

Paweł LOREK\*

## Specyficzne cechy europejskich giełd energii – statystyczna analiza cen *spot* w ujęciu długoterminowym

**STRESZCZENIE.** Giełdowy rynek energii elektrycznej nabiera coraz większego znaczenia jako płaszczyzna obrotu energią elektryczną. W niektórych krajach 80% energii elektrycznej jest sprzedawane na tym rynku. W wielu państwach udział tego rynku w całkowitym wolumenie sprzedawanej energii systematycznie rośnie. W opisanej sytuacji ważne wydaje się pozyskanie jak największej ilości informacji dotyczących cech charakterystycznych rynków giełdowych energii elektrycznej. W artykule zostanie podjęta próba ustalenia charakterystycznych cech statystycznych szeregów cen *spot* energii elektrycznej. W tym celu zostały użyte takie metody jak: analiza widmowa, badanie rozkładu statystycznego, wyznaczanie autokorelacji cząstkowych oraz wykresy rekurencyjne. Dane dotyczące wymienionych analiz odnoszą się do skandynawskiej giełdy Nord Pool, austriackiej giełdy Energy Exchange Austria (EXAA), hiszpańskiej OMI-Polo Español (OMIE) oraz polskiej Towarowej Giełdy Energii (TGE).

**SŁOWA KLUCZOWE:** giełdy energii, analiza statystyczna, zależności długoterminowe, rynek energii

---

\* Dr inż. – Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Wydział Ekonomii, Katowice; e-mail: pawel.lorek@ue.katowice.pl.

## Wprowadzenie

Sektor produkcji i dystrybucji energii elektrycznej był do niedawna uważany za branżę funkcjonującą w warunkach monopolu naturalnego. Argumentami przemawiającymi za takim rozwiązaniem były obiektywnie istniejące, fizyczne ograniczenia terytorialne, jak również kwestie związane ze strategicznym znaczeniem nieprzerwanych dostaw energii. Trendy w liberalizacji działalności gospodarczej nie ominęły jednak branży energetycznej. Liberalizacja w sektorze elektroenergetycznym została przeprowadzona w postaci postępującego udziału transakcji giełdowych w całkowitej liczbie transakcji dokonywanych na rynku energii elektrycznej. Charakterystyczną cechą i swoistym znakiem rozpoznawczym rynku zliberalizowanego jest dominujący udział transakcji giełdowych przy bardzo ograniczonej liczbie transakcji kontraktowych. Na rynku regulowanym proporcje te są odwrotne. Proces liberalizacji rynku energii elektrycznej w Europie jest składową częścią realizacji unijnej polityki energetycznej. Polityka ta skupia się na trzech celach: konkurencyjności gospodarczej, bezpieczeństwie energetycznym i zrównoważonym rozwoju.

W założeniach przyjętych przez Komisję Europejską cele te mają być komplementarne i wzajemnie się uzupełniać. Upowszechnienie mechanizmów rynkowych w sektorze elektroenergetycznym ma przynieść nie tylko wymierne efekty ekonomiczne dla odbiorców w postaci niższych cen energii, ale przekładać się również na zwiększone bezpieczeństwo energetyczne poprzez zaistnienie mechanizmów rynkowych pomiędzy wytwórcami energii elektrycznej, wcześniej funkcjonujących w warunkach monopolu. Należy wspomnieć, iż wdrażanie tych rozwiązań, niewątpliwie korzystne dla nabywców, nie jest szczególnie opłacalne dla producentów, którzy zostają pozbawieni pozycji monopolistów (Motowidlak 2007). Jedną z cech charakterystycznych tego rozwiązania jest upowszechnienie udziału giełd energii. Na terenie Unii Europejskiej funkcjonuje ich dość duża liczba. Część z nich podlega procesowi łączenia i wytwarzania połączeń transgranicznych. Procesy te wydają się dobrze korespondować z unijną polityką tworzenia jednolitego rynku energii elektrycznej na terenie Unii Europejskiej.

Obecny stan tworzenia jednolitego rynku energii elektrycznej można określić jako integrację regionalną. W ramach integracji regionalnej pojawiają się połączenia giełd energii, zazwyczaj operujących na terenach sąsiadujących krajów. Proces ten ma prowadzić do utworzenia jednolitego, spójnego rynku energii elektrycznej na terenie całej Unii Europejskiej. Istotną kwestią jest w tym przypadku ustalenie cech charakterystycznych giełd podlegających procesowi integracji. Część cech charakterystycznych wiąże się ze strukturalnymi warunkami funkcjonowania takich rynków. Do cech tych można zaliczyć występowanie ograniczeń w procesie dystrybucji, jak również konieczność istnienia usług o charakterze pomocniczym (Malko 2013). Takich charakterystycznych uwarunkowań w postaci czynników technicznych, ekonomicznych bądź prawnych można wskazać wiele. Interesującym zagadnieniem jest jednak, w jaki sposób te uwarunkowania zostają zdyskontowane przez mechanizmy rynkowe w postaci finalnych cen energii elektrycznej oraz czy z obrazu statystycznego tych cech można wiarygodnie wnioskować na temat strukturalnych podobieństw bądź różnic pomiędzy poszczególnymi giełdami energii. Uzyskanie informacji na ten temat mogłoby potencjalnie ułatwić rozpoznanie możliwych barier w procesie integracji giełdowych rynków energii.

