

Alicja Ganczarek-Gamrot
Dominik Krężolek
Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

ANALIZA RYZYKA NA RYNKU NORD POOL SPOT

Wprowadzenie

Rynek towarowy można zdefiniować jako pewien system, w którym następuje konfrontacja popytu i podaży oraz transakcji kupna i sprzedaży określonych towarów masowych, cechujących się ujednoczonym stopniem jakości. Rozważając tę definicję, rynek energii elektrycznej jest rozumiany jako miejsce, w którym dokonuje się transakcji kupna oraz sprzedaży energii elektrycznej, mocy, a także usług systemowych¹. Specyficzną cechą energii elektrycznej jest to, że brak jest metod efektywnego jej przechowywania. Implikuje to konieczność zrównoważonej produkcji i konsumpcji tego towaru w każdej chwili w czasie rzeczywistym. Istotnym problemem jest zapotrzebowanie na energię elektryczną, które jest determinowane wieloma czynnikami, m.in. dniem tygodnia, godziną doby, porą roku czy też warunkami atmosferycznymi. Ceny energii elektrycznej wykazują wysoki poziom zmienności, obserwowalnej przede wszystkim w ciągu doby. Zdecydowanie wyższe ceny występują w godzinach szczytu południowego oraz wieczornych, natomiast niższe odpowiednio w godzinach nocnych. Wysoka zmienność cen wskazuje tym samym na większy stopień ryzyka niekorzystnej zmiany.

1. Pomiar ryzyka

Skuteczne i efektywne zarządzanie ryzykiem wymaga od inwestora obszernej wiedzy związanej z podjętą inwestycją finansową. Głównymi charakterystykami interesującymi gracza rynkowego są przede wszystkim oczekiwany zysk

¹ A. Weron, R. Weron: *Gięda energii*. Centrum Informacji Rynku Energii, Wrocław 2000.

oraz poziom ryzyka związany z realizacją tego dochodu. Istotne znaczenie ma umiejętny pomiar tych wielkości. Na tym etapie rozważań zastosowanie znajdują różnego rodzaju zaawansowane metody matematyczne oraz statystyczne. Można wyróżnić następujące kategorie miar ryzyka inwestycyjnego: klasyczne miary ryzyka inwestycyjnego oraz nieklasyczne miary ryzyka inwestycyjnego.

Przez klasyczne mierniki ryzyka rozumie się takie, które stanowią pewien kanon w analizie ryzyka. Są one zatem szeroko wykorzystywane przez praktyków od dłuższego czasu. Większość tych miar pojawiło się wraz z powstaniem określonych teorii i nurtów naukowych, ulegając następnie modyfikacjom oraz przekształceniom, powiązanych ze zmianami czynników zewnętrznych determinujących ich zastosowanie. W grupie miar klasycznych wyróżnia się również miary budowane z wykorzystaniem klasycznych i najczęściej stosowanych rozkładów prawdopodobieństwa (przede wszystkim rozkładu normalnego).

Z kolei do grupy nieklasycznych miar ryzyka inwestycyjnego są zaliczane miary, które nie są rozumiane jako klasyczne według powyższej definicji. Miary nieklasyczne można etymologicznie powiązać z ich interdyscyplinarnością, gdyż bardzo często wywodzą się z innych dziedzin i nurtów naukowych. Jednakże ze względu na swoje matematyczne właściwości mają one zastosowanie do pomiaru ryzyka również na rynkach finansowych (w tym na rynku towarowym). W prezentowanym artykule wykorzystano mierniki nieklasyczne, wśród których wskazano wartość narażoną na ryzyko Value-at-Risk oraz Expected Shortfall.

2. Wartość narażona na ryzyko Value-at-Risk

Wartość narażona na ryzyko Value-at-Risk jest statystycznym miernikiem ryzyka realizacji straty wartości rynkowej z inwestycji, portfela, instytucji, jaka może wystąpić w zadanym przedziale czasowym z określonym prawdopodobieństwem, definiowanym jako poziom tolerancji². Możliwe jest także określenie wartości zagrożonej w sposób mniej formalny, jako wielkość inwestycji narażonej na stratę w danym okresie i przy założonym poziomie tolerancji³. Tym samym można wskazać dwie główne determinanty, które powinny zostać uwzględnione przez inwestora: horyzont czasowy inwestycji oraz akceptowalny poziom tolerancji.

² K. Dowd: *Beyond Value at Risk: The New Science of Risk Management*. John Wiley & Sons, Chichester 1999.

³ M. Doman, R. Doman: *Modelowanie zmienności i ryzyka. Metody ekonometrii finansowej*. Wyd. Wolters Kluwer Polska Sp. z o.o., Kraków 2009.

