



# **XXI Konferencja Naukowo-Szkoleniowa**

## **Rynek Energii Elektrycznej;**

### **Kazimierz Dolny, 11-13 maja 2015 r.**



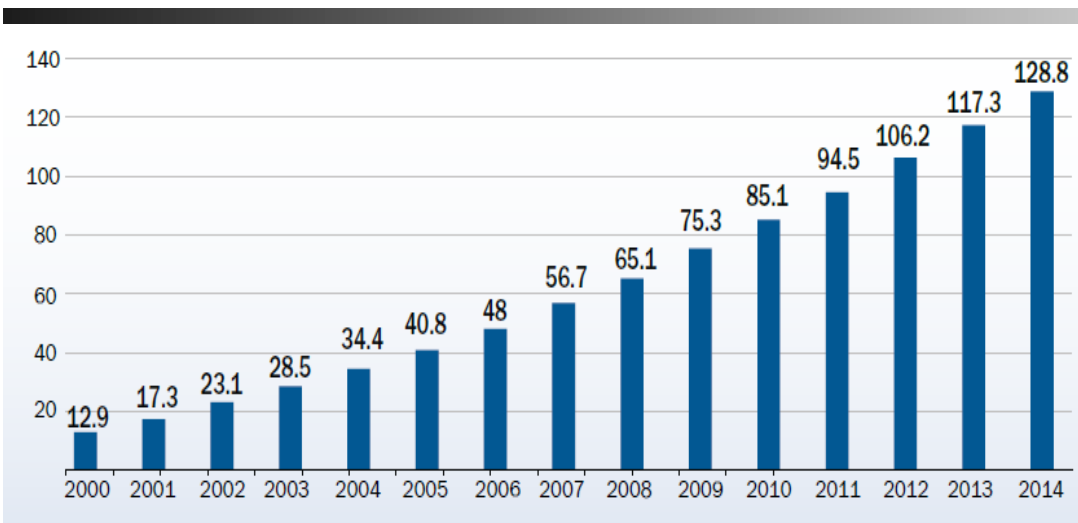
# **ELEKTROWNIE WIATROWE ŹRÓDŁEM ENERGII ELEKTRYCZNEJ, CZY RÓWNIEŻ MOCY?**

**Józef PASKA, Tomasz SURMA**

**Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki;**

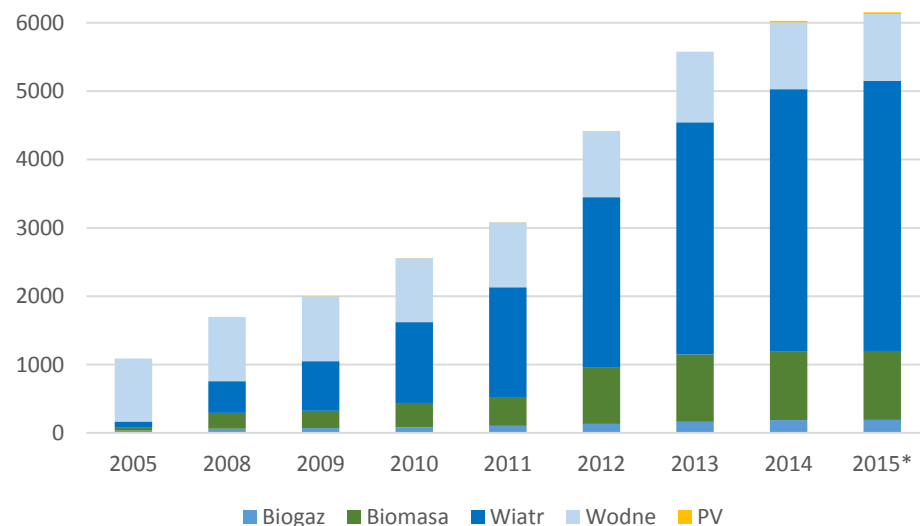
**CEZ Polska**

# Rozwój energetyki wiatrowej



**Łączna moc zainstalowana elektrowni wiatrowych w UE, GW**

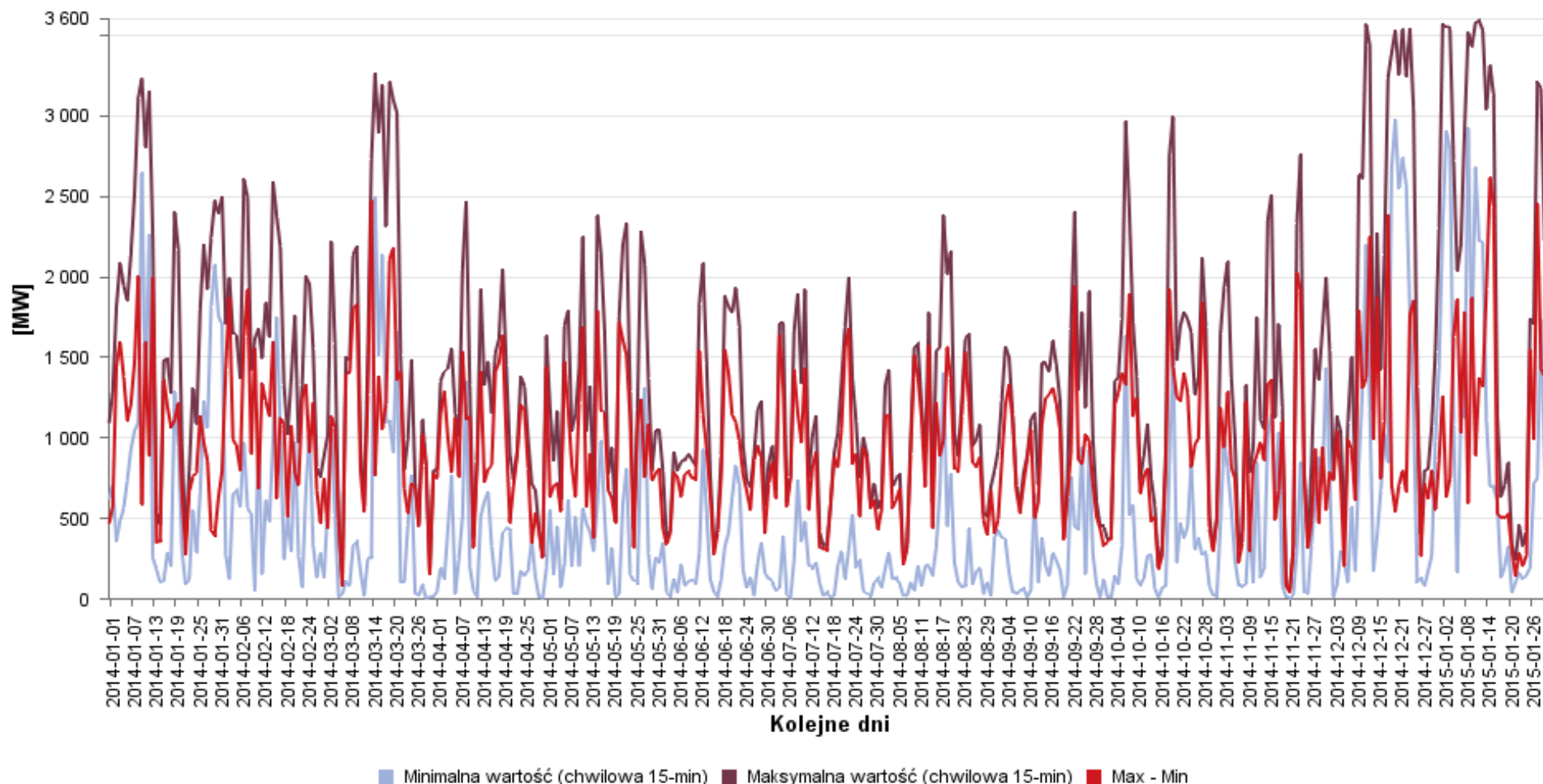
**Łączna moc zainstalowana źródeł odnawialnych w Polsce, MW**



