

MARCIN FAŁDZIŃSKI

ANALIZA TRANSFERU RYZYKA EKSTREMALNEGO MIĘDZY
WYBRANYMI RYNKAMI FINANSOWYMI Z ZASTOSOWANIEM
PRZYCZYNOWOŚCI W RYZYKU W SENSIE GRANGERA¹

1. WSTĘP

Transmisja ryzyka, wywołana przez duże zmiany cen, jest ważna dla wszystkich uczestników rynku, zarówno dla inwestorów jak i instytucji nadzorujących, dlatego też powinna być uwzględniana we współczesnym zarządzaniu ryzykiem. Efekt ten może mieć kluczowe znaczenie w szacowaniu ryzyka, w przypadku gdy na rynkach obserwuje się duże straty, które utożsamiane są z ekstremalnymi zmianami cen. Zmiany te mogą być spowodowane między innymi przez: niepewność na rynku, zmiany polityki, zaskakujące informacje, ataki spekulacyjne oraz transmisję z innych rynków. Jeżeli rynki są całkowicie niepowiązane, to ryzyko nie może przenosić się między nimi (np. Chiny w trakcie kryzysu azjatyckiego 1997–1998, Lardy, 1998). Jeżeli rynki finansowe są powiązane, to oczekuje się, że globalne szoki będą przenosić ryzyko między rynkami (np. USA-Europa 2007–2009). Ryzyko może być generowane lokalnie lub mieć specyficzną formę. Na skutek integracji rynków, będzie ono przenoszone na inne rynki (np. Japonia-USA 1997, Peek, Rosengren, 1997). Efekt transmisji ryzyka (ang. *risk spillover effect*) jest głównie wywołany przez wydarzenia ekstremalne i dlatego też odpowiednie opisanie takich zdarzeń ma bardzo ważne znaczenie dla odpowiedniego zarządzania ryzykiem. Teoria wartości ekstremalnych (ang. *Extreme Value Theory*) dostarcza odpowiednich narzędzi do modelowania i prognozowania wartości ekstremalnych (np. Coles, 2001; Embrechts i inni, 2003; McNeil, Frey, 2000; Fałdziński, 2014). Dodatkowo należy podkreślić, że zazwyczaj metody teorii wartości ekstremalnych lepiej opisują zdarzenia ekstremalne, które mają istotny wpływ na kształtowanie się ruchów cen na rynkach finansowych, niż inne metody do tego użyte (McNeil, Frey, 2000; Byström, 2004; Bekiros, Georgoutsos, 2005; Harmantzis, 2006; Kuester i inni, 2006; Osińska, Fałdziński, 2007; Ghorbel, Trabelsi, 2008; Fałdziński, 2009; Ozun i inni, 2010; Fałdziński, 2014). W związku z tym w tej pracy zastosowano metodę POT (ang. *Peaks over Threshold*) z modelami zmienności, która dobrze sprawdza się do szacowania wartości zagrożonej (VaR, ang. *Value-at-Risk*).

¹ Praca sfinansowana ze środków WNEiZ UMK w ramach grantu 1842-E.

Celem artykułu jest analiza transmisji ryzyka ekstremalnego między głównymi rynkami finansowymi, reprezentującymi procesy finansowe i gospodarcze zachodzące we współczesnym świecie. Układ artykułu jest następujący: wstęp, podstawy metodologiczne testu przyczynowości Grangera w ryzyku, badanie empiryczne wraz z wnioskami oraz podsumowanie.

2. TEST PRZYCZYNOWOŚCI GRANGERA W RYZYKU

Do badania zjawiska przenoszenia ryzyka, najczęściej w literaturze dotychczas stosowano podejście wykorzystujące test przyczynowości Grangera w ryzyku autorstwa Honga i in. (2009). Metoda ta polega na szacowaniu wartości zagrożonej na zadanym poziomie istotności α i sprawdzeniu kiedy instrument finansowy jest poniżej tej wartości. W literaturze można znaleźć prace wykorzystujące to podejście (np. Lee, Lee, 2009; Osińska i inni, 2012; Fałdziński i inni, 2012; Osińska i Fałdziński, 2013). Test w wersji Honga i inni (2009) został rozszerzony przez Candelona i inni (2013). Po pierwsze, rozszerzenie polega na uwzględnieniu kilku poziomów prawdopodobieństwa α , ponieważ dynamika procesu ryzyka może odbywać się na różnych poziomach dla różnych krajów (Engle i Manganelli, 2004). Po drugie, może występować efekt przyczynowości krzyżowych (ang. *cross-causality*), tzn. przyczynowość z jednego rynku na poziomie $\alpha = 1\%$ na inny rynek na poziomie $\alpha = 10\%$ albo $\alpha = 5\%$. Po trzecie, test można rozszerzyć na przypadek wielowymiarowy, gdzie zakładamy przyczynowości w ryzyku dla więcej niż dwóch rynków.

Zanim zdefiniujemy test przyczynowości Grangera w ryzyku w rozwinięciu Candelona i inni (2013), konieczne jest zdefiniowanie wartości zagrożonej.