Określenie horyzontu czasowego podejmowanej inwestycji jest bardzo istotnym parametrem przy szacowaniu ryzyka za pomocą Value-at-Risk przede wszystkim dlatego, że wraz z wydłużaniem się horyzontu czasowego inwestycji zwiększa się poziom ryzyka. Za główne czynniki określające czas inwestycji przy szacowaniu Value-at-Risk można uznać przede wszystkim płynność i zmienność rynku, dostęp do informacji czy też złożoność struktury portfela inwestycyjnego.

Poziom tolerancji α jest kwestią subiektywną indywidualnego inwestora i często jest zależny od celu wyznaczania wartości zagrożonej. Nierzadko zamiast poziomu tolerancji α wykorzystuje się jego przeciwieństwo, określane jako poziom ufności $(1 - \alpha)$. Celem szacowania Value-at-Risk może być m.in. testowanie modelu inwestycyjnego, a w takim przypadku zakłada się wysokie wartości poziomu tolerancji⁴.

Z matematycznego punktu widzenia formalny zapis wartości zagrożonej na poziomie tolerancji α można przedstawić następująco:

$$P(W_{t+\Delta t} \leq W_t - VaR^{(\alpha)}) = \alpha, \quad (2.1)$$

gdzie $W_{t+\Delta t}$ oznacza losową wartość waloru na koniec analizowanego okresu, W_t – obecną wartość waloru w chwili t , Δt – horyzont czasowy inwestycji, natomiast α jest przyjętym przez inwestora poziomem tolerancji. Wartość narażona na ryzyko jest funkcją kwantyla rozkładu wartości inwestycji i może zostać zapisana jako:

$$P(W_{t+\Delta t} \leq W_t - VaR^{(\alpha)}) = P(W_{t+\Delta t} \leq W_\alpha) = \alpha, \quad (2.2)$$

gdzie W_α oznacza kwantyl rzędu α rozkładu wartości inwestycji.

W praktycznych zastosowaniach związanych z pomiarem ryzyka często są wykorzystywane stopy zwrotu analizowanych walorów. Wtedy definiowanie Value-at-Risk jest prowadzone na podstawie odpowiedniego kwantyla rozkładu stopy zwrotu. Zatem do wyznaczenia wartości zagrożonej wykorzystuje się następującą formułę:

– dla kapitalizacji okresowej:

$$VaR^{(\alpha)} = -R_\alpha W_t, \quad (2.3)$$

gdzie $R_\alpha = \frac{W_\alpha - W_t}{W_t}$ oznacza kwantyl rzędu α rozkładu liniowej stopy zwrotu z inwestycji,

⁴ K. Dowd: Op. cit.

– dla kapitalizacji ciągłej:

$$VaR^{(\alpha)} = W_t(1 - e^{R_\alpha}), \quad (2.4)$$

gdzie $R_\alpha = \ln\left(\frac{W_\alpha}{W_t}\right)$ oznacza kwantyl rzędu α rozkładu logarytmicznej stopy zwrotu z inwestycji.

Jak wynika z definicji Value-at-Risk jako funkcji kwantyla rzędu α rozkładu stopy zwrotu, do jego oszacowania istotne jest określenie właściwego typu rozkładu. W praktyce jest wykorzystywanych wiele metod szacowania wartości zagrożonej, a wśród nich m.in. metoda wariancji-kowariancji, symulacji historycznej czy też wyznaczania miary na podstawie kwantyla dowolnego rozkładu. Ta ostatnia metoda została wykorzystana przy ocenie poziomu ryzyka na rynku Nord Pool Spot.

Rozważając specyfikę rynku energii elektrycznej, należy nadmienić, że poziom cen wyklucza możliwość stosowania logarytmicznych stóp zwrotu. Przyczyna tkwi w tym, iż zdarza się, że przyjmują one wartości ujemne, co odrzuca możliwość wykorzystywania logarytmów.

3. Koherentne miary ryzyka – miara Expected Shortfall

Wartość zagrożona Value-at-Risk jest jedną z najczęściej wykorzystywanych miar ryzyka. Jej główną zaletą jest to, że w sposób jednoznaczny informuje o potencjalnej stracie z rozważanej inwestycji. Niemniej jednak informacja ta nie uwzględnia sytuacji wystąpienia zdarzenia ekstremalnego. Nie jest to zatem miara idealna. Artzner, Delbaen, Eber oraz Heath⁵ zaproponowali zbiór aksjomatów, które powinna spełniać dobra miara ryzyka. Aksjomaty te definiują własności miary koherentnej, a są to subaddytywność, dodatnia jednorodność, monotoniczność oraz translacja inwariantna. Dodatkowo oprócz wspomnianych aksjomatów miary koherentnej należy przytoczyć jeden, wynikający bezpośrednio z własności subaddytywności oraz dodatniej jednorodności, a mianowicie aksjomat wypukłości miary ryzyka, który ma szczególne znaczenie w analizie zagadnień związanych z optymalizacją portfeli inwestycyjnych.

