

# **Projekt Małej Elektrowni Wiatrowej (MEW)**

**dr inż. Krzysztof Rafał**

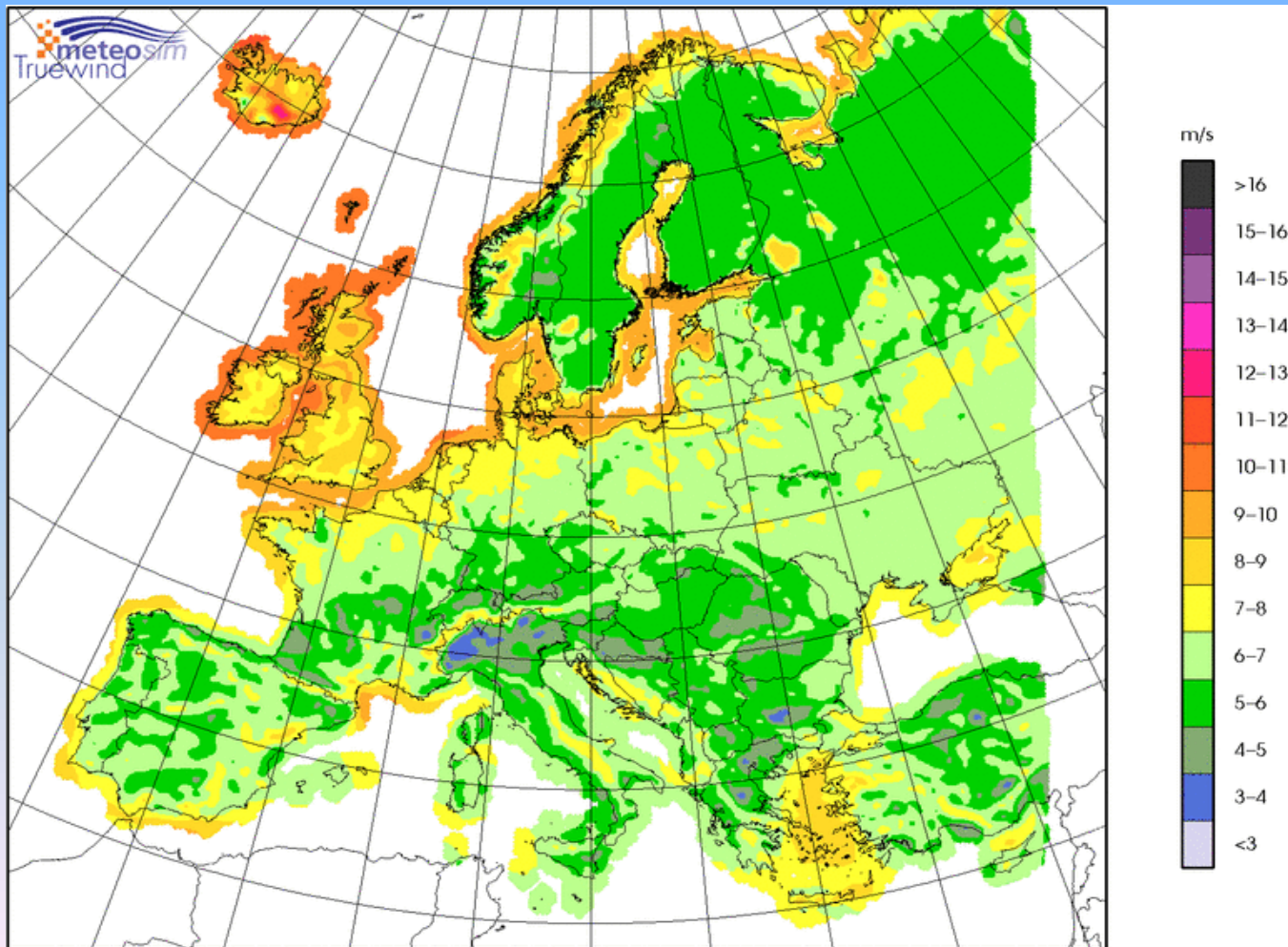


# Plan prezentacji

- Charakterystyka MEW
- Historia projektu
  - Projekty przekształtników
  - Projekt MEW 6kW
- Założenia projektu
  - Turbina
  - Generator
  - Falownik
  - Monitoring
- Podsumowanie



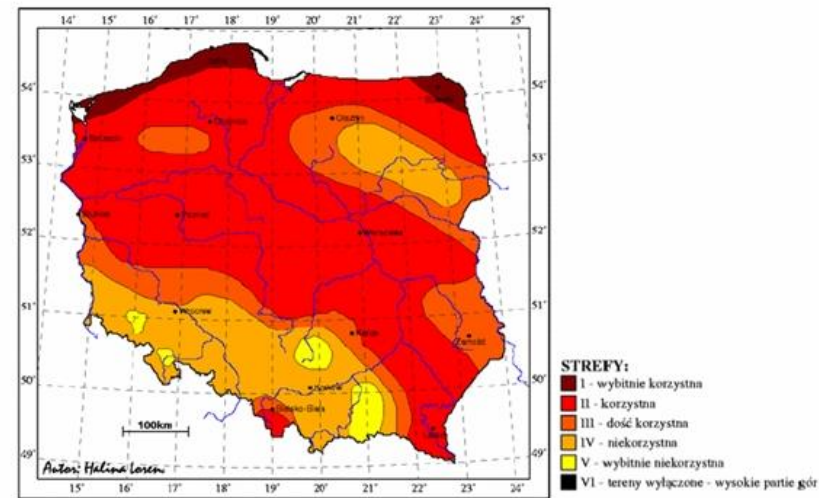
# Zasoby wiatru



2008 mean wind speed at 80m

# Energia wiatru

- Małe wysokości
  - Efekt warstwy przyziemnej
  - Turbulencje
- Szorstkość terenu



Nr i nazwa strefy	Energia wiatru na wys. 10 m	Energia wiatru na wys. 30 m
I - bardzo korzystna	> 1000	> 1500
II - korzystna	750 - 1000	1000 - 1500
III - dość korzystna	500 - 750	750 - 1000
IV - niekorzystna	250 - 500	500 - 750
V - bardzo niekorzystna	< 250	< 500
VI - szczytowe partie gór	tereny wyłączone	tereny wyłączone