Wartość zagrożoną można określić jako procentową stratę wartości instrumentu. Formalnie wartość zagrożona jest określona równaniem $P(P_t \leq P_{t-1} - VaR) = \alpha$, gdzie P_t jest wartością analizowanego instrumentu finansowego w momencie t (Osińska, 2006). Jeśli rozważymy procentowe logarytmiczne stopy zwrotu $r_t = 100 (\ln P_t - \ln P_{t-1})$, to VaR jest dany jako:

$$VaR_\alpha = q_{1-\alpha}, \quad (1)$$

gdzie $q_{1-\alpha}$ jest kwantylem $1 - \alpha$ rozkładu strat (ujemne stopy zwrotu mają znak dodatni, a dodatnie stopy mają znak ujemny) na poziomie istotności α . Jedną z najbardziej popularnych metod szacowania VaR opiera się na kwantylach rozkładów warunkowych, z powodu własności jakimi charakteryzują się finansowe szeregi czasowe. McNeil i Frey (2000) zakładają, że X_t jest szeregiem czasowym reprezentującym dzienne obserwacje stóp zwrotów instrumentu finansowego. Zakłada się, że dynamika procesu X_t jest dana następująco:

$$X_t = \mu_t + \sigma_t Z_t, \quad (2)$$

gdzie innowacje Z_t są białym szumem (i.i.d.) z zerową średnią, jednostkową wariancją i dystrybuantą rozkładu brzegowego $F_z(z)$. Zakładamy, że μ_t jest oczekiwanym zwrotem, a σ_t jest zmiennością stóp zwrotów, gdzie obie są mierzalne w stosunku do zbioru informacji \mathcal{F}_{t-1} w czasie $t-1$. Aby zastosować procedurę estymacji dla procesu (2) należy wybrać dynamiczny model warunkowej średniej i warunkowej wariancji. W literaturze zaproponowano całą gamę modeli możliwych do zastosowania (np. klasa modeli GARCH, SV itd.). McNeil i Frey (2000) zdefiniowali proste jednowymiarowe wzory miar ryzyka w stosunku do procesu (2) jako:

$$VaR_q^t = \mu_{t+1} + \sigma_{t+1} VaR(Z)_q, \quad (3)$$

gdzie $VaR(Z)_q$ jest wartością zagrożoną procesu Z_t . Metoda przez nich zaproponowana zakłada minimalne wymagania co do rozkładu innowacji i polega na modelowaniu ogona rozkładu na podstawie teorii wartości ekstremalnych. W celu oszacowania $VaR(Z)_q$ autorzy proponują użycie metody POT².

Mając zdefiniowaną wartość zagrożoną, można przejść do prezentacji testu przyczynowości Grangera w ryzyku. Niech $\{Y_{1t}, Y_{2t}\}$ są dwuwymiarowymi, niekorelowanymi stacjonarnymi procesami stochastycznymi. Niech $A_{it} = A_{it}(I_{I(t-1)})$ $l = 1, 2$ będzie wartością zagrożoną (VaR) na poziomie istotności $\alpha \in (0; 1)$ dla Y_{it} oszacowanego używając zbioru informacji $I_{I(t-1)} = \{Y_{I(t-1)}, Y_{I(t-2)} \dots\}$ dostępnego w czasie $t-1$. Wtedy A_{it} spełnia warunek $P(Y_{it} < A_{it} | I_{I(t-1)}) = \alpha$. Ustalamy, że $V_{it} = I(Y_{it} < A_{it})$ $l = 1, 2$ oznacza funkcję, która w przypadku kiedy następuje przekroczenie wartości zagrożonej otrzymuje wartość 1, a w przypadku przeciwnym 0. Załóżmy, że $A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ jest zbiorem m różnych poziomów istotności. Następnie rozważmy wektor $Z_{i,t}(A) = [V_{i,t}(\alpha_1), \dots, V_{i,t}(\alpha_m)]$ $i = 1, 2$ złożony z m zmiennych powiązanych z danym poziomem istotności α_j $j = 1, \dots, m$ w czasie t . Hipoteza zerowa testu:

$$H_0 : E[Z_{1,t}(A) | I_{t-1}] = E[Z_{1,t}(A) | I_{1,t-1}], \quad (4)$$

gdzie $I_{1,t} = \{Z_{1,s}(A), s \leq t\}$ i $I_t = \{Z_{1,s}(A), Z_{2,s}(A), s \leq t\}$. Jak to zostało pokazane w pracy Candelon i inni (2013) statystykę testu można zbudować używając wielowymiarowej regresji liniowej postaci:

$$Z_{1,t}(A) = \psi_0 + \psi_1 Z_{2,t-1}(A) + \dots + \psi_L Z_{2,t-L}(A) + \varepsilon_{1t}, \quad (5)$$

² Szczegóły tej metody można znaleźć w pracach McNeil, Frey (2000), Fałdziński (2014).