Brak własności koherencji (a dokładniej niespełnienie założenia subaddytywności) dla miary Value-at-Risk wymusza konieczność określenia alternatywnego miernika, który spełniałby przedstawione aksjomaty zaproponowane przez

⁵ P. Artzner, F. Delbaen, J.-M. Eber, D. Heath: *Coherent Measures of Risk*. „Mathematical Finance” 1999, 9, s. 203-228.

Artznera et al. Ponieważ wartość zagrożona odpowiada na pytanie, jaka jest minimalna strata z inwestycji w α możliwych przypadków, a stanowiąc pewien punkt progowy, nie uwzględnia możliwości pojawienia się istotnych strat przekraczających jej poziom. Stąd bardziej właściwe jest zdefiniowanie, jaka jest oczekiwana wielkość straty z inwestycji w α możliwych przypadków. Rozwiązania tego zagadnienia dostarcza miara ryzyka określona jako Expected Shortfall⁶ (ES):

$$ES^{(\alpha)}(R_t) = E\left(R_t - VaR^{(\alpha)}(R_t) \mid X > VaR^{(\alpha)}(R_t)\right), \quad (3.1)$$

gdzie R_t oznacza proces stochastyczny stóp zwrotu.

Miara Expected Shortfall spełnia wszelkie założenia miary koherentnej, a dodatkowo posiada własność przechodniości, dodatniej homogeniczności oraz jest monotoniczna i wypukła. Spełnia także własności dominacji stochastycznej pierwszego i drugiego rzędu⁷. W przeciwieństwie do wartości zagrożonej Value-at-Risk uwzględnia także informację o grubości ogona rozkładu stopy zwrotu, natomiast własność koherencji pozwala na wykorzystanie Expected Shortfall jako narzędzia efektywnego zarządzania ryzykiem.

4. Zarys metodologii rozkładów alfa-stabilnych

Szeregi czasowe stóp zwrotu obserwowane na rynkach finansowych, w tym towarowych, cechują się specyficznymi własnościami, które odrzucają możliwość wykorzystania rozkładu normalnego. Można tu wskazać wysoki stopień zmienności, silną leptokurtozę oraz występowanie grubych ogonów empirycznych rozkładów. Alternatywą dla rozkładu normalnego są rozkłady prawdopodobieństwa należące do rodziny alfa-stabilnych. Rozkłady należące do tej klasy charakteryzują się pewnym parametrem kształtu, dzięki któremu jest możliwe modelowanie asymetrii oraz grubości ogona rozkładu. Ta własność czyni je użytecznymi w wielu dziedzinach nauki (w tym związanych z analizą rynków finansowych, do których zalicza się również rynek towarowy).

Istnieje wiele definicji zmiennej losowej posiadającej rozkład alfa-stabilny⁸. Jedną z nich głosi, że zmienna losowa X posiada rozkład alfa-stabilny wtedy

⁶ Określana w literaturze także jako *Conditional Value-at-Risk* (CVaR) lub *Tail Conditional Expectation* (TCE) [przyp. aut.].

⁷ G. Trzpiot: *O wybranych własnościach miar ryzyka*. „Badania Operacyjne i Decyzje” 2004, nr 3-4, s. 95.

⁸ G. Samorodnitsky, M.S. Taqqu: *Stable Non-Gaussian Random Processes. Stochastic Models with Infinite Variance*. Chapman & Hall, New York 1994.

i tylko wtedy, gdy $X = \gamma Z + \delta$, $\gamma > 0$, $\delta \in \mathfrak{R}$ oraz Z jest zmienną losową określoną funkcją charakterystyczną w postaci:

$$\varphi_s(t) = \begin{cases} \exp\left\{-\gamma^\alpha |t|^\alpha \left[1 + i\beta \tan \frac{\pi\alpha}{2} \operatorname{sgn}(t) (|t|^{1-\alpha} - 1)\right] + i\delta t\right\}, & \alpha \neq 1 \\ \exp\left\{-\gamma |t| \left[1 + i\beta \frac{2}{\pi} \operatorname{sgn}(t) \ln(\gamma |t|)\right] + i\delta t\right\}, & \alpha = 1 \end{cases}, \quad (4.1)$$

gdzie $0 < \alpha \leq 2$, $-1 \leq \beta \leq 1$ oraz $\operatorname{sgn}(t) = \begin{cases} 1 \Leftrightarrow t > 0 \\ 0 \Leftrightarrow t = 0 \\ -1 \Leftrightarrow t < 0 \end{cases}$.

