

PROGNOZOWANIE CEN ENERGII NA RYNKU SPOT GIEŁDY NORD POOL I TGE

Autorzy: Tomasz Popławski, Monika Weźgowiec

(„Rynek Energii” – luty 2017 r.)

Słowa kluczowe: prognozowanie, cena energii, giełda energii, rynek spot

Streszczenie. Artykuł porusza problematykę prognozowania cen energii na dwóch wybranych europejskich giełdach, tj. skandynawskiej Nord Pool i polskiej TGE. Autorzy w artykule krótko opisują zarys historyczny oraz funkcjonowanie tych giełd. Z wielu modeli prognostycznych autorzy wybrali do prognoz model trendu pełzającego. Powstał autorski nowatorski program implementujący tę metodę. Na podstawie danych z giełd skonstruowano szeregi czasowe i przeprowadzono analizę statystyczną. W celu oceny dokładności i użyteczności prezentowanego modelu zostały wykonane odpowiednio prognozy wygasłe i prognozy walidacyjne.

1. WPROWADZENIE

Prognozowanie zjawisk gospodarczych w dzisiejszym świecie ma ogromne znaczenie. Świadczą o tym liczne publikacje [1], [2], [5], [6], [7], [8], [9], [12], [16]. Coraz częściej pojawiają się referaty poświęcone tematyce prognozowania energii uzyskanej z odnawialnych źródeł [17], [18], [20].

Autorzy pragną przybliżyć problematykę modelowania cen energii na giełdowych rynkach. Spośród wielu giełd zostały wybrane dwie: największa (bez wątpienia) skandynawska giełda Nord Pool oraz działająca w Polsce - Towarowa Giełda Energii (TGE).

Do tematyki prognozowania cen nawiązuje kilka publikacji [10], [11], [19], [21], [25], [26]. Jest to jednak zagadnienie wciąż nowe. Nie ma bowiem w literaturze wielu opisanych metod, które można wykorzystać do przewidywania tego procesu. W związku z tym Autorzy pragną przedstawić metodykę trendu pełzającego. Model ten stosowany był już wcześniej przez Autorów do predykcji kilku procesów, w tym także cen. Podczas wykonywania badań, na potrzeby własne został stworzony nowatorski, autorski program „Prognozowanie”, w którym została zaimplementowana właśnie ta metoda. Jest to wersja testowa programu. Planowana jest jego dalsza rozbudowa o kilka innych metod prognostycznych. Autorzy mają koncepcję zastosowania również nieliniowych metod wyznaczania trendu w modelu, gdyż klasyczna wersja tej metody stosuje regresję liniową.

2. GIELDY ENERGII

Znaczenie handlu energią elektryczną raptownie wzrosło. Powodem tego jest niewątpliwie zwiększone jej zużycie. Obrót energią odbywa się na giełdzie energii, a także poza nią (kontrakty dwustronne).

W Europie istnieje i funkcjonuje kilkanaście giełd energii. Najstarszą i zarazem największą europejską giełdą jest Nord Pool Spot. W Polsce obrót energią realizowany jest przez Towarową Giełdę Energii.

2.1. Towarowa Giełda Energii

Dzięki wprowadzeniu w życie Ustawy Prawo energetyczne [24] stworzono warunki do funkcjonowania Towarowej Giełdy Energii. Towarowa Giełda Energii S.A. powstała w 1999 r. W ciągu pół roku od zarejestrowania uruchomiono rynek spot dla energii elektrycznej. W 2003 r. jako pierwsza i do tej pory jedyna uzyskała licencję Komisji Nadzoru Finansowego na prowadzenie giełdy towarowej. W 2005 roku stworzono i wprowadzono rejestr świadectw pochodzenia dla energii elektrycznej wyprodukowanej w OZE, a w 2007 roku również dla kogeneracji. W 2006 roku TGE uruchomiła rynek spot dla uprawnień do emisji CO₂. W 2008 roku uruchomiono Rynek Terminowy. 31 grudnia 2012 r. uruchomiony został rynek spot gazu.