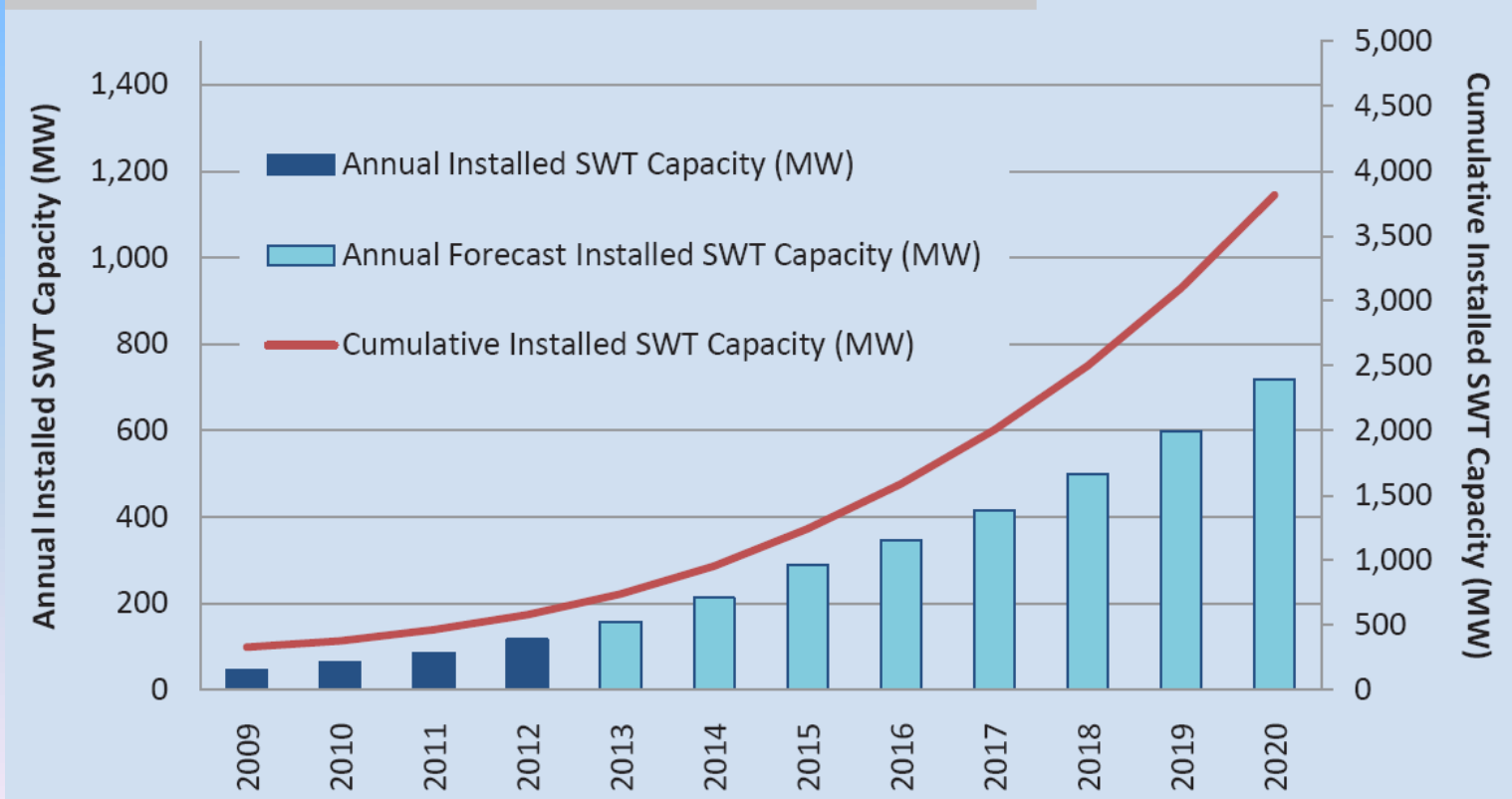
Źródło: Lorenc H. 2001, IMGW

Klasa szorstkości	Teren	Energia [%]
0	Powierzchnia wody	100
1	Tereny uprawne	52
2	Nieliczne przeszkody	39
3	Wioski, las	24
4	Miasto	13

# Rynek

WWEA World Wind Energy Association  
„Small Wind World Report”  
<http://www.wwindea.org>

### SWT Installed Capacity World Market Forecast 2020



# Rodzaje turbin

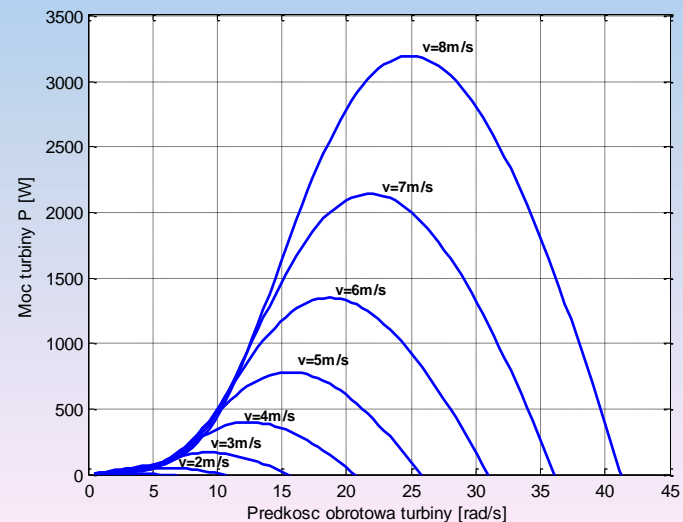
J.T. Szuster „Silniki wiatrowe o pionowej osi obrotu”  
Ogólnopolskie forum odnawialnych źródeł energii