Jak wynika z powyższego, do pełnego opisu rozkładu alfa-stabilnego są niezbędne cztery parametry, z których najważniejszy jest parametr kształtu⁹ α . Określa on grubość ogona rozkładu zmiennej losowej i przyjmuje wartości z przedziału $0 < \alpha \leq 2$. Pozostałe parametry odpowiedzialne za kształt krzywej gęstości to parametr skośności $\beta \in \langle -1; 1 \rangle$, parametr skali $\gamma > 0$ oraz parametr położenia $\delta \in \mathfrak{R}$. Jeśli $\alpha = 2$, zmienna losowa podlega rozkładowi normalnemu. W przypadku $\alpha < 2$ drugi moment centralny jest nieskończony, natomiast wartość oczekiwana jest równa parametrowi położenia δ . Natomiast w sytuacji gdy indeks ogona przyjmuje wartości poniżej jedności, wtedy również wartość oczekiwana jest nieskończona.

Szacowanie nieznanymi parametrów rozkładu alfa-stabilnego przebiega z wykorzystaniem wielu metod statystycznych. Najpopularniejsze to Metoda Największej Wiarygodności oraz Metoda Momentów.

5. Analiza empiryczna na rynku Nord Pool Spot

Nord Pool ASA powstało z połączenia giełd energii elektrycznej Szwecji oraz Norwegii w 1996 roku. Do 2000 roku giełda zintegrowała się także z rynkiem energetycznym Finlandii oraz Danii. W 2002 roku wyodrębniła się niezależna spółka Nord Pool Spot ASA, która jest operatorem największego na świecie zorganizowanego rynku energii elektrycznej¹⁰. W obrębie giełdy funkcjonuje

⁹ Określany także jako indeks ogona, wykładnik charakterystyczny, indeks stabilności [przyj. aut.].

¹⁰ A. Ganczarek-Gamrot: *Metody stochastyczne w badaniach porównawczych wybranych rynków energii elektrycznej*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Katowice 2013.

Rynek Dnia Następnego (Elspot) oraz Rynek Dnia Bieżącego (Elbas). Członkami giełdy jest ponad 330 przedsiębiorstw z blisko 20 krajów świata. Na Rynku Dnia Następnego są notowane ceny energii elektrycznej dla następujących państw: Norwegia, Finlandia, Szwecja, Dania, Estonia, Litwa i Łotwa, z podziałem na szesnaście regionów. W powiązaniu z cenami regionalnymi są wyznaczane tzw. cena systemowa (SYS) oraz ceny średnie, minimalne, maksymalne odpowiednio dla każdego dnia dostawy energii. Geograficzne rozmieszczenie członków giełdy skandynawskiej przedstawiono na rysunku 1.

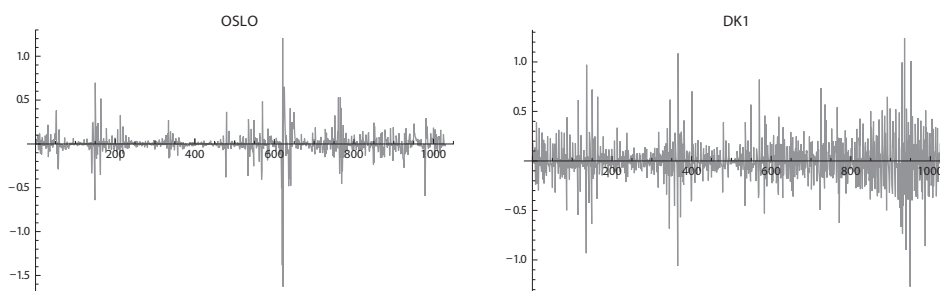


Rys. 1. Członkowie Nord Pool Spot

Źródło: www.nordpoolspot.com.

Kryterium wyboru giełdy skandynawskiej jako przedmiotu badań był przede wszystkim dostęp do danych. Ponadto giełda ta stanowiła wzorzec dla powstania giełdy energii elektrycznej w Polsce.

Analizę ryzyka na giełdach Nord Pool Spot przeprowadzono z wykorzystaniem liniowych stóp zwrotu cen energii elektrycznej w okresie 01.01.2010-27.10.2012. Analizie poddano dziesięć wybranych rynków w obrębie Nord Pool Spot. Szeregi liniowych stóp zwrotu dla obszarów Oslo oraz DK1 w całym badanym okresie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Szeregi czasowe liniowych stóp zwrotu dla rynku Oslo oraz DK1

Źródło: Obliczenia własne.

Rysunki ukazują, że występują istotne różnice w zachowaniu się stóp zwrotu cen energii elektrycznej na badanych rynkach, zwłaszcza w kontekście zmienności oraz tworzenia się skupisk danych.

Analiza poszczególnych giełd Nord Pool Spot wymaga również wskazania, czy pomiędzy rynkami występują zależności. Jeśli tak, to jak silne. Tabela 1 przedstawia współczynniki korelacji liniowej pomiędzy stopami zwrotu cen energii na badanych giełdach.

