

PAWEŁ OLSZA

MIERZENIE RYZYKA STÓP PROCENTOWYCH: PRZYPADEK RYNKU MIĘDZYBANKOWEGO W POLSCE

1. WPROWADZENIE

Jednym z najlepiej rozwiniętych segmentów światowego rynku finansowego jest obecnie rynek stopy procentowej. Zmiany poziomu rynkowych stóp procentowych są niewątpliwie jednym z najważniejszych wskaźników gospodarczych, wpływających zarówno na stopę zwrotu, jak i poziom ryzyka związany praktycznie z każdą inwestycją. W związku z tym pojawia się potrzeba skonstruowania miar ryzyka stóp procentowych inwestycji. Pierwszą powszechnie stosowaną miarą ryzyka stóp procentowych była miara duracji (*Macaulay duration*) zaproponowana przez Macaulaya (1938). Została ona zbudowana przy założeniu, że jedynym czynnikiem ryzyka stóp procentowych jest ryzyko równoległego przesunięcia poziomu rynkowych stóp procentowych. Miara ta była wielokrotnie modyfikowana, wprowadzone zostały pojęcia takie jak m.in. duracja modyfikowana (*modified duration*), duracja efektywna (*effective duration*) oraz miary wykorzystujące pojęcie wypukłości (*convexity*)¹ obligacji. Jednakże założenie wyłącznie równoległego przesunięcia poziomu rynkowych stóp procentowych, leżące u podstaw miar bazujących na pojęciu duracji, pozostawało niezmiennie. Pomiar ryzyka stóp procentowych z wykorzystaniem miar bazujących na pojęciu duracji dawał dobre rezultaty, dopóki głównym czynnikiem wpływającym na poziom rynkowych stóp procentowych były przede wszystkim działania banków centralnych poszczególnych państw skutkujące wysoką korelacją zmian poszczególnych rynkowych stóp procentowych. Jednak obserwowana od połowy lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku liberalizacja rynków finansowych oraz gwałtowny rozwój rynku instrumentów pochodnych sprawiły, że założenie występowania wyłącznie równoległych przesunięć poziomu rynkowych stóp procentowych na którym zbudowano miarę duracji, coraz częściej doprowadzało do niedoszacowania rzeczywistego poziomu ryzyka stóp procentowych analizowanej inwestycji. Kwestię zawodności koncepcji duracji z większym natężeniem zaczęto także

¹ Opis poszczególnych miar ryzyka stóp procentowych oraz praktycznych aspektów ich stosowania można znaleźć m.in. w pracy Tuckmana (2002).

podnosić w literaturze przedmiotu² (m.in. Reitano, 1991; Reitano, 1992). Alternatywą w tych okolicznościach zaproponowaną przez Ho (1992), stało się zastosowanie podejścia bazującego na mierzeniu wrażliwości portfela na ruchy poszczególnych stóp rynkowych (*key rate durations*) składających się na krzywą terminową stóp procentowych. Podejście to zakłada jednak całkowity brak korelacji ruchów stóp dla poszczególnych tenorów krzywej terminowej stóp procentowych, nie uwzględnia więc efektu dywersyfikacji ryzyka, uzyskiwane wyniki powodować mogą przeszacowanie rzeczywistego poziomu ryzyka stóp procentowych. Co więcej, nieuwzględnianie korelacji zmian rynkowych stóp procentowych w przypadku rozwiązywania zadania optymalizacyjnego, mającego na celu immunizację portfela z wykorzystaniem miary *key rate durations*, skutkowało obciążonymi wynikami i niedopasowaniem instrumentów zabezpieczających do zabezpieczanej pozycji (por. np. Falkenstein, Hanweck, 1996). Nieuwzględnianie korelacji miało także określone implikacje praktyczne, a mianowicie powodowanie nadmiernego szumu informacyjnego oraz zawyżonych kosztów transakcyjnych związanych z wdrażaniem strategii zabezpieczających (por. np. Phoa, 2000).

Przedstawione powyżej zastrzeżenia spowodowały, że obecnie do pomiaru ryzyka stóp procentowych coraz częściej stosuje się miary wykorzystujące wyniki analizy głównych składowych (*principal component analysis*). Pozwala to na minimalizowanie liczby analizowanych czynników ryzyka oraz zwalnia z konieczności uwzględniania ich wzajemnej korelacji. Jednocześnie, umiejętne zastosowanie takiego rozwiązania daje możliwość pomiaru wrażliwości analizowanej pozycji na obserwowane, rzeczywiste zmiany poziomu rynkowych stóp procentowych³. W literaturze przedmiotu spotykane są głównie opracowania dotyczące rynku obligacji skarbowych (por. np. Alexander, 2008b; Trzpiot, 2010; Litterman, Scheinkman, 1991). Niniejszy artykuł ma na celu wzbogacenie literatury o prezentację wyników uzyskanych przy zastosowaniu analizy głównych składowych dla rynku międzybankowego, zwłaszcza w kontekście wykorzystania tych wyników w zarządzaniu ryzykiem stopy procentowej. Artykuł zawiera również wyniki badania empirycznego skuteczności prezentowanych rozwiązań. Prezentowane wyniki empiryczne bazują na danych z polskiego rynku międzybankowego w latach 2000-2010.

² Skondensowany opis możliwych zmian poziomu rynkowych stóp procentowych, wynikających z nich zmian kształtu krzywej terminowej stóp procentowych oraz ich wpływu na stopy zwrotu z wdrażanych strategii inwestycyjnych można znaleźć w Fabozzi (2007).

³ Opis podstaw analizy głównych składowych znaleźć można m.in. w pracach: Ostasiewicz (1998) oraz Theil (1979). Wyprowadzenie metody oraz jej główne założenia opisane zostały m.in. w Hotelling (1933). Omówienie metody analizy głównych składowych ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania jej w praktyce finansowej znaleźć można np. w Alexander (2008a).

2. ANALIZA GŁÓWNYCH SKŁADOWYCH JAKO NARZĘDZIE POMIARU RYZYKA STÓP PROCENTOWYCH

W tej części artykułu zostały zaprezentowane (za: Alexander, 2008b; Jolliffe, 2002) podstawowe pojęcia i definicje związane z analizą głównych składowych. Przedstawiono także wyprowadzenie zależności pozwalających na pomiar ryzyka stóp procentowych z wykorzystaniem analizy głównych składowych.

Mówimy, że \mathbf{v} jest wektorem własnym (*eigenvector*) macierzy \mathbf{A} jeżeli istnieje taka liczba λ , że spełnione jest następujące równanie:

$$\mathbf{A} \mathbf{v} = \lambda \mathbf{v}. \quad (1)$$

Liczba λ jest nazywana wartością własną (*eigenvalue*) macierzy \mathbf{A} związaną z wektorem własnym \mathbf{v} . Każda macierz może mieć tyle wektorów własnych ile wynosi jej wymiar.

Niech \mathbf{X} oznacza macierz o wymiarach $(T \times n)$, prezentującą ewolucję w czasie poziomów rynkowych stóp procentowych postaci:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \Delta R_{1,1} & \dots & \Delta R_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta R_{T,1} & \dots & \Delta R_{T,n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

przy czym

$$\Delta R_{i,j} = R_{i,j} - R_{i-1,j}, \quad (3)$$

gdzie $R_{i,j}$ jest poziomem rynkowej stopy procentowej o numerze i ($i = 1, \dots, T$) w momencie j ($j = 1, \dots, n$). Aby zaprezentować wzajemne zależności w zmianach poziomów rynkowych stóp procentowych należy utworzyć na podstawie macierzy \mathbf{X} macierz kowariancji \mathbf{A} o wymiarach $(n \times n)$.