Comparison of different wind rotors at $V=7\text{m/s}$ , $P=10\text{kW}$	<i>HAWT Classical</i>	<i>VAWT based on aerodynamic resistance</i>	<i>VAWT SAVONIUS</i>	<i>VAWT DARRIEUS -Classical</i>	<i>VAWT DARRIEUS -CYCLOGIRO</i>
ROTOR DIMENSION [m <sup>2</sup> ]	106	595	238	125	106
ROTOR RESISTANCE [kN]	2,5	14,3	5,7	3,0	2,5
AREA OF BLADES [m <sup>2</sup> ]	6	1904	448	26,6	10,6
ROTOR WEIGHT [kg]	80	10000	2000	2000	1000
CONTROL	easy	v. difficult	v. difficult	easy	easy
RELIABILITY	v. high	low	v. low	v. high	high
DURABILITY	v. high	low	low	v. high	high
MAINTENANCE	v. easy	difficult	v. difficult	v. easy	easy
TECHNOLOGY	difficult	v. easy	v. easy	difficult	difficult

# Mała turbina

- Moc zależna od trzeciej potęgi prędkości wiatru
  - Trudności z zabezpieczeniem (MEW najczęściej nie posiadają regulacji kąta natarcia łopat)
- Zależność mocy maksymalnej od prędkości obrotowej
  - Konieczność stosowania układów regulacji prędkości obrotowej

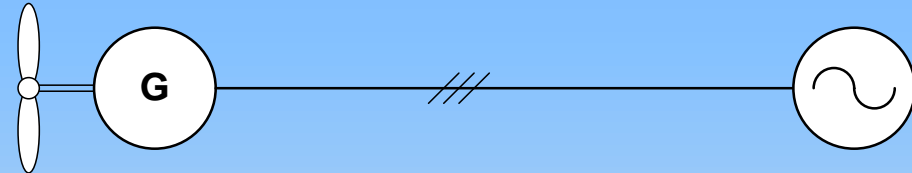
## Solarus SLS-EL-3000



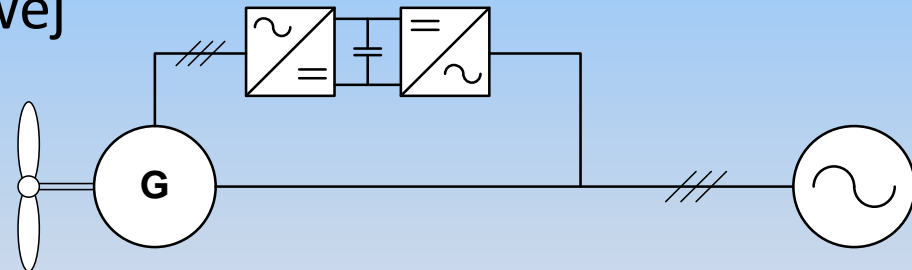
# Rodzaje generatorów

- MEW współpracujące z siecią (on-grid)

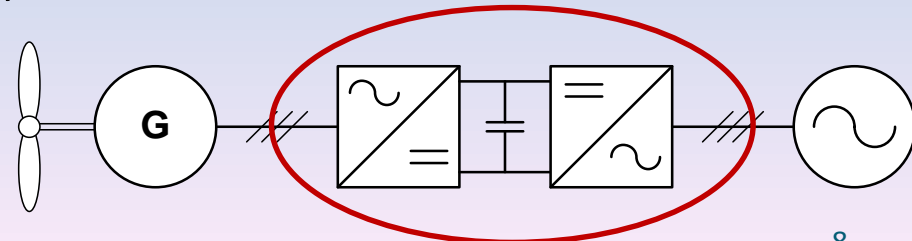
- Bezpośrednie połączenie generatora, stała prędkość obrotowa



- Regulacja prędkości obrotowej falownikiem w obwodzie wirnika maszyny dwustronnie zasilanej



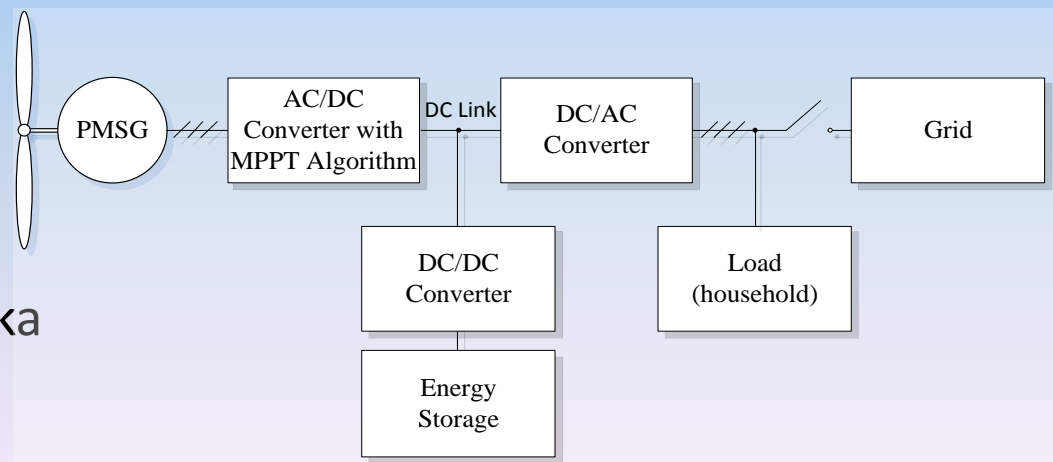
- Układ z pełnym falownikiem, niezależna regulacja generatora i prądu sieci





# Zasobnik energii

- MEW w systemach autonomicznych (off-grid)
  - Wyłącznie generatory z magnesami trwałymi
  - Proste systemy
    - Prostownik diodowy doładowujący akumulator
    - Falownik korzystający ze zmagazynowanej energii
  - Większe systemy
    - Aktywny prostownik z MPPT
    - Dwukierunkowy przekształtnik zasobnika



# Problemy MEW

- Niska akceptacja społeczna
- Trudności z uzyskaniem pozwolenia na budowę
- Wysokie koszty instalacji (głównie infrastruktury)
- Niska wysokość instalacji
  - Niskie średnie prędkości wiatru
  - Wysokie turbulencje
- Brak przystosowania charakterystyk do niskich prędkości wiatru