gdzie Ψ_0 jest wektorem stałych o wymiarach $(m,1)$, $\psi_s, s=1, \dots, L$ są (m, m) macierzami parametrów strukturalnych i ε_{1t} jest wektorem $(m,1)$ składników losowych. Hipoteza zerowa odpowiada sytuacji, kiedy $H_0 : \Psi_1 = \dots = \Psi_L = 0$. Spełnione jest to dla

$$Z_{1,t}(A) = \psi_0 + \varepsilon_{2t}. \quad (6)$$

W związku z tym wielowymiarowa statystyka zdefiniowana jest następująco:

$$LR = [T - (mL + 1)] \left[\log \left(\left| \varepsilon_2' \varepsilon_2 \right| \right) \right] - \left[\log \left(\left| \varepsilon_1' \varepsilon_1 \right| \right) \right], \quad (7)$$

gdzie T jest liczbą obserwacji w szeregu, m jest liczbą zadanych poziomów istotności a L jest liczbą opóźnień w przedstawionej regresji liniowej (5). Statystyka zbiega do rozkładu $\chi^2(Lm^2)$. Niepewność co do oszacowań parametrów (ang. *parameter uncertainty*) może wpływać na rozkład statystyki testu LR . Aby zapobiec temu, Dufour (2006) proponuje użycie metody Monte Carlo do wyznaczenia wartości prawdopodobieństwa (ang. *p-value*). Dzięki temu test będzie dokładny w takim rozumieniu, że prawdopodobieństwo błędu I rodzaju będzie równe nominalnemu poziomowi istotności. Procedura Monte Carlo wygląda następująco³:

1. Należy wygenerować M niezależnych realizacji statystyki testu oznaczonych jako S_i $i = 1, \dots, M$ pod warunkiem hipotezy zerowej, natomiast S_0 będzie wartością statystyki uzyskaną z badanej próby.
2. W ogólnym przypadku wartość prawdopodobieństwa jest zdefiniowana jako:

$$\hat{p}_M(S_0) = \frac{M \hat{G}_M(S_0) + 1}{M + 1}, \quad (8)$$

gdzie $\hat{G}_M(S_0) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I(S_i \geq S_0)$, jeżeli $P(S_i = S_j) \neq 0$, a w przeciwnym przypadku

$$\hat{G}_M(S_0) = 1 - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I(S_i \leq S_0) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I(S_i = S_0) \times I(U_i \geq U_0), \quad U_0, U_i \sim Uni[0,1].$$

³ Szczegóły u Dufour (2006) albo Candelon i inni (2013).

- Niezastosowanie powyższej procedury będzie skutkowało niedoszacowaniami wartości prawdopodobieństwa, a to oznacza, że łatwiej będzie można odrzucić hipotezę zerową i stwierdzić występowanie przyczynowości, która w rzeczywistości z dużym prawdopodobieństwem jest pozorna. Dlatego, też zastosowanie procedury Monte Carlo do wyznaczania wartości prawdopodobieństwa jest konieczne. Podsumowując test przyczynowości Grangera w ryzyku w wersji Candelona i inni (2013) wiemy, że:
- a) zakładamy m różnych poziomów prawdopodobieństwa α_j , $j = 1, \dots, m$, co dopuszcza przyczynowości krzyżowe w zakresie poziomu istotności,
 - b) przedstawiona procedura testowa dla dwóch szeregów może być rozszerzona na n przypadków,
 - c) powinno się stosować metodę Monte Carlo (Dufour, 2006) do wyznaczenia wartości prawdopodobieństwa,
 - d) ze względu na to, że $Z_{i,t}(A)$ $i = 1, 2$ są zmiennymi binarnymi, w regresji (5) może wystąpić współliniowość, co czasami uniemożliwia wykonanie testu,
 - e) wymaga wyboru pewnej metody estymacji wartości zagrożonej VaR do wyznaczenia zmiennych zero-jedynkowych opisujących przekroczenia $Z_{i,t}(A)$ $i = 1, 2$.

3. BADANIE EMPIRYCZNE

W badaniu empirycznym wykorzystano szeregi czasowe 12 indeksów giełdowych (BOVESPA, CAC 40, DAX, DJIA, FTSE 100, HSI, KOSPI, NIKKEI 225, NASDAQ100, S&P 500, SSE, SSMI)⁴ i jeden kurs walutowy (EUR-USD)⁵. Wybór wymienionych szeregów był podyktowany dostępnością danych oraz ich znaczeniem na rynkach finansowych. Dane zostały zsynchronizowane ze względu na czas, natomiast wszelkie braki w danych interpolowano stosując metodę średniej ruchomej dla 3 obserwacji poprzedzających i następujących po danym braku. Do tego celu wykorzystano codzienne obserwacje od 3 stycznia 2000 roku do 3 stycznia 2012 roku, co dało łącznie $T = 3000$ obserwacji⁶.

⁴ Objasnienia skrótów zostały podane w tabeli 1.

⁵ Dane zostały pobrane z serwisu <http://finance.yahoo.com>. Wykorzystanie kursu EUR-USD w badaniu pozwala dodatkowo na uwzględnienie i sprawdzenie, czy rynek walutowy w istotny sposób mógł skutkować przenoszeniem ryzyka ekstremalnego między rynkiem finansowym i walutowym.

⁶ Tak duża liczba obserwacji wynika, przede wszystkim, z faktu stosowania przekroczeń VaR (zmiennych binarnych) w modelu wielowymiarowej regresji (5) jako zmiennych objaśniających.