Bazując na wyznaczonych wektorach własnych, można dokonać rzutowania macierzy \mathbf{X} na wektory własne i utworzyć nową macierz \mathbf{P} o wymiarach $(T \times n)$. Macierz ta nazywana jest macierzą głównych składowych, a będące jej elementami główne składowe są nieskorelowane i wprowadzają dodatkową informację o analizowanym zjawisku. Poszczególne główne składowe interpretować można jak zbiór niezależnych od siebie czynników wpływających na analizowane zjawisko, w tym przypadku na krzywą terminową stóp procentowych. Rzutowanie przeprowadzić można wykorzystując następującą zależność:

$$\mathbf{P} = \mathbf{X} \mathbf{W}, \quad (4)$$

gdzie \mathbf{W} jest $(n \times n)$ wymiarową macierzą wektorów własnych macierzy \mathbf{A} . Ponieważ macierz \mathbf{A} , jako macierz kowariancji, jest z definicji macierzą symetryczną, stąd też macierz \mathbf{W} , na podstawie własności wektorów własnych, jest macierzą ortogonalną, a więc $\mathbf{W}^{-1} = \mathbf{W}'$. Wykorzystując tę własność, zależność (4) przekształcić można do postaci:

$$\mathbf{X} = \mathbf{P} \mathbf{W}'. \quad (5)$$

Zależność (5) wskazuje, że zmiany poziomów rynkowych stóp procentowych przedstawić można za pomocą odpowiedniej liniowej kombinacji nieskorelowanych głównych składowych danych macierzą \mathbf{P} oraz odpowiadających im wektorów własnych danych macierzą \mathbf{W} .

Zastosowanie analizy głównych składowych w zarządzaniu ryzykiem stopy procentowej umożliwia redukcję liczby analizowanych czynników ryzyka. Jednocześnie wymagane jest, aby wyjaśniany poziom zmienności rynkowych stóp procentowych pozostawał odpowiednio wysoki. Całkowity poziom zmienności analizowanego procesu opisywanego przez elementy macierzy \mathbf{X} równy jest sumie poszczególnych wartości własnych macierzy kowariancji \mathbf{A} . Stąd też procent całkowitej zmienności wyjaśniany przez k pierwszych głównych składowych macierzy \mathbf{A} dany jest następującą zależnością:

$$Exp_k = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} 100\%, \quad (6)$$

gdzie Exp_k oznacza procent całkowitej zmienności wyjaśnianej przez k pierwszych głównych składowych ($k < n$) oraz λ_i oznacza wartość własną odpowiadającą głównej składowej o numerze i .

Przy wybieraniu odpowiedniej liczby wykorzystywanych głównych składowych kierujemy się tym, aby wyjaśniany poziom zmienności był nadal odpowiednio wysoki, zazwyczaj minimalne wartości graniczne przyjmowane są na poziomie 90% lub 95% (por. np. Alexander, 2008b). Pożądany procent wyjaśnianego poziomu zmienności można uzyskać wybierając te elementy wektorów własnych, dla których wartości własne λ przyjmują największe wartości. Stąd też uzyskiwane w rezultacie zastosowania analizy głównych składowych wektory własne są szeregowane według malejących odpowiadających im wartości własnych.

Wykorzystując równanie (5), zmiany poziomów n obserwowalnych rynkowych stóp procentowych można opisać za pomocą ewolucji w czasie k głównych składowych (przy czym, aby zastosowanie analizy głównych składowych miało sens, wymaga się, aby $k < n$). Zastosowanie analizy głównych składowych powinno więc w efekcie prowadzić do redukcji liczby analizowanych czynników ryzyka.

Kolejnym etapem analizy jest przełożenie wpływu zmian poziomów analizowanych czynników ryzyka na zmiany wartości analizowanego portfela/ instrumentu finansowego. W przypadku analizy ryzyka stóp procentowych powszechnie wykorzystywaną jest oparta na koncepcji *key rate durations*, miara PV01 (*present value of an 01 basis point*) obrazująca zmianę wartości portfela/ instrumentu finansowego pod wpływem zmian wybranej rynkowej stopy procentowej o jeden punkt bazowy w górę (por. np. Alexander, 2008b). Zależność tę przedstawić można za pomocą następującego równania (por. np. Flavell, 2010):

$$\Delta FV_i = PV01_i R_i, \quad (7)$$

gdzie ΔFV_i oznacza zmianę wartości analizowanego instrumentu finansowego pod wpływem zmiany i -tej stopy procentowej; $PV01_i$ oznacza wrażliwość analizowanego instrumentu na zmianę i -tej stopy procentowej o jeden punkt bazowy w górę (PV01) oraz ΔR_i oznacza wyrażoną w punktach bazowych zmianę poziomu i -tej stopy procentowej.

Przykładowo, miara PV01 równa -2000 PLN, wskazuje, że przy wzroście poziomu stopy procentowej o jeden punkt bazowy w górę, wartość analizowanego instrumentu spadnie o 2000 PLN.

Całościową wrażliwość wartości analizowanego portfela/ instrumentu na zmiany wszystkich analizowanych stóp procentowych wyrazić można zależnością:

$$\Delta FV = \sum_{i=1}^n FV_i = \sum_{i=1}^n (PV01_i \Delta R_i). \quad (8)$$

Następnie wykorzystując wskazania miary PV01 oraz równanie (8) można wyznaczyć miary wrażliwości analizowanego portfela/ instrumentu finansowego na zmiany poszczególnych głównych składowych. Wykorzystując równanie (5) oraz bazując na własnościach mnożenia macierzy, zmianę i -tej stopy procentowej wyrażoną w punktach bazowych przedstawić można za pomocą równania:

$$\Delta R_i = w_{i,1} P_1 + \dots + w_{i,k} P_k, \quad (9)$$

gdzie $w_{i,j}$ oznacza element wektora własnego o numerze j odpowiadający rynkowej i -tej stopie procentowej oraz P_j oznacza wartość głównej składowej o numerze j , przy czym k odpowiada liczbie głównych składowych branż pod uwagę w analizie ryzyka stóp procentowych danej pozycji, a więc obecnie $j = 1, \dots, k$ ($< n$).

Niech wrażliwość analizowanego portfela/ instrumentu finansowego na zmiany poszczególnych głównych składowych będzie dana następującym równaniem:

$$PC_j = \sum_{i=1}^n PV01_i w_{i,j}, \quad (10)$$

gdzie PC_j oznacza wrażliwość analizowanego portfela/ instrumentu finansowego na zmianę głównej składowej o numerze j .

Wówczas zmiany wartości analizowanego portfela/instrumentu finansowego ze względu na poszczególne główne składowe można wyrazić następującą zależnością:

$$\Delta FV = \sum_{j=1}^k (PC_j P_j). \quad (11)$$

3. ANALIZA GŁÓWNYCH SKŁADOWYCH – WYNIKI DLA RYNKU POLSKIEGO

W niniejszej części artykułu przedstawione zostały aspekty praktyczne związane z wykorzystaniem analizy głównych składowych jako narzędzia pomiaru ryzyka stóp

procentowych. Zaprezentowane zostały także wyniki własnych analiz oszacowań głównych składowych bazujących na danych z polskiego rynku międzybankowego za okres od 5 września 2000 roku do 19 listopada 2010 roku.

Podstawową kwestią mogącą mieć wpływ na jakość oszacowań poziomu ryzyka stóp procentowych z wykorzystaniem analizy głównych składowych jest wybór danych rynkowych. W literaturze spotykane są podejścia bazujące na teoretycznych stopach zerokuponowych (por. m.in. Alexander, 2008b; Trzpiot, 2010), jak również rozwiązania wykorzystujące notowania rynkowych instrumentów finansowych takich jak depozyty rynku międzybankowego, rynkowe notowania kontraktów IRS (por. m.in. Baygun, Showers, Cherpelis, 2000; Phoa, 2000). Autorzy wykorzystujący notowania rynkowe wskazują na większą intuicyjność uzyskiwanych miar ryzyka stóp procentowych, pozwalającą na ich odnoszenie do zmian poziomów stóp procentowych obserwowanych bezpośrednio na rynku. Równocześnie, prezentowane przez nich wyniki wskazują brak większych różnic w oszacowaniach uzyskiwanych w ten sposób miar ryzyka w stosunku do miar bazujących na teoretycznych stopach zerokuponowych (por. m.in. Baygun, Showers, Cherpelis, 2000). Rozwiązanie to wykorzystane zostało także w niniejszej pracy.

