

Warszawa, 1 września 2017

dr hab. Michał Rubaszek, prof. SGH  
Kierownik Zakładu Modelowania Rynków Finansowych  
Instytut Ekonometrii  
Szkoła Główna Handlowa w Warszawie  
[michal.rubaszek@sgh.waw.pl](mailto:michal.rubaszek@sgh.waw.pl)

## Recenzja Rozprawy Doktorskiej

Tytuł: **Skierowane liczby rozmyte w modelowaniu i symulacji finansowych szeregów czasowych**

Autor: **mgr Adam Marszałek**

Promotorzy: **prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński**  
**dr inż. Michał Bereta** (promotor pomocniczy)

### Cel badawczy rozprawy

Główna teza badawcza rozprawy jest następująca: *Modele rozmytych (skierowanych) szeregów czasowych są przydatne w objaśnianiu zjawisk zachodzących na rynkach finansowych.* Podawany jest przy tym argument, że wielką zaletą (skierowanych) liczb rozmytych jest to, że pozwalają one w syntetyczny sposób opisać przebieg sesji w ciągu dnia. Zawierają one zatem większy zakres informacji niż tradycyjne szeregi czasowe dla cen zamknięcia sesji.

W celu weryfikacji głównej hipotezy badawczej Doktorant realizuje pięć celów pobocznych:

- 1) Proponuje metodę prezentacji danych giełdowych wysokiej częstotliwości za pomocą skierowanych liczb rozmytych.
- 2) Przedstawia sposoby modelowania rozmytych szeregów czasowych (modele regresji liniowej, modele autoregresyjne).
- 3) Wprowadza do modelu (skierowanych) liczb rozmytych (skierowany) rozmyty składnik losowy.
- 4) Proponuje algorytm generowania skierowanych liczb pseudolosowych.
- 5) Przedstawia sposób wykorzystania powyższych metod w modelowaniu rynków finansowych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz Autor rozprawy stwierdza, że uzyskał potwierdzenie dla głównej tezy badawczej. Ze względu na to, że przedstawienie danych finansowych wysokiej częstotliwości za pomocą (skierowanych) liczb rozmytych pozwala na

przetworzenie dużego zbioru informacji o danym szeregu czasowym, modele liczb rozmytych pozwalają na efektywne modelowanie i symulacje finansowych szeregów czasowych. Oznacza to, że wskazane jest ich wykorzystanie w praktycznych zagadnieniach inżynierii finansowej.

## **Struktura pracy**

Praca składa się ze wstępu, 6 rozdziałów oraz podsumowania. We wstępie przedstawione są cele badawcze. Rozdziały drugi i trzeci w klarowny sposób przedstawiają liczby rozmyte oraz skierowane liczby rozmyte. Ta część pracy jest napisana tak dobrze, że z powodzeniem mogłaby być częścią podręcznika akademickiego. W rozdziale czwartym zaproponowany jest autorski sposób prezentacji zmienności cen instrumentów finansowych w ciągu dnia za pomocą skierowanych świec rozmytych. Doktorant opisuje przy tym zalety zaproponowanych świec w porównaniu z ich tradycyjnymi odpowiednikami, tj. świecami japońskimi. Kolejny rozdział opisuje rozmyte szeregi czasowe, rozmytą regresję liniową oraz rozmyty model autoregresyjny. Przedstawione zostały modele zarówno dla liczb rozmytych jak i skierowanych liczb rozmytych. W rozdziale szóstym Autor definiuje skierowaną rozmytą zmienną losową oraz przedstawia metodę wyliczania wybranych momentów dla tego rodzaju zmiennych, jak również sposób losowania skierowanych rozmytych liczb z rozkładu normalnego. Rozdział siódmy ilustruje zastosowania skierowanych liczb rozmytych do modelowania rynków finansowych. Podsumowanie i wnioski przedstawiono w rozdziale ósmym.