Tabela 1

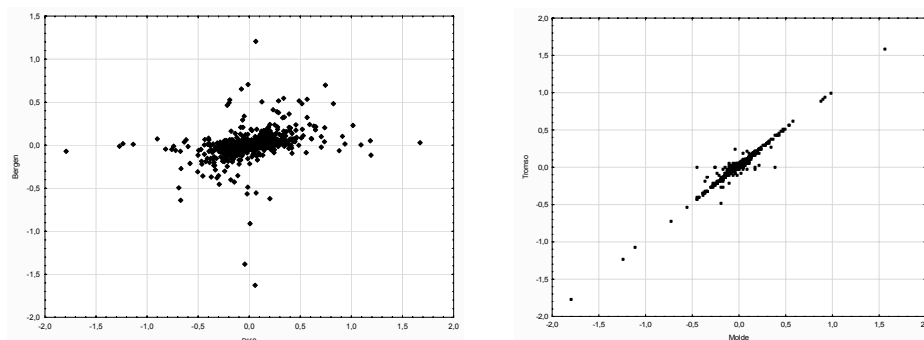
Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy stopami zwrotu cen energii na wybranych giełdach Nord Pool Spot

Giełdy	SYS	FI	DK1	DK2	Oslo	Kristiansand	Bergen	Molde	Trondheim	Tromsø
SYS	1,00	0,78	0,62	0,66	0,67	0,64	0,57	0,84	0,84	0,84
FI	0,78	1,00	0,48	0,66	0,44	0,38	0,34	0,78	0,78	0,78
DK1	0,62	0,48	1,00	0,78	0,38	0,40	0,36	0,44	0,44	0,42
DK2	0,66	0,66	0,78	1,00	0,39	0,35	0,33	0,66	0,66	0,65
Oslo	0,67	0,44	0,38	0,39	1,00	0,95	0,87	0,49	0,49	0,49
Kristiansand	0,64	0,38	0,40	0,35	0,95	1,00	0,88	0,42	0,42	0,42
Bergen	0,57	0,34	0,36	0,33	0,87	0,88	1,00	0,37	0,37	0,37
Molde	0,84	0,78	0,44	0,66	0,49	0,42	0,37	1,00	1,00	0,98
Trondheim	0,84	0,78	0,44	0,66	0,49	0,42	0,37	1,00	1,00	0,98
Tromsø	0,84	0,78	0,42	0,65	0,49	0,42	0,37	0,98	0,98	1,00

Źródło: Obliczenia własne.

Kolorem szarym zaznaczono pary obszarów cechujące się wartością współczynnika korelacji na poziomie powyżej 0,7. Najsilniejsze zależności wskazano pomiędzy obszarami Oslo oraz Kristiansand, a także pomiędzy Molde, Trondhe-

im oraz Tromsø. Na rysunku 3 przedstawiono najsłabsze oraz najsilniejsze związki pomiędzy parami badanych rynków.



Rys. 3. Wykresy rozrzutu pomiędzy stopami zwrotu cen energii elektrycznej dla rynków Bergen i DK2 (lewy) oraz Molde i Tromsø (prawy). W przypadku rynków Molde oraz Tromsø występuje bardzo silna zależność liniowa

Źródło: Obliczenia własne.

Weryfikacja hipotezy dotyczącej normalności rozkładu stopy zwrotu cen energii elektrycznej na wybranych rynkach Nord Pool Spot wykazała, iż rozkład ten nie jest odpowiedni do prowadzenia dalszej analizy. Wykonano testy w kierunku zgodności z rozkładem alfa-stabilnym. Parametry dopasowanych rozkładów przedstawiono w tabeli 2, natomiast testy zgodności z rozkładem alfa-stabilnym w tabeli 3.

Tabela 2

Oszacowania nieznanych parametrów rozkładów alfa-stabilnych

Rynki Nord Pool Spot	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\delta}$
SYS	1,16272	0,10373	0,03873	0,00792
Bergen	1,08669	0,04073	0,02793	0,00583
Oslo	1,13953	0,08717	0,02965	0,00782
DK1	1,48671	0,12811	0,09990	0,00383
DK2	1,40052	0,12977	0,10187	0,00535
Fi	1,20885	0,13844	0,06401	0,01206
Kristiansand	1,10086	0,07261	0,02690	0,00989
Molde	1,16654	0,09341	0,04292	0,00802
Trondheim	1,16654	0,09341	0,04292	0,00802
Tromsø	1,09944	0,07131	0,03755	0,01078

Źródło: Obliczenia własne.