Tabela 1

Szereg	Kraj	Szereg	Kraj	Szereg	Kraj
BOVESPA	Brazylia	FTSE 100	Wielka Brytania	NASDAQ100	Stany Zjednoczone
CAC 40	Francja	HSI	Hong Kong	S&P 500	Stany Zjednoczone
DAX	Niemcy	KOSPI	Korea Południowa	SSE	Chiny
DJIA	Stany Zjednoczone	NIKKEI 225	Japonia	SSMI	Szwajcaria

Rozwinięcie skrótów indeksów użytych w badaniu empirycznym.

Źródło: opracowanie własne.

W badaniu użyto logarytmicznych stóp zwrotu $r_t = 100\% * (\ln(P_t) - (\ln P_{t-1}))$. Wartość zagrożona (VaR) została oszacowana przy użyciu metody POT, gdzie wykorzystano model $AR(q) - TARCH(1,1)$ (Zakoian 1994) z warunkowym rozkładem t Studenta. Do estymacji wykorzystano metodę największej wiarygodności, gdzie przyjęto, że ekstrema stanowią 10% liczebności szeregu. Rząd opóźnienia q w członie autoregresyjnym był testowany dla każdego szeregu oddzielnie. W teście przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera przyjęto tylko trzy poziomy istotności $A = \{1\%, 5\%, 10\%\}$ dla krótkiej (zyski) i długiej (straty) pozycji oraz różną liczbę opóźnień $L = \{1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25\}$. Tak szeroki wachlarz opóźnień pozwala na uwzględnienie przesunięcia czasowego, które jest potrzebne na reakcję rynków na informacje z innych rynków. Zdecydowano się użyć tylko trzech poziomów istotności, ponieważ większa ich liczba znacznie zwiększa ryzyko wystąpienia współliniowości w wielowymiarowej funkcji regresji (5). Różna liczba opóźnień pozwala na dokładniejsze sprawdzenie dynamiki zjawiska transmisji ryzyka ekstremalnego między rynkami. Wykorzystano procedurę Monte Carlo (Dufour 2006) w celu obliczenia wartości p dla statystyki LR, gdzie ustalono $M = 10000$ powtórzeń. Obliczenia przeprowadzone w ramach badania empirycznego wymagały napisania autorskich procedur, ponieważ test przyczynowości Grangera w ryzyku w wersji Candelon i inni (2013) nie jest dostępny w programach ekonometrycznych. Całość obliczeń przeprowadzono w oprogramowaniu gretl.

W tabeli 2 przedstawione są przykładowe wyniki uzyskane dla indeksu CAC 40 w przypadku długiej pozycji dla rzędów opóźnień równych $L = \{5, 10, 15, 20, 25\}$. Na poziomie istotności 5% należy odrzucić hipotezę zerową dla wszystkich opóźnień dla indeksu S&P 500 i stwierdzić, że występuje przyczynowość w ryzyku w sensie Grangera. Pokazuje to, że ryzyko ekstremalne jest przenoszone bardzo często, i należy to uwzględnić w przypadku zarządzania ryzykiem. Dla rzędu opóźnień $L = 5$, wszystkie przedstawione indeksy w tabeli 2 są przyczyną w ryzyku w sensie Grangera dla indeksu CAC 40. Oznacza to, że transfer ryzyka ekstremalnego ze strony S&P 500, NASDAQ100, NIKKEI 225, FTSE 100, DJIA, DAX, BOVESPA oraz HSI następuje

z pięciodniowym opóźnieniem. Wynik potwierdza, że na przebadanych rynkach finansowych występuje przenoszenie ryzyka ekstremalnego, co oznacza, że takie zjawisko może się powtórzyć w przyszłości.

Tabela 2

Wyniki testu przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera dla długiej pozycji – CAC 40

L (rząd opóźnienia)	5	10	15	20	25
S&P 500⇒CAC 40	183,56	238,14	308,78	373,52	418,71
wartość p*	0,004995**	0,010989**	0,018981**	0,01998**	0,036963**
NASDAQ 100⇒CAC 40	155,66	212,28	261,12	294,56	345,32
wartość p*	0,017982**	0,050949	0,081918	0,15884	0,19081
NIKKEI 225⇒CAC 40	147,96	205,8	259,6	287,66	331,06
wartość p*	0,028971**	0,044955**	0,084915	0,16284	0,24076
FTSE 100⇒CAC 40	149,43	202,95	262,03	335,58	377,92
wartość p*	0,022977**	0,054945	0,073926	0,068931	0,11788
DJIA⇒CAC 40	165,1	222,39	278,99	348,17	388,52
wartość p*	0,021978**	0,036963**	0,050949	0,054945	0,08991
DAX⇒CAC 40	154,31	203,06	276,66	332,03	368,56
wartość p*	0,020979**	0,065934	0,050949	0,06993	0,12587
BOVESPA⇒CAC 40	182,98	220,15	273,81	325,02	357,95
wartość p*	0,005994**	0,033966**	0,052947	0,080919	0,14186
HSI⇒CAC 40	156,44	210,87	264,59	316,59	359,92
wartość p*	0,021978**	0,03996**	0,062937	0,094905	0,14785

Wartości p* wyznaczone na podstawie symulacji Monte Carlo (Dufour 2006). Wartości wewnątrz tabeli oznaczają uzyskane statystyki testu LR. „**” oznacza odrzucenie H0 na poziomie istotności 5%. „⇒” oznacza kierunek przyczynowości.