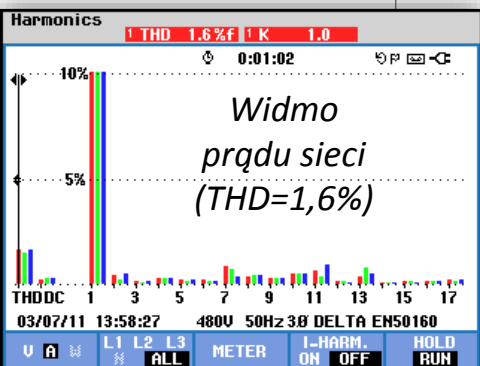
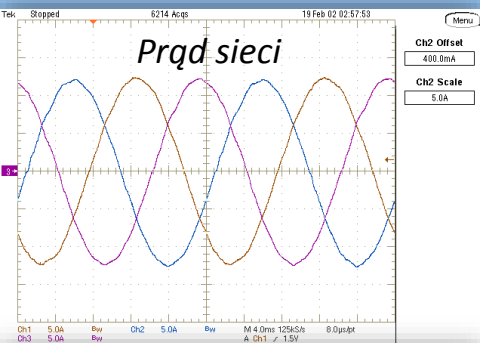
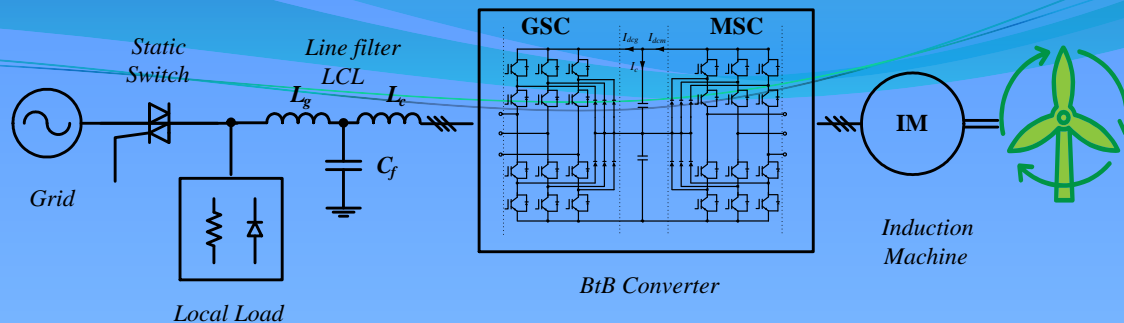


# Historia projektu

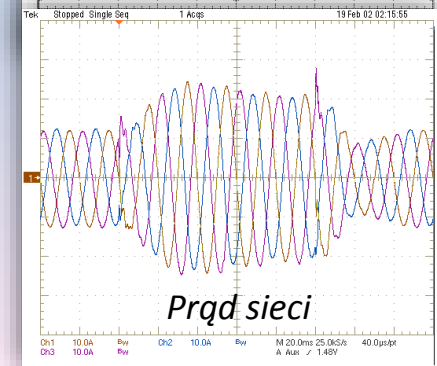
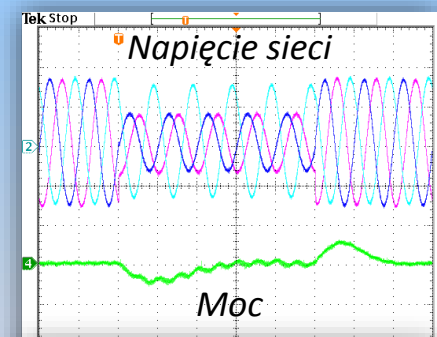
- Liczne projekty zrealizowane w latach 2010-2014 w Zakładzie Elektroniki przemysłowej na Wydziale Elektrycznym PW
- Opracowano rozwiązania:
  - Niskoobrotowy generatora z magnesami trwałymi umożliwiającego pracę bez przekładni
  - Wirnik dostosowany do niskich prędkości wiatru
  - Przekształtnik (falownik) przekazujący energię do sieci z zachowaniem wymagań normatywnych
  - Algorytmy śledzenia mocy szczytowej MPPT

# Falowniki

- Niskie zniekształcenia harmoniczne prądu
- Odporność na zapady napięcia
- Wektorowe metody regulacji momentu generatora



S. Piasecki, M. Jasiński, K. Rafał, M. Korzeniewski, A. Milicua, "Higher Harmonics Compensation In Grid-Connected PWM Converters For Renewable Energy Interface And Active Filtering", *Przełąd Elektrotechniczny*, nr. 6/2011