## 1. Obiekt badań i metody badawcze

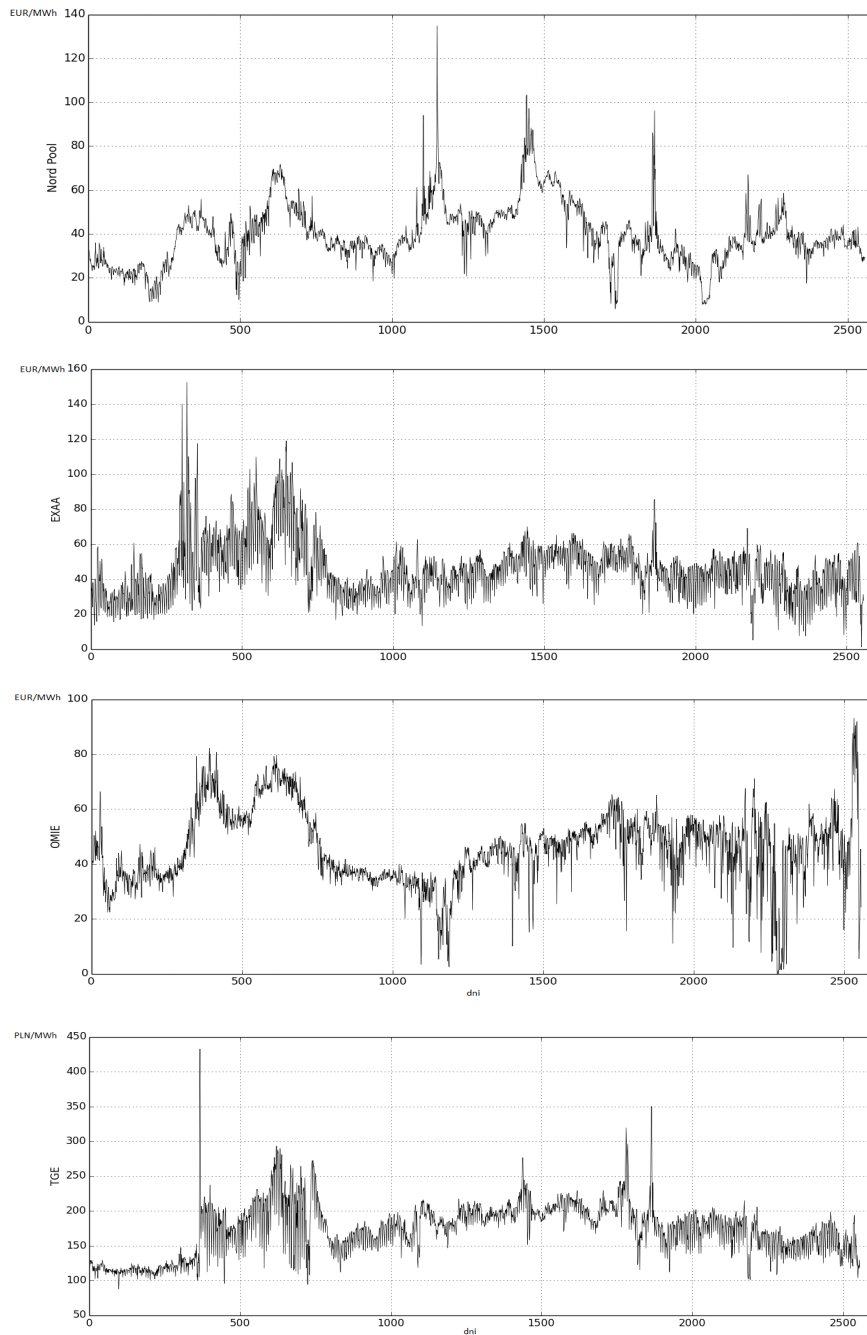
Jako obiekt badania wybrano cztery europejskie giełdy energii. Są to: skandynawska giełda Nord Pool, austriacka Energy Exchange Austria (EXAA), hiszpańska OMI-Polo Español (OMIE) oraz polska Towarowa Giełda Energii (TGE). Giełdy te stanowią stosunkowo reprezentatywną grupę pod względem rozmieszczenia terytorialnego na kontynencie europejskim, wielkości obrotu, liczby zrzeszonych państw oraz dominujących źródeł sprzedawanej energii. Pozyskane i poddane badaniom dane pochodzą z okresu 1.01.2007–31.12.2013. Na podstawie tych zestawień podjęto próbę oszacowania cech charakterystycznych każdej z giełd. Celem przeprowadzonych badań jest określenie stopnia homogeniczności bądź heterogeniczności badanych giełd. Do osiągnięcia tego celu posłużono się następującymi metodami:

- ✧ badaniem i określeniem cech charakterystycznych przebiegów czasowych,
- ✧ analizą widmową,
- ✧ badaniem rozkładu statystycznego,
- ✧ wyznaczeniem autokorelacji cząstkowych,
- ✧ wykreśleniem i interpretacją wykresów rekurencyjnych.