Towarowa Giełda Energii obecnie prowadzi rynki:

- RDNiB - Rynek Dnia Następnego i Bieżącego – w zakresie obrotu energią elektryczną,
- RDNg - Rynek Dnia Następnego i Bieżącego Gazu – w zakresie obrotu gazem,
- RTT - Rynek Terminowy Towarowy – w zakresie obrotu instrumentami terminowymi na energię elektryczną oraz instrumentami terminowymi na gaz,
- RPM - Rynek Praw Majątkowych – w zakresie obrotu prawami majątkowymi, o których mowa w art. 2 pkt 2 lit. d) i f) ustawy o giełdach towarowych,
- RUE - Rynek Uprawnień do Emisji – w zakresie obrotu uprawnieniami do emisji [22], [23].

2.2. Nord Pool

Giełda Nord Pool powstała w 1996 roku z połączenia dwóch giełd Szwecji i Norwegii. W 2000 roku dołączyła Dania i Finlandia. Od 2002 roku funkcjonuje jako niezależny operator na rynku energii – Nord Pool Spot ASA. W 2005 roku jako pierwsza wprowadziła do obrotu uprawnienia do emisji CO₂. Od 2008 roku funkcjonuje rynek gazu. Giełdę Nord Pool Spot możemy podzielić na dwa podstawowe rynki: fizyczny oraz finansowy. Rynek fizyczny jest podstawowym rynkiem obrotu energią. Ustalone na nim ceny stanowią podstawę dla rynku finansowego.

Na rynku fizycznym - Nord Pool Spot AS działają:

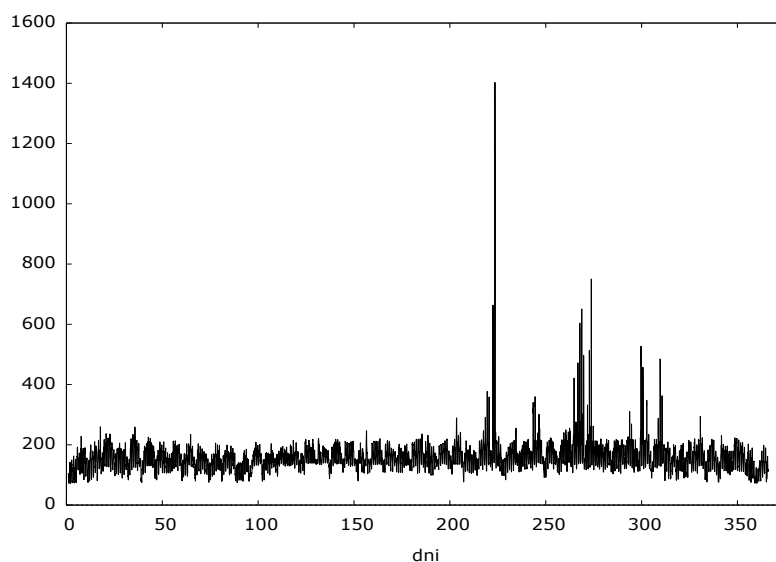
- rynek dnia następnego (*Elspot*),
- rynek dnia bieżącego (*Elbas*),
- rynek CO₂, oraz
- rynek gazu.

Drugim rynkiem jest rynek finansowy Nord Pool ASA. Rynek ten obejmuje także zależne spółki, tj. rozliczeniową Nord Pool Clearing ASA oraz konsultacyjną Nord Pool Consulting AS [15], [22].

3. ANALIZA STATYSTYCZNA CEN ENERGII

Na podstawie danych zaczerpniętych z rynków spot giełd TGE [23] i Nord Pool [15] zostały skonstruowane szeregi czasowe. Do wykonania analiz wykorzystano przebiegi godzinowe cen reprezentujące cały 2015 rok. Analiza statystyczna szeregu polega na poznaniu jego struktury. W tym celu wykonane zostały statystyki opisowe, test na normalność rozkładu, a także do wykrywania okresowości w badanych szeregach - funkcja gęstości spektralnej (analiza spektralna). Do wykonania i przeprowadzenia testów i analiz użyto programu Gretl¹.