Zmiany rynkowych stóp procentowych uzyskiwane w podejściu bazującym na notowaniach rynkowych instrumentów finansowych przekładane są na zmiany analizowanych pozycji poprzez wykorzystanie odpowiedniej krzywej dyskontowej. Bazując na krzywej dyskontowej uzyskać można oszacowania parametrów miary PV01 odpowiadające poszczególnym analizowanym stopom rynkowym. Stąd też poprawność konstrukcji krzywej dyskontowej ma bezpośrednie przełożenie na jakość uzyskiwanych wskazań miar ryzyka stopy procentowej⁴.

Jakość uzyskiwanych miar ryzyka stopy procentowej zależy w równie dużym stopniu od stabilności i niezmienności w czasie uzyskiwanych dzięki zastosowaniu analizy głównych składowych wartości wektorów własnych (por. m.in. Baygun, Showers, Cherpelis, 2000; Falkenstein, Hanweck, 1996). W szczególności, czynnikami mogącymi mieć wpływ na jakość uzyskiwanych oszacowań są zakres wykorzystywanych w analizie instrumentów rynkowych oraz przedział czasu na podstawie którego analiza była przeprowadzana.

Poniżej przedstawione zostały wyniki przeprowadzonych przez autora badań oddziaływań poszczególnych, wymienianych w literaturze czynników. Analizy zostały przeprowadzone na podstawie danych z polskiego rynku międzybankowego za okres od 5 września 2000 roku do 19 listopada 2010 roku. Charakterystyka wykorzystywanych danych została przedstawiona w tabeli 1.

Rysunek 1 ilustruje ewolucję w czasie stóp procentowych wykorzystywanych w badaniu w latach 2000-2010.

W początkowym okresie miało miejsce radykalne obniżanie się rynkowych stóp procentowych dla wszystkich terminów zapadalności z poziomu około 20% p. a. do

⁴ Szczegółowy opis procedury konstrukcji krzywej dyskontowej znaleźć można m.in. w Ron (2000).

Tabela 1.

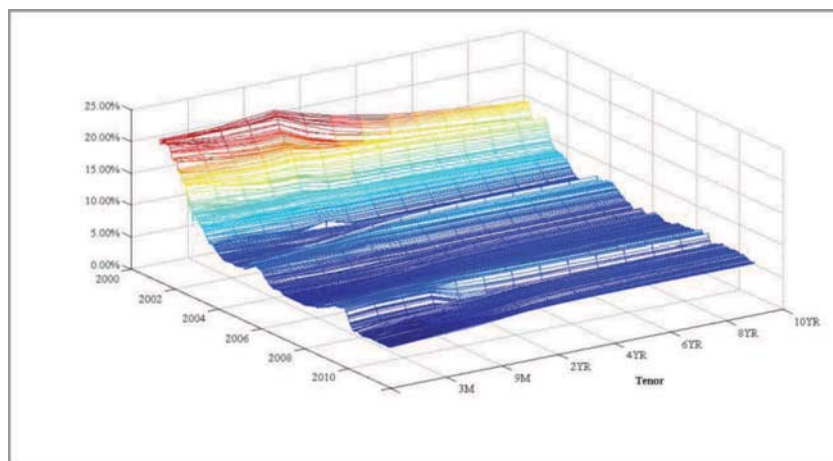
Charakterystyka danych rynkowych wykorzystywanych w analizie

L.p.	Oznaczenie	Charakterystyka	Oznaczenie systemu Reuters
1	1M	Oprocentowanie depozytów rynku międzybankowego o terminie zapadalności 1 miesiąc	PLN1MD=
2	3M	Oprocentowanie depozytów rynku międzybankowego o terminie zapadalności 3 miesiące	PLN3MD=
3	6M	Oprocentowanie depozytów rynku międzybankowego o terminie zapadalności 6 miesięcy	PLN6MD=
4	9M	Oprocentowanie depozytów rynku międzybankowego o terminie zapadalności 9 miesięcy	PLN9MD=
5	1YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 1 rok	PLNAB3W1Y=
6	2YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 2 lata	PLNAB6W2Y=
7	3YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 3 lata	PLNAB6W3Y=
8	4YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 4 lata	PLNAB6W4Y=
9	5YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 5 lat	PLNAB6W5Y=
10	6YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 6 lat	PLNAB6W6Y=
11	7YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 7 lat	PLNAB6W7Y=
12	8YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 8 lat	PLNAB6W8Y=
13	9YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 9 lat	PLNAB6W9Y=
14	10YR	Oprocentowanie kontraktu wymiany procentowej (IRS) o terminie zapadalności 10 lat	PLNAB6W10Y=

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z systemu Reuters.

około 5% p. a. Począwszy od 2003 roku można zaobserwować fluktuację rynkowych stóp procentowych dla wszystkich terminów zapadalności wokół wartości 5% p. a. Poszczególne analizy głównych składowych bazowały na tygodniowych zmianach (wyrażonych w punktach bazowych) stóp procentowych zaprezentowanych w tabeli 1.

Ze zbioru otrzymywanych głównych składowych każdorazowo wybierano trzy główne składowe o największym udziale w procencie wyjaśnianej całkowitej zmienności procesu. W celu zbadania stałości oszacowań wartości wektorów własnych okres analizy podzielony został na trzy rozłączne podokresy. Podokres I obejmujący dane od 5 września 2000 roku do 26 grudnia 2003 roku (173 obserwacje). W podokresie tym miało miejsce radykalne obniżenie się poziomu rynkowych stóp procentowych. Wyodrębnienie tego podokresu miało na celu zbadanie wpływu silnego ruchu wszystkich



Rysunek 1. Ewolucja w czasie krzywej terminowej stóp procentowych na polskim rynku międzybankowym w latach 2000-2010

Źródło: Opracowanie własne.

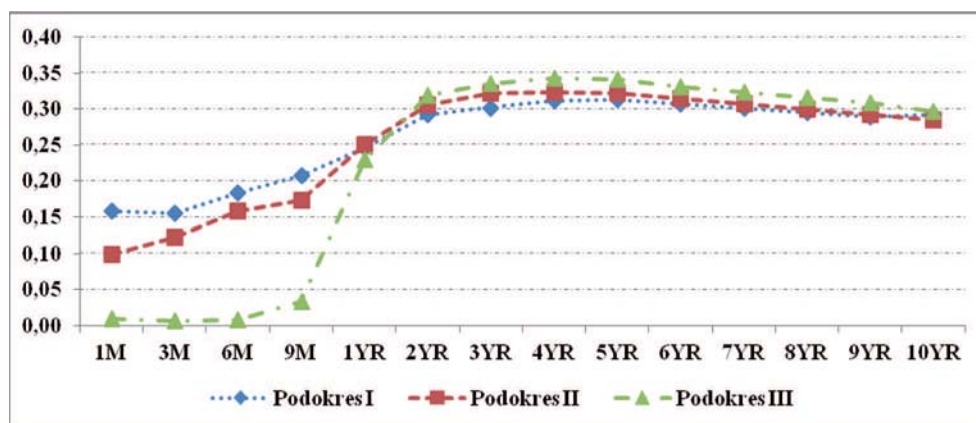
stóp procentowych (w analizowanym równoległym przesunięciu stóp procentowych dla wszystkich tenorów w dół) na otrzymywane oszacowania głównych składowych. Podokres II obejmujący dane od 2 stycznia 2004 roku do 28 grudnia 2007 roku (209 obserwacji). W podokresie tym stopy procentowe dla wszystkich terminów zapadalności fluktuowały wokół wartości 5% p. a. Wyodrębnienie tego podokresu miało na celu zbadanie otrzymywanych oszacowań głównych składowych w „normalnych” warunkach rynkowych. Podokres III obejmujący dane od 4 stycznia 2008 roku do 19 listopada 2010 roku (151 obserwacji). Podokres ten obejmuje zaburzenia obserwowane na światowych rynkach finansowych związane z bankructwem banku Lehman Brothers ogłoszonym 15 września 2008 roku. Wyodrębnienie tego podokresu miało na celu zbadanie otrzymywanych oszacowań głównych składowych w warunkach kryzysowych. Jednocześnie starano się, aby długość poszczególnych podokresów była zbliżona.