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 3 oraz 4 przedstawiono syntetyczne zestawienie uzyskanych wyników z badania empirycznego w przypadku zysków.

Tabela 3

Zbiorcze wyniki testu przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera na poziomie istotności 5% dla krótkiej pozycji

<i>L</i>	SSMI ↑	S&P 500 ↑	NASDAQ 100 ↑	NIKKEI 225 ↑	KOSPI ↑	FTSE 100 ↑
1	–	–	NASDAQ 100, HSI	S&P 500, RTS, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSMI	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, DAX, CAC 40, RTS, FTSE 100, BOVESPA, KOSPI, SSMI	–
2	–	–	–	S&P 500, RTS, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSMI	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, DAX, CAC 40, RTS, FTSE 100, BOVESPA, KOSPI, SSMI	–
3	–	–	–	S&P 500, RTS, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSMI, NIKKEI 225	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, DAX, CAC 40, RTS, FTSE 100, BOVESPA, KOSPI	–
4	–	–	NASDAQ 100, HSI	S&P 500, RTS, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSMI	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, DAX, CAC 40, RTS, FTSE 100, BOVESPA	–
5	–	–	NASDAQ 100, HSI	S&P 500, RTS, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40,	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, DAX, CAC 40,	–
10	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, DAX, SSMI, FTSE 100, CAC 40	NASDAQ 100, DJIA, KOSPI, S&P 500	–
15	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, DAX, NIKKEI 225	NASDAQ 100, DJIA, KOSPI	–
20	–	–	–	NASDAQ 100, DJIA, DAX,	NASDAQ 100, DJIA, KOSPI	–
25	–	–	–	–	NASDAQ 100, DJIA, KOSPI	–

„–” oznacza, że na poziomie istotności 5% nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej dla wszystkich badanych szeregów. Obecność indeksu wewnątrz tabeli oznacza, że na 5% poziomie istotności należało odrzucić hipotezę zerową na korzyść alternatywny i stwierdzić, że występuje przyczynowość w ryzyku z sensie Grangera. W pierwszej kolumnie *L* oznacza liczbę opóźnień użytych w teście. „⇒” oznacza kierunek przyczynowości. Źródło: opracowanie własne

Tabela 4

Zbiornicze wyniki testu przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera na poziomie istotności 5% dla krótkiej pozycji

<i>L</i>	DJIA ↑	DAX ↑	CAC 40 ↑	BOVESPA ↑	SSE ↑	HSI ↑	EUR-USD ↑
1	FTSE 100	–	FTSE 100	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, FTSE 100, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSMI	BOVESPA, CAC 40
2	FTSE 100	–	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, FTSE 100, DAX, CAC 40, BOVESPA	BOVESPA
3	–	–	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, FTSE 100, DAX, CAC 40, BOVESPA	BOVESPA
4	–	–	–	–	NASDAQ 100, KOSPI, DJIA, EUR_USD	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, FTSE 100, DAX, CAC 40, BOVESPA	–
5	–	–	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA, BOVESPA	–
10	–	–	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA,	–
15	–	–	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA,	–
20	–	–	–	–	–	S&P 500, NASDAQ 100, DJIA,	–
25	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–	–	S&P 500	–

„–”, oznacza, że na poziomie istotności 5% nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej dla wszystkich badanych szeregow. Obecność indeksu wewnątrz tabeli oznacza, że na 5% poziomie istotności należało odrzucić hipotezę zerową na korzyść alternatywny i stwierdzić, że występuje przyczynowość w ryzyku z sensie Grangera. W pierwszej kolumnie *L* oznacza liczbę opóźnień użytych w teście. „⇒” oznacza kierunek przyczynowości. Źródło: opracowanie własne

Dla krótkiej pozycji najczęściej biorcami ryzyka były NIKKEI 225, KOSPI oraz HSI, co wiązało się z występowaniem przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera. Ogólnie można powiedzieć, że im mniejsze opóźnienie czasowe L , tym częściej mamy do czynienia z transmisją ryzyka ekstremalnego, co jest naturalne i zgodne z oczekiwaniami. Przenoszenie ryzyka odbywa się najczęściej z S&P 500, NASDAQ100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA oraz SSMI w kierunku wymienionych indeksów. Można to interpretować w taki sposób, że bardzo pozytywne informacje są przenoszone z badanych rynków na rynki azjatyckie (NIKKEI 225, KOSPI i HSI) w badanym okresie, co wskazuje na zależność między tymi rynkami (np. Hong 2003). Może to wynikać przede wszystkim z opóźnionej reakcji badanych rynków azjatyckich, na informacje, które powstają w innej części świata. Efekt ten jest uwzględniony w badaniu, poprzez wykorzystanie różnej liczby opóźnień L w teście przyczynowości Grangera w ryzyku. W przypadku szeregów SSMI, S&P 500, FTSE 100, DAX i BOVESPA nie stwierdzono występowania przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera. Taka sytuacja może mieć różne uzasadnienia, tzn. z jednej strony zdarzenia ekstremalne o charakterze pozytywnym mogły występować dość rzadko, a jeżeli już występowały to były oczekiwane przez uczestników rynku i nie przyniosły nadzwyczajnego efektu. Z drugiej strony można również to tłumaczyć sytuacją, w której wartość zagrożona uzyskana z oszacowanego modelu generowała bardzo niewielką liczbę przekroczeń, dlatego też nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej w teście przyczynowości Grangera w ryzyku.