## **Ocena pracy**

Moja ogólna ocena pracy jest zdecydowanie pozytywna z czterech powodów. Najważniejszym z nich jest to, że podejmuje ona bardzo aktualny i ważny temat z zakresu modelowania zjawisk na rynkach finansowych. W szczególności, w ostatnich latach obserwowany był gwałtowny wzrost dostępności danych finansowych o wysokiej częstotliwości. Towarzyszyło temu stopniowo rosnące zainteresowanie, zarówno środowisk naukowych jak i uczestników rynku finansowego, metodami umożliwiającymi uwzględnienie tych danych w modelowaniu dynamiki cen instrumentów finansowych. Przedstawiona praca podejmuje wyzwanie przeprowadzenia dowodu, że istnieje elegancka metoda pozwalająca na opisanie zmienności cen aktywów finansowych w trakcie sesji w syntetyczny sposób za pomocą skierowanych świec rozmytych. Uważam, że jest to znaczący wkład do literatury o tematyce modelowania rynków finansowych.

Po drugie, moja pozytywna ocena pracy wynika z tego, że praca stanowi duży wkład do literatury o tematyce liczb rozmytych. Zdecydowanie należy docenić zaproponowane sposoby modelowania skierowanych rozmytych szeregów czasowych, wprowadzenie skierowanego

rozmytego składnika losowego do modelu autoregresyjnego czy zaproponowany algorytm generowania skierowanych liczb pseudolosowych.

Trzeci z powodów pozytywnej oceny pracy, pomimo że nie ma charakteru naukowego, moim zdaniem jest warty podkreślenia. A mianowicie, praca jest napisana w sposób, który wskazuje na wysokie umiejętności Doktoranta w zakresie przygotowania tekstu naukowego. W szczególności, bardzo wysoko oceniam następujące elementy pracy:

- Klarownie opisany cel badawczy;
- przejrzysta struktura pracy;
- bardzo przystępny, wręcz podręcznikowy opis zagadnień związanych z modelowaniem rozmytych szeregów czasowych;
- umiejętnie dobrane i profesjonalnie wykonane wykresy.

Czwarty powód pozytywnej opinii dokonań naukowych Doktoranta jest jedynie pośrednio związany z omawianą rozprawą. Mgr Adam Marszałek jest autorem lub współautorem poważnych opracowań naukowych, m.in. artykułu w czasopiśmie z listy JCR (*Information Science*, aktualny Impact Factor 4.832), dwóch rozdziałów w monografiach naukowych oraz trzech artykułów opublikowanych jako materiały konferencyjne. Posiada również doświadczenie w zakresie prezentacji wyników badań na konferencjach naukowych, w tym w języku angielskim. Moim zdaniem jest to imponujący dorobek jak na osobę ubiegającą się o stopień doktora.

Niezależnie od wysokiej oceny całości rozprawy, mam szereg komentarzy dotyczących zastosowań modeli skierowanych liczb rozmytych do analizy rynków finansowych, które zostały przedstawione w rozdziale 7. W szczególności, uważam, że treść rozdziału 7 należy traktować wyłącznie jako ilustrację, że skierowane liczby rozmyte można zastosować do analizy zjawisk zachodzących na rynkach finansowych. Treść tego rozdziału nie stanowi dla mnie mocnego dowodu dla głównej tezy pracy. Należy przy tym podkreślić, że komentarze przedstawione poniżej nie powinny być traktowane jako zarzuty do pracy, ale jako zachęta do pogłębienia prac w zakresie zastosowań liczb rozmytych do modelowania rynków finansowych w trakcie dalszej kariery naukowej.

## Komentarze

### *1. Opis sposobu tworzenia skierowanych świec rozmytych*

Bardzo ważnym elementem przy wyznaczaniu skierowanych świec rozmytych w modelowaniu dynamiki cen instrumentów finansowych jest metoda ustalenia funkcji  $f$  i  $g$ , jak również parametrów  $S_1, S_2, A, B, C_1, C_2$ . Moim zdaniem w pracy brakuje dokładnego wytłumaczenia metody, która jest stosowana do wyznaczania tych parametrów. W szczególności, moje pytania są następujące:

a. Dlaczego  $\frac{F_f}{A} = \frac{F_g}{B}$  ?