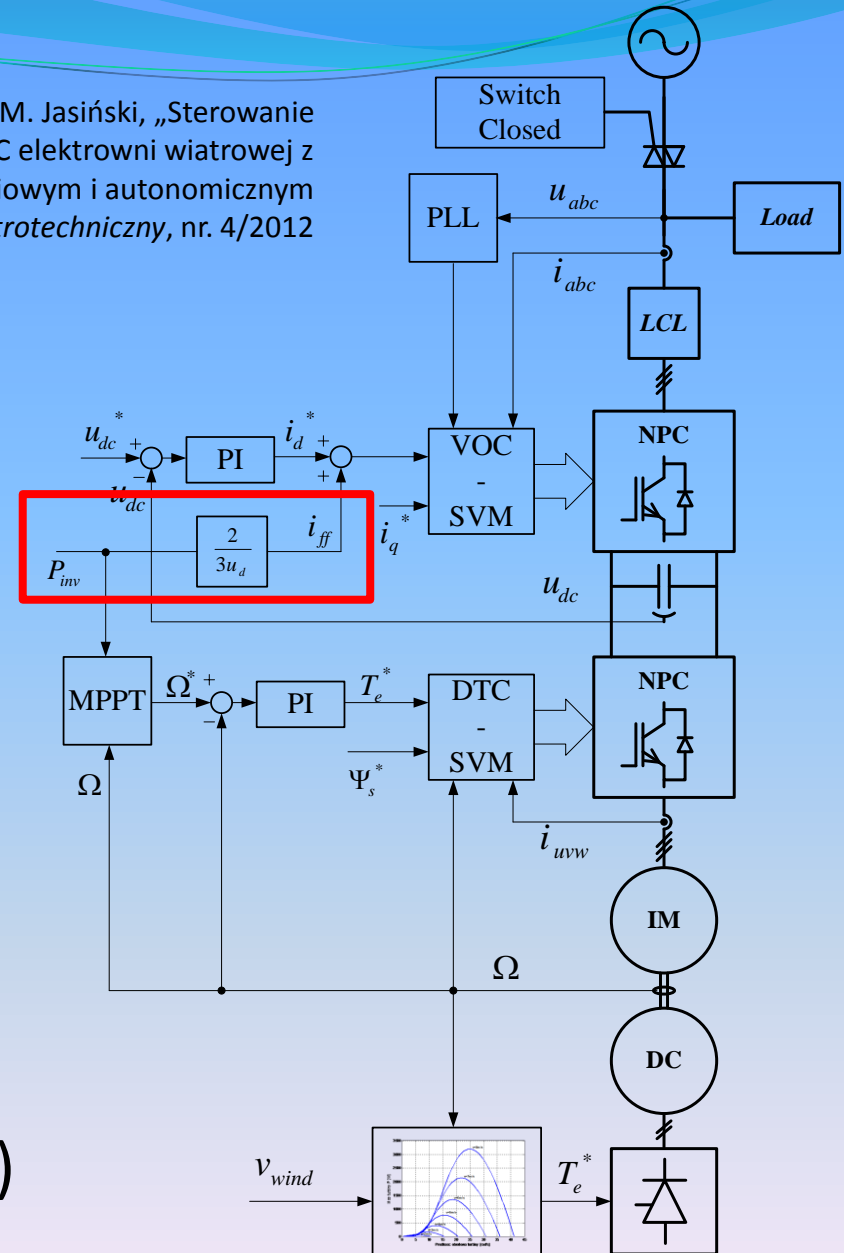


M. Bobrowska-Rafał, K. Rafał, G. Abad, M. Jasinski, „Control of PWM rectifier under grid voltage dips”, *Bulletin of Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, vol. 57, no. 4, 2009

# Patent

- nr P.401702 „Układ sterowania przekształtnikiem AC-DC-AC”
- Zastosowanie sprzężenia pomiędzy układami sterowania falowników sieciowego i prądnicowego
- Praca na sieć oraz autonomiczna (bez zasobnika!)

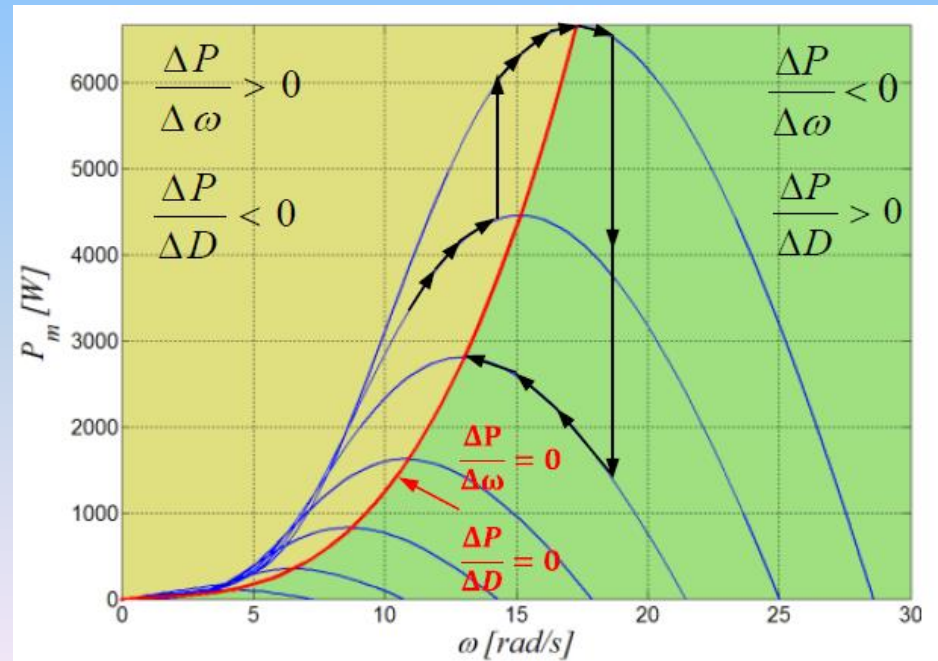
K. Rafał, M. Bobrowska-Rafał, M. Jasiński, „Sterowanie przekształtnikiem AC-DC-AC elektrowni wiatrowej z magazynem energii w sieciowym i autonomicznym trybie pracy”, *Przełqd Elektrotechniczny*, nr. 4/2012



# MPPT

- Algorytm inkrementalny poszukujący lokalnego maksimum funkcji
- Brak konieczności programowania krzywej turbiny
- Brak konieczności użycia anemometru

M. Rolak, R. Kot, M. Malinowski, Z. Goryca, J.T. Szuster, *AC/DC converter with Maximum Power Point Tracking algorithm for complex solution of Small Wind Turbine*, *Przełęcz Elektrotechniczny*, nr. 6/2010.

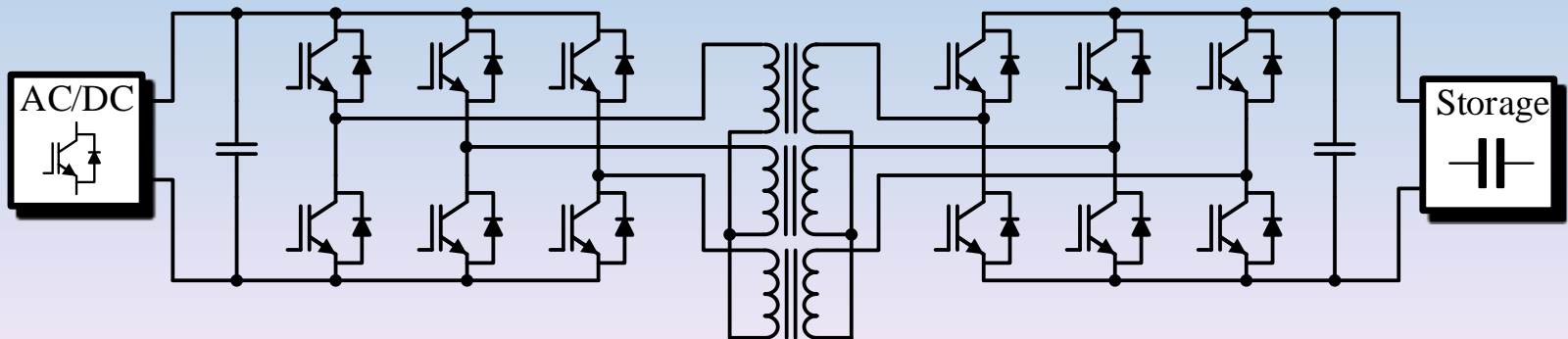


# Zasobnik energii

- Sprzęg łączący
  - Zasobnik bateryjny (kilkadziesiąt V)
  - Falownik sieciowy (kilkaset V)
  - Wysoka sprawność
  - Separacja galwaniczna



