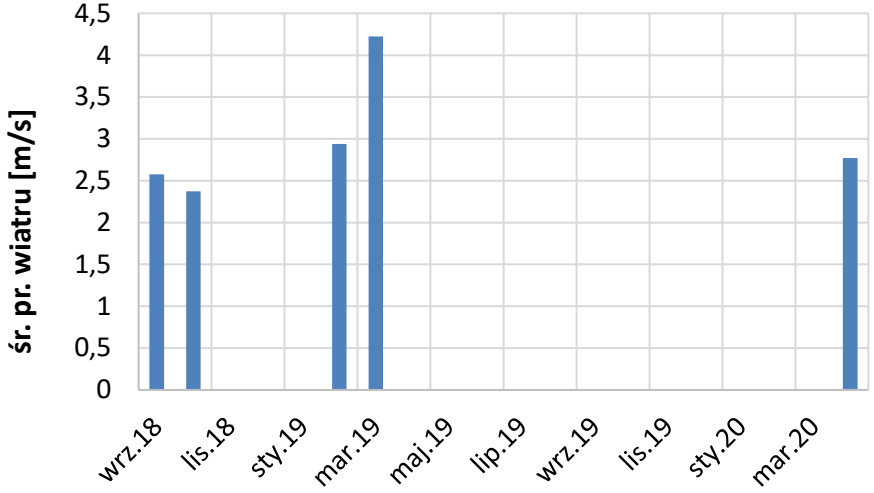
Turbiny wiatrowe na siłę nośną

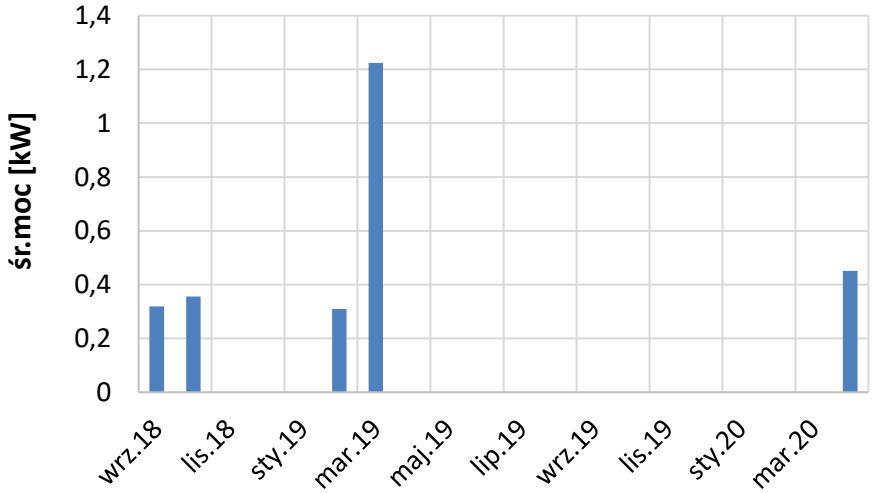
Wiatrak o osi poziomej KEZO – Jabłonna, 12 kW

Wiatrak o osi pionowej, typu Darrieus, 3 kW

Turbina wiatrowa napędzana siłą nośną - HAWT

HAWT
KEZO – Jabłonna,
Pn = 12 kW





Średnia prędkość wiatru i moc turbiny w tym okresie – 3 m/s, 0.53 kW

Rzeczywista produkcja energii, 5 miesięcy – 2.0 MWh → produktywność ≈ 4.4%,

Produktywność czyli - Godziny pracy odpowiadające pełnemu obciążeniu

Podsumowanie:

- **Duże turbiny wiatrowe (>2 MW) o osi poziomej (3 łopaty) są dobrze rozwiniętą i efektywną technologią,**
- **Korzystają one ze stabilnych i dobrych warunków wiatrowych, które panują na wysokości powyżej 100 m, tj. powyżej warstwy granicznej typowego terenu.**
- **Mniejsze jednostki nie mają takiego komfortu pracy i dlatego współczynnik wydajności (produktywności) jest dużo niższy.**
- **Małe turbiny wiatrowe są obecnie w fazie silnego rozwoju i bez pomocy publicznej (jak to miało miejsce dla PV – system net-metering) ich rozpowszechnienie będzie mocno utrudnione.**
- **Przede wszystkim, lokalizacja musi być odpowiednia, tj. średnia prędkość wiatru na niskich wysokościach w ciągu roku powinna być ok. 4 m/s.**

Centrum Badawcze PAN
Konwersja Energii i Źródła Odnawialne
KEZO

IMP PAN GDAŃSK

Dziękuję bardzo za uwagę