

REE 2015

11 - 13 maja 2015 r.



MINISTERSTWO
GOSPODARKI



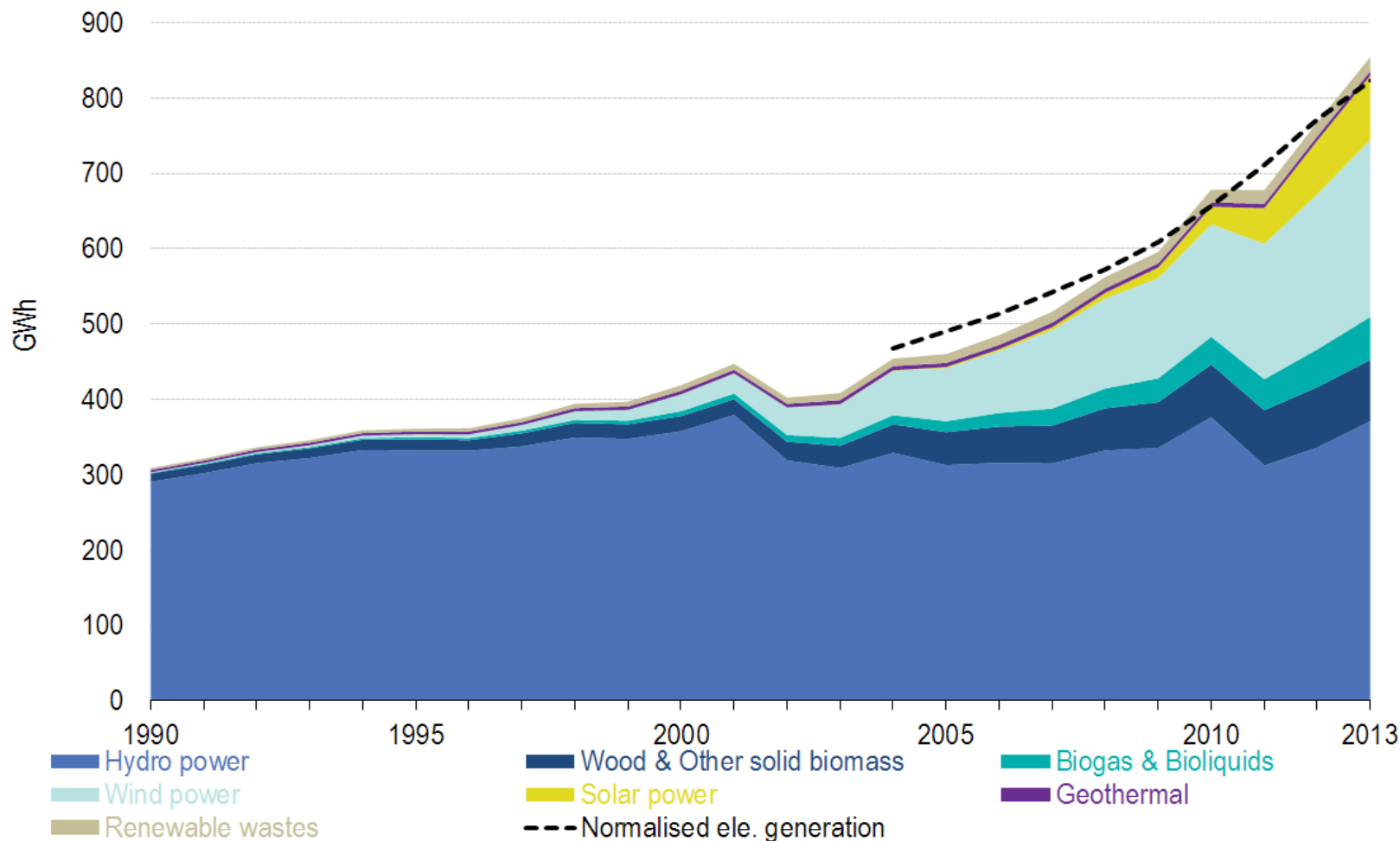
Urząd Regulacji
Energetyki



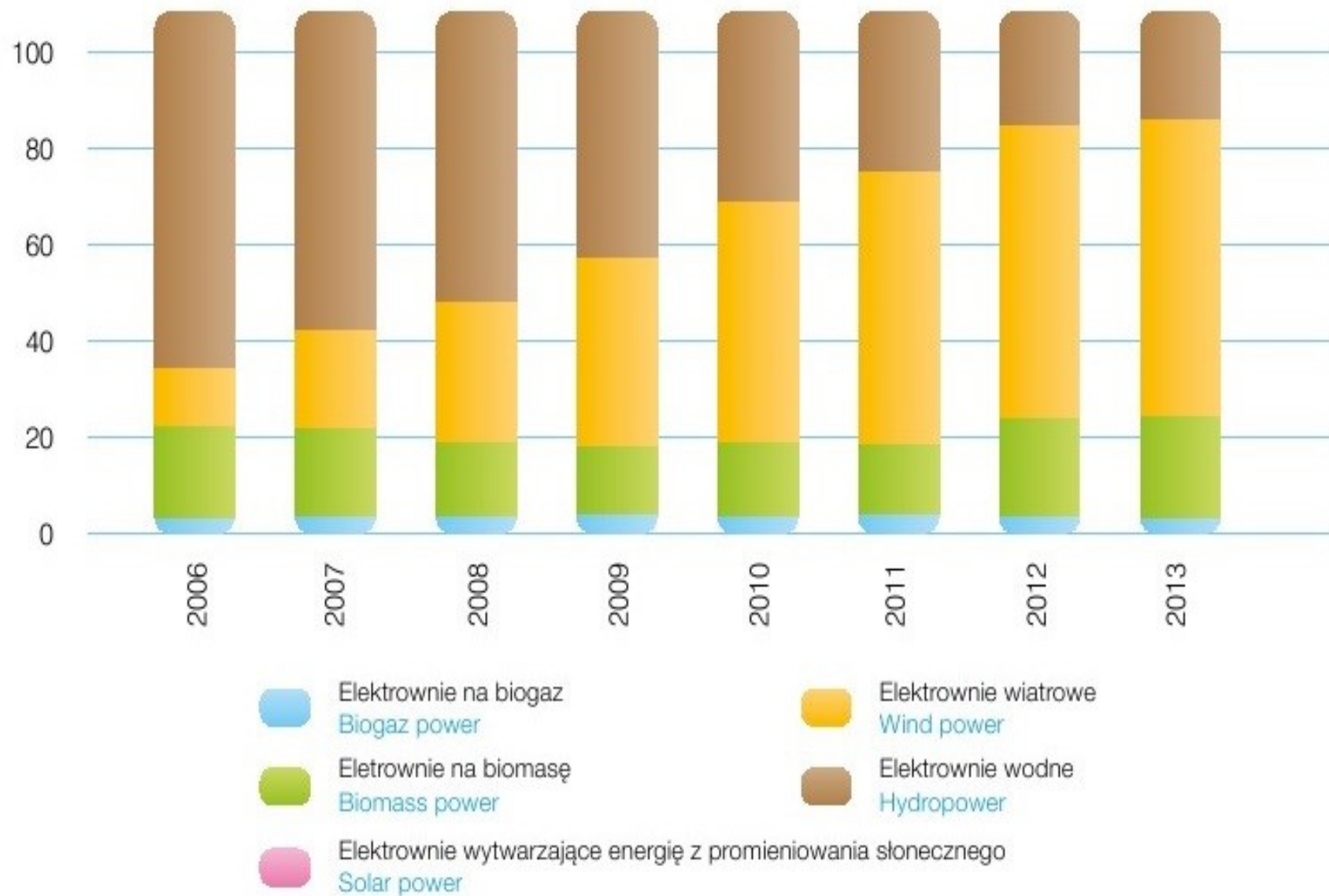
ZASTOSOWANIE WYMIARU HAUSDORFFA W PROGNOZOWANIU GENERACJI WIATROWEJ

Tomasz POPŁAWSKI, Jacek ŁYP, Piotr SZELAĞ

Polityka środowiskowa UE



Rys. 1 . Produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w UE-28 z podziałem na poszczególne rodzaje; źródło: Eurostat 2015



Rys. 2. Procentowy udział źródeł OZE w mocy zainstalowanej w Polsce (stan na 31.03.2013 r.). Źródło: Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej

Prognozowanie generacji wiatrowej

☐ Metody prognozowania

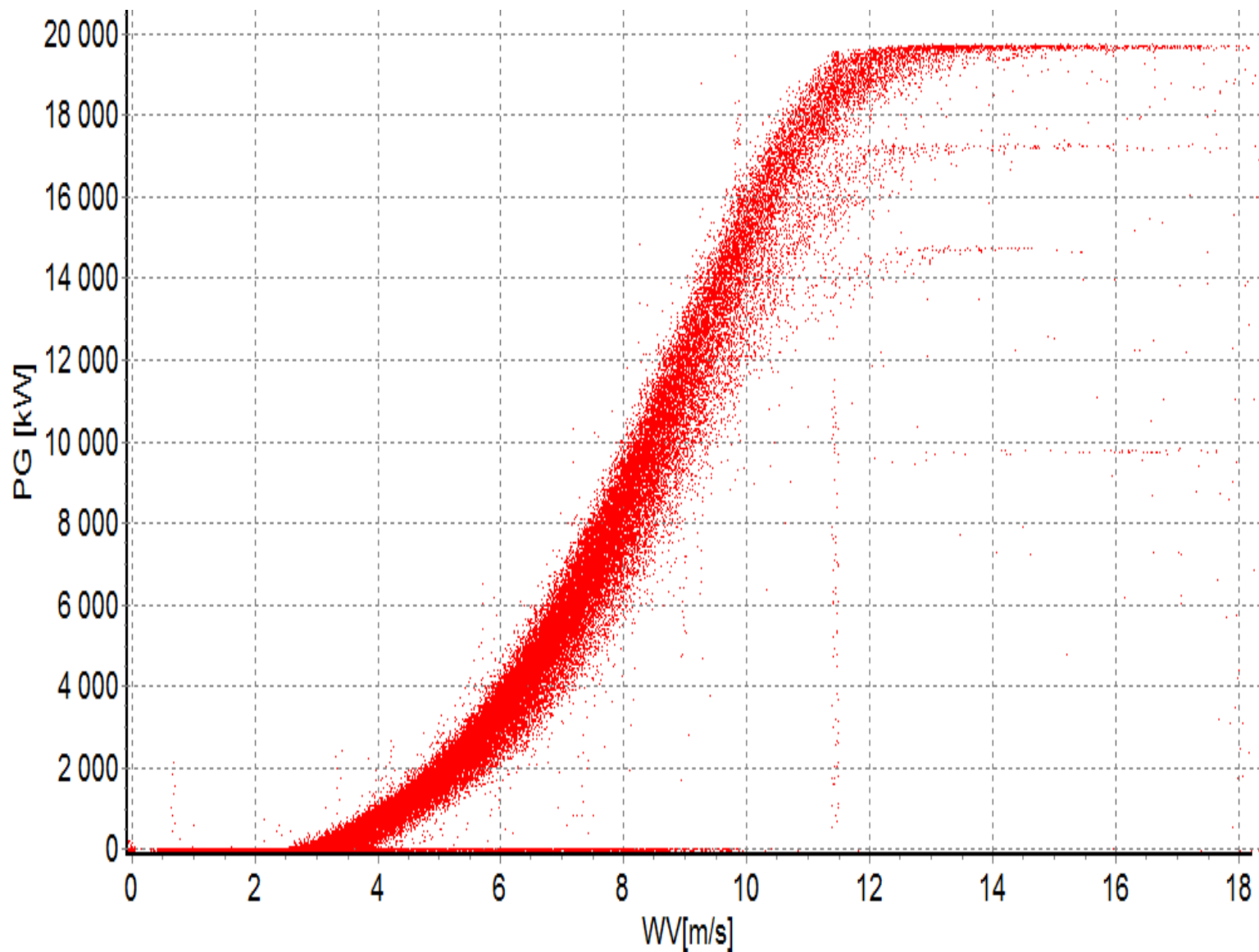
⦿ Podejście fizyczne

- przepływ wiatru wokół i wewnątrz farmy wiatrowej
- wykorzystanie krzywej mocy

⦿ Podejście statystyczne

- uchwycenie relacji pomiędzy prognozą meteorologiczną (oraz historycznymi pomiarami), a mocą wyjściową
- brak założeń dotyczących zjawisk fizycznych

⦿ Podejście mieszane



Rys. 3. Empiryczna krzywa mocy farmy wiatrowej - $P_{FW1} = f(V)$

Wykorzystanie analizy fraktalnej

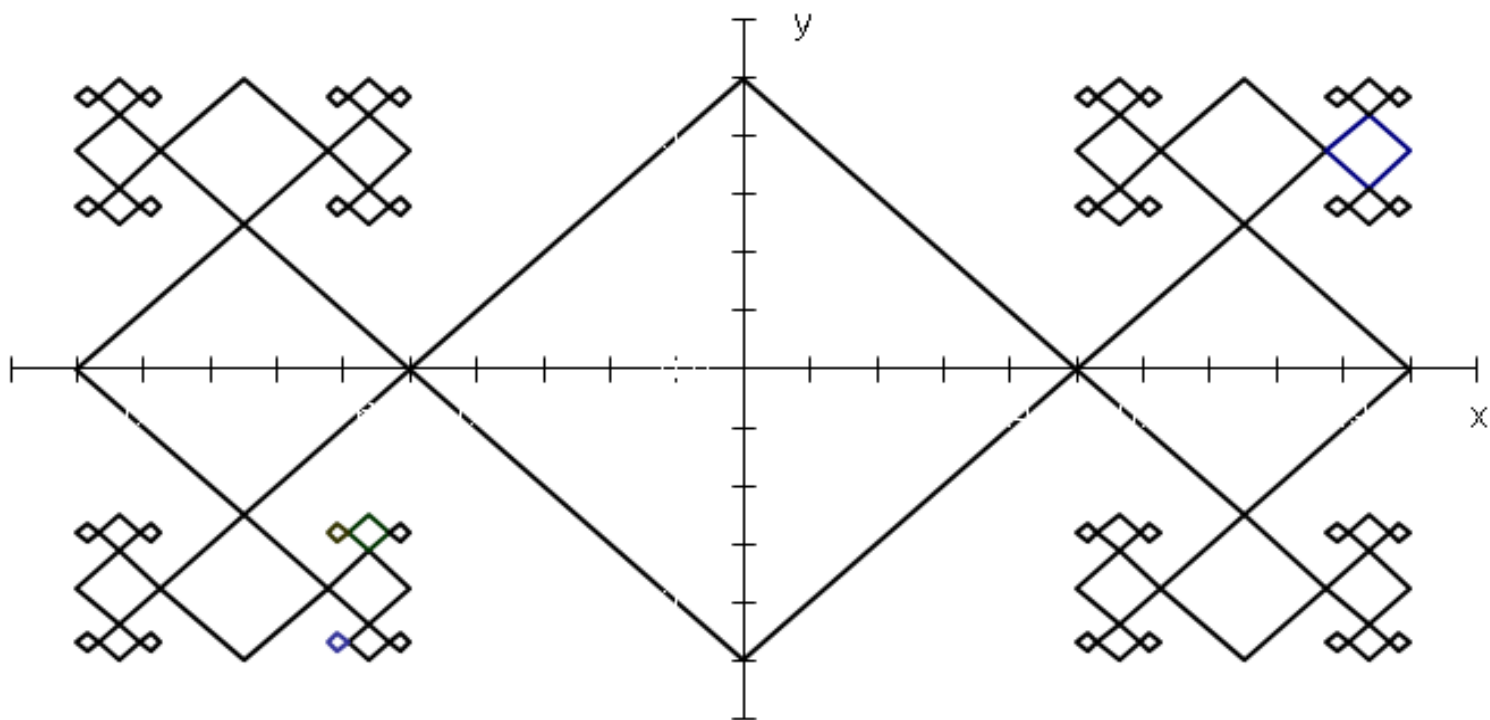
- ◉ Fraktalem określa się jako zbiór posiadający określone cechy:
 - ma nietrywialną strukturę w każdej skali,
 - struktura ta nie daje się łatwo opisać w języku tradycyjnej geometrii euklidesowej,
 - jest samopodobny, jeśli nie w sensie dokładnym, to przybliżonym lub stochastycznym,
 - jego wymiar fraktalny jest większy niż jego wymiar topologiczny
- ◉ Można zaobserwować dwa typy fraktali
 - deterministyczne (tworzone za pomocą pewnej reguły, zbiór Cantora, krzywa Kocha, zbiór Mandelbrota, zbiory Julii),
 - losowe (linia brzegowa, drzewo, płuca)