- b. Dlaczego wartości  $C_1$  i  $C_2$  są ustalane jako 0 lub jako odchylenie standardowe?
- c. Dlaczego  $S_1$  i  $S_2$  są ustalane na podstawie trzech różnych średnich i jak te średnie są liczone?

Brak dokładnego opisu sprawia, że mam problemy z interpretacją dlaczego na Rysunku 4.2 zachodzi następująca zależność (w wariancie  $C_1 = C_2 = 0$ ):

$$g(0) < \min X_t$$

Podobnie na Rysunku 7.1. wybrane wartości cen zamknięcia znajdują się na zewnątrz skierowanych świec rozmytych.

## **2. Interpretacja skierowanych świec rozmytych dla stóp zwrotu**

Tak jak interpretacja skierowanych świec rozmytych dla cen aktywów finansowych jest intuicyjna, mam problem z interpretacją skierowanych świec rozmytych dla stóp zwrotu obliczonych zgodnie z wzorem (7.1) oraz przedstawionych na Rysunku 7.2. Przykładowo, jak powinienem zrozumieć to, że „szerokość” skierowanej świecy dla 15-tej obserwacji jest wielokrotnie mniejsza niż dla obserwacji 16-tej?

Efekt ten moim zdaniem wynika z tego, że operacje na skierowanych liczbach rozmytych nie zawsze są zgodne z zasadą rozszerzania (jak wskazano w punkcie 3.3. rozprawy). Prowadzi to do sytuacji, że jeżeli skierowane świece rozmyte dla cen w okresie  $t$  i  $t-1$  są identycznych kształtów, to skierowana świeca rozmyta dla stopy zwrotu w okresie  $t$  jest „ostrą” liczbą. Dodatkowo, wartość ta zazwyczaj jest inna niż stopa zwrotu liczona na podstawie cen zamknięcia.

W związku z powyższym, uważam, że warto rozważyć wprowadzenie alternatywnych sposobów liczenia stóp zwrotu dla świecy rozmytej, której zakres zawierałby się w przedziale

$$\left\langle \frac{\min X_t}{\max X_{t-1}}; \frac{\max X_t}{\min X_{t-1}} \right\rangle$$

gdzie  $\min X_t$  i  $\max X_t$  to minimalna i maksymalna wartość notowań aktywa w dniu  $t$ .

## **3. Przykłady empiryczne**

W siódmym rozdziale pracy przedstawione są trzy przykłady zastosowań skierowanych świec rozmytych do modelowania rynków finansowych. Moim zdaniem, we wszystkich przypadkach przeprowadzone analizy stanowią raczej ilustrację tego, że liczby rozmyte mogą być zastosowane do analizy rynków finansowych. Nie są to wszechstronne badania ukazujące, że analizy z wykorzystaniem liczb rozmytych pozwalają na lepsze zrozumienie procesów zachodzących na rynkach finansowych.

### *Wycena opcji na indeks WIG20*

W punkcie 7.1. przedstawione jest zastosowanie skierowanego rozmytego modelu autoregresyjnego do wyceny europejskiej opcji kupna na indeks WIG20. Wycena jest przeprowadzana z wykorzystaniem danych dostępnych do 30 grudnia 2016 r. dla opcji o

terminie zapadalności 17.03.2017. Konkurentem w konkursie jest model Blacka-Scholesa, dla którego przyjęto, że annualizowana zmienność wynosi 18.9% (odchylenie standardowe z lat 2010-2016). Podsumowanie konkursu między dwiema metodami jest zdecydowanie na korzyść metod wykorzystujących skierowane liczby rozmyte. Jak wskazuje Autor rozprawy: „różnice między wycena a cena rynkowa są średnio dużo mniejsze dla modeli rozmytych w stosunku do modelu BSM”.