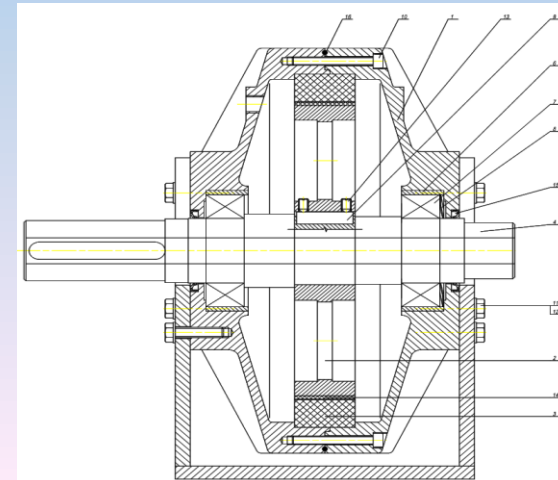
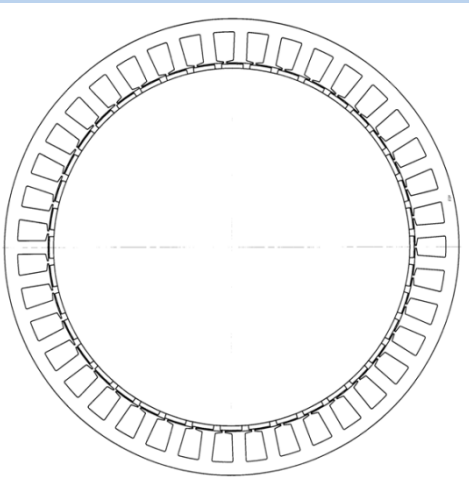
T. Gajowik, K. Rafał, M. Bobrowska-Rafał,  
"Dwukierunkowy przekształtnik DC-DC w topologii  
trójfazowego podwójnego mostka aktywnego",  
*Przegląd Elektrotechniczny*, nr 5/2014





# Generator

- 6kW, 400V @ 150 obr/min (20 par biegunów)
- Wysoka sprawność
- Niski moment zaczepowy
- Problemy mechaniczne – odklejanie magnesów
- Wysoka cena, brak potencjalnych wykonawców seryjnych

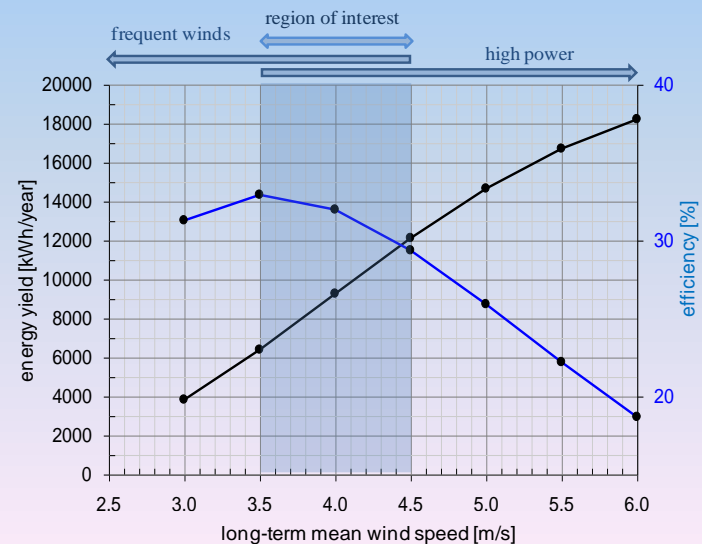
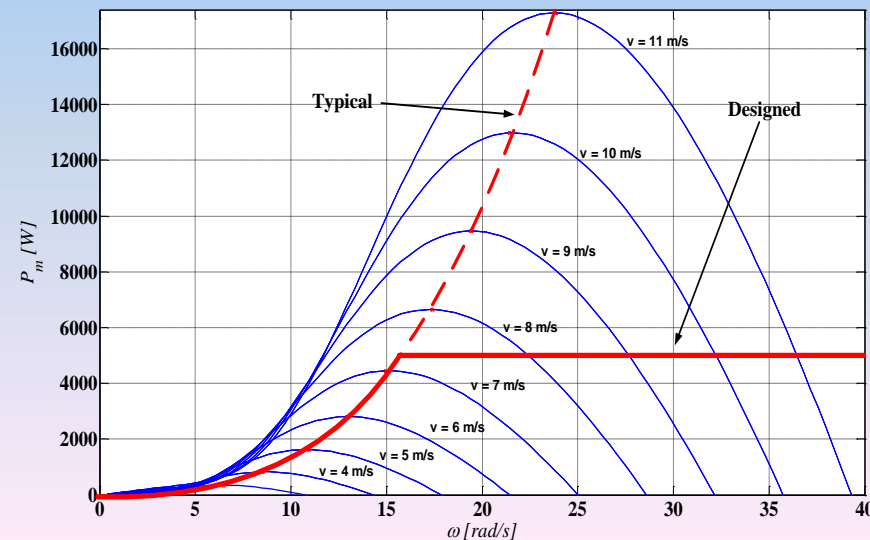