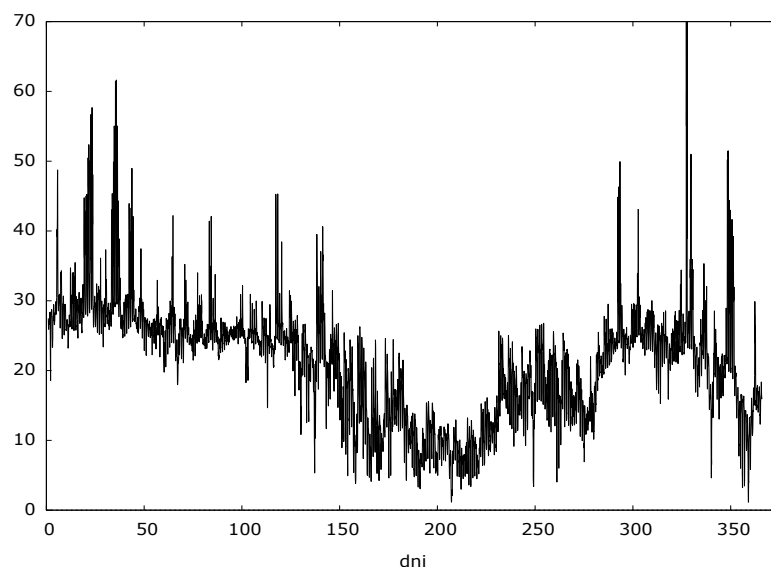
Wykres badanego szeregu czasowego cen energii notowanych na TGE przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Kształtowanie się cen energii w 2015 roku na Towarowej Giełdzie Energii w zł/MWh. Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu Gretl

¹ Gretl (Regression Econometric and Time_Series Library) należy do grupy oprogramowania Open Source, czyli Powszechnej Licencji Publicznej GNU (GNU General Public License). Autorem oprogramowania jest Allin Cottrell z Uniwersytetu Wake Forest w Północnej Karolinie w USA.

Ceny energii jak widać na powyższym rysunku oscylują wokół pewnej stałej wartości. Widać także znaczące skoki, kiedy to ceny osiągnęły rekordowe poziomy na giełdzie. Rysunek 2 przedstawia ceny notowane w 2015 roku na giełdzie Nord Pool.



Rys. 2. Przebieg cen energii w 2015 roku na skandynawskiej giełdzie Nord Pool w EUR/MWh. Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu Gretl

Statystyki opisowe zawierają podstawowe informacje o badanym procesie. W tabeli 1 przedstawiono charakterystyki liczbowe cen energii omawianych giełd.

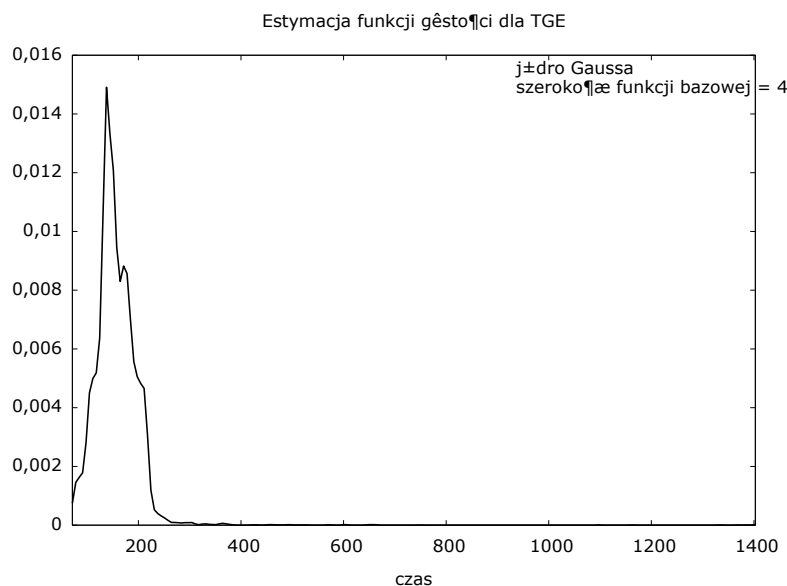
Tabela 1 Statystyki opisowe cen energii notowane na wymienionych giełdach