Do wygenerowania wykresów rekurencyjnych posłużono się programem Visual Recurrence Analysis (VRA, 2014). Z kolei pozostałe badania zostały wykonane za pomocą autorskich programów wykonanych w środowisku Python 3.3 wraz z biblioteką SciPy 0.12.0 oraz Statsmodels 0.5.0. Wszystkie wykorzystane biblioteki dostępne są nieodpłatnie.

## 2. Wstępna analiza danych źródłowych

Pierwszym krokiem w analizie szeregów czasowych jest wzrokowa ocena występowania cech charakterystycznych. Pozwala ona niewielkim nakładem środków ocenić podobieństwo pomiędzy badanymi przypadkami lub jego brak, jak również dostrzec najbardziej widoczne cechy charakterystyczne. Wykresy czasowe notowań badanych giełd są umieszczone na rysunku 1. Zauważalną cechą charakterystyczną jest, w przypadku wszystkich giełd, wysoki poziom zmienności cen. Ponadto, zauważalne są sezonowe wahania zmienności, charakteryzujące się okresowymi zmianami w amplitudach zmian cen. Amplituda zmian cen jest cechą odróżniająca od siebie poszczególne giełdy. Najniższe natężenie zmienności można odnotować w przypadku giełdy Nord Pool, najwyższe w przypadku giełdy OMIE. Dodatkowo, w przypadku giełdy OMIE, zauważalna jest znaczna częstość występowania w ostatnim okresie gwałtownych, ujemnych spadków cen. Prawdopodobnym wyjaśnieniem wydaje się być trudna sytuacja makroekonomiczna Hiszpanii, aczkolwiek nie można wykluczyć wpływu innych czynników. Do nich należy bez wątpienia zaliczyć zmiany w uregulowaniach prawnych mających wpływ na funkcjonowanie rynku energii elektrycznej. Wpływ ten widoczny jest w przypadku giełdy TGE. Na zaprezentowanym wykresie można zauważyć wyraźne zmiany w kształtowaniu się cen po ustawowym uwolnieniu cen energii dla przedsiębiorstw (31.12.2008 roku) oraz po wprowadzeniu ustawowego obowiązku częściowej sprzedaży energii poprzez giełdę (08.2010 roku). Jak



Rys. 1. Wykresy czasowe badanych szeregów  
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Plots of examined time series

widać, funkcjonowanie rynku energii elektrycznej uzależnione jest od wielu czynników. Kolejną charakterystyczną cechą jest występowanie pików cenowych. Przez to rozumie się krótki okres czasu, w którym cena rośnie bądź spada w sposób nagły i niespodziewany (Kwoka i Sabodash 2011). Jako najczęstsze wytłumaczenie tego zjawiska podawana jest niemożność magazynowania wytworzonej energii elektrycznej oraz wpływ warunków pogodowych. Jako inne przyczyny występowania tego zjawiska wymieniane są: nieprzewidziane, wymuszone przestoje w sieci przesyłowej, ograniczenia możliwości przesyłowych oraz nieprzewidziane zmiany popytu (Shrivastava i Panigrahi 2014).

Na przedstawionych wykresach obecne są zarówno dodatnie, jak i ujemne piki cenowe. Oczwistym czynnikiem wpływającym na zachowanie notowań wszelkich rynków giełdowych są różnego rodzaju bodźce psychiczne. Zachowanie uczestników obrotu giełdowego zależne będzie od sytuacji makroekonomicznej, jak również zgromadzonego bagażu pozytywnych i negatywnych doświadczeń nabytych w trakcie prowadzenia operacji giełdowych. Czynniki te wpływają na funkcjonowanie sektora giełdowego i są istotnym komponentem determinującym zachowanie rynków.