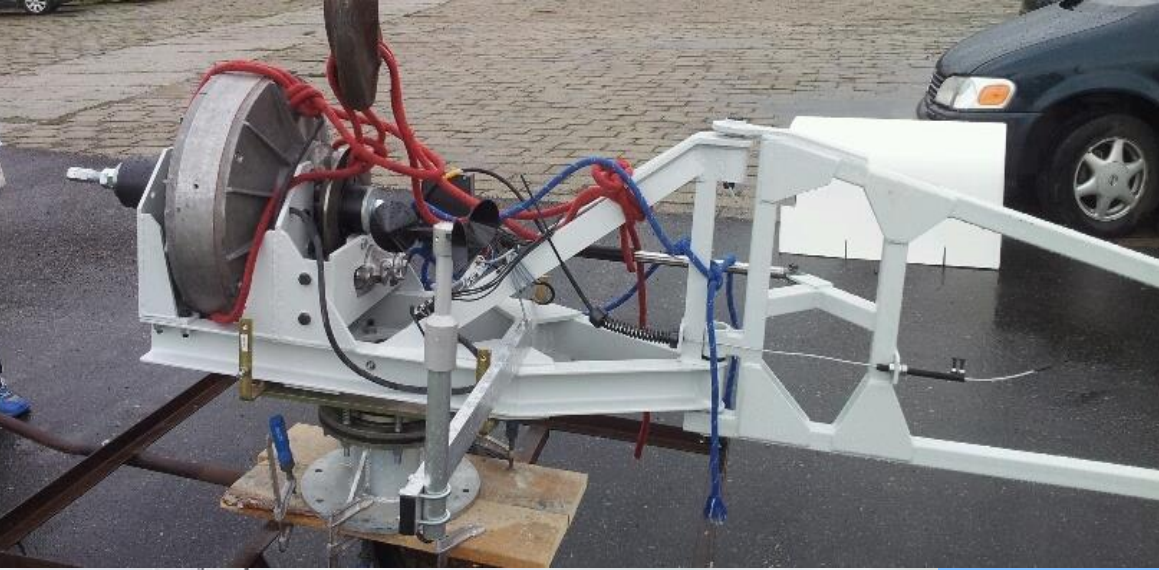


# Wirnik



- Zaprojektowany na niskie prędkości wiatru
  - Duża roczna produkcja energii przy niskich średniorocznych prędkościach wiatru
  - Przewymiarowany w stosunku do mocy prądnicy – trudności w „ujarzmieniu” przy większych wiatrach





# Nauka z projektu

- Studium komercjalizacji z AINOT
- Konieczność rozwinięcia technologii do wyższego poziomu
- Konieczne znalezienie bezpiecznego sposobu na zwiększenie mocy przy małych prędkościach wiatru
- Konieczność zmiany typu generatora
- Konieczność opracowania falowników gotowych do wdrożenia
  
- MEW (powyżej 3kW) to trudne i złożone zagadnienie!

# Projekt

- „Opracowanie i wdrożenie technologii małych elektrowni wiatrowych o mocach 5kW i 10kW”
  - Dofinansowanie z programu NCBiR i NFOŚiGW „GEKON”
  - Budżet 3,2mln zł
  - Termin wykonania: 10.2014 – 09.2016
- Wykonawcy:
  - Politechnika Warszawska
    - Wydział Elektryczny
    - Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
  - MBIZ sp. z o.o. (Lider projektu)
  - SWIND Elektrownie Wiatrowe s.c.



Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju



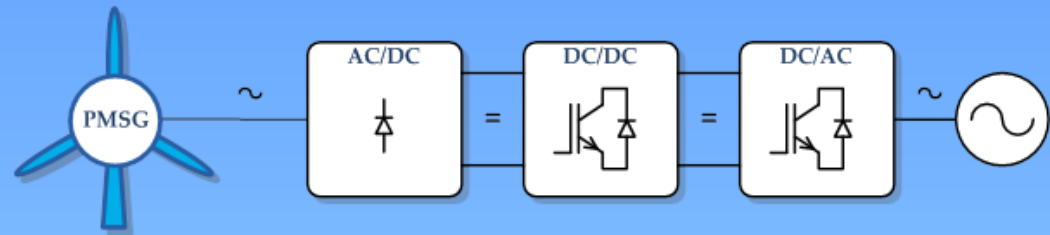
# Projekt „GEKON”

- Zadania badawcze
  - Przekształtnikowy układ przetwarzania energii (WE)
  - Projekt łopat wirnika oraz elementów mechanicznych (MEiL)
  - Technologia wykonania turbin wiatrowych (SWIND)
  - Układ monitoringu oraz prognozowania wietrzności (MBIZ)
- *Postęp projektu: 20% (miesiąc 5 z 24)*

# Założenia

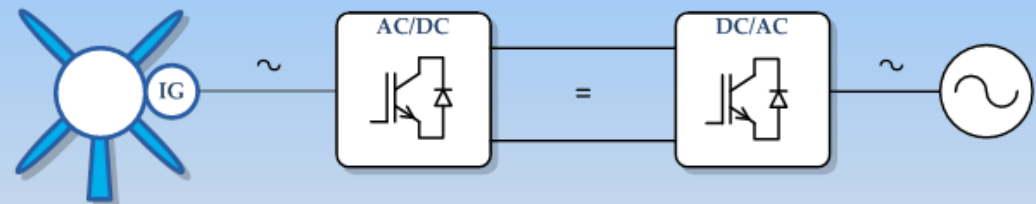
- Typowy schemat MEW

- Niskoobrotowy generator synchroniczny
- Prostownik diodowy
- Wirnik trójłopatowy



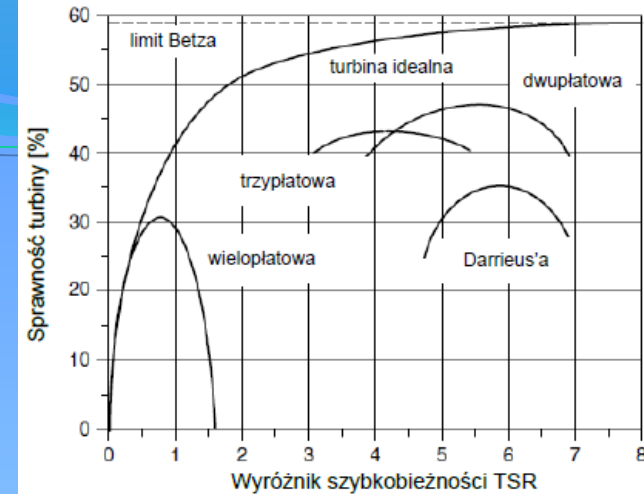
- Proponowany schemat MEW

- Generator indukcyjny + przekładnia
- Pełny falownik back-to-back
- Wirnik pięćłopatowy



# Wirnik

- Zwiększenie ilości łopat do 5
- Zwiększenie momentu turbiny → praca przy niższym wyróżniku szybkobieżności (niski hałas)
- Utrata sprawności przy dużych prędkościach → łatwość zabezpieczenia przed rozbiegiem (bezpieczeństwo)
- Optymalizacja sprawności dla niskich prędkości wiatru → zwiększenie rocznej produkcji energii
- Postęp: badania aerodynamiczne profili w Zakładzie Aerodynamiki MEiL