Obliczenia przeprowadzono wykorzystując dodatek do programu MS Excel przygotowany przez Foxes i zawierający oprogramowanie z zakresu algebry macierzy⁵.

Rysunek 2 przedstawia oszacowania wektora własnego odpowiadającego pierwszej głównej składowej odnoszącego się do trzech wyodrębnionych podokresów w wariancie pełnego zbioru danych.

W celu dokonania oceny wpływu zakresu wykorzystywanych danych rynkowych na jakość uzyskiwanych oszacowań, przeprowadzono analogiczną analizę opartą o dane obejmujące wyłącznie notowania instrumentów finansowych o okresie zapadalności co

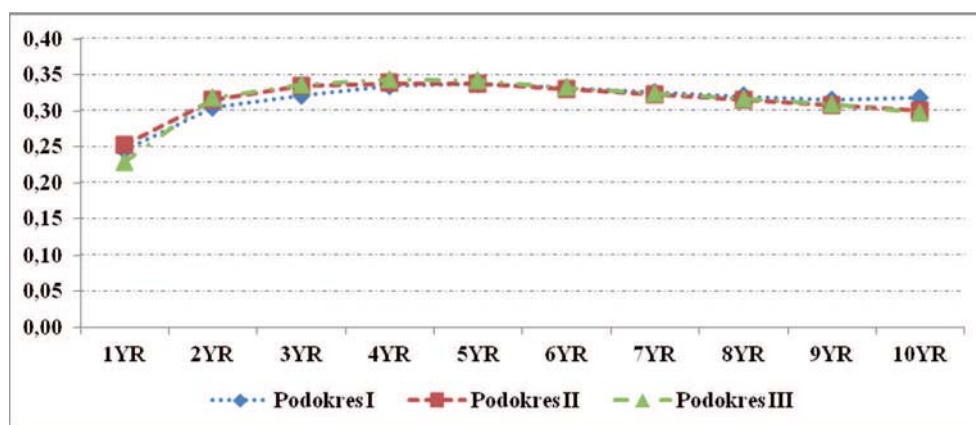
⁵ Dodatek ten jest dostępny w Internecie pod adresem: <http://digilander.libero.it/foxes/matrix.zip> [dostęp: 6 stycznia 2011 roku].



Rysunek 2. Oszacowania wektora własnego odpowiadającego pierwszej głównej składowej dla pełnego zbioru danych

Źródło: Opracowanie własne.

najmniej jeden rok, tj. notowań kontraktów wymiany procentowej (IRS)⁶. Rysunek 3 przedstawia oszacowania wektora własnego odpowiadającego pierwszej głównej składowej odnoszącego się do trzech wyodrębnionych podokresów w przypadku danych dotyczących stóp o okresie zapadalności co najmniej jednego roku.



Rysunek 3. Oszacowania wektora własnego odpowiadającego pierwszej głównej składowej dla danych obejmujących stopy o okresie zapadalności co najmniej 1 roku

Źródło: Opracowanie własne.

Wyniki oszacowań wartości wektora własnego odpowiadającego pierwszej głównej składowej, wskazują, że zakres danych ma istotne znaczenie dla uzyskiwanych rezultatów. Dla stóp procentowych o okresie zapadalności powyżej jednego roku uży-

⁶ Omówienie zagadnień związanych z kontraktami wymiany procentowej (IRS) oraz konstrukcją krzywej dyskontowej bazującej na ich notowaniach znaleźć można m.in. w Flavell (2010).

skane wyniki są dostrzegalnie bardziej stabilne niż dla stóp procentowych o krótszych terminach zapadalności. Analizując uzyskane wartości, możemy interpretować pierwszą główną składową jako czynnik ryzyka odpowiadający za równoległe przesunięcie stóp procentowych dla wszystkich terminów zapadalności. Ponieważ poziomy stóp procentowych o okresie zapadalności do jednego roku zależą silnie od aktualnych działań banku centralnego, w szczególności od prowadzonych w ramach kształtowania polityki pieniężnej działań dotyczących płynności rynku międzybankowego (por. np. Tuckman, 2002), wpływ przesunięcia równoległego (pierwszej głównej składowej) jest dla tych stóp mniejszy niż dla stóp o dłuższych terminach zapadalności. Efekt ten jest zaznaczony w III podokresie obejmującym lata 2008-2010. Kryzys płynności rynku międzybankowego w tym okresie spowodował, że wpływ pierwszej głównej składowej na stopy procentowe o okresie zapadalności do jednego roku był bliski zeru. W analizowanym podokresie stopy procentowe o okresie zapadalności do jednego roku reagowały głównie na działania banku centralnego, mające na celu podniesienie płynności rynku międzybankowego. W przypadku stóp procentowych o dłuższych okresach zapadalności istotne znaczenie zaczynają odgrywać oczekiwania inflacyjne oraz premia za płynność (por. np. Ziarko-Siwiek, Kamiński, 2003). Ponieważ ekspansywna polityka pieniężna skutkuje wzrostem oczekiwań inflacyjnych (por. np. Przybylska-Kapuścińska, 2008), w związku z tym, o ile działania banku centralnego w latach 2008-2010 skutkowały niewielkim wpływem zmian pierwszej głównej składowej na stopy procentowe o okresie zapadalności od jednego roku, to oczekiwania inflacyjne wywołane tymi działaniami warunkowały wzrost stóp procentowych dla dłuższych okresów zapadalności. Powyższe zależności przekładały się także na procent całkowitej zmienności wyjaśnianej przez pierwszą główną składową. W tabeli 2 zawarto stopień wyjaśnienia całkowitej zmienności procesu przez pierwszą, drugą oraz trzecią oraz łącznie wszystkie trzy pierwsze główne składowe.

Tabela 2.

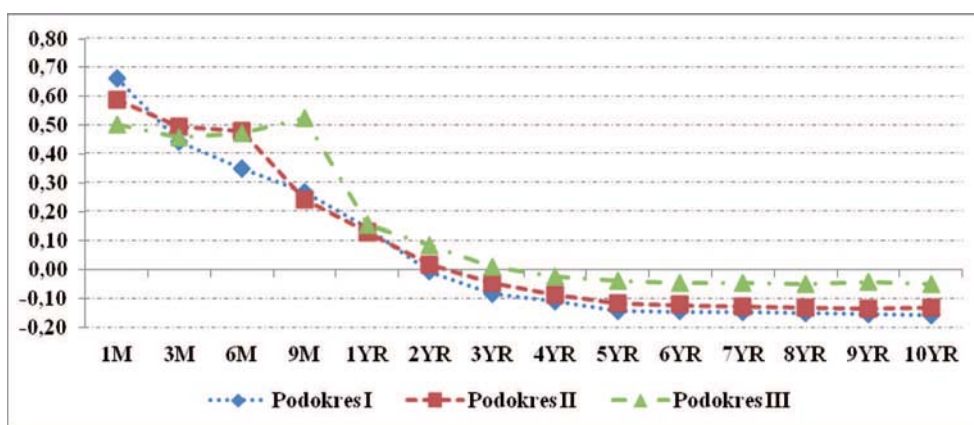
Stopień wyjaśnienia całkowitej zmienności procesu przez pierwszą, drugą i trzecią oraz łącznie wszystkie trzy główne składowe (w procentach)

Podokres	Pierwsza główna składowa		Druga główna składowa		Trzecia główna składowa		Główne składowe łącznie	
	Pełen zakres danych	Stopy o okresie zapadalności co najmniej 1 roku	Pełen zakres danych	Stopy o okresie zapadalności co najmniej 1 roku	Pełen zakres danych	Stopy o okresie zapadalności co najmniej 1 roku	Pełen zakres danych	Stopy o okresie zapadalności co najmniej 1 roku
2000-2003	70,14%	91,19%	16,94%	5,98%	5,36%	1,59%	92,44%	98,76%
2004-2007	76,34%	94,20%	13,54%	4,08%	4,37%	1,01%	94,25%	99,30%
2008-2010	76,81%	93,45%	13,69%	4,29%	3,16%	1,02%	93,66%	98,76%

Źródło: Opracowanie własne.