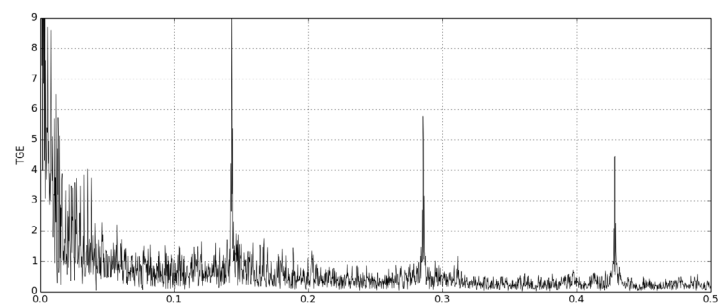
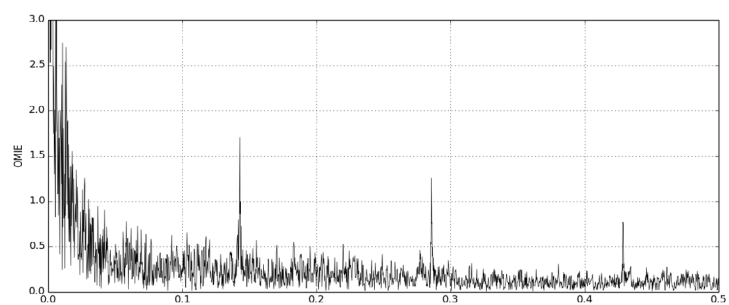
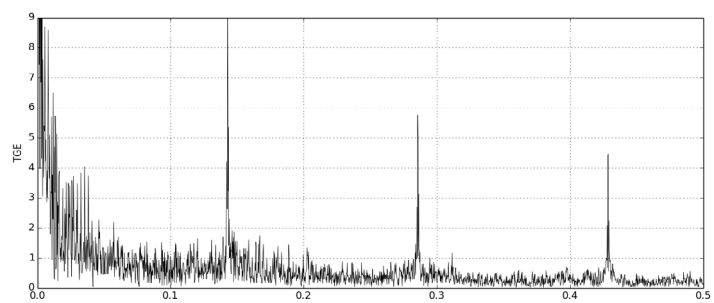
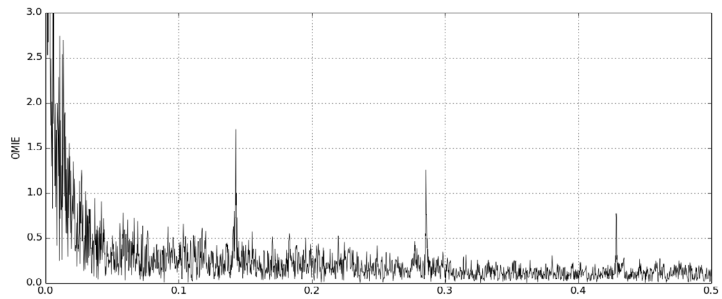
### 3. Analiza widmowa

Pobieżna analiza wykresów czasowych badanych szeregów daje przesłanki do stwierdzenia występowania zjawiska okresowości. W celu wykrycia występowania zjawiska periodyczności w badanych szeregach czasowych zostało wykonane szybkie przekształcenie Fouriera (FFT). Przekształcenie Fouriera wykonuje bezpośrednią transformację spróbkowanego w stałych odstępach czasu sygnału na postać częstotliwościową z odznaczającymi się poszczególnymi harmonicznymi, wchodzącymi w skład sygnału pierwotnego (Kantz i Schreiber 2004). Wyniki obliczeń są umieszczone na rysunku 2.

Analiza uzyskanych wyników wskazuje na występowanie periodyczności o okresie równym siedmiu dniom w przypadku wszystkich badanych giełd energii. Ponadto, we wszystkich przypadkach widoczna jest obecność składowych harmonicznych o okresach równych całkowitym wielokrotnościom częstotliwości podstawowej (tj. siedmiu dniom). Fakt ten świadczy o niesinusoidalnej postaci występującego efektu periodyczności. Właściwości przekształcenia widmowego nie pozwalają na stwierdzenie rzeczywistego kształtu występującej okresowości.

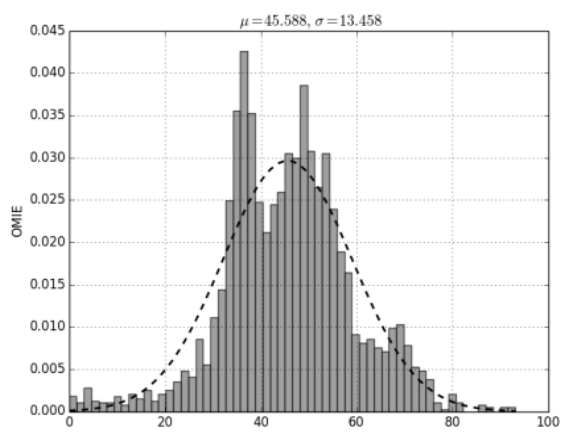
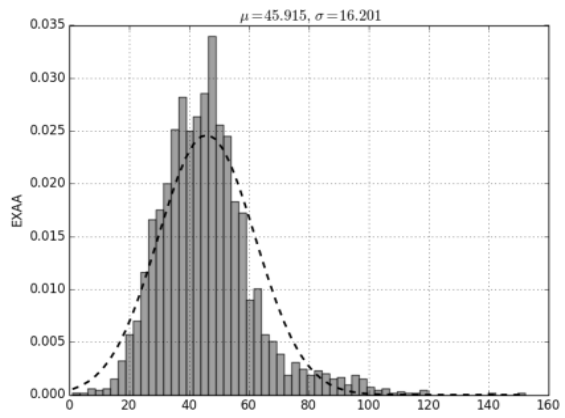
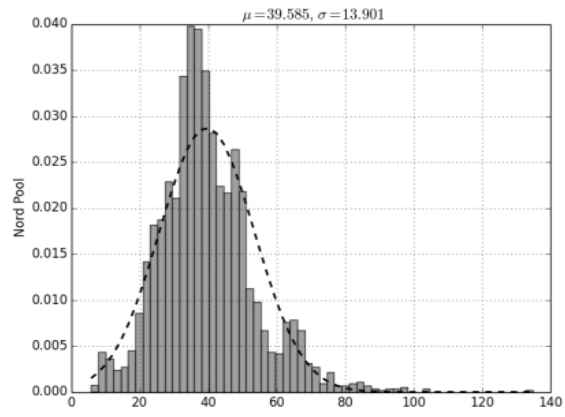
### 4. Rozkład statystyczny