Statystyki opisowe	TGE [zł/MWh]	Nord Pool [EUR/MWh]
Średnia	156,95	20,98
Minimalna	71,32	1,14
Maksymalna	1402,74	69,94
Mediana	151,15	22,71
Odchylenie standardowe	50,54	7,92
Współczynnik zmienności	0,32	0,38
Wariancja	2554,57	62,69
Skośność	9,41	0,29
Kurtoza	194,37	1,49

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z giełd

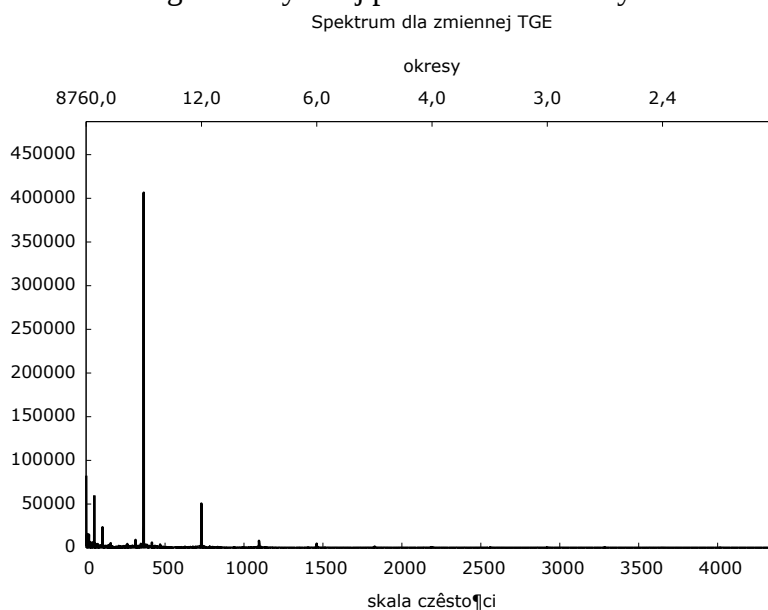
Dla cen notowanych na TGE wielkości wariancji i odchylenia standardowego są bardzo duże, w porównaniu do cen z Nord Pool. Dany szereg charakteryzuje się więc znaczną zmiennością i zróżnicowaniem.

Wielkość kurtozy jak i skośność obrazują rozkład badanej cechy, mówią o asymetrii rozkładu. W celu ukazania rozkładu zmiennych wykonano test na normalność. Na tej podstawie stwierdzono, że rozkład badanych cen (z rynku spot TGE, jaki i z Nord Pool) nie jest rozkładem normalnym. Rozkład cen z giełdy Nord Pool przyjmuje postać rozkładu spłaszczonego o asymetrii prawostronnej. Dla cen z TGE jest to rozkład wysmukły o prawostronnej asymetrii (rys. 3).



Rys. 3. Wykres funkcji gęstości dla cen z Towarowej Giełdy Energii. Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu Gretl

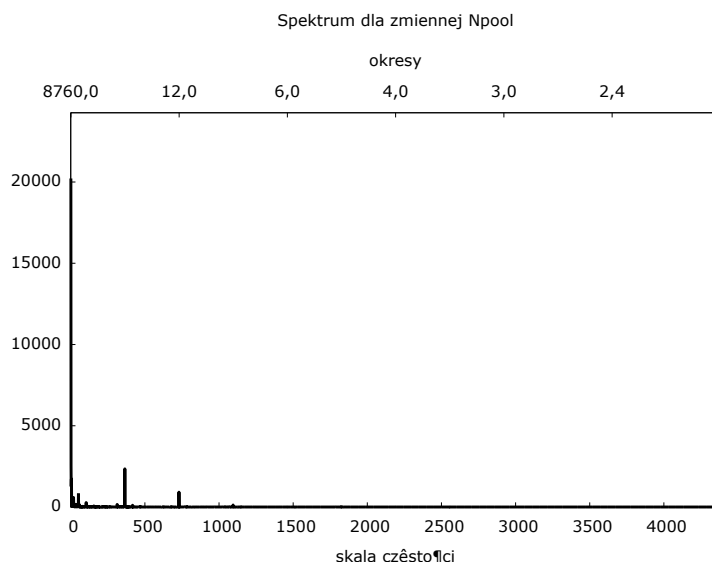
W celu wykrycia okresowości w badanych szeregach czasowych wykonano analizę spektralną (periodogram). Analiza spektralna jest modyfikacją analizy Fouriera [1], [14]. Przykładowy periodogram dla cen energii elektrycznej przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Periodogram dla cen energii z Towarowej Giełdy Energii. Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu Gretl

W analizie spektralnej dla cen energii na TGE wykryto najsilniejszą okresowość dobową, tygodniową, 12-godzinną oraz roczną.