Wymiar Hausdorffa - zapis teoretyczny

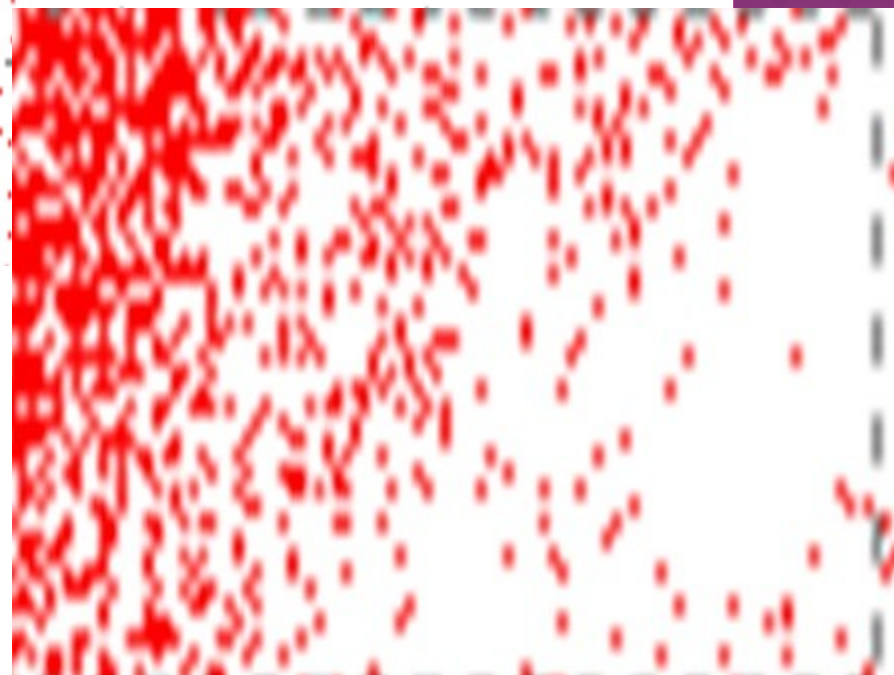
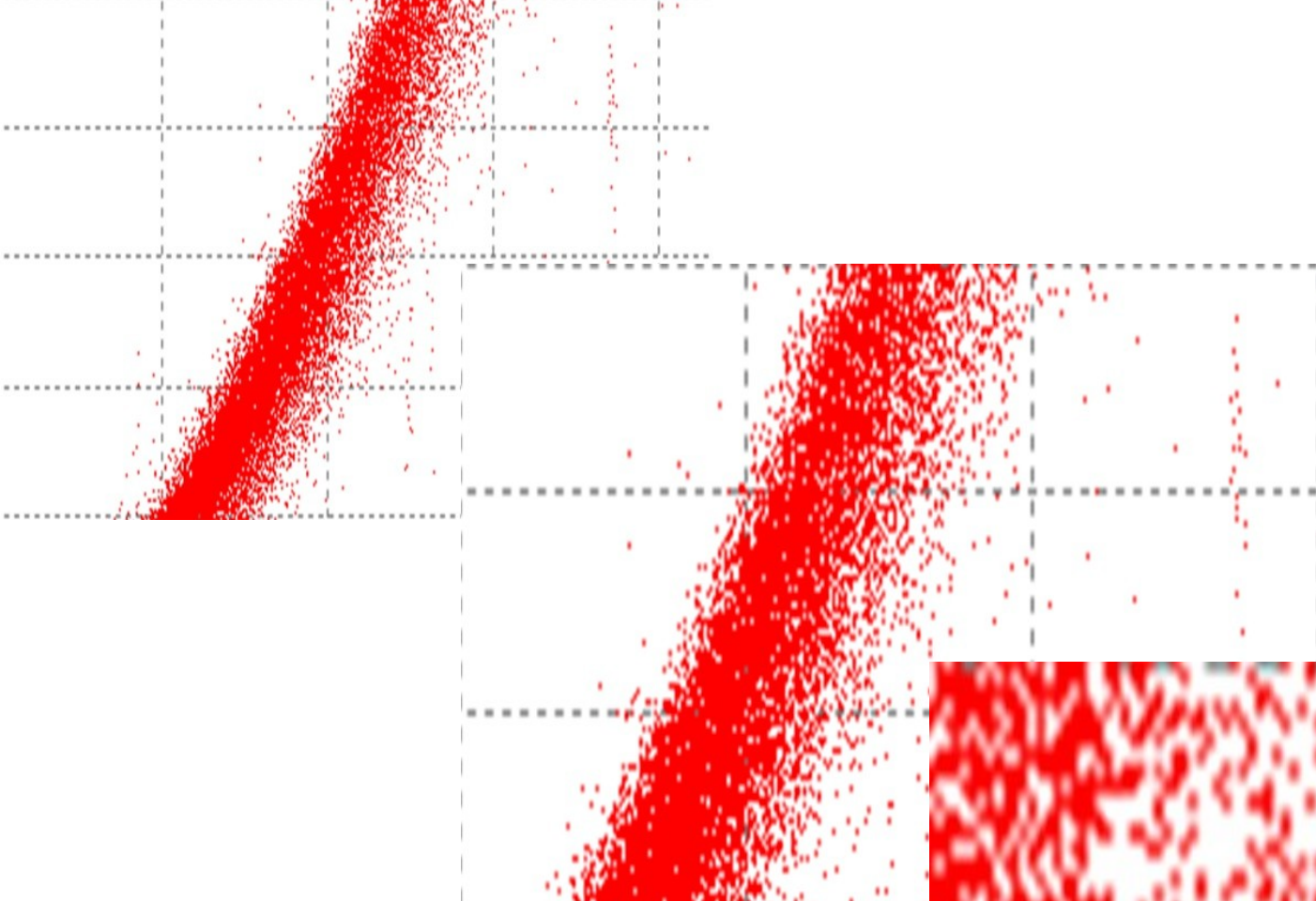
- Jeżeli licznością zbioru elementów N rządzi reguła rozmnażania lub redukcji dana wzorem

$$\frac{\ln N_{i+1}}{\ln N_i} = \frac{\ln N_{i+1}^a}{\ln N_i^a} = G$$

to zmiany liczności zbioru są procesem samopodobnym, przy tworzą one zbiór Cantora, a przepis jego tworzenia jest wg. Mandelbrota fraktalem $a \rightarrow \infty$