Uważam, że aby wnioski analizy stanowiły potwierdzenie głównej tezy badawczej pracy, powinna ona zostać rozbudowana w dwóch kierunkach. Po pierwsze, sugerowałbym, aby model referencyjny był bardziej wymagający niż prosty model Blacka-Scholesa ze zmiennością przyjętą na podstawie historycznego odchylenia standardowego. Przykładem są zastosowania modeli klasy GARCH do wyceny opcji. Po drugie, aby porównanie modeli było miarodajne, powinno być przeprowadzone dla wielu okresów. Aktualnie wnioski są natomiast formułowane na podstawie obserwacji z pojedynczej daty. Dobrym przykładem wiarygodnego porównania różnych modeli wyceny opcji jest praca Barone-Adesi i inni<sup>1</sup>.

#### *Portfel inwestycyjny*

W punkcie 7.2. przedstawione jest wykorzystanie skierowanych rozmytych stóp zwrotu do budowy portfela inwestycyjnego. Porównywane są wskaźniki Sharpe'a oraz wskaźniki informacyjne dla stóp zwrotu z portfeli stycznych wyznaczonych metodami klasycznymi oraz przy wykorzystaniu liczb rozmytych. Na podstawie realizacji stóp zwrotu dla okresu ośmiu tygodni Doktorant stwierdza, że portfele wyznaczone przy wykorzystaniu liczb rozmytych mają lepsze charakterystyki, niż te wyznaczone metodami klasycznymi. Ponownie, uważam, że ośmio-elementowa próba jest zbyt krótka, aby wyniki uznać za miarodajne.

#### **4. Interpretacja definicji efektywności rynku**

W pracy pojawia się następujące wnioskowanie. Ze względu na nieefektywność rynku nie ma pewności, czy cena instrumentu finansowego uwzględnia wszystkie istotne informacje. Prowadzi to do sytuacji, że dane finansowe należy rozpatrywać w kontekście danych obarczonych niepewnością. Ponieważ dane o częstotliwości „tickowej” zawierają informację na temat każdej transakcji, to wykorzystanie tych danych pozwala na zmniejszenie tej niepewności. W tym celu można wykorzystać liczby rozmyte.

Mam dwie wątpliwości dotyczących zasadności tego wnioskowania. Po pierwsze, zgodnie z powszechnie obowiązującą definicją niepewności, w odróżnieniu od ryzyka, jest ona niekwantyfikowalna<sup>2</sup>. Po drugie, nieefektywność rynku wynika nie tyle z faktu, że jego uczestnicy nie uwzględniają danych typu „intraday”, ale z tego, że ceny nie odzwierciedlają wszystkich czynników wpływających wartość fundamentalną aktywa. Tym samym, cena rynkowa odchyła się od wartości fundamentalnej, zaś odchylenia te często są liczone w latach. Wykorzystanie danych „intraday” w niewielkim stopniu pozwala na uwzględnienie tej niepewności. Z tego powodu uważam, że wykorzystanie liczb rozmytych do analizy rynków

<sup>1</sup> Barone-Adesi, G., Engle, R. F., Mancini, L. (2008). A GARCH option pricing model with filtered historical simulation. *The Review of Financial Studies*, 21(3), 1223-1258.

<sup>2</sup> Knight, F. H. (1921) Risk, Uncertainty, and Profit. Boston, MA: Houghton Mifflin Company.

finansowych powinno być uzasadnione raczej tym, że pozwalają w elegancki sposób opisać informację zawartą w danych typu „intraday”, aniżeli tym, że pozwalają one na kwantyfikację niepewności związanej z nieefektywnością rynku finansowego.