Jedną z podstawowych cech podlegających badaniu w przypadku ekonomicznych szeregów czasowych jest rozkład statystyczny. Typowy kształt rozkładu pozwala na stwierdzenie bardziej i mniej prawdopodobnych zakresów kształtowania się cen. Histogramy rozkładów empirycznych dla poszczególnych giełd są umieszczone na rysunku 3. Wartości średniej oraz odchylenia standardowego dla każdego z badanych przypadków są umieszczone nad każdym z histogramów.



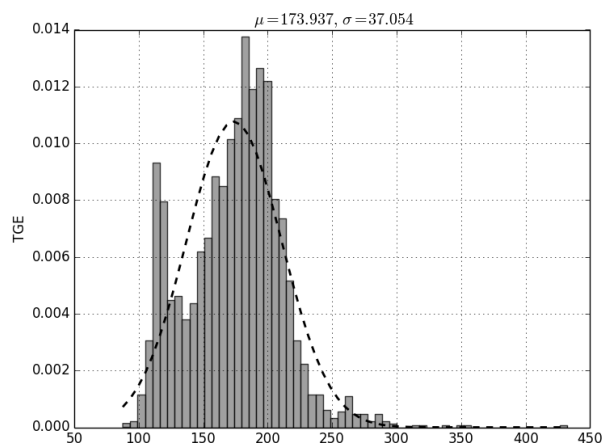
Rys. 2. Analiza widmowa badanych szeregów  
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Spectral analysis of examined time series



Rys. 3

Fig. 3



Rys. 3 cd. Rozkłady statystyczne historii notowań  
Źródło: opracowanie własne

Fig. 3 cont. Statistical distributions of examined time series

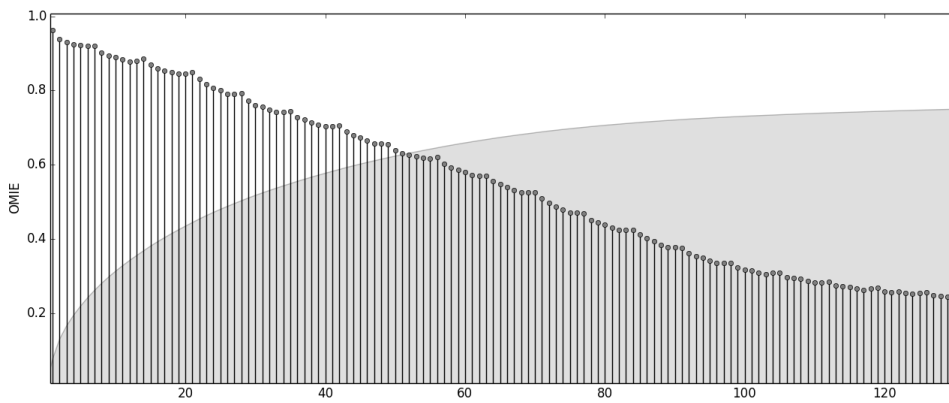
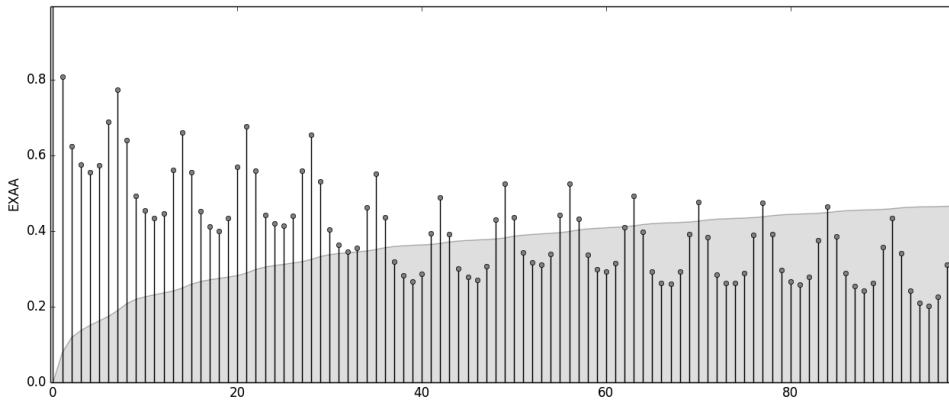
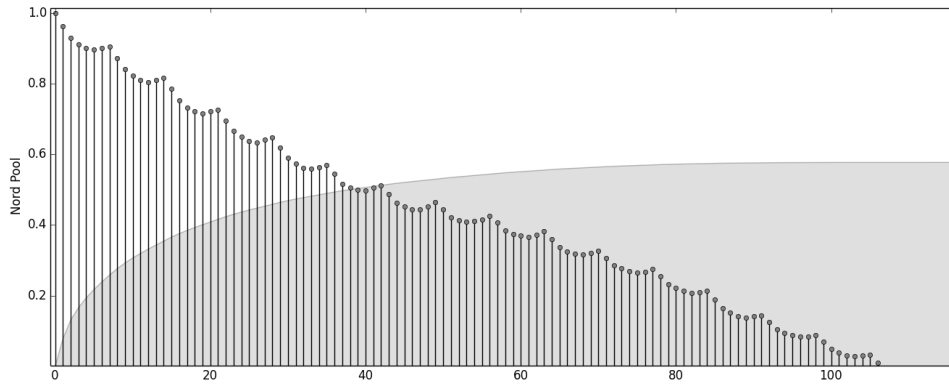
W przypadku giełdy Nord Pool można zaobserwować wyraźną wielomodalność rozkładu, - jak również asymetrię prawostronną. Asymetria prawostronna jest wyraźna w przypadku giełdy EXAA, lecz nie ma w tym przypadku wyraźnej wielomodalności. Wielomodalność oraz asymetria lewostronna są natomiast obecne w przypadku giełdy OMIE. Najsilniejszy stopień wielomodalności można zaobserwować w przypadku giełdy TGE. Należy tutaj podejrzewać wpływ zmian regulacji prawnych, zmieniających warunki funkcjonowania giełdy. Pod względem właściwości statystycznych badane giełdy nie wykazują cech podobieństwa. Fakt ten skłania do przyjęcia założenia o heterogenicznym charakterze badanych giełd.