W tabelach 5, 6 oraz 7 przedstawiono zestawienie uzyskanych wyników z badania w przypadku strat.

Tabela 5

Zbiórce wyniki testu przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera na poziomie istotności 5% dla długiej pozycji

<i>L</i>	SSMI ↑	S&P 500 ↑	NASDAQ 100 ↑	NIKKEI 225 ↑
1	S&P 500, DJIA, BOVESPA	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, EUR-USD, HSI
2	S&P 500, DJIA, BOVESPA	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, EUR-USD, HSI, NIKKEI 225, KOSPI, SSE
3	S&P 500, DJIA	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, EUR-USD, HSI, KOSPI
4	S&P 500, DJIA	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, EUR-USD, HSI
5	S&P 500	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, EUR-USD
10	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA
15	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA
20	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA
25	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA

„–”, oznacza, że na poziomie istotności 5% nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej dla wszystkich badanych szeregów. Obecność indeksu wewnątrz tabeli oznacza, że na 5% poziomie istotności należało odrzucić hipotezę zerową na korzyść alternatywny i stwierdzić, że występuje przyczynowość w ryzyku z sensie Grangera. W pierwszej kolumnie *L* oznacza liczbę opóźnień użytych w teście. „↔” oznacza kierunek przyczynowości. Źródło: opracowanie własne

Tabela 6

Zbiorcze wyniki testu przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera na poziomie istotności 5% dla długiej pozycji

<i>L</i>	KOSPI ↑	FTSE 100 ↑	DJIA ↑	DAX ↑	CAC 40 ↑
1	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	S&P 500, DJIA, BOVESPA	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD
2	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	S&P 500, DJIA, BOVESPA, NASDAQ 100, DAX, CAC 40, SSE	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD
3	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	S&P 500, DJIA, BOVESPA	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD
4	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	S&P 500, DJIA, BOVESPA	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD
5	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	S&P 500	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, NIKKEI 225, SSE, HSI, EUR-USD
10	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, NIKKEI 225, EUR-USD	–	–	–	S&P 500, NIKKEI 225, DJIA, BOVESPA, HSI, EUR-USD
15	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, EUR-USD	–	–	–	S&P 500, EUR-USD
20	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA	–	–	–	S&P 500
25	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA	–	–	–	S&P 500

„–”, oznacza, że na poziomie istotności 5% nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej dla wszystkich badanych szeregów. Obecność indeksu wewnątrz tabeli oznacza, że na 5% poziomie istotności należało odrzucić hipotezę zerową na korzyść alternatywny i stwierdzić, że występuje przyczynowość w ryzyku z sensie Grangera. W pierwszej kolumnie *L* oznacza liczbę opóźnień użytych w teście. „⇔” oznacza kierunek przyczynowości. Źródło: opracowanie własne

Tabela 7

Zbiórcze wyniki testu przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera na poziomie istotności 5% dla długiej pozycji

<i>L</i>	BOVESPA ↑	SSE ↑	HSI ↑	EUR-USD ↑
1	NIKKEI 225	S&P 500, DAX, BOVESPA, FTSE 100	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, EUR-USD	–
2	–	S&P 500, DAX, BOVESPA	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–
3	–	CAC 40	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–
4	–	BOVESPA	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–
5	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–
10	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–
15	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–
20	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA, SSE, HSI, EUR-USD	–
25	–	–	SSMI, S&P 500, NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, FTSE 100, DJIA, DAX, CAC 40, BOVESPA	–

„–”, oznacza, że na poziomie istotności 5% nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej dla wszystkich badanych szeregów. Obecność indeksu wewnątrz tabeli oznacza, że na 5% poziomie istotności należało odrzucić hipotezę zerową na korzyść alternatywny i stwierdzić, że występuje przyczynowość w ryzyku w sensie Grangera. W pierwszej kolumnie *L* oznacza liczbę opóźnień użytych w teście. „⇒” oznacza kierunek przyczynowości. Źródło: opracowanie własne.

Dla długiej pozycji najczęściej biorcami ryzyka były: NASDAQ 100, NIKKEI 225, KOSPI, CAC 40 i HSI, tzn. stwierdzono występowanie przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera. Również w tym przypadku potwierdza się reguła, że im krótsze opóźnienie tym więcej odnotowuje się przypadków transmisji ryzyka ekstremalnego. Do grupy szeregów z których najczęściej odbywa się transmisja ryzyka ekstremal-