Analizując przedstawione w niej dane można zauważyć, że różnice w procencie całkowitej zmienności wyjaśnianej przez pierwszą główną składową są dosyć znaczące. Wyższe wartości procentu wyjaśnianej całkowitej zmienności dla ograniczonego zakresu danych potwierdzają tezę o różnych czynnikach wpływających na ewolucję stóp procentowych o okresach zapadalności do jednego roku oraz dla stóp procentowych o okresach zapadalności co najmniej jeden rok. Różnorodność czynników wpływających na te dwa segmenty powoduje zmniejszenie procentu wyjaśnianej zmienności przez czynnik ryzyka jakim jest równoległe przesunięcie krzywej terminowej stóp procentowych.

Powyzsze wnioski znajdują potwierdzenie w analizie oszacowań wektorów własnych odpowiadających drugiej oraz trzeciej głównej składowej. Rysunek 4 prezentuje oszacowania wartości wektora własnego odpowiadającego drugiej głównej składowej odnoszącego się do trzech wyodrębnionych podokresów w wariancie pełnego zbioru danych.

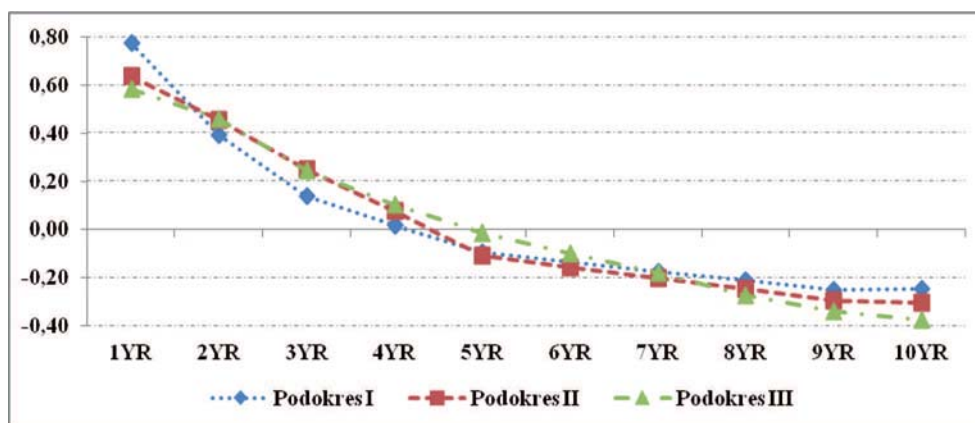


Rysunek 4. Oszacowania wektora własnego odpowiadającego drugiej głównej składowej dla pełnego zbioru danych

Źródło: Opracowanie własne.

Rysunek 5 przedstawia oszacowania wektora własnego odpowiadającego drugiej głównej składowej odnoszącego się do trzech wyodrębnionych podokresów w przypadku danych dotyczących stóp o okresie zapadalności co najmniej jednego roku.

Podobnie jak w przypadku pierwszej głównej składowej, wyniki oszacowań wartości wektora własnego odpowiadającego drugiej głównej składowej, wskazują, że zakres danych ma istotne znaczenie dla uzyskiwanych rezultatów. Tą główną składową interpretować można jako czynnik ryzyka odpowiadający za wypiętrzenie (wzrost stóp procentowych dla długich terminów zapadalności, przy jednoczesnym spadku stóp procentowych dla krótkich terminów zapadalności) lub spłaszczenie (spadek stóp procentowych dla długich terminów zapadalności, przy jednoczesnym wzroście stóp procentowych dla krótkich terminów zapadalności) krzywej terminowej stóp procentowych.



Rysunek 5. Oszacowania wektora własnego odpowiadającego drugiej głównej składowej dla danych obejmujących stopy o okresie zapadalności co najmniej 1 roku

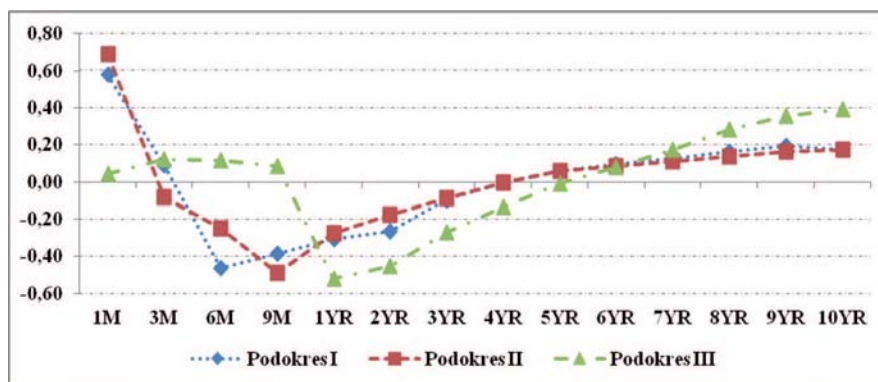
Źródło: Opracowanie własne.

Kształt wykresów dla obu zakresów danych jest dość podobny, należy jednak zwrócić uwagę na różnice w wartościach odpowiadających stopom procentowym o tym samym terminie zapadalności. W przypadku stóp procentowych o terminach zapadalności trzy i cztery lata w przypadku pełnego zakresu danych uzyskane oszacowania wskazują negatywny wpływ zmian drugiej głównej składowej, zaś w sytuacji ograniczonego zbioru danych sygnalizowany jest pozytywny wpływ zmian tejże głównej składowej. Różnice są także widoczne w przypadku analizy procentu całkowitej zmienności wyjaśnianej przez drugą główną składową zaprezentowane w tabeli 2. Wyższy procent całkowitej zmienności wyjaśniany przez drugą główną składową w przypadku oszacowań dla pełnego zakresu danych potwierdza wnioski otrzymane na podstawie analiz dla pierwszej głównej składowej. Druga główna składowa odpowiada za przeciwstawne ruchy stóp procentowych dla długich oraz krótkich terminów zapadalności, stąd też wyższy procent zmienności wyjaśniany przez tę główną składową implikuje wyższe znaczenie tego typu ruchów w ewolucji krzywej terminowej stóp procentowych oraz potwierdza hipotezę o różnych czynnikach wpływających na ewolucję stóp procentowych o okresach zapadalności do jednego roku oraz dla stóp procentowych o okresach zapadalności powyżej jednego roku.

Ostatnim z analizowanych wektorów własnych był wektor odpowiadający trzeciej głównej składowej. Rysunek 6 prezentuje oszacowania wartości wektora własnego odpowiadającego trzeciej głównej składowej odnoszącego się do trzech wyodrębnionych podokresów w wariancie pełnego zbioru danych.