# Wytwarzanie energii w elektrowniach wiatrowych

- Cechą charakterystyczną elektrowni wiatrowych jest zmienność w czasie dostępności energii pierwotnej oraz zmienność zdolności wytwórczej.
- Badanie mocy gwarantowanej jako sposób oceny wpływu elektrowni wiatrowych na system elektroenergetyczny i jego niezawodność.
- Ocena tego wskaźnika jest istotna dla:
  - producentów energii;
  - inwestorów;
  - **operatorów systemu;**
  - **podczas planowania rozwoju energetyki odnawialnej, w tym wiatrowej;**
  - **rozwaju systemu elektroenergetycznego.**
- Ocena mocy gwarantowanej wymaga oszacowania wystarczalności systemu elektroenergetycznego – rozumianej jako zdolność do pokrywania zapotrzebowania na moc i energię – bez elektrowni wiatrowych oraz z uwzględnieniem mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych, przy ustalonych wskaźnikach niezawodności i charakterystyce zapotrzebowania systemu na moc i energię.

# Zmienność mocy generowanej przez elektrownie wiatrowe



# Wykorzystanie mocy zainstalowanej

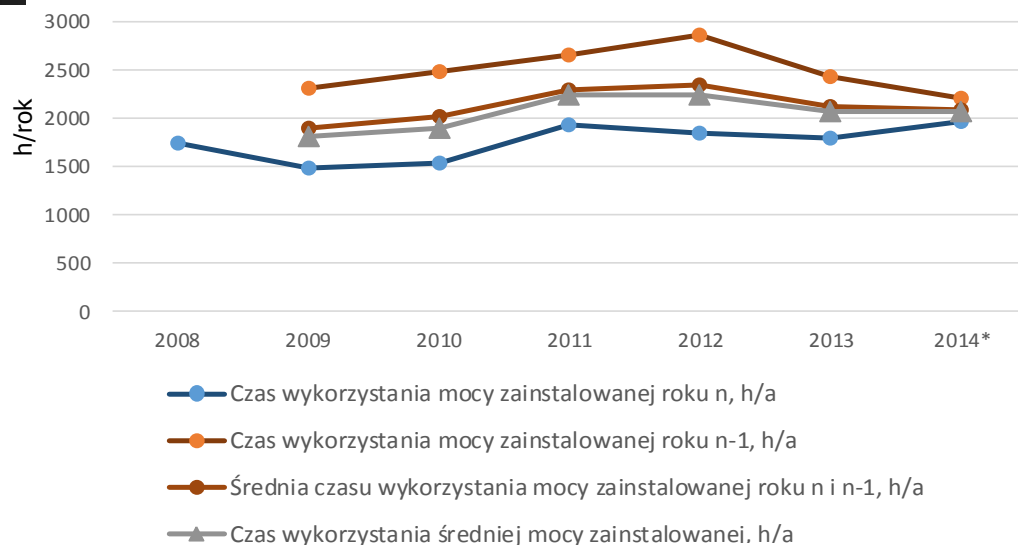
---

- Czas wykorzystania mocy zainstalowanej jest miernikiem służącym do oceny stopnia wykorzystania zdolności wytwórczej elektrowni. Czas wykorzystania mocy zainstalowanej jest obliczany jako iloraz produkcji energii elektrycznej (mocy) w danym przedziale czasowym oraz maksymalnych zdolności produkcyjnych jednostki wytwórczej w tym samym przedziale czasowym.
- Wskaźnik wykorzystania mocy zainstalowanej – nazywany także capacity factor, *CF* – uwzględnia wykorzystanie mocy zainstalowanej elektrowni w stosunku do potencjału wytwórczego tej jednostki w rozpatrywanym okresie czasu.
- Wskaźnik dyspozycyjności.