nego należy zaliczyć: S&P 500, NASDAQ100, DJIA, DAX, CAC 40, NIKKEI 225, BOVESPA oraz SSMI. Oznacza to, że wpływ negatywnych wydarzeń ekstremalnych przenosi się między rynkami, i trudno jest zabezpieczyć się przed takimi stratami. Potwierdzają to wyniki wcześniejszych badań (np. Lee i Lee, 2009; Osińska i inni, 2012; Wang, 2014), gdzie negatywne wydarzenia o charakterze wyjątkowym mają stosunkowo łatwą skłonność do przenoszenia między rynkami. Daje to podstawy sądzić, że przebadane rynki finansowe są powiązane i należy spodziewać się transmisji ryzyka w przypadku dużych strat w przyszłości. Można również wyróżnić grupę szeregów (S&P 500, DAX, DJIA, BOVESPA, SSE, EUR-USD) na które nie dokonuje się transmisja ryzyka ekstremalnego albo jest ona niewielka. Należy pamiętać, że niekoniecznie implikuje to w ogóle brak przenoszenia ryzyka na wskazane rynki. Ponieważ, zakładamy dyskretny zbiór poziomów istotności $A = \{1\%, 5\%, 10\%\}$, więc test nie wychwyci transmisji ryzyka jeśli zakładane poziomy są niższe. W przypadku S&P 500, DAX oraz BOVESPA można zaobserwować, że są to rynki, które częściej generują transfer ryzyka, niż są obiorcami tego ryzyka.

4. PODSUMOWANIE

Problem transmisji ryzyka ekstremalnego jest bardzo ważnym zagadnieniem w kontekście nie tylko zarządzania ryzykiem, ale również analizy mechanizmów działania rynków finansowych na świecie. W przedstawionym artykule zajęto się tematem przenoszenia ryzyka ekstremalnego między rynkami finansowymi. W tym celu wykorzystano test przyczynowości Grangera w ryzyku w wersji przedstawionej przez Candelona i inni (2013), który pozwala na uwzględnienie różnej dynamiki ryzyka między rynkami. W badaniu stwierdzono, że ryzyko ekstremalne przenoszone jest o wiele częściej w przypadku strat niż zysków, co jest potwierdzeniem znanych własności finansowych szeregów czasowych. Krótko mówiąc, bardzo negatywne informacje przenoszą się szybciej oraz częściej niż te pozytywne, co ma swoje podłoże w psychologii działania człowieka. Transmisja ryzyka odbywa się również z różnym opóźnieniem czasowym, a dokładniej mówiąc, im krótsze opóźnienie czasowe tym częściej występuje efekt przenoszenia ryzyka ekstremalnego między rynkami. Taka własność również była spodziewana, ponieważ im dłuższy czas upłynie od wystąpienia zdarzenia ekstremalnego, tym bardziej jego wpływ wygasa i jest mniej widoczny w reakcji rynków. W wyniku badania zdefiniowano grupę rynków, na które najczęściej ryzyko ekstremalne było przenoszony (NIKKEI 225, KOSPI, HSI, CAC 40, NASDAQ100, jak również grupę rynków z których owa transmisja się dokonywała (S&P 500, NASDAQ100, DJIA, DAX, BOVESPA). Podsumowując, transmisja ryzyka ekstremalnego jest zjawiskiem występującym na rynkach finansowych i stanowi ich nieodłączny element.

LITERATURA

- Bekiros S. D., Georgoutsos D. A., (2005), Estimation of Value-at-Risk by Extreme Value and Conventional Methods: A Comparative Evaluation of their Predictive Performance, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 15 (3), 2009–2028.
- Bystrom H., (2004), Managing Extreme Risks in Tranquil and Volatile Markets Using Conditional Extreme Value Theory, *International Review of Financial Analysis*, 13 (2), 133–152.
- Candelon B., Joëts M., Tokpavi S., (2013), Testing for Granger Causality in Distribution Tails: An Application to Oil Markets Integration, *Economic Modelling*, 31, 276–285.
- Coles S., (2001), *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer, London.
- Dufour J.-M., (2006), Monte Carlo Tests with Nuisance Parameters: a General Approach to Finite Sample Inference and Nonstandard Asymptotics, *Journal of Econometrics*, 27 (2), 443–477.
- Engle R. F., Manganelli S., (2004), CAViaR: Conditional Autoregressive Value-at-Risk by Regression Quantile, *Journal of Business and Economic Statistics*, 22, 367–381.
- Fałdziński M., Osińska M., Zdanowicz T., (2012), Detecting Risk Transfer in Financial Markets using Different Risk Measures, *Central European Journal of Economic Modelling and Econometrics*, 4 (1), Polish Academy of Sciences – Oddział Łódź, 45–64.
- Fałdziński M., (2014), *Teoria Wartości Ekstremalnych w ekonometrii finansowej*, Wydawnictwo UMK, Toruń.
- Ghorbel A., Trabelsi A., (2008), Predictive Performance of Conditional Extreme Value Theory in Value-at-Risk Survey, *International Journal of Monetary Economics and Finance*, 1 (2), 121–147.
- Harmantzis F. C., Miao L., Chien Y., (2006), Empirical Study of Value-at-Risk and Expected Shortfall Models with Heavy Tails, *Journal of Risk Finance*, 7 (2), 117–126.
- Hong Y., (2003), Extreme Risk Spillover Between Chinese Stock Markets and International Stock Markets, Working Paper, <http://www.wise.xmu.edu.cn/oldversion/downloadfile.asp?id=93>, (05.09.2014).
- Hong Y., Liu Y., Wang S., (2009), Granger Causality in Risk and Detection of Extreme Risk Spillover between Financial Markets, *Journal of Econometrics* 150 (2), 271–287.
- Kuester K., Mittik S., Paoletta M. S., (2006), Value-at-Risk Prediction: a Comparison of Alternative Strategies, *Journal of Financial Econometrics*, 4 (1), 53–89.
- Lee J., Lee H., (2009), Testing for Risk Spillover between Stock Market and Foreign Exchange Market in Korea, *Journal of Economic Research*, 14, 329–340.
- McNeil J. A., Frey F., (2000), Estimation of Tail-Related Risk Measures for Heteroscedastic Financial Time Series: an Extreme Value Approach, *Journal of Empirical Finance*, 7, 271–300.
- Lardy N., (1998), China and the Asian Contagion, *Foreign Affairs*, 77, 78–88.
- Osińska M., (2006), *Ekonometria finansowa*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Osińska M., Fałdziński M., Zdanowicz T., (2012), Econometric Analysis of the Risk Transfer in Capital Markets. The Case of China, *Argumenta Oeconomica*, 2 (29)–2012, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, 139–164.
- Osińska M., Fałdziński M., (2013), Are Currencies in Central Asian States Related? An Econometric Study of Granger Causality in Risk, *Statistica Učet Audit*, 4 (51), 91–97.
- Osińska M., Fałdziński M., (2007), *Modele GARCH i SV z zastosowaniem teorii wartości ekstremalnych*, Dynamiczne Modele Ekonometryczne, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 10, 27–34.
- Ozun A., Cifter A., Yilmazer S., (2010), Filtered Extreme Value Theory for Value-at-Risk Estimation: Evidence from Turkey, *Journal of Risk Finance Incorporating Balance Sheet*, 11 (2), 164–179.
- Peek J., Rosengre E. S., (1997), The International Transmission of Financial Shocks: The Case of Japan, *The American Economic Review*, 87, 495–505.