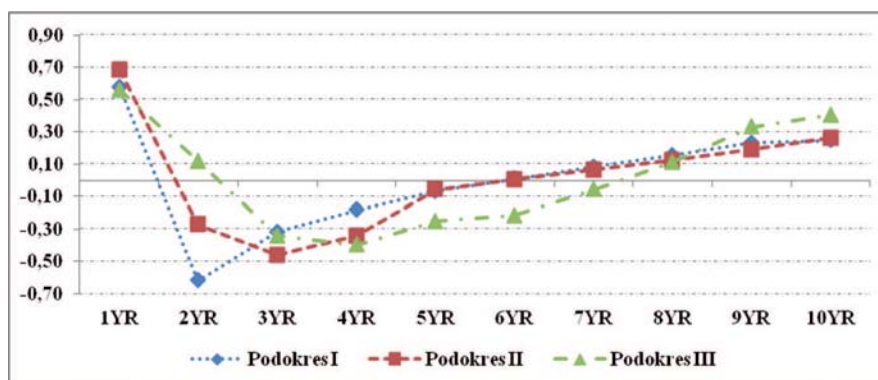
Rysunek 7 przedstawia oszacowania wektora własnego odpowiadającego trzeciej głównej składowej odnoszącego się do trzech wyodrębnionych podokresów w przypadku danych dotyczących stóp o okresie zapadalności co najmniej jednego roku.

Uzyskane tutaj spostrzeżenia są zbieżne z prezentowanymi w literaturze wnioskami dla rynków zagranicznych (por. m.in. Baygun, Showers, Cherpelis, 2000; Falkenstein,



Rysunek 6. Oszacowania wektora własnego odpowiadającego trzeciej głównej składowej dla pełnego zbioru danych

Źródło: Opracowanie własne.



Rysunek 7. Oszacowania wektora własnego odpowiadającego trzeciej głównej składowej dla danych obejmujących stopy o okresie zapadalności co najmniej 1 roku

Źródło: Opracowanie własne.

Hanweck, 1997; Phoa, 2000). Oszacowania wartości wektora własnego odpowiadającego trzeciej głównej składowej cechują się najmniejszą stabilnością, co przekłada się również na stabilność uzyskiwanych za ich pomocą wyników pomiaru ryzyka. Tutaj główną składową interpretować można jako czynnik ryzyka odpowiadający za zwiększenie/ zmniejszenie wypukłości (wzrost/spadek stóp procentowych dla długich [np. powyżej 7 lat] oraz krótkich terminów zapadalności [np. do 2 lat], przy jednoczesnym spadku/wzroście stóp procentowych dla średnich terminów zapadalności) krzywej terminowej stóp procentowych.

Odwołując się ponownie do tabeli 2, w przypadku ograniczonego zakresu wykorzystywanych danych, obejmującego wyłącznie stopy procentowe o terminie zapadalności co najmniej jednego roku procent całkowitej zmienności wyjaśniany przez trzecią główną składową jest dostrzegalnie mniejszy niż w przypadku pełnego zakresu danych.

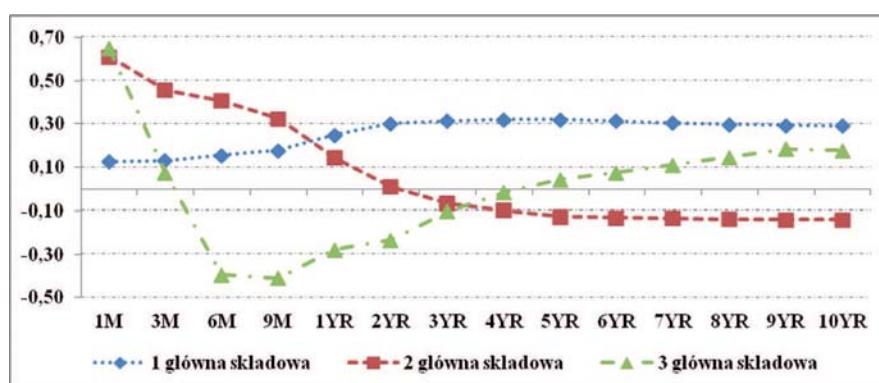
Relatywnie wyższy procent zmienności wyjaśniany przez trzecią główną składową w przypadku oszacowań dla pełnego zakresu danych potwierdza hipotezę o różnych czynnikach wpływających na ewolucję stóp procentowych o okresach zapadalności do jednego roku oraz dla stóp procentowych o okresach zapadalności co najmniej jednego roku.

Podsumowując otrzymane wyniki, jakkolwiek procent całkowitej zmienności wyjaśniany przez pierwsze trzy główne składowe jest we wszystkich analizowanych podokresach zbliżony, to jednak zakres wykorzystywanych w analizie danych rynkowych może mieć znaczący wpływ na uzyskiwane wyniki, w szczególności na miary ryzyka stóp procentowych dane równaniem (10). Zmiany oszacowań wartości wektorów własnych mogą mieć znaczący wpływ zarówno na jakość uzyskiwanych miar ryzyka jak i na efektywność wdrażanych na ich podstawie strategii zabezpieczających (por. m.in. Falkenstein, Hanweck, 1997; Phoa, 2000). Zatem wykorzystując analizę głównych składowych w pomiarze ryzyka stóp procentowych należy każdorazowo zwracać uwagę na jakość uzyskiwanych na jej podstawie oszacowań, a w szczególności na stabilność uzyskiwanych wektorów własnych.

4. WYNIKI SYMULACJI

W ramach badania skuteczności pomiaru ryzyka stopy procentowej z wykorzystaniem analizy głównych składowych dokonano pomiaru skuteczności strategii zabezpieczających tworzonych na podstawie wskazań miar ryzyka danych równaniem (10). Główne składowe wyznaczone zostały na podstawie danych za okres od 5 września 2000 roku do 31 grudnia 2007 roku obejmujących tygodniowe, wyrażone w punktach bazowych zmiany poziomu stóp procentowych, których charakterystyka zaprezentowana została w tabeli 1.

Oszacowania wartości wektorów własnych odnoszące się do trzech pierwszych głównych składowych zaprezentowane zostały na rysunku 8.



Rysunek 8. Oszacowania wartości wektorów własnych odpowiadających trzem głównym składowym wyjaśniającym największy procent całkowitej zmienności

Źródło: Opracowanie własne.

W symulacji dokonano zabezpieczenia ryzyka stóp procentowych dla losowo wygenerowanego portfela, w którym zakłada się, że wielkości przepływów są opisane rozkładem normalnym o średniej równej 0 oraz odchyleniu standardowym równym 750 000 PLN. Wielkość przepływu równą jednemu, dwóm i trzem odchyleniom standardowym interpretować można przykładowo jako wartość płatności kwartalnej przy oprocentowaniu 4,00% p.a. od nominału odpowiednio 75, 150 i 225 milionów PLN. W większości przypadków maksymalny termin zapadalności transakcji zawieranych na polskim rynku międzybankowym nie przekracza 10 lat, stąd też daty poszczególnych przepływów wygenerowane zostały z wykorzystaniem rozkładu jednostajnego na przedziale 10 lat od daty wdrożenia analizowanej strategii zabezpieczającej (31 grudnia 2007 roku). Tabela 3 prezentuje strukturę przepływów wygenerowaną dla portfela będącego przedmiotem zabezpieczenia.

Tabela 3.

Struktura przepływów zabezpieczanego portfela

L.p.	Data	Wielkość przepływu
1	2008-02-16	208 603
2	2008-12-25	-547 288
3	2009-04-02	-1 585 243
4	2009-10-30	-393 237
5	2009-11-18	-192 582
6	2010-03-04	598 283
7	2010-06-02	308 176
8	2010-07-06	433 394
9	2010-08-04	81 814
10	2010-08-19	744 095
11	2011-10-12	87 213
12	2011-10-29	1 338 775
13	2012-04-26	-1 006 244
14	2012-09-21	476 465
15	2012-11-22	1 088 519
16	2013-03-27	-1 434 456
17	2013-04-24	-1 032 521
18	2013-08-21	846 403
19	2014-10-01	-462 443
20	2016-01-24	1 431 067
21	2016-09-18	752 145
22	2016-11-23	-331 208
23	2017-01-18	862 195
24	2017-05-06	-816 303
25	2017-11-13	-738 836

Źródło: Opracowanie własne.