Czas wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych:

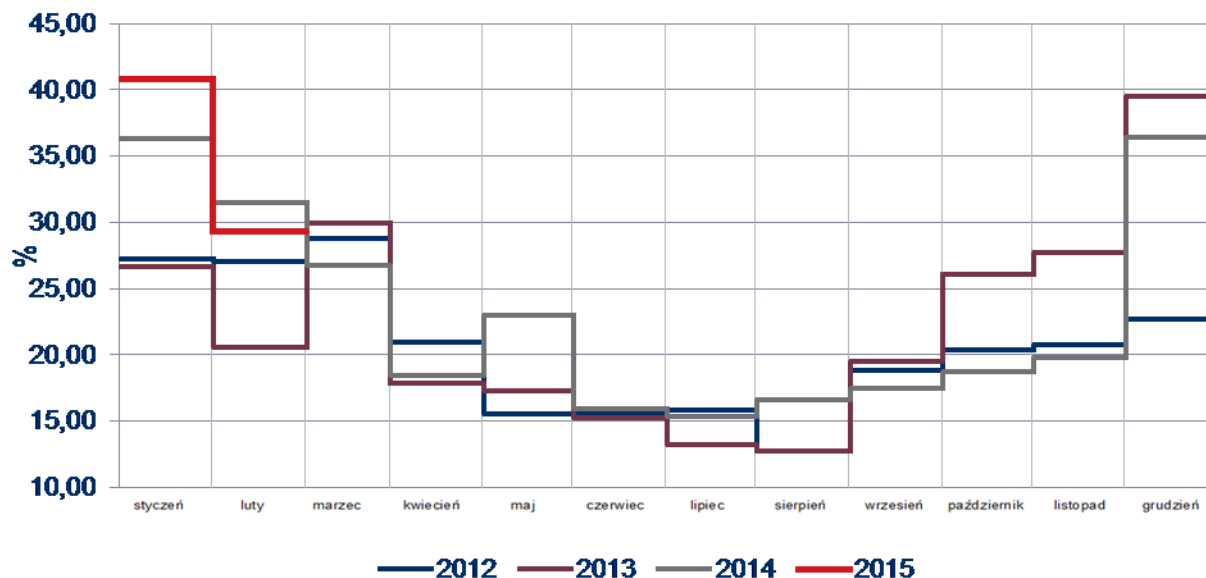
- Dania – 2300 h/rok
- Hiszpania – 2340 h/rok
- Wielka Brytania – 2600 h/rok.

# Wykorzystanie mocy zainstalowanej



Czas wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych w polskim systemie elektroenergetycznym

Wskaźnik wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych w polskim systemie elektroenergetycznym



# Moc gwarantowana elektrowni wiatrowych

- Efektywna zdolność elektrowni wiatrowych do pokrywania obciążenia (ang. effective load carrying capability – ELCC),
- Ekwiwalentna moc zainstalowana (ciągła zdolność wytwórcza) (ang. equivalent firm capacity),
- Ekwiwalentna moc konwencjonalna (ang. equivalent conventional capacity).

**Podstawowa z metod szacowania mocy gwarantowanej – capacity credit CC – metoda efektywnej zdolności do pokrywania obciążenia – opiera się na ocenie niezawodności systemu elektroenergetycznego (zwykle ograniczonego do podsystemu wytwórczego) z wykorzystaniem jednego ze wskaźników, np. wskaźnika LOLE (oczekiwany czas niepokrycia zapotrzebowania).**

# Moc gwarantowana elektrowni wiatrowych

$$LOLE = \sum_{i=1}^N P(C_i < L_i)$$

$P$  - prawdopodobieństwo,  $C_i$  - zdolność wytwórcza systemu w godzinie  $i$ ,  
 $L_i$  - obciążenie systemu w godzinie  $i$ ,  $N$  - liczba godzin analizowanego okresu.

$$LOLE' = \sum_{i=1}^N P \left[ \left( C_i + \sum_{j=1}^{N_W} W_{i,j} \right) < L_i \right]$$

$W_{i,j}$  - moc  $j$ -tej elektrowni wiatrowej wykorzystana w godzinie  $i$ ,  $N_W$  - liczba elektrowni wiatrowych.

$$\sum_{i=1}^N P(C_i < L_i) = \sum_{i=1}^N P \left[ \left( C_i + \sum_{j=1}^{N_W} W_{i,j} \right) < (L_i + E_i) \right]$$

Wykorzystanie metodyki probabilistycznej pozwala na porównanie wskaźników LOLE dla istniejącego systemu elektroenergetycznego bez mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych (LOLE) oraz systemu z mocą zainstalowaną elektrowni wiatrowych (LOLE').