Wartości indeksu stabilności dla wszystkich badanych rynków przyjmują wartości poniżej poziomu 1,5. Świadczy to o występowaniu grubych ogonów empirycznych rozkładów stóp zwrotu cen energii elektrycznej na badanych rynkach. Implikuje to występowanie ekstremalnie dużych odchyleń w realizacjach

stopy zwrotu, niż zakłada poziom przeciętny. Dodatkowo wszystkie rozkłady są prawostronnie asymetryczne, co oznacza częstszą realizację zwrotu poniżej poziomu przyjętego za przeciętny. Rzeczywista wartość oczekiwana rozkładu dla przypadku $1 < \alpha < 2$ jest reprezentowana przez parametr położenia δ . Analizując wyniki estymacji, najwyższe średnie zwroty generował rynek Fi oraz Tromsø. Najniższe natomiast DK1 oraz DK2.

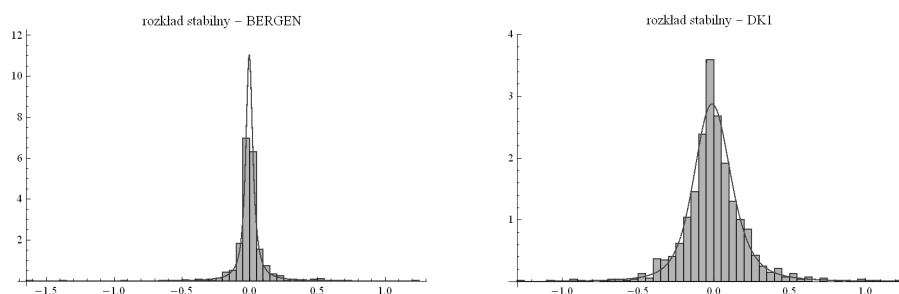
Tabela 3

Testy zgodności z rozkładem alfa-stabilnym

Rynki Nord Pool Spot	Anderson-Darling		Cramer-von Mises	
	wartość statystyki	p-value	wartość statystyki	p-value
SYS	1,22185	0,25933	0,16374	0,35030
Bergen	0,58313	0,66404	0,07357	0,72985
Oslo	0,64657	0,60504	0,08768	0,64870
DK1	1,24973	0,24931	0,22953	0,21688
DK2	1,57319	0,15993	0,28107	0,15299
Fi	0,96339	0,37702	0,11008	0,53767
Kristiansand	0,52745	0,71893	0,05874	0,82192
Molde	0,87041	0,43287	0,09935	0,58806
Trondheim	0,87041	0,43287	0,09935	0,58806
Tromsø	1,00703	0,35356	0,10585	0,55695

Źródło: Obliczenia własne.

Testy zgodności Andersona-Darlinga oraz Cramera-von Misesa wykazują, iż nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy głoszącej zgodność rozkładów empirycznych z teoretycznym rozkładem alfa-stabilnym. Na rysunku 4 przedstawiono histogramy dla dwóch rynków o najniższej i najwyższej wartości parametru indeksu ogona.



Rys. 4. Dopasowany rozkład alfa-stabilny z najniższą (lewy) oraz najwyższą (prawy) wartością indeksu stabilności

Źródło: Obliczenia własne.

W kolejnym etapie analizy ryzyka wyznaczono wartość zagrożoną Value-at-Risk oraz Expected Shortfall dla badanych rynków. Przyjęto cztery rzędy kwantyla: 0,01, 0,05, 0,95 oraz 0,99. Wartość miar oszacowano wykorzystując

metodę zakładającą dowolny rozkład zmiennej losowej. Jako rozkłady teoretyczne przyjęto rozkład normalny oraz rozkład alfa-stabilny. Wyniki szacowania Value-at-Risk przedstawiono w tabelach 4-6.

Tabela 4

Value-at-Risk – rozkład empiryczny

Value-at-Risk	Rząd kwantyla			
	0.01	0.05	0.95	0.99
SYS	-0,38240	-0,16413	0,19384	0,39738
Bergen	-0,42804	-0,14585	0,16327	0,49332
Oslo	-0,38025	-0,13324	0,16777	0,39012
DK1	-0,56929	-0,31877	0,33161	0,64735
DK2	-0,67412	-0,33402	0,38886	0,73871
Fi	-0,59386	-0,25456	0,30074	0,62266
Kristiansand	-0,38025	-0,13324	0,16328	0,39012
Molde	-0,40849	-0,18967	0,20398	0,47565
Trondheim	-0,40849	-0,18967	0,20398	0,47565
Tromsø	-0,40849	-0,18044	0,19209	0,47565

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 5

Value-at-Risk – rozkład normalny

Value-at-Risk	Rząd kwantyla			
	0.01	0.05	0.95	0.99
SYS	-0,29508	-0,20866	0,20850	0,29492
Bergen	-0,32247	-0,22803	0,22786	0,32230
Oslo	-0,30209	-0,21362	0,21345	0,30192
DK1	-0,49299	-0,34855	0,34865	0,49308
DK2	-0,56139	-0,39696	0,39680	0,56123
Fi	-0,46503	-0,32883	0,32865	0,46485
Kristiansand	-0,29699	-0,21002	0,20984	0,29682
Molde	-0,37463	-0,26491	0,26472	0,37444
Trondheim	-0,37463	-0,26491	0,26472	0,37444
Tromsø	-0,36931	-0,26115	0,26096	0,36912