- Wang L, (2014), Study on the Extreme Risk Spillover between China and World Stock Market after China's Share Structure Reform, *Journal of Financial Risk Management*, 3, 50–56.
- Zakoian J.-M., (1994), Threshold Heteroscedastic Models, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18 (5), 931–955.

ANALIZA TRANSFERU RYZYKA EKSTREMALNEGO MIĘDZY WYBRANYMI RYNKAMI
FINANSOWYMI Z ZASTOSOWANIEM PRZYCZYNOWOŚCI W RYZYKU W SENSIE GRANGERA

Streszczenie

Celem proponowanego artykułu jest analiza powiązań między głównymi rynkami finansowymi, reprezentującymi procesy finansowe i gospodarcze zachodzące we współczesnym świecie. Badanie skupiało się na zagadnieniu przenoszenia ryzyka ekstremalnego na rynkach finansowych. Zrozumienie mechanizmu transferu ryzyka ma kluczowe znaczenie dla efektywnego zarządzania ryzykiem, instytucji finansowych oraz podmiotów nadzorujących rynki finansowe. W szczególności ryzyko ekstremalne ma największe znaczenie, ponieważ to ekstremalne ruchy cen powodują największe zagrożenie oraz szanse dla uczestników rynku. Przedstawiony artykuł stanowi rozszerzenie dotychczasowych badań, polegające na wykorzystaniu najnowszej metodologii do badania przyczynowości w ryzyku w sensie Grangera zaprezentowanej w pracy Candelon i inni (2013). Innowacyjność tego podejścia polega na uwzględnieniu wielu różnych poziomów ryzyka w zakresie ogonów rozkładu, co dopuszcza różną dynamikę transferu ryzyka pomiędzy rynkami. W celu odpowiedniego zmierzenia ryzyka, mierzonego wartością zagrożoną, wykorzystano podejście Peaks over Threshold (POT) z modelami zmienności (McNeil, Frey, 2000).

Słowa kluczowe: przyczynowość w ryzyku w sensie Grangera, wartość zagrożona, zjawisko transmisji ryzyka, ryzyko ekstremalne, metoda Peaks over Threshold (POT)

ANALYSIS OF EXTREME RISK TRANSFER ACROSS SELECTED FINANCIAL MARKETS
WITH APPLICATION OF GRANGER CAUSALITY IN RISK

Abstract

The main aim of this paper is an analysis of integration among main financial markets which represent financial and economic processes occurring in the contemporary world. This research focuses on issue of extreme risk spillover effect on financial markets. Proper understanding of risk transfer mechanism has paramount importance for effective risk management, financial institutions and market supervision institutions. In particular, extreme risk is the most important due the fact that the extreme price movements are the main cause of threats and opportunities for market participants. This paper is the extension of previous researches on that issue. This extension takes into account the newest methodology framework which is Granger-causality test presented in work of Candelon et al. (2013). Innovation in this approach boils down to allowing for multiple different risk levels across distribution tails which takes into consideration different dynamics of risk transfer mechanism across markets. In order to estimate Value-at-Risk a Peaks over Threshold approach is applied with volatility models (McNeil, Frey, 2000).

Keywords: Granger-causality in risk, Value-at-Risk, extreme risk, spillover effect, Peaks over Threshold (POT) method