# Symulacje w systemie testowym

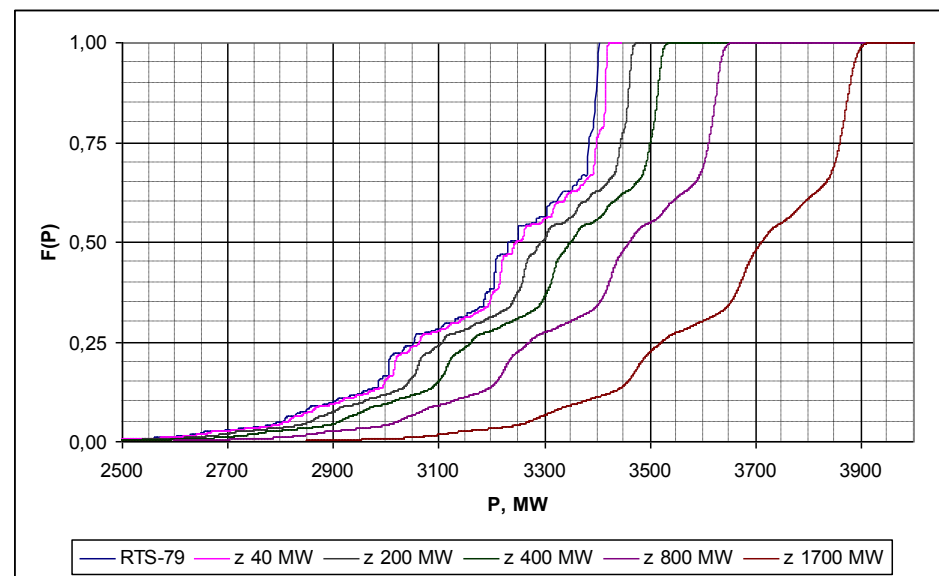
Wskaźnik	System RTS	System RTS-79 z jednostkami wiatrowymi o mocy zainstalowanej				
		40 MW	200 MW	400 MW	800 MW	1700 MW
Moc zainstalowana [MW]	3405	3445	3605	3805	4205	5105
LOLE [h]	1,3723	1,2785	0,9104	0,5973	0,2479	0,0244
LOEE [MWh]	176,93	161,80	113,38	71,95	27,10	2,29
LOLPs	0,0816	0,0733	0,0474	0,0344	0,0174	0,0019
EIR	x507	x549	x684	x799	x9245	x9936
ECD [MW]	1,053	0,963	0,674	0,428	0,161	0,013
PCD	0,0082	0,0076	0,0054	0,0036	0,0015	0,0001
XLOL [MW]	128,92	126,56	124,54	120,46	109,32	94,07

x507 → 0,999507

IEEE RTS-79:

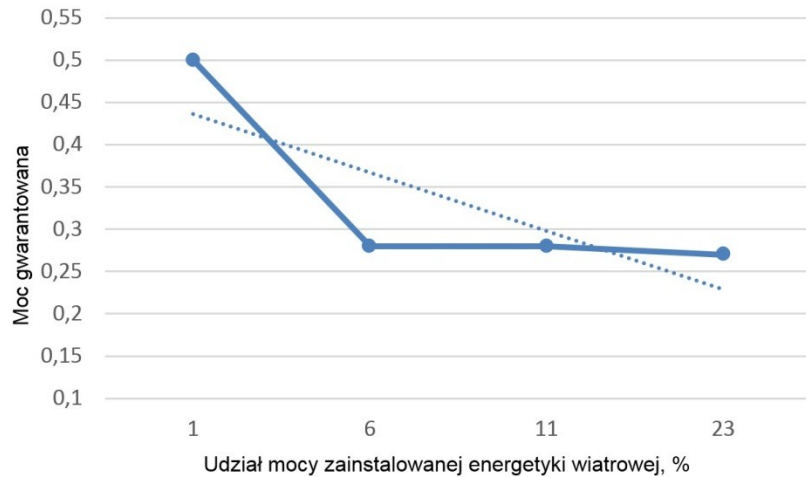
Moc zainstalowana 3405 MW

Szczytowe zapotrzebowanie na moc 2850 MW

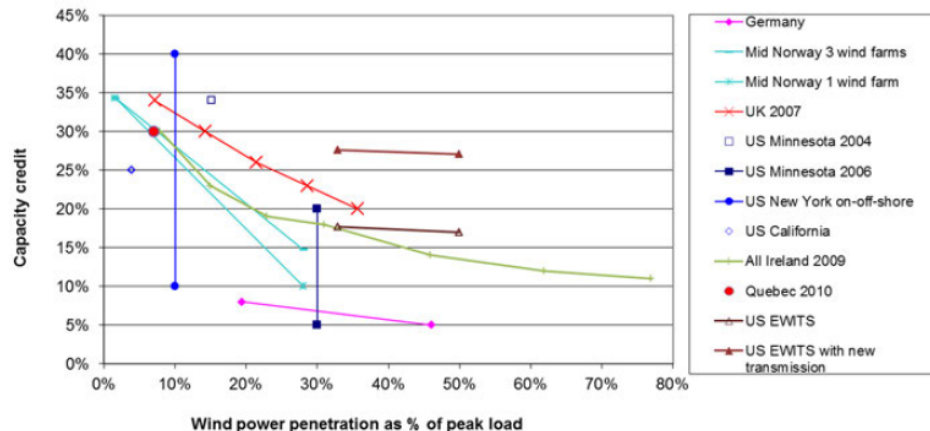


Dystrybuanty mocy dyspozycyjnej

# Zdolność energetyki wiatrowej do pokrywania obciążenia



## Z obliczeń autorów dla systemu RTS



Moc gwarantowana jest zależna od:

- udziału energetyki wiatrowej w bilansie produkcji energii elektrycznej;
- udziału rezerwy wirującej;
- parametrów wiatru;
- niezawodności wyjściowej systemu elektroenergetycznego, bez przyłączonych elektrowni wiatrowych;
- napięcia sieci do której podłączone są źródła wiatrowe;
- bliskości punktów poboru mocy i zużycia energii;
- wielkości systemu elektroenergetycznego, w tym połączenia transgraniczne.

**Zdolność energetyki wiatrowej do pokrywania zapotrzebowania na moc systemu wg różnych opracowań**

# Wnioski

---

- Elektrownie wiatrowe charakteryzują się niższym, od źródeł klasycznych, rocznym czasem wykorzystania mocy zainstalowanej.
- Z powodu zmienności prędkości wiatru moc gwarantowana elektrowni wiatrowych jest niższa niż dla innych technologii wytwarzania energii elektrycznej. Niemniej jednak istnieje pewna część mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej, która bierze udział w pokryciu zapotrzebowania na moc systemu. Dla elektrowni wiatrowych moc dyspozycyjna zawiera się w przedziale 10-35% mocy zainstalowanej i zależy głównie od warunków wiatrowych oraz od udziału energetyki wiatrowej w mocy zainstalowanej systemu.
- Względna wartość zdolności do pokrywania obciążenia – mocy gwarantowanej elektrowni wiatrowych maleje wraz ze wzrostem udziału ich mocy w całkowitej mocy zainstalowanej systemu, od wartości w przybliżeniu równej wskaźnikowi wykorzystania mocy zainstalowanej, w sytuacji niewielkiego udziału, do ok 10÷15% w sytuacji znacznego udziału mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych.

# Wnioski

---

- Analiza dystrybucji mocy dyspozycyjnej systemu RTS-79; bez, oraz z dodatkowymi wiatrowymi jednostkami wytwórczymi wskazuje, że przy zainstalowaniu dodatkowych jednostek wiatrowych zdolność systemu do pokrywania obciążeń wzrosła. Wzrost ten nie jest jednak wprost proporcjonalny do mocy zainstalowanej dodatkowych jednostek wiatrowych.
- Elektrownie wiatrowe należy traktować jako źródła energii a nie mocy - ze względu na przypadkowy charakter ich pracy nie można liczyć na ich udział w pokrywaniu zapotrzebowania w czasie szczytu obciążenia systemu.

Pytanie 2 Recenzenta: Czy wniosek 6 nie przekreśla w sposób radykalny rozważań o dostępności mocy z farm, wiatrowych?

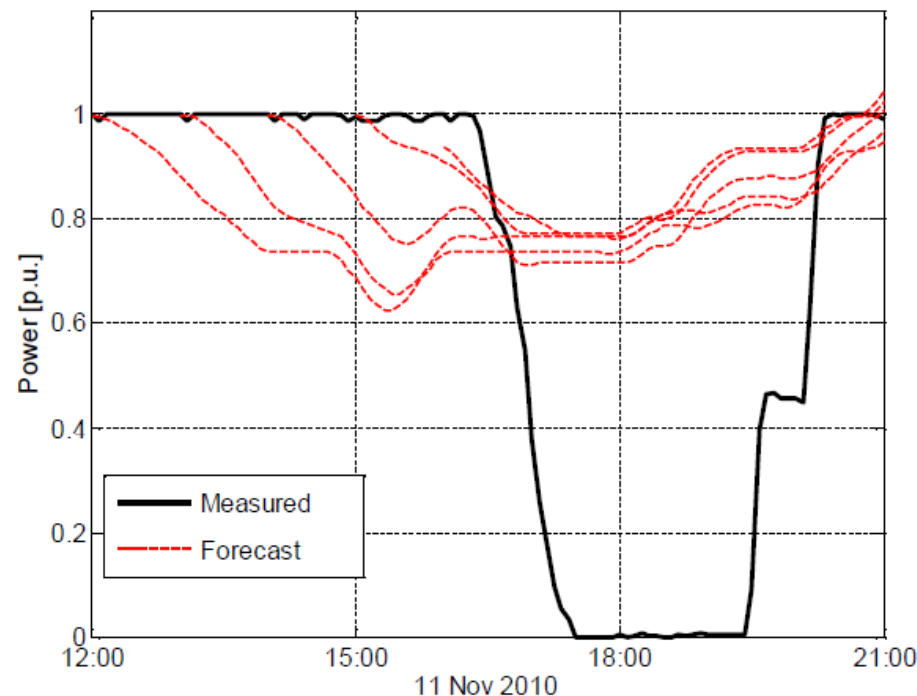
Użyliśmy trochę zbyt radykalnego sformułowania – chodzi o to, że moc dyspozycyjna elektrowni wiatrowych jest zdecydowanie niższa od mocy dyspozycyjnej elektrowni konwencjonalnych.

# Pytania recenzenta

1. Czy dla prawidłowego zilustrowania zmienności mocy pochodzącej z jednostek wiatrowych nie należałoby raczej pokazać dobowy przebieg dla kraju lub większego regionu niż pojedynczą turbinę wiatrową?
2. Czy wniosek 6 nie przekreśla w sposób radykalny rozważań o dostępności mocy z farm, wiatrowych?
3. Czy postępująca dokładność prognoz warunków pogodowych ma wpływ na ocenę dostępnej mocy z EW?

Doceniamy postęp w zakresie prognozowania,  
ale ...

Przykład błędów prognozowania mocy  
generowanej przez elektrownie wiatrowe –  
rzeczywista i prognozowana co 15 min  
moc generowana przez MFW Horns Rev 2  
(Dania) w ekstremalnych warunkach  
wiatrowych (11 listopada 2010)





# **XXI Konferencja Naukowo-Techniczna Rynek Energii Elektrycznej; Kazimierz Dolny, 11-13 maja 2015 r.**



**Prof. dr hab. inż. Józef PASKA**

**Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki**

**[jozef.paska@ien.pw.edu.pl](mailto:jozef.paska@ien.pw.edu.pl)**



**Dr inż. Tomasz SURMA**

**CEZ Polska**

**[tomasz.surma@cezpolska.pl](mailto:tomasz.surma@cezpolska.pl)**