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 6

Value-at-Risk – rozkład stabilny

Value-at-Risk	Rząd kwantyla			
	0.01	0.05	0.95	0.99
SYS	-0,63952	-0,16925	0,18987	0,75832
Bergen	-0,62166	-0,14408	0,15167	0,66833
Oslo	-0,53177	-0,13443	0,15129	0,61843
DK1	-0,73222	-0,29538	0,32225	0,85629
DK2	-0,89752	-0,32564	0,36096	1,06548
Fi	-0,89737	-0,25562	0,29661	1,11732
Kristiansand	-0,55266	-0,13080	0,14677	0,63144
Molde	-0,70687	-0,18715	0,20833	0,82446
Trondheim	-0,70687	-0,18715	0,20833	0,82446
Tromsø	-0,77904	-0,18624	0,20221	0,88168

Źródło: Obliczenia własne.

Interpretując wartości przedstawione w tabelach 4-6, wskazano, iż dla kwantyli skrajnych (tj. rzędu 0,01 oraz 0,99) rzeczywisty poziom wartości Value-at-Risk lepiej przybliża rozkład normalny. Z kolei dla kwantyli rzędu 0,05 oraz 0,95 dokładniejszy wydaje się być rozkład alfa-stabilny. Wynika stąd, iż empiryczne rozkłady stóp zwrotu w otoczeniu skrajnych kwantyli nie wykazują własności rozkładów gruboogonowych. Zakładając poziom kwantyla rzędu 0,01, największą empiryczną stratę w badanym okresie generują stopy zwrotu cen energii elektrycznej na rynku DK2 oraz FI. Natomiast dla kwantyla rzędu 0,05 są to rynki DK1 oraz DK2. Podobne wnioski można wysnuć dla potencjalnych zysków na poziomie kwantyla rzędu 0,95 oraz 0,99.

Tabele 7-9 prezentują wyniki szacowania wartości Expected Shortfall.

Tabela 7

Expected Shortfall – rozkład empiryczny

Expected Shortfall	Rząd kwantyla			
	0.01	0.05	0.95	0.99
SYS	-0,57035	-0,30093	0,24023	0,55121
Bergen	-0,77370	-0,33494	0,22335	0,61508
Oslo	-0,69620	-0,30777	0,21059	0,56128
DK1	-0,83734	-0,48476	0,39608	0,84990
DK2	-1,00637	-0,55294	0,45211	0,99377
Fi	-0,92042	-0,45486	0,37731	0,86827
Kristiansand	-0,69620	-0,30586	0,20216	0,55434
Molde	-0,75512	-0,36210	0,27666	0,74094
Trondheim	-0,75512	-0,36210	0,27666	0,74094
Tromsø	-0,76341	-0,35862	0,27147	0,74118

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 8

Expected Shortfall – rozkład normalny

Expected Shortfall	Rząd kwantyla			
	0.01	0.05	0.95	0.99
SYS	-0,33909	-0,26424	0,21404	0,30924
Bergen	-0,34782	-0,28022	0,23498	0,34244
Oslo	-0,34914	-0,26907	0,23271	0,37118
DK1	-0,55572	-0,43294	0,40126	0,60568
DK2	-0,65354	-0,51822	0,40118	0,61275
Fi	-0,56359	-0,41627	0,34415	0,47443
Kristiansand	-0,35175	-0,27139	0,22593	0,33413
Molde	-0,41221	-0,31945	0,27348	0,42955
Trondheim	-0,42929	-0,32766	0,28877	0,44838
Tromsø	-0,41321	-0,32517	0,28190	0,42412

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 9

Expected Shortfall – rozkład stabilny

Expected Shortfall	Rząd kwantyla			
	0.01	0.05	0.95	0.99
SYS	-1,91403	-0,58812	0,42388	1,98463
Bergen	-3,08538	-0,84286	1,34442	9,69334
Oslo	-1,24023	-0,40503	0,31095	1,27199
DK1	-1,18107	-0,56984	0,47175	1,46755
DK2	-2,44073	-0,81362	0,69348	2,66908
Fi	-2,61464	-0,86892	0,72697	3,68599
Kristiansand	-0,89397	-0,33476	0,26835	1,14560
Molde	-1,14460	-0,48433	0,28350	0,98441
Trondheim	-1,73102	-0,61030	0,40223	1,80223
Tromsø	-1,27118	-0,53142	0,39695	1,95462

Źródło: Obliczenia własne.