## 5. Autokorelacja cząstkowa

Autokorelacja jest pojęciem statystycznym, oznaczającym korelację pomiędzy przeszłymi a przyszłymi wartościami szeregu czasowego. Występowanie zależności autokorelacyjnych stanowi na ogół wyraźną przesłankę do uznania badanego szeregu jako możliwego do predykcji (Meko 2014). Wykresy funkcji autokorelacji dla badanych giełd zostały umieszczone na rysunku 4. Obszar oznaczony szarym kolorem rozróżnia granicę istotności statystycznej.

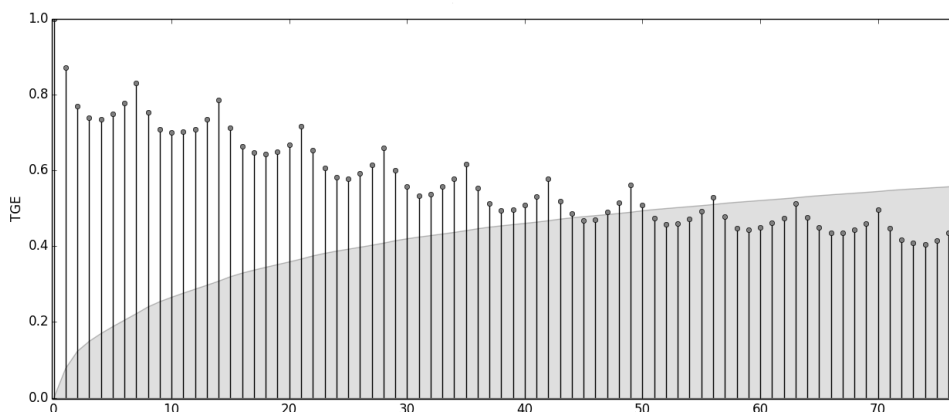
Najbardziej widoczną cechą charakterystyczną jest obecność siedmiodniowej okresowości. Jest ona najlepiej widoczna w przypadku giełdy EXXA, najslabiej z kolei w przypadku giełdy OMIE. Nie ulega natomiast wątpliwości fakt występowania siedmiodniowej okresowości we wszystkich badanych przypadkach. Stanowi on potwierdzenie obserwacji wyciągniętych w przypadku badania rozkładu częstotliwościowego za pomocą transformaty Fouriera, a więc przemawia za hipotezą o homogenicznym charakterze giełd energii.





Rys. 4

Fig. 4



Rys. 4 cd. Autokorelacje cząstkowe badanych szeregów  
Źródło: opracowanie własne

Fig. 4 cont. Partial autocorrelations of examined time series

## 6. Wykresy rekurencyjne

Rzadziej spotykaną metodą analizy nieliniowych szeregów czasowych są wykresy rekurencyjne. Jako metoda badawcza weszły do użytku w 1987 roku. Największą popularność zdobyły w medycynie i biologii, aczkolwiek znane są liczne zastosowania ekonomiczne (Marwan 2008). Wśród zastosowań ekonomicznych można wskazać m.in. analizę dynamiki kształtowania stopy bezrobocia (Chen 2010) czy badanie przyczyn występowania krachów giełdowych (Guhathakutra i in. 2010).

Utworzenie wykresu rekurencyjnego wymaga wcześniejszej estymacji wartości wymiarowości i opóźnienia czasowego. Do oszacowania parametru została wykorzystana metoda najbliższych fałszywych sąsiadów (*false nearest neighbors*), z kolei do oszacowania parametru metoda informacji wzajemnej (*mutual information*). Wartości parametrów dla wszystkich badanych przypadków zawarte są w tabeli 1.