### **5. Drobne błędy przy opisie funkcjonowania rynków finansowych**

W pracy pojawiło się kilka drobnych błędów przy opisie funkcjonowania rynków finansowych. Przykłady są następujące.

s. 33. Rynek finansowy nie może być niestacjonarny ani procesem błędzenia losowego, ponieważ rynek finansowy nie jest procesem.

s. 33. Moim zdaniem Doktorant zbyt odważnie stawia tezę, że „żadnego rynku nie można uznać za rynek w pełni efektywny”. To zagadnienie jest przedmiotem wielu opracowań, których wnioski nie są aż tak jednoznaczne. W dalszej części pracy dowiadujemy się, że „istnieją liczne badania empiryczne w zakresie testowania efektywności ryków kapitałowych, które pozwalają na określenie, które hipotezy rynku efektywnego i na jakim poziomie istotności można przyjąć za prawdziwe dla danego rynku w badanym okresie”. Moim zdaniem w pracy powinny się znaleźć odwołania do tych prac<sup>3</sup>.

s. 34. Mam wątpliwości, czy zdanie „Ciągłe najpopularniejszymi danymi używanymi przy konstrukcji modeli ekonometrycznych są dane o częstotliwości dziennej” jest prawdziwe, biorąc pod uwagę rosnącą liczbę publikacji z wykorzystaniem danych typu „intraday”. Czy są dostępne dane, które pozwoliłyby potwierdzić opinię wyrażoną w pracy?

s. 45. Sugerowałbym, aby w analizie spreadu skierowana świeca rozmyta była zastosowana wyłącznie dla szeregu spreadu, zaś przykładowym zastosowaniem mogłaby być analiza ryzyka płynności<sup>4</sup>. Moje pytanie jest zaś następujące: jakie analizy można przeprowadzić na podstawie danych przedstawionych na środkowym i prawym panelu Rysunku 4.8?

### **6. Inne drobne błędy**

s. 32. Powinno być „wolumen transakcji” zamiast „volumen transakcji”.

s. 38. Moim zdaniem indeksowanie we wzorach (4.1) i (4.2) jest mało transparentne. W szczególności, jeżeli  $dx = \frac{1}{M}$  to zachodzi zależność, że  $Y_{\left[\frac{k}{dx}\right]}^{(1)} = Y_{[kM]}^{(1)}$ . Co oznacza zatem nawias kwadratowy? Czy dla  $k = M - 1$  wartość  $[kM] = M(M - 1)$ , a w efekcie  $K_1 = M(M - 1)$ ?

s. 48. Model autoregresyjny opisuje zależność między terażniejszymi (nie przyszłymi) i przeszłymi wartościami szeregu czasowego.

<sup>3</sup> Przykładowo, ciekawa dyskusja na ten temat efektywności rynków dla krajów naszego regionu jest zawarta w opracowaniu Foye J., Mramor D., Pahor M., 2013. The Persistence of Pricing Inefficiencies in the Stock Markets of the Eastern European EU Nations. *Economic and Business Review* 15(2), 113-133.

<sup>4</sup> Bangia, A., Diebold F., Schuermann T., Stroughair J., 2001. *Modeling liquidity risk, with implications for traditional market risk measurement and management*. W: Figlewski S., Levich R. (red.) *Risk management: The state of the art*, s. 3-13. Springer.

## Wnioski końcowe

Podsumowując, podkreślam, że wysoko oceniam rozprawę autorstwa mgr Adama Marszałka. Uważam, że Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą z zakresu modelowania liczb rozmytych oraz umiejętnością przeprowadzenia i opisanie wysokiej jakości badania naukowego. Pragnę przy tym zaznaczyć, że liczne komentarze wynikają z mojego przekonania, że wyniki uzyskane w pracy powinny zostać rozszerzone i opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych, także tych znajdujących się na liście JCR.

Podsumowując, stwierdzam, że praca „Skierowane liczby rozmyte w modelowaniu i symulacji finansowych szeregów czasowych” autorstwa mgr Adama Marszałka spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym. Wnioskuje, zatem o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Jednocześnie, biorąc pod uwagę wkład recenzowanej rozprawy do literatury w zakresie liczb rozmytych oraz dorobek naukowy Autora, uważam, że zasługuje ona na wyróżnienie nagrodą ministra szkolnictwa wyższego.



dr hab. Michał