Dla cen energii ze skandynawskiej giełdy okresy odpowiednio: roczne (najsilniejsze), dobowe i 12-godzinne (rys. 5).



Rys. 5. Periodogram dla cen energii z giełdy Nord Pool. Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu Gretl

Wartość periodogramu jest głównie interpretowana jako wariancja, której odpowiadają wahania o konkretnej częstotliwości bądź okresie [13].

4. MODEL TRENDU PEŁZAJĄCEGO Z REGRESJĄ LINIOWĄ

Algorytm budowy modelu trendu pełzającego został omówiony w [1], [3], [4], [21], gdzie szczegółowiej opisano wszystkie procedury. Jest to model adaptacyjny z wagami harmonicznymi. W klasycznej wersji w modelu tym stosuje się regresję liniową do wyznaczania trendu. Na potrzeby własne i dydaktyczne powstał (w trakcie badań) autorski program wykorzystujący właśnie ten model. Program jest ciągle w fazie testowania, doskonalenia i dalszej rozbudowy. Autorzy mają koncepcję o zaimplementowanie jeszcze kilku innych modeli prognozytycznych oraz dalsze zastosowanie modelu trendu, tylko wykorzystującego nieliniowe metody wyznaczania tendencji rozwojowej.

5. WYNIKI EKSPERYMENTU

Do uczenia i przetestowania modelu został wybrany szereg reprezentujący okres od 1 maja do

31 lipca 2015 roku. Prognoza została wykonana na tydzień. Wybrany model został oceniony pod względem dokładności dopasowania. Autorzy dodatkowo przetestowali trzy warianty wykonywania prognozy. Wariant 1 zakłada, że prognoza została wykonana od razu na 7 dni następnego miesiąca. Po uwzględnieniu wyników analizy spektralnej uznano za stosowne wykonanie prognozy krokowo. W wariacie 2 założono przesunięcie krokowe o 24 godziny, natomiast wariant 3 uwzględnia krok z 12-sto godzinnym wyprzedzeniem. Wyniki zestawiono w tabeli 2 i 3.

Tabela 2 Wyznaczone dla historii procesu procentowe błędy dopasowania modelu dla cen energii elektrycznej

		Trend pełzający			
		k = 3	k = 4	k = 5	k = 6
		Błąd dop. [%]	Błąd dop. [%]	Błąd dop. [%]	Błąd dop. [%]
TGE	Wariant 1	0,78	1,25	1,63	2,04
	Wariant 2	0,78	1,25	1,63	2,04
	Wariant 3	0,78	1,25	1,63	2,04
Nord Pool	Wariant 1	0,83	4,38	4,49	4,65
	Wariant 2	0,83	4,38	4,49	4,65
	Wariant 3	0,83	4,38	4,49	4,65

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z giełd

Jak widać z tabeli 2, przetestowany został także wpływ parametru k na dokładność modelowania. Parametry te były przyjmowane subiektywnie. Zakładano, że im większa jego wartość tym prognoza powinna być bardziej dokładna, a przebiegi bardziej dopasowane do rzeczywistych danych. Okazało się jednak inaczej. Nie do końca sprawdziło się przypuszczenie, że im mniejszy błąd dopasowania tym mniejszy błąd prognozy cen energii.

Tabela 3 Wyznaczone średnie procentowe błędy prognoz wygasłych dla cen energii elektrycznej

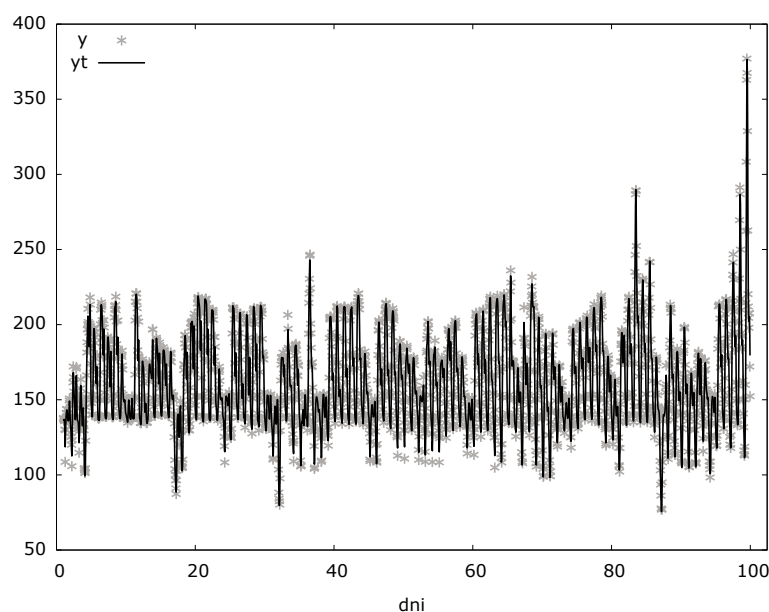
		Trend pełzający			
		k = 3	k = 4	k = 5	k = 6
		MAPE [%]	MAPE [%]	MAPE [%]	MAPE [%]
TGE	Wariant 1	5,93	5,77	5,77	5,84
	Wariant 2	5,96	5,80	5,85	5,99
	Wariant 3	6,02	5,85	5,95	6,14
Nord Pool	Wariant 1	8,01	10,63	10,41	10,14
	Wariant 2	7,98	10,64	10,53	10,39
	Wariant 3	8,03	10,62	10,51	10,45

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z giełd

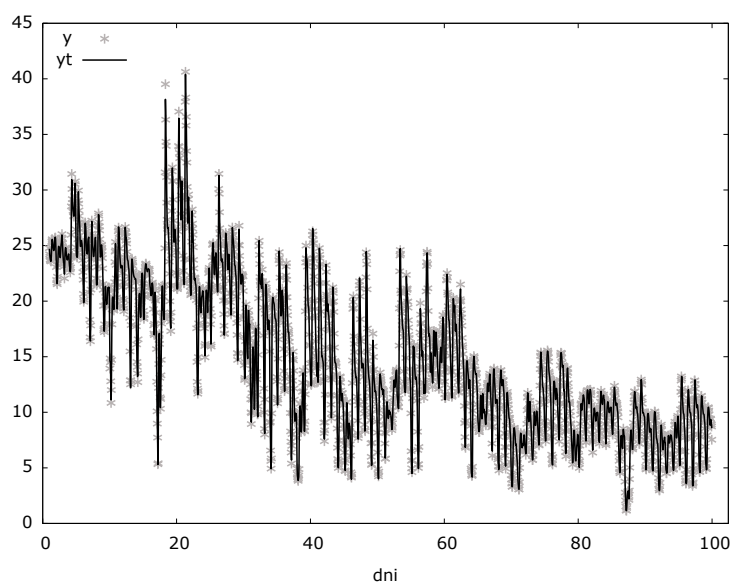
Dla wszystkich trzech wariantów (zarówno cen z TGE jak i Nord Pool) błędy dopasowania były sobie równe. Najlepsze dopasowanie miał model trendu pełzającego z parametrem wygładzania $k=3$. W tabeli 3 pokazano średnie błędy dla wykonanych prognoz wygasłych. Jak

widać sytuacja nie jest taka prosta w ocenie. Nieznacznie lepsze wyniki uzyskano w 1 wariancie, a więc prognoza wykonana od razu na 7 dni sierpnia. Błąd w tej metodzie wyniósł 5,77 % (zarówno dla parametru $k=4$ i $k=5$) dla cen notowanych na TGE. Dla cen z norweskiej giełdy błędy osiągnęły dużo większe wartości. Najniższy błąd był rzędu 7,98 %.

Przebieg rzeczywisty (Y) i prognozowany (Y_t) dla modelu trendu pełzającego o stałej wygładzania odpowiednio $k=4$ i $k=3$ ilustruje rysunek 6 i 7.