Rys. 4. Fraktal $G=0,5$ (źródło: [2])



Rys. 4. Fragment empirycznej krzywej mocy farmy wiatrowej - $P_{FW1} = f(V)$

Badania eksperymentalne

Dostarczone dane statystyczne farm wiatrowych FW1, FW2, FW3 zawierały odpowiednio:

	FW1	FW2	FW3
Liczba przypadków	84 761	95 222	126 615
Interwał [min]	15	15	10
od	2012-05-01	2012-01-12	2012-01-01
do	2014-10-01	2014-10-01	2014-05-31
Liczba turbin	8	60	15
Moc nominalna turbiny [MW]	2.5	2.0	2.0

Badania eksperymentalne

- ⊙ Pseudoprognozę prędkości wiatru uzyskano poprzez zakłócenie zmierzonej na turbinie prędkości w taki sposób aby uzyskać losowy błąd $\pm 15\%$
- ⊙ Prognozy dla farm FW1 i FW2 wykonano z rozdzielczością 15-minutową na okres 2013-10-01 do 2014-09-30.
- ⊙ Prognozy dla farmy FW3 wykonano z rozdzielczością 10-minutową na okres 2012-01-01 do 2014-05-31.

Wyniki eksperymentu

Tabela 1. Uzyskane dla FW1 i FW2 średnie procentowe wartości błędów NMAPE dla poszczególnych miesięcy w roku z okresu badawczego

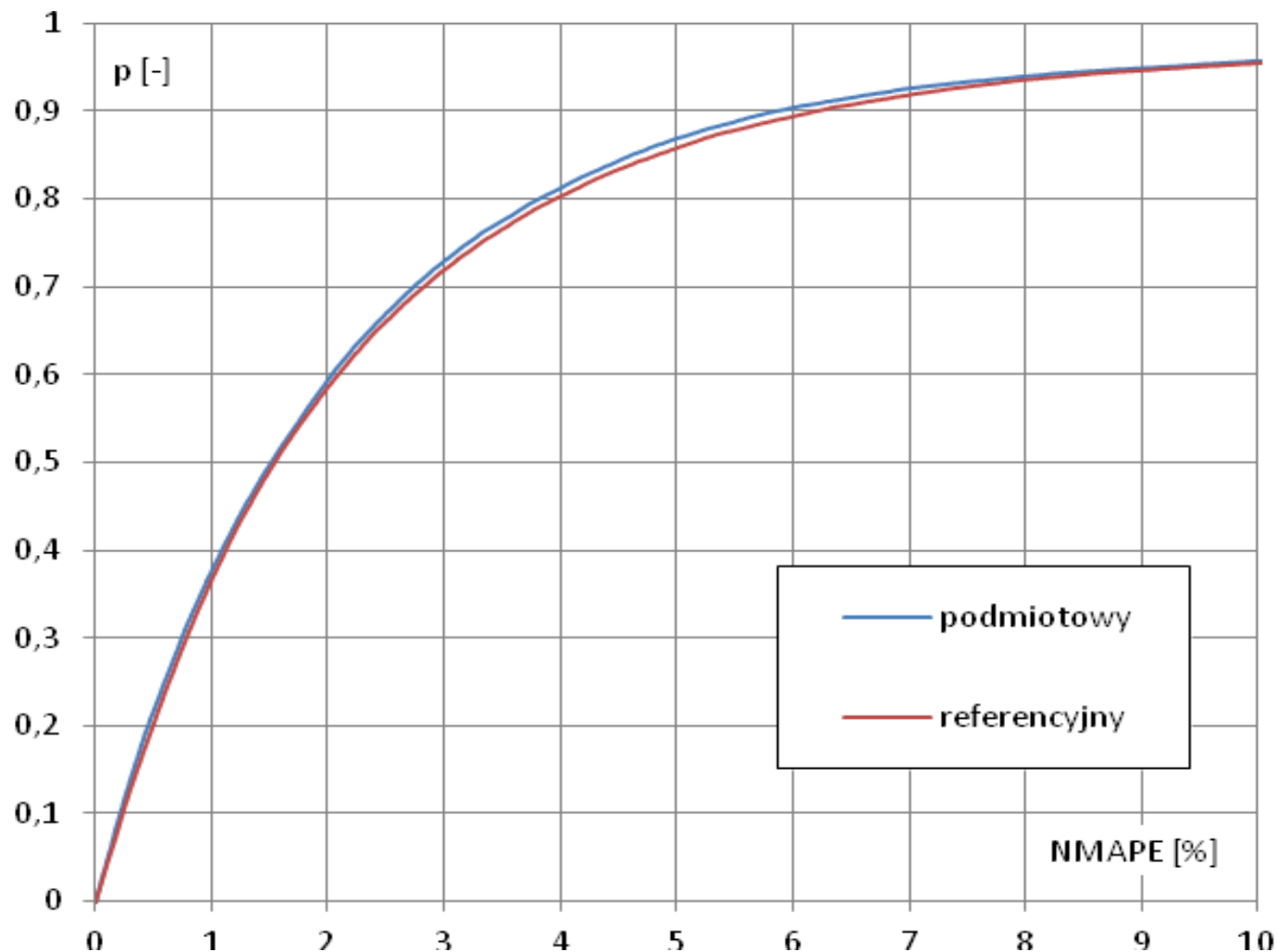
Lp	Okres	NMAPE [%]			
		FW1		FW2	
		model referencyjny	model podmiotowy	model referencyjny	model podmiotowy
1	październik	2,45	2,4	3,09	2,98
2	listopad	1,83	1,81	2,61	2,5
3	grudzień	7,09	7,06	5,37	5,31
4	styczeń	6,2	6,21	5,1	4,97
5	luty	4,5	4,61	3,27	3,21
6	marzec	7,77	7,32	5,02	5,01
7	kwiecień	2,31	2,17	2,82	2,77
8	maj	2,22	2,1	3,28	3,23
9	czerwiec	2,66	2,63	3,24	3,16
10	lipiec	2,26	2,24	3,65	3,53
11	sierpień	2,71	2,72	2,93	2,82
12	wrzesień	2,35	2,36	2,28	2,11
13	rok	3,71	3,65	3,58	3,49