Bazując na danych rynkowych z dnia 31 grudnia 2007 roku podawanych przez Reuters, początkowa wycena wygenerowanego portfela wyniosła 361 572 PLN.

Uzyskane miary wrażliwości analizowanego portfela na zmiany trzech pierwszych głównych składowych uzyskane z wykorzystaniem wzoru (10) zaprezentowane zostały w tabeli 4.

Tabela 4.

Wrażliwość zabezpieczanego portfela na zmiany wybranych głównych składowych

Główna składowa	Wrażliwość (w PLN)
PC1	155
PC2	-90
PC3	66

Źródło: Opracowanie własne.

Analizowany portfel narażony był przede wszystkim na równoległe przesunięcie krzywej terminowej stóp procentowych w dół (związane ze spadkiem wartości pierwszej głównej składowej) oraz spadek wartości trzeciej głównej składowej, odpowiadający za zmniejszenie wypukłości krzywej terminowej stóp procentowych (spadek stóp procentowych dla długich oraz krótkich terminów zapadalności, przy jednoczesnym wzroście stóp procentowych dla średnich terminów zapadalności). Przeciwny znak miary wrażliwości na zmiany drugiej głównej składowej, powodował, że negatywne zmiany wartości portfela wywoływało także wypłaszczenie krzywej (spadek stóp procentowych dla długich terminów zapadalności, przy jednoczesnym wzroście stóp procentowych dla krótkich terminów zapadalności).

Jako instrumenty zabezpieczające wybrane zostały trzy kontrakty IRS o terminach zapadalności 1 rok, 5 lat oraz 10 lat. Nominały instrumentów zabezpieczających wyznaczone zostały z wykorzystaniem współczynnika minimalnej wariacji danego równaniem zaprezentowanego w Falkenstein, Hanweck (1997):

$$\beta = -\mathbf{PC}(H)^{-1} \mathbf{PC}(P), \quad (12)$$

gdzie β oznacza macierz nominałów instrumentów zabezpieczających; $\mathbf{PC}(H)$ oznacza macierz wrażliwości instrumentów zabezpieczających na zmiany trzech pierwszych głównych składowych oraz $\mathbf{PC}(P)$ oznacza macierz wrażliwości zabezpieczanego portfela na zmiany trzech pierwszych głównych składowych.

Skuteczność zabezpieczenia analizowana była na podstawie tygodniowych zmian wartości portfela uzyskanych na podstawie analiz scenariuszowych bazujących na historycznych tygodniowych zmianach poziomów rynkowych stóp procentowych w okresie od 2 stycznia 2008 roku do 19 listopada 2010 roku. Otrzymane wyniki porównane zostały następnie ze zmianami wartości portfela uzyskanymi na podstawie analogicznych scenariuszy bazujących na danych historycznych, w przypadku braku zabezpieczenia

oraz wdrożenia strategii zabezpieczającej bazującej na miarach duracji efektywnej (*effective duration*), wypukłości efektywnej (*effective convexity*) oraz BPV (wrażliwości portfela na równoległe przesunięcie krzywej terminowej stóp procentowych o jeden punkt bazowy w górę)⁷. Nominały instrumentów zabezpieczających w dla poszczególnych strategii zabezpieczających zaprezentowane zostały w tabeli 5.

Tabela 5.

Nominały instrumentów zabezpieczających dla analizowanych strategii zabezpieczających

Zapadalność kontraktu IRS	Nominał kontraktu (w PLN)		
	Analiza głównych składowych	Duracja, wypukłość, BPV	Brak zabezpieczenia
1 rok	-661 776	-1 247 609	0
5 lat	1 050 617	1 552 142	0
10 lat	154 519	-54 795	0

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 6 prezentuje wyniki badania skuteczności zabezpieczenia uzyskane na podstawie scenariuszy wygenerowanych z wykorzystaniem tygodniowych historycznych zmian rynkowych stóp procentowych w okresie od 2 stycznia 2008 roku do 19 listopada 2010 roku.

Tabela 6.

Porównanie efektywności poszczególnych strategii zabezpieczających

Tygodniowa zmiana wartości jako % wartości początkowej portfela	Strategia zabezpieczająca		
	Analiza głównych składowych	Duracja, wypukłość, BPV	Brak zabezpieczenia
Maksymalna	4,88%	5,21%	10,87%
95 Percentyl	1,60%	1,56%	3,84%
Średnia	0,00%	0,00%	0,01%
5 Percentyl	-1,67%	-1,13%	-3,90%
Minimalna	-4,35%	-4,45%	-15,04%

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawione w tabeli 6 wyniki analiz skuteczności strategii zabezpieczających wskazują, że zarówno strategia oparta o miary wrażliwości portfela na zmiany głównych składowych, jak i strategia oparta o miary duracji efektywnej, wypukłości efektywnej

⁷ Omówienie miary duracji efektywnej, wypukłości efektywnej oraz BPV znaleźć można m.in. w Fabozzi, Focardi, (2004) oraz Tuckman (2002).

oraz BPV pozwoliła na uzyskanie zbliżonych rezultatów w zabezpieczeniu portfela przed ryzykiem stopy procentowej. Uzyskana w wyniku zastosowania obu strategii zabezpieczających minimalizacja zmienności wartości portfela jest bardzo podobna. Otrzymane wyniki potwierdzają wskazywaną w literaturze (por. m.in. Fabozzi, 2007; Tuckman, 2002) tezę o kluczowym znaczeniu odpowiedniego doboru instrumentów zabezpieczających. W przypadku zabezpieczenia portfela przed ryzykiem stopy procentowej efektywność wdrażanej strategii zabezpieczającej jest zależna przede wszystkim od terminów zapadalności wybranych instrumentów zabezpieczających. Ponieważ w przypadku portfela instrumentów dłużnych jego wartość zależy najczęściej od zmian kształtu całej krzywej terminowej stóp procentowych, a nie zmian wartości pojedynczych stóp, terminy zapadalności instrumentów zabezpieczających powinny być tak dobrane, aby ich wartość zależała przede wszystkim od zmian kształtu krzywej mających największy wpływ na wartość zabezpieczanego portfela. Narzędziem, które może pomóc w takiej analizie są przedstawione w niniejszym artykule miary wrażliwości portfela na zmiany głównych składowych.

5. PODSUMOWANIE

Analiza głównych składowych jest coraz częściej wykorzystywana w zarządzaniu ryzykiem finansowym. Jedną z jej największych zalet jest możliwość znaczącego obniżenia liczby analizowanych rynkowych czynników ryzyka, poprzez skupienie się na nieobserwowalnych bezpośrednio, ale mających wpływ na cały analizowany system tzw. głównych składowych, wspólnych dla wszystkich analizowanych zmiennych. Zaprezentowane w niniejszym artykule miary wrażliwości portfela/ instrumentu finansowego na zmiany wybranych głównych składowych czynią z analizy głównych składowych użyteczne narzędzie zarządzania ryzykiem stopy procentowej. Wyniki przeprowadzonych badań nie potwierdzają, co prawda, większej skuteczności strategii zabezpieczających tworzonych z wykorzystaniem analizy głównych składowych w stosunku do strategii zabezpieczających wykorzystujących powszechnie stosowane miary takie jak np. duracja efektywna, jednakże nie przekreślają one także celowości stosowania zaprezentowanych miar w zarządzaniu ryzykiem stopy procentowej. W przypadku ryzyka stopy procentowej wartość pozycji zabezpieczanej zależy najczęściej od ewolucji całej krzywej terminowej stóp procentowych, wobec czego kluczową kwestią staje się dobór odpowiednich instrumentów zabezpieczających. Dobór ten jest uzależniony przede wszystkim od wrażliwości portfela na określone zmiany kształtu krzywej terminowej stóp procentowych. Miary takie jak duracja efektywna przyjmują arbitralne założenia co do analizowanych zmian kształtu krzywej terminowej, przy czym założenia te nie mają najczęściej przełożenia na rzeczywiste zmiany obserwowane na rynku. Miary bazujące na wynikach analizy głównych składowych pozwalają na uzyskanie wskazań wrażliwości wyceny portfela na zmiany kształtu krzywej terminowej, które są rzeczywiście obserwowane na danym rynku. Dlatego też zaprezentowane w niniejszym

artykuły miary wrażliwości portfela mogą okazać się bardzo pomocnym narzędziem w pomiarze ryzyka stóp procentowych.