Rys. 6. Przebieg rzeczywisty i prognozowany dla cen energii z Towarowej Giełdy Energii. Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu Gretl



Rys. 7. Przebieg rzeczywisty i prognozowany dla cen energii z norweskiej giełdy Nord Pool. Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu Gretl

6. PODSUMOWANIE

Z wykonanej analizy i przeprowadzonych testów wynika, że prognozowanie cen energii jest trudnym zjawiskiem.

Ceny na rynku spot TGE charakteryzują się dużą wariancją, a tym samym dużym zróżnicowaniem. Błędy te nie mają rozkładu normalnego. Wykryto w nich najsilniejszą okresowość dobową. Na skandynawskiej giełdzie ceny również nie mają rozkładu normalnego, a najsilniejsza okresowość jest roczna. One także charakteryzują się znaczną zmiennością i zróżnicowaniem.

Autorzy w tym artykule chcieli poruszyć tematykę prognozowania cen na rynkach spot dwóch znaczących giełd europejskich. W literaturze ciężko odszukać metod nawiązujących do tego problemu.

Wykonane zostały symulacje wykorzystujące trzy warianty wykonywania prognozy. Najlepsze dokładności osiągnął model trendu pełzającego dla parametru wygładzania $k=3$. Błędy prognoz różnie się kształtowały w zależności od zwiększania wartości tego parametru. W wykonanej prognozie (przy stałej $k=4$) błędy były na poziomie 5,77% dla cen z rynku spot Towarowej Giełdy Energii. Dla cen z Nord Pool błąd wyniósł ok. 8% dla $k=3$.

Wykonaną prognozę uważa się jednak za poprawną. Będą prowadzone kolejne testy i próby w celu weryfikacji otrzymanych rezultatów. Planuje się także dalsze prace nad poprawą wykonywanych prognoz tym modelem. Autorzy mają koncepcję zaimplementowania w modelu trendu pełzającego nieliniowych metod wyznaczania tendencji rozwojowej.

Autorzy uważają, że efekty stosowania modelu trendu pełzającego z regresją liniową są zadowalające. Model ten może być stosowany także do predykcji innych zjawisk i procesów dla systemu elektroenergetycznego.

LITERATURA

- [1] Cieślak M., i inni.: *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowanie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001
- [2] Dąsal K., Popławski T.: *Problemy związane z prognozowaniem zużycia energii elektrycznej w Polsce*. Polityka energetyczna, (2008), Tom 11 Zeszyt 1, 101-116
- [3] Dąsal K., Popławski T.: *Model trendu pełzającego w prognozowaniu zużycia energii elektrycznej małych odbiorców*. Rynek Energii, (2009) Nr II(IV), 324-329

- [4] Dąsal K., Popławski T., Kurach M., Rusek K.: *Analiza i prognoza cen wybranych paliw biomasowych na krajowym rynku energii i UE*. Materiały pokonferencyjne ZET (2011), 23-39
- [5] Dobrzańska I., Dąsal K., Łyp J., Popławski T., Sowiński J.: *Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002
- [6] Dittmann P.: *Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie*. Oficyna ekonomiczna, Kraków 2004
- [7] Dudek G.: *Modele ARIMA do krótkoterminowego prognozowania obciążeń systemów elektroenergetycznych*. Rynek Energii (2012), 2 (99), 94-98
- [8] Dudek G.: *Modele wygładzania wykładniczego do krótkoterminowego prognozowania obciążeń systemów elektroenergetycznych*. Rynek Energii (2013), nr I (VIII), 64-69
- [9] Dudek G.: *Prognozowanie krótkoterminowe obciążeń systemów elektroenergetycznych z wykorzystaniem rozmytych drzew regresyjnych*. Przegląd Elektrotechniczny (2014), R.90, nr 4, 108-111,.
- [10] Ejdyś J., Halicka K., Godlewska J.: *Prognozowanie cen energii elektrycznej na giełdzie energii*. Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie, Politechnika Śląska, (2015), 53-61
- [11] Góra A., Strzała K.: *Prognozowanie ceny energii na TGE SA : analiza empiryczna*, Zarządzanie i Finanse (2013), R. 11, nr 3, cz. 2, 17-32
- [12] Halicka K., Więnkowski C.: *Wykorzystanie metod wygładzania wykładniczego do prognozowania kursu sprzedaży EUR*. Ekonomia i Zarządzanie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, (2013), Białystok. T. 5, nr 2
- [13] Kufel T.: *Ekometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu Gretl*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007
- [14] Lipiec-Zajchowska M. [red]: *Optymalizacja procesów decyzyjnych*. Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1999
- [15] Nord pool - <http://www.nordpoolspot.com>
- [16] Piotrowski P., *Prognozowanie w elektroenergetyce w różnych horyzontach czasowych*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej „Elektryka”, z. 144, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
- [17] Piotrowski P.: *Analiza statystyczna danych do prognozowania ultrakrótkoterminowego produkcji energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych*. Przegląd Elektrotechniczny, (2014), nr.4/ R.90, 1-4
- [18] Piotrowski P., Baczyński D.: *Prognozowanie dobowej produkcji energii elektrycznej przez turbinę wiatrową z horyzontem 1 doby*. Przegląd Elektrotechniczny (2014), nr.9/ R.90, 113-117
- [19] Popławski T., Łyp J., Kurach M.: *Wykorzystanie modelu rozkładu kanonicznego wektora zmiennych losowych do prognozy cen na rynku dnia następnego*. Rynek Energii, (2012) nr 1(98), 54-58