Wyniki eksperymentu

Tabela 2. Uzyskane dla FW3 średnie procentowe wartości błędów NMAPE dla poszczególnych miesięcy w roku z okresu badawczego

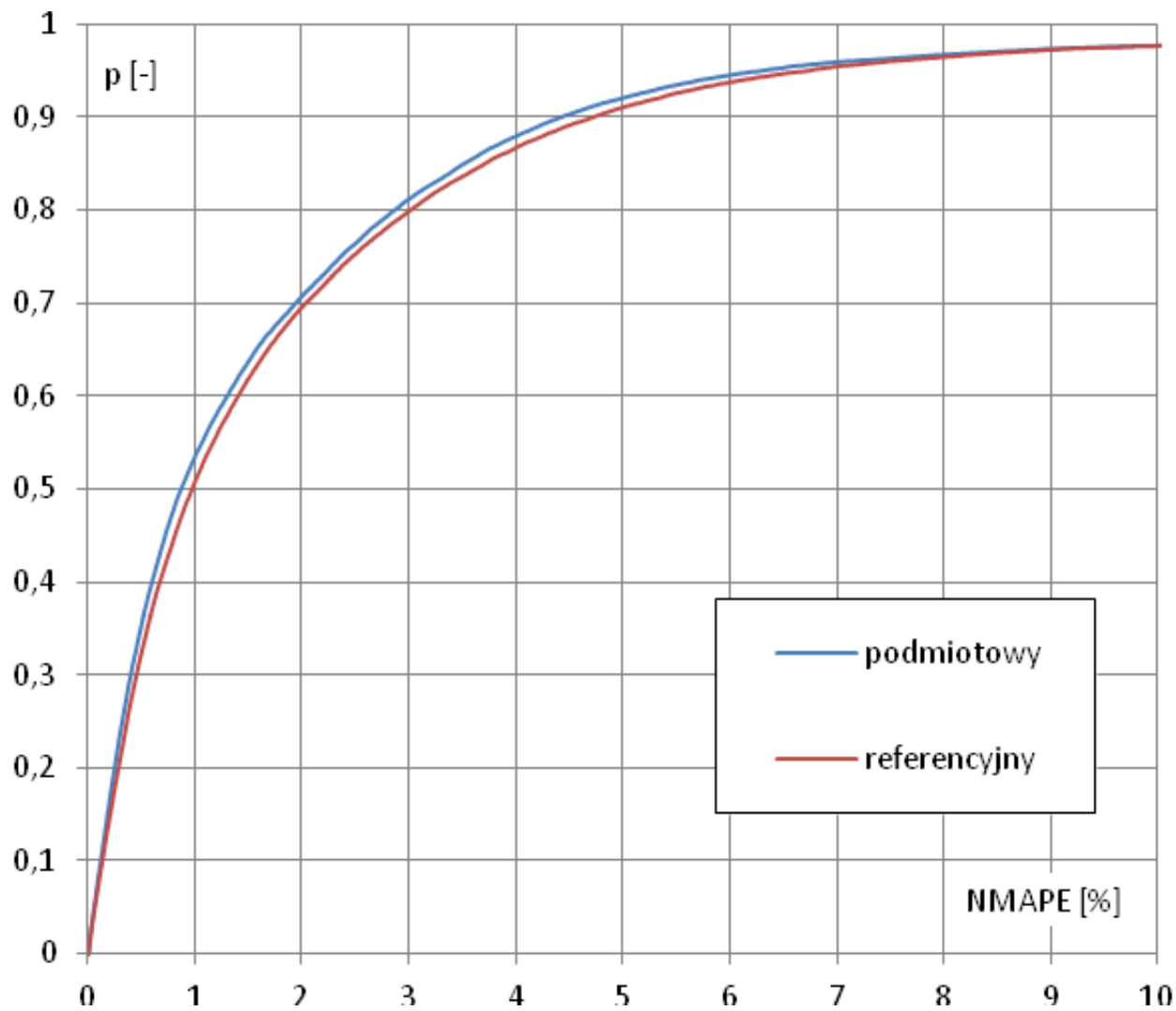
Lp	Okres	NMAPE [%]	
		FW3	
		model referencyjny	model podmiotowy
1	czerwiec	1,01	0,93
2	lipiec	1,03	0,94
3	sierpień	1,11	0,98
4	wrzesień	1,57	1,71
5	październik	2,18	2,19
6	listopad	1,9	1,84
7	grudzień	9,05	8,74
8	styczeń	5,97	5,92
9	luty	2,34	1,8
10	marzec	6,68	6,54
11	kwiecień	1,57	1,55
12	maj	2,31	2,38
13	rok	3	2,9

Wyniki eksperymentu



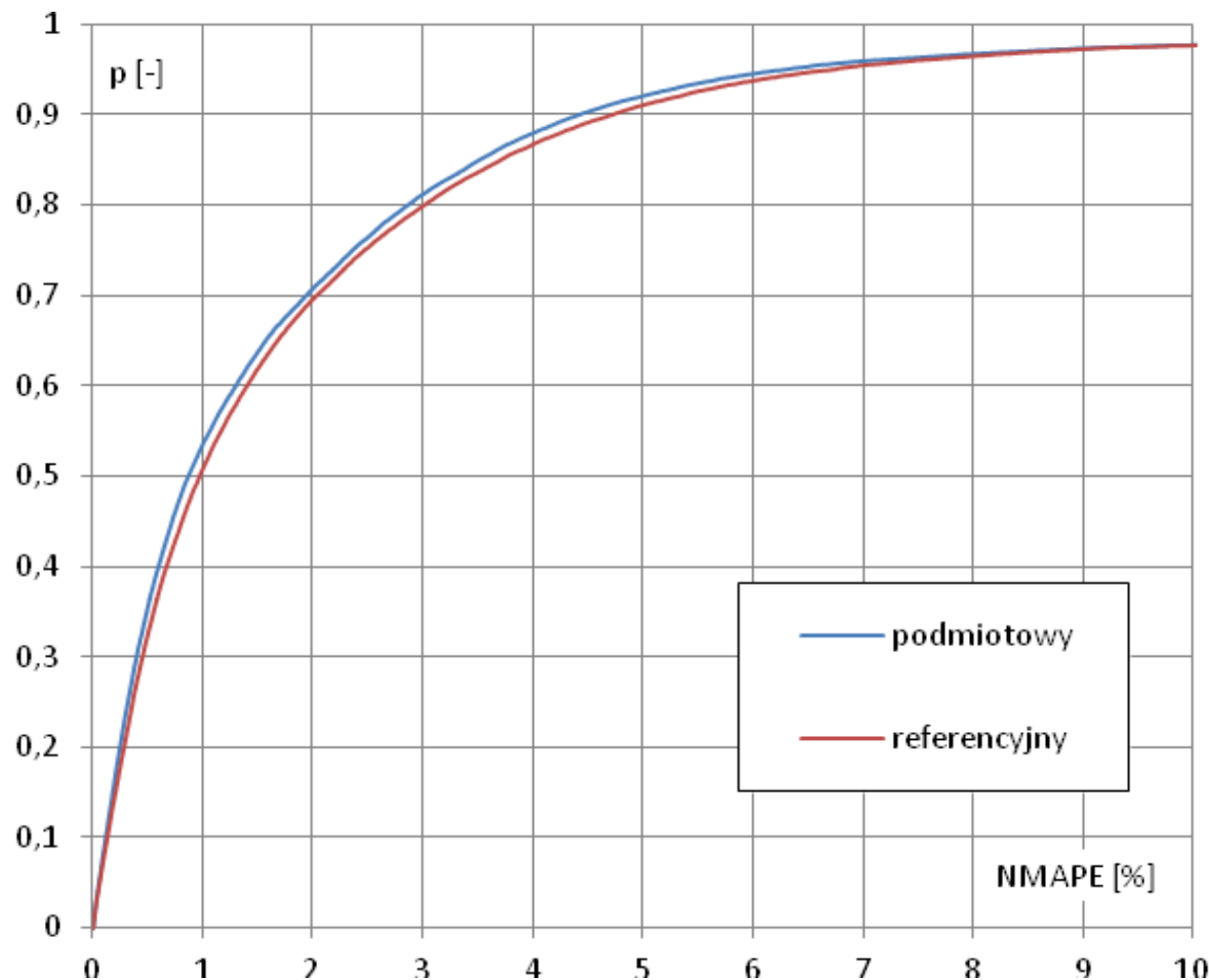
Rys. 4. Dystrybuanty rozkładu błędów dla modelu referencyjnego i Hausdorffa (podmiotowego) dla farmy FW1

Wyniki eksperymentu



Rys. 5. Dystrybuanty rozkładu błędów dla modelu referencyjnego i Hausdorffa (podmiotowego) dla farmy FW2

Wyniki eksperymentu



Rys. 6. Dystrybuanty rozkładu błędów dla modelu referencyjnego i Hausdorffa (podmiotowego) dla farmy FW3

PODSUMOWANIE

- ◉ Z analizy wyników prognoz wynika, że średnie błędy NMAPE w miesiącach zimowych są większe niż w pozostałej części roku.
- ◉ Najdokładniejsze błędy prognozy uzyskano dla FW3. Może to wynikać z lepszej jakości danych pomiarowych.
- ◉ Na podstawie analizy dystrybuant rozkładu błędów widać, że w każdym przypadku uzyskano poprawę dokładności modelu Hausdorffa w stosunku do modelu referencyjnego.
- ◉ Prognozy wykonano w oparciu o rzeczywiste pomiary prędkości wiatru. Nie posiadano do weryfikacji rzeczywistych prognoz wielkości meteorologicznych. Stan ten nakazuje rozważać wnioski wynikające z wyników z należą ostrożnością, gdyż jak wykazały inne eksperymenty, dokładność prognozy generowanej mocy w dużej mierze zależy od dokładności prognozy prędkości wiatru.

PODSUMOWANIE

- ◉ Z adaptacyjnej krzywej obciążenia wyznaczano moc generowaną pojedynczej turbiny, która pomnożona przez liczbę turbin w farmie dawała ostateczną prognozę. Nie uwzględniano możliwości w rzeczywistości niepełnej liczby pracujących turbin, co zwłaszcza w krańcowych wartościach prędkości wiatru może mieć znaczenie.
- ◉ Stosowana metodologia posiada niewykorzystany dotychczas potencjał, polegający na możliwości uwzględnienia w procesie wyznaczania adaptacyjnej krzywej mocy dodatkowych zmiennych dostarczających informacji o uwarunkowaniach terenowych, sezonowych i innych.

PYTANIA RECENZENTA

- ⊙ W artykule wymieniono różne wymiary, w tym wymiar Hausdorffa. Stwierdzono enigmatycznie „Każdy z nich (w domyśle wymiar) niesie pewną informację o obiekcie”. Warto rozwinąć, o jakie informacje tu chodzi, szczególnie w kontekście wykorzystania w prognozowaniu.

ODPOWIEDŹ

- ◉ Istnieje związek między wymiarem fraktalnym szeregu czasowego, a wykładnikiem Hursta

$$D = 2 - H$$

- Gdzie:

D - wymiar fraktalny

H - wykładnik Hursta

- ◉ Można wyróżnić trzy grupy procesów w zależności od jego wartości:
 - $H=0,5$ - szereg losowy, brak korelacji
 - $0 < H < 0,5$ - szereg antypersystentny
 - $0,5 < H < 1$ - szereg persystentny

PYTANIA RECENZENTA

- ⊙ W artykule napisano: „Na potrzeby analizy dokładności przygotowanego algorytmu został zbudowany model referencyjny.” Brak jest jakichkolwiek informacji o modelu referencyjnym, więc trudno odnieść się do wniosków z porównania modelu referencyjnego z modelem wykorzystującym wymiar Hausdorffa.

ODPOWIEDŹ

- Model referencyjny (REF) zbudowano w taki sposób, że z empirycznej krzywej mocy wydzielano punkty z przedziału $\pm 0,5$ m/s od oczekiwanej wartości mocy. Prognoza mocy w danym przedziale była wyznaczana jako średnia wartość składowej mocy punktów znajdujących się w przedziale. Merytoryczna zgodność techniki testowanej i referencyjnej przy porównywaniu wyników dostarcza przejrzyste kryterium ww. oceny. Całkowicie inny model referencyjny mógłby dać odpowiedź, po prostu: który model jest lepszy, a nie czy ta konkretna testowana technika cokolwiek wnosi w jakość wyników. Pozytywne wnioski są mocną rekomendacją dla użycia techniki niekoniecznie w modelach prostych, ale np. w hybrydowych.

CD.

- Prognozy zostały wykonane z krokiem równym długości doby, poczynając od północy danej doby. Dla każdego kroku wykonywano szereg prognoz z wyprzedzeniem od jednego do dziewięćdziesięciu sześciu kwadransów dla FW1 i FW2, oraz od jednego do stu czterdziestu czterech okresów dziesięciominutowych dla FW3. Predykcji poddano dane obejmujące jeden rok rozpoczynając od 1.10.2013 a na 1.10.2014 kończąc dla FW2 i FW2, oraz od 31.05.2013 a na 31.05.2014.

PYTANIA RECENZENTA

- ◉ Jakie są doświadczenia w prognozowaniu energetyki wiatrowej w takich krajach, jak np. Dania lub Niemcy? Czy znane są Autorom prognozy wykonywane w tych krajach podobne do prognoz realizowanych modelem z wykorzystaniem wymiaru Hasdorffa?

ODPOWIEDŹ

- ◉ W krajach UE najczęściej stosuje się podejście fizyczne w konstruowaniu modeli, ale używane są również modele ekonometryczne i statystyczne. Spotykane są również modele hybrydowe. Autorzy nie spotkali się z przypadkami stosowania analizy fraktalnej w prognozowaniu generacji wiatrowej.

PYTANIA RECENZENTA

- ◉ W rozdz. 3 „Badania eksperymentalne” mówi się o „dostrajaniu modelu prognostycznego”. Na czym polega ten proces? Czy jest to proces eksperymentalnego doboru np. współczynników c_1 i c_2 we wzorach (10) i (11) w taki sposób, aby zminimalizować błąd prognozy? Czy podobny proces zastosowano do modelu referencyjnego? W tym kontekście nasuwa się pytanie, czy zaprezentowane w Tabelach 1 i 2 wyniki błędów prognoz dotyczą prognoz wygaśłych, czy też modele zostały opracowane na podstawie materiału statystycznego obejmującego kompletne szeregi chronologiczne, a następnie wykonano prognozy (jak zdefiniowano okres badawczy)?

ODPOWIEDŹ

- Dla modelu referencyjnego dobrano szerokość przedziału (± 0.5 m/s), który z oczywistych względów zachowany został ten sam w testowanym modelu. Dobór zresztą nie był przeprowadzony bardzo restrykcyjnie. Mianowicie: z eksperymentów wynikało pewne plateau tego przedziału. Wybrano zatem z niego zakres większy, aby tym samym:
 - a) uniknąć zbytniego dopasowania modelu do danych,
 - b) dać testowanej technice przejrzystsze pole do popisu: czy wykaże selektywność czy też nie.

CD

- ◉ Dobór parametrów zarówno zakresu jak i parametrów przeprowadzono na danych sprzed pierwszej prognozy i nie zmieniano dla całości obliczeń. Oczywiście w modelu produkcyjnym celowe mogłoby się okazać przeprowadzanie doboru przed każdym krokiem prognozy w oparciu o rozszerzający się zbiór danych możliwych do potraktowania w danym kroku jako historia procesu.

Dziękuję za uwagę!