Oszacowania Expected Shortfall, czyli oczekiwanej straty/zysku odpowiednio poniżej/powyżej wartości zagrożonej Value-at-Risk wskazują, że podobnie jak w przypadku pierwszej prezentowanej miary, największe oczekiwane straty dla kwantyla rzędu 0,01 generują stopy zwrotu cen energii elektrycznej na rynkach DK2 oraz Fi, natomiast na poziomie kwantyla rzędu 0,05 – na rynkach DK1 oraz DK2. Podobnie formują się rynki w przypadku oczekiwanych zysków powyżej poziomu kwantyla rzędu 0,95 oraz 0,99.

Szacując miarę Expected Shortfall z wykorzystaniem rozkładu normalnego oraz alfa-stabilnego, wykazano, że wartości bliższe szacunkom rzeczywistym uzyskano z zastosowaniem rozkładu normalnego bez względu na poziom kwantyla. Rozkład alfa-stabilny dawał lepsze przybliżanie rzeczywistego poziomu oczekiwanej straty/zysku poniżej/powyżej poziomu wartości zagrożonej tylko dla rynku Kristiansand.

Podsumowanie

Rynek energii elektrycznej stanowi jeden z głównych segmentów światowej gospodarki. Jest to również jeden z najpowszechniej wykorzystywanych towarów. Jednakże identyfikowanie energii elektrycznej z towarem nie jest powszechne wśród jego konsumentów, przede wszystkim dlatego, że nie występuje w formie fizycznej. Nie może też być efektywnie przechowywany, a transakcje kupna i sprzedaży są związane bezpośrednio z konsumpcją oraz produkcją energii elektrycznej. Ze względu na zmienność cen energii, wynikającą z wielu czynników, istotny jest właściwy pomiar ryzyka takich zmian oraz skuteczne je-

go monitorowanie. W artykule podjęto próbę oceny ryzyka zmienności stóp zwrotu cen na skandynawskim rynku energii elektrycznej Nord Pool Spot. Wybrano 10 rynków energii tego obszaru, a analizę przeprowadzono na podstawie danych dziennych z okresu 01.01.2013-27.10.2012. Analiza wykazała, że rozkłady stóp zwrotu cen energii dalece odbiegają od rozkładu normalnego, zatem klasyczne wnioskowanie nie jest zasadne. Ponadto cechują się one grubymi ogonami oraz leptokurtozą, a w przypadku badanego rynku energetycznego (będącego jako rynek towarowy częścią rynku finansowego) na poziomie istotnie różnym od obserwowanych na rynkach kapitałowych. Odrzucając normalność empirycznych rozkładów, zaproponowano zastosowanie rozkładów alfa-stabilnych. Rozkłady stóp zwrotu cen energii elektrycznej wykazywały asymetrię prawostronną, co oznacza większe prawdopodobieństwo wystąpienia stopy zwrotu poniżej poziomu przeciętnego. Oszacowania wartości zagrożonej Value-at-Risk wykazały, że największe straty generowały rynki DK1, DK2 oraz FI. Podobne wnioski wysunięto w przypadku potencjalnych zysków. Biorąc pod uwagę oczekiwaną stratę/zysk poniżej/powyżej wartości Value-at-Risk, wyniki są podobne. Analiza wykazała, iż występuje zróżnicowanie poziomu ryzyka zmian stóp zwrotu cen energii elektrycznej w obrębie rynku Nord Pool Spot.

Literatura

- Artzner P., Delbaen F., Eber J.-M., Heath D.: *Coherent Measures of Risk*. „Mathematical Finance” 1999, 9, s. 203-228.
- Doman M., Doman R.: *Modelowanie zmienności i ryzyka. Metody ekonometrii finansowej*. Wyd. Wolters Kluwer Polska Sp. z o.o., Kraków 2009.
- Dowd K.: *Beyond Value at Risk: The New Science of Risk Management*. John Wiley & Sons, Chichester 1999.
- Ganczarek-Gamrot A.: *Metody stochastyczne w badaniach porównawczych wybranych rynków energii elektrycznej*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Katowice 2013.
- Samorodnitsky G., Taqqu M.S.: *Stable Non-Gaussian Random Processes. Stochastic Models with Infinite Variance*. Chapman & Hall, New York 1994.
- Trzpiot G.: *O wybranych własnościach miar ryzyka*. „Badania Operacyjne i Decyzje” 2004, nr 3-4, s. 95.
- Weron A., Weron R.: *Gięda energii*. Centrum Informacji Rynku Energii, Wrocław 2000.

RISK ANALYSIS ON THE NORD POOL SPOT

Summary

The aim of this paper is the analysis of risk on Scandinavian energy market: Nord Pool Spot. The analysis is based on Value-at-Risk and Expected Shortfall. As the normality assumption for linear returns of prices has been rejected, the alternative distribution has been proposed: the alpha-stable distribution. The results shown that there are some differences between risks among submarkets of Nord Pool Spot. Moreover, the alpha-stable distribution better approximate real Value-at-Risk than normal one only if quantiles of order 0,05 and 0,95 are considered.