- [20] Popławski T., Szelaąg P.: *Wykorzystanie wykładnika Hursta do przewidywania niestabilności generacji wiatrowej*. Rynek Energii, (2013) nr 5 (114), 116-120
- [21] Popławski T., Weźgowiec M.: *Krótkoterminowe prognozy cen na Towarowej Giełdzie Energii z wykorzystaniem modelu trendu pełzającego*. Przegląd Elektrotechniczny, (2015) nr 12 R. 91, 267-270
- [22] Popławski T., Weźgowiec M.: *Porównanie funkcjonowania giełdy energii elektrycznej w Polsce z wybranymi giełdami w UE*. Rynek Energii, (2016) nr 1 (122), 3-10
- [23] TGE - <https://www.tge.pl/>
- [24] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. *Prawo energetyczne*. Z późniejszymi zmianami.
- [25] Weron R.: *Electricity price forecasting: a review of the state-of-the-art with a look into the future*. International Journal of Forecasting (2014) 30(4), 1030-1081
- [26] Weron R., Zator M.: *Revisiting the relationship between spot and futures prices in the Nord Pool electricity market*. Energy Economics (2014) 44, 178-190

FORECASTING ENERGY PRICES ON SPOT MARKET OF EXCHANGE NORD POOL AND POLPX

Key words: forecasting, energy prices, power exchange, spot market

Summary. The article raises the issue of forecasting energy prices on the two selected European markets, ie. the Scandinavian Nord Pool and Polish POLPX. The authors in the article describes a brief history and functioning of these exchanges. From many forecasting models the authors intended to present the methodology of the creeping trend model. It was created innovative original program that implements this method. Based on data from the power exchanges constructed time series and were performed statistical analysis. To evaluation of the accuracy and utility of presented model taken extinct and validation forecasts.

Tomasz Popławski, prof. zw. dr hab. inż., pracuje w Instytucie Elektroenergetyki w Zakładzie Wytwarzania, Urządzeń i Gospodarki Elektroenergetycznej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Aktualnie pełni funkcję Prorektora ds. Nauczania Politechniki Częstochowskiej. Jego naukowe badania skupiają się na analizach, modelowaniu i prognozowaniu zjawisk związanych z eksploatacją oraz programowaniem rozwoju systemów elektroenergetycznych. poptom@el.pcz.czest.pl

Monika Weźgowiec, mgr inż., jest asystentem w Zakładzie Wytwarzania, Urządzeń i Gospodarki Elektroenergetycznej w Instytucie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Jej naukowe zainteresowania obejmują analizy, modelowanie, prognozowanie zjawisk i procesów związanych z funkcjonowaniem systemu elektroenergetycznego, a w szczególności cen i wolumenu na Towarowej Giełdzie Energii. wezgowiec.monika@gmail.com