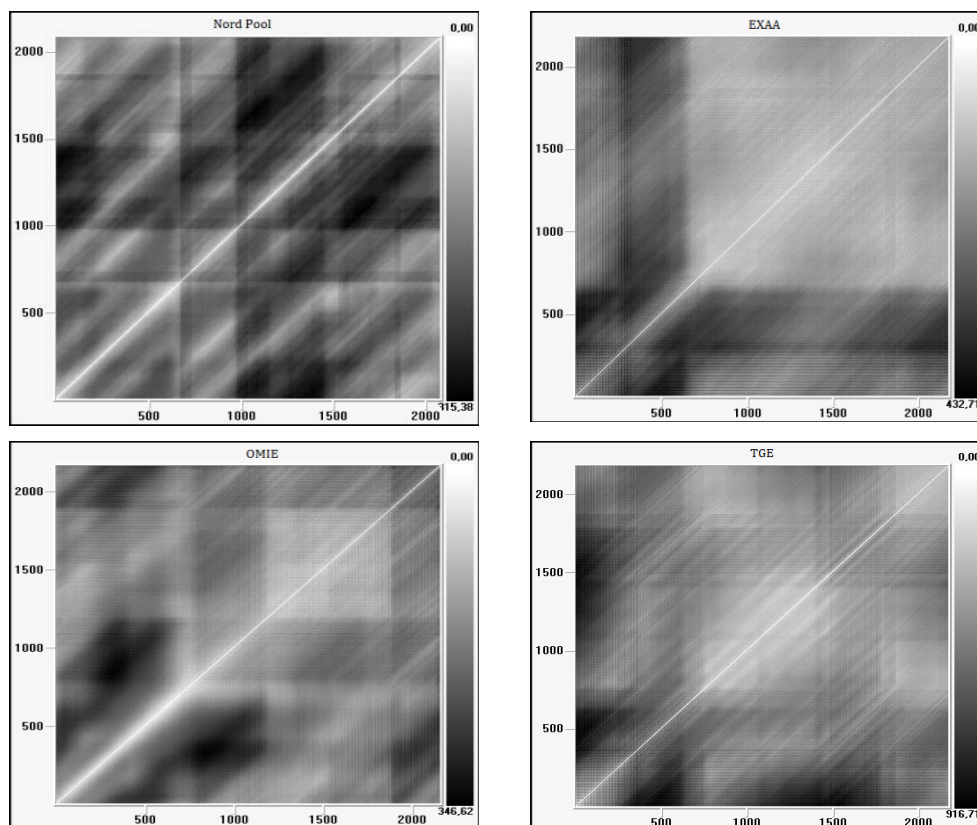
TABELA 1. Wartości parametrów analizy rekurencyjnej

TABLE 1. The values of parameters of recurrence analysis

Zestaw danych	$m$	$\tau$	Odległość
Nord Pool	97	5	Euklidesowa
EXAA	97	4	Euklidesowa
OMIE	100	4	Euklidesowa
TGE	96	4	Euklidesowa

Źródło: opracowanie własne

Dla oszacowanych parametrów zostały wygenerowane wykresy rekurencyjne, które widoczne są na rysunku 5.



Rys. 5. Analiza rekurencyjna badanych szeregów  
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. The recurrence graphs of examined time series

Interpretacja wykresu rekurencyjnego może być trudna i wymaga umiejętności dostrzeżenia elementów charakterystycznych na wykresie. Stanowią one bowiem bezpośrednie odzwierciedlenie cech badanego szeregu czasowego (Marwan i in. 2007). W zbadanych przypadkach wyraźnie zauważalne są diagonalne linie pojawiające się w równych odstępach, co świadczy o występowaniu efektu periodyczności. Bardzo wyraźne są również poziome i pionowe pasy tworzące na wykresie swoistego rodzaju klastry. Prawdopodobnym wytłumaczeniem jest w tym przypadku utrzymywanie się określonych poziomów cen przez dłuższy czas. Efekt ten występuje we wszystkich przypadkach, lecz liczba oraz poziom tych stanów przejściowych różnią się znacznie w przypadku każdej z giełd. Zjawisko to jest najmniej wyraźne w przypadku giełdy OMIE, najbardziej zaś w przypadku giełdy Nord Pool.

## Podsumowanie i wnioski

Analiza rynków przez pryzmat szeregów czasowych może być traktowane jako swoiste uproszczenie redukujące obraz rynku jedynie do uporządkowanej sekwencji numerycznej. Uproszczenie to jest jednak konieczne w celu zastosowania opisanych metod, których użycie może przynieść wiele istotnych informacji dotyczących badanych rynków. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- ✧ giełdy energii cechują się dużą zmiennością cen, lecz skala zmienności jest już cechą charakterystyczną każdej z giełd,
- ✧ charakterystyczną cechą giełd energii jest występowanie periodyczności o okresie równym siedmiu dniom,
- ✧ badane giełdy energii nie charakteryzują się normalnym rozkładem statystycznym, a poszczególne rozkłady nie wykazują podobieństwa między sobą,
- ✧ autokorelacja cząstkowa potwierdza istnienie periodyczności o okresie równym siedmiu dniom we wszystkich badanych przypadkach, lecz największe nasilenie tej cechy zostało odnotowane w przypadku giełdy EXAA, a najsłabsze w przypadku giełdy OMIE,
- ✧ wykresy rekurencyjne potwierdzają istnienie zjawiska periodyczności oraz podobnego mechanizmu kształtowania cen polegającego na częstszym i dłuższym występowaniu określonych poziomów cen.