# Układ napędowy

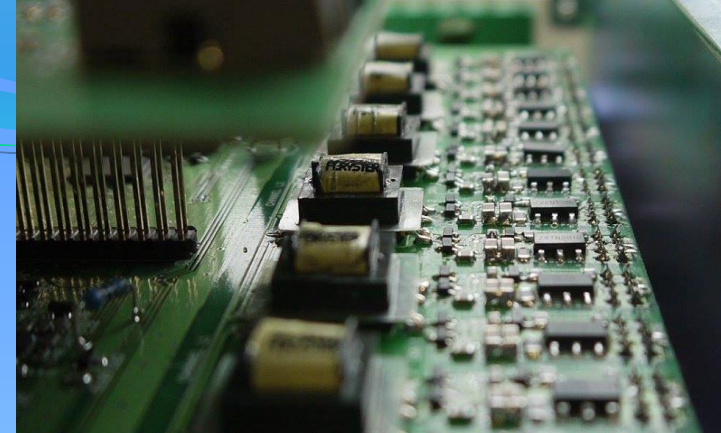


- Zastosowanie generatora indukcyjnego
  - W stosunku do wolnoobrotowej prądnicy z PMSG
    - Kilkukrotnie niższa cena
    - Dopracowana konstrukcja, wytrzymałość, niezawodność
    - Wyższa sprawność
    - Konieczność zastosowania przekładni mechanicznej (Pomimo zastosowania przekładni sprawność jest porównywalna)
    - Konieczność zastosowania falownika
- Postęp: napęd zostanie dobrany po określeniu parametrów wirnika

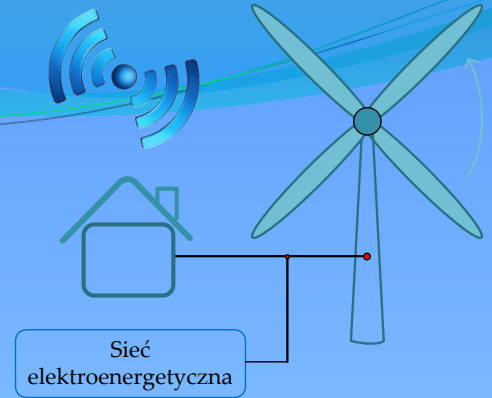


# Falownik

- Falownik napędowy z wektorową metodą regulacji maszyny indukcyjnej
- W stosunku do prostownika diodowego
  - Regulacja momentu i prędkości obrotowej wirnika
  - Sinusoidalny prąd maszyny
  - Brak drgań momentu → wyższa żywotność napędu
  - Zapewnienie wzbudzenia dla maszyny indukcyjnej
  - Wyższa cena
- Postęp: wersja alfa modułu mocy oraz platformy sterującej zmontowane na Wydziale Elektrycznym



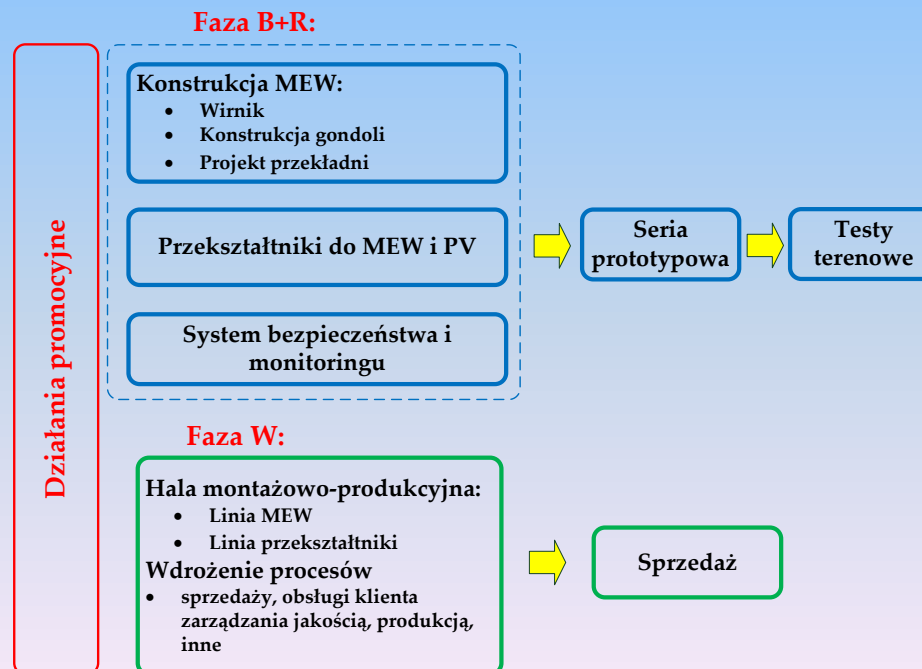
# Otoczenie IT



- Usługa szacowania produkcji energii z MEW
  - Przeprowadzenie krótkoterminowych pomiarów
  - Korelacja z mapami radarowymi oraz długoterminowymi prędkościami średnimi
  - Oszacowanie rocznej produkcji energii w danej lokalizacji
- Monitoring i sterowanie przez internet
  - Gromadzenie i prezentacja statystyk
  - Możliwość zdalnego ostrzegania o niebezpiecznych zjawiskach pogodowych
- Postęp: opracowane stacje pogodowe z modemem do monitoringu warunków pogodowych

# Wdrożenie

- Po zakończeniu fazy B+R możliwe jest składanie w programie GEKON wniosku na dofinansowanie fazy wdrożeniowej



# Podsumowanie

- Wzrost rynku Małych Elektrowni Wiatrowych
- Doświadczenie z dotychczasowych projektów
- Finansowanie w programie GEKON
- Założenia
  - Wysoka produkcja energii
  - Niska cena, wysoka niezawodność
- W opracowaniu rozwiązania
  - Geometrii wirnika
  - Falownika z odpowiednimi algorytmami sterowania
  - Metodologii prognozowania produkcji energii

# Dziękuję za uwagę

krzysztofrfal@gmail.com