Autor przygotowuje rozprawę doktorską na Wydziale Ekonomii Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.

LITERATURA

- [1] Alexander C., (2008a), *Market Risk Analysis Volume I: Quantitative Methods in Finance*, John Wiley & Sons, Chichester.
- [2] Alexander C., (2008b), *Market Risk Analysis Volume II: Practical Financial Econometrics*, John Wiley & Sons, Chichester.
- [3] Baygun B., Showers J., Cherpelis G., (2000), *Principle of Principal Components*, SalmonSmithBarney Fixed-Income Research January 2000, adres internetowy: <http://www.scribd.com/doc/19607034/Salomon-Smith-Barney-Principles-of-Principal-Components-A-Fresh-Look-at-Risk-Hedging-and-Relative-Value> (dostęp: 20 luty 2011).
- [4] Fabozzi F., (2007), *Fixed Income Analysis*, John Wiley & Sons, Hoboken.
- [5] Fabozzi F., Focardi S., (2004), *The Mathematics of Financial Modeling and Investment Management*, John Wiley & Sons, Hoboken.
- [6] Falkenstein E., Hanweck J., (1996), *Minimizing Basis Risk from Nonparallel Shifts in the Yield Curve*, The Journal of Fixed Income, Vol. 6 No. 1, 60-68.
- [7] Falkenstein E., Hanweck J., (1997), *Minimizing Basis Risk from Nonparallel Shifts in the Yield Curve Part II: Principal Components*, The Journal of Fixed Income, Vol. 7 No. 1, 85-90.
- [8] Flavell R., (2010), *Swaps and Other Derivatives*, John Wiley & Sons, Chichester.
- [9] Ho T.S.Y., (1992), *Key Rate Durations: Measures of Interest Rate Risks*, Journal of Fixed Income, Vol. 2 No. 2, 29-44.
- [10] Hotelling H., (1933), *Analysis of a complex of statistical variables into principal components*, Journal of Educational Psychology, Vol. 24 No. 7, 498-520.
- [11] Jolliffe I.T., (2002), *Principal Component Analysis Second Edition*, Springer, New York.
- [12] Litterman R., Scheinkman J., (1991), *Common Factors Affecting Bond Returns*, Journal of Fixed Income, Vol. 1 No. 1, 54-61.
- [13] Macaulay F., (1938), *Some Theoretical Problems Suggested by the Movements of Interest Rates, Bond Yields and Stock Prices in the United States since 1856*, National Bureau of Economic Research, New York.
- [14] Ostasiewicz W. (red.), (1998), *Statystyczne metody analizy danych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.
- [15] Phoa W., (2000), *Yield Curve Risk Factors: Domestic And Global Contexts*, w: *The professional's handbook of financial risk management* (red. Borodovsky L., Lore M.), Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [16] Przybylska-Kapuścińska W. (red.), (2008), *Współczesna polityka pieniężna*, Difin, Warszawa.
- [17] Reitano R., (1991), *Multivariate Immunization Theory*, Transactions of Society of Actuaries Vol. 43, 393-441.
- [18] Reitano R., (1992), *Non-Parallel Yield Curve Shifts and Immunization*, Journal of Portfolio Management, Vol. 28 No. 3, 36-43.
- [19] Ron U., (2000), *A Practical Guide to Swap Curve Construction*, w: Working Paper 2000-17, Bank of Canada.
- [20] Theil H., (1979), *Zasady ekonometrii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- [21] Trzpiot G. (red.), (2010), *Wielowymiarowe metody statystyczne w analizie ryzyka inwestycyjnego*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- [22] Tuckman B., (2002), *Fixed Income Securities*, Wiley Finance, Hoboken.
- [23] Jarmołowicz W. (red.), (2010), *Podstawy makroekonomii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.
- [24] Ziarko-Siwiek U., Kamiński M., (2003), *Empiryczna weryfikacja teorii oczekiwań terminowej struktury stóp procentowych w Polsce*, Materiały i studia nr 159, Narodowy Bank Polski w Warszawie, Warszawa.

MIERZENIE RYZYKA STÓP PROCENTOWYCH: PRZYPADEK RYNKU MIĘDZYBANKOWEGO W POLSCE

Streszczenie

W artykule przedstawiony został przykład zastosowania różnych podejść do pomiaru ryzyka stóp procentowych. Analizy empiryczne zaprezentowane w artykule przeprowadzono z wykorzystaniem danych z polskiego rynku międzybankowego za okres od 5 września 2000 roku do 19 listopada 2010 roku. Zaprezentowano narzędzia pomiaru ryzyka stóp procentowych, bazujące na wartościach wektorów własnych odpowiadających poszczególnym głównym składowym. Miary te, poprzez nadanie stosownej interpretacji ekonomicznej poszczególnych głównych składowych, mogą mieć także zastosowanie w analizie wrażliwości portfela instrumentów dłużnych na określone ruchy krzywej terminowej stóp procentowych. W artykule omówiono także kwestię odpowiedniego doboru oraz możliwego wpływu zakresu wykorzystywanych danych rynkowych na wartości oraz stabilność oszacowań wektorów własnych uzyskiwanych z użyciem analizy głównych składowych. W celu sprawdzenia efektywności pomiaru ryzyka stopy procentowej z wykorzystaniem analizy głównych składowych dokonano pomiaru skuteczności trzech różnych strategii zabezpieczających, pierwszej utworzonej na podstawie wskazań miar wrażliwości analizowanego portfela na zmiany poszczególnych głównych składowych, drugiej bazującej na miarach duracji efektywnej, wypukłości efektywnej oraz BPV oraz przy założeniu braku zabezpieczenia. Uzyskane wyniki nie wykazały znaczących różnic w stopniu zabezpieczenia portfela w przypadku strategii zabezpieczających wykorzystujących główne składowe oraz miary duracji efektywnej, wypukłości efektywnej oraz BPV.

Słowa kluczowe: zabezpieczenie, analiza głównych składowych, ryzyko stóp procentowych

INTEREST RATE RISK MEASUREMENT: THE POLISH INTERBANK MARKET CASE

Abstract

The article presents an example of the application of different approaches to the measurement of interest rate risk. Empirical analysis described in the article was carried out using data from the Polish interbank market for the period from September 5th, 2000 to November 19th, 2010. Interest rate risk measurement techniques using principal component analysis (PCA) are presented in the article. These techniques, by giving appropriate economic interpretation of each principal component, can also be used in the sensitivity

analysis of the portfolio of debt securities to specific interest rate curve movements. The article also discusses the issue of the appropriate selection of scope and range of market data used in the analysis and its possible impact on values and stability of eigenvectors obtained using PCA. Three different hedging strategies were tested in order to check the effectiveness of interest rate risk measurement using PCA, the first based on PCA, the other based on the measures of effective duration, effective convexity, and BPV, the last considered strategy assumed no hedging at all. The results showed no significant differences in the degree of portfolio value protection in case of hedging strategy using PCA and the one based on the measures of effective duration, effective convexity, and BPV.

Key words: hedging, principal component analysis, interest rate risk