Przeprowadzone badania miały na celu rozstrzygnięcie o homogenicznym bądź heterogenicznym charakterze giełd energii elektrycznej. Uzyskane wyniki skłaniają jednak do wysunięcia niejednoznacznych wniosków. Z jednej strony wyłania się obraz podobnych mechanizmów kształtowania się cen na każdej z giełd. Do tych mechanizmów należy zaliczyć efekt siedmiodniowej okresowości oraz wyraźnej przewagi częstości występowania oraz czasu utrzymywania się pewnych poziomów cen. Z drugiej strony występują różnice w nasileniu występowania pików cenowych oraz ogólnego poziomu zmienności. W kontekście wdrażanej unijnej polityki energetycznej zastawiającą kwestią jest, czy wykazane podobieństwa i różnice w funkcjonowaniu giełd energii okażą się barierą w procesie integracji, czy przeciwnie – będą stanowić komplementarne uzupełnienie.

## Literatura

- CHEN, W.S. 2010. Use of recurrence plot and recurrence quantification analysis in Taiwan unemployment rate time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* t. 390, z. 7, Elsevier, s. 1332–1342.
- GUHATHAKUTRA i in. 2010 – GUHATHAKUTRA, K., BHATTACHARYA, B. i CHOWDHURY, A. 2010. Using recurrence plot analysis to distinguish between endogenous and exogenous stock market crashes. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* t. 389, z. 9, Elsevier, s. 1847–1882.
- KANTZ, H. i SCHREIBER, T. 2004. *Nonlinear time series analysis*. Wyd. 2. Cambridge University Press. New York.
- KWOKA, J. i SABODASH, V. 2011. Price Spikes in Energy Markets: „Business by Usual Methods” or Strategic Withholding? *Review of Industrial Optimization* t. 38, z. 3, Springer, s. 285–310.
- MALKO, J. 2013. Ceny energii: zmienność i przewidywalność. Case study – energia elektryczna w Europie. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 3, s. 7–23.

- MARWAN i in. 2007 – MARWAN, N., ROMANO, M.C., THIEL, M. i KURTHS, J. 2007 Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Report* t. 438, z. 5–6, Elsevier, s. 237–329.
- MARWAN, N. 2008 A historical review of recurrence plots. *The European Physical Journal. Special Topics*. t. 164, z. 1, Springer, s. 3–12.
- MEKO, D. 2014. Autocorrelation, [Online] Dostępne w: [www.ltrr.arizona.edu/~dmeko/](http://www.ltrr.arizona.edu/~dmeko/) [Dostęp: 24.03.2014].
- MOTOWIDŁAK, T. – Koszty osieroczone w sektorze energetycznym Unii Europejskiej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 10, z. 2, s. 31–52.
- SHRIVASTAVA i in. 2014 – SHRIVASTAVA, N.A., PANIGRAHI, B.K. i LIM, M.-H. 2014. Electricity price classification using extreme learning machines. *Neural Computing & Applications*. Springer. London.
- VRA, 2014 – [Online] Dostępne w: [Visual-recurrence-analysis.software.informer.com](http://Visual-recurrence-analysis.software.informer.com) [Dostęp: 13.04.2014].

Paweł LOREK

## A specific features of European energy exchanges – the long-term statistical analysis of spot prices

### Abstract

Acceleration of markets globalization, deregulation and liberalisation of business activity of enterprises, decentralisation of the management structures lead to increased competition on the market, where the quality of service and price of products is extremely important. Availability and the price of energy determines in a large scale the functioning and competitive position of the economy. The energy markets in european countries are rapidly evolving. In some countries 80% of energy volume is sold via energy exchanges. The energy exchanges are not used only by manufacturers and distributors, but also the distribution companies and wholesale customers. The importance of this form of market organisation is steadily growing. The development of European energy system has now reached the status of regional integration. This trend is part of the current European power sector development strategy that aim to create a single pan-European system. In this situation, it seems important to acquire as much information about the characteristics of the energy exchanges as possible. The article attempts to identify the characteristics of following energy exchanges: Nord Pool, Energy Exchange Austria, OMI-Polo Español and Towarowa Gielda Energii. Survey covers electricity prices from the period 1.01.2007–31.12.2013. In order to determine the characteristics of each of the exchanges, the following experiments were conducted: time plots analysis, the study of statistical distributions, spectral analysis, partial autocorrelation test, analysis and interpretation of recurrence plots. Collected in this way the results of the experiments are used to determine the homogeneous or heterogeneous nature of the examined European energy exchanges. The article is summarized by conclusions of the study.

KEYWORDS: statistical analysis, energy exchanges, energy market, long-term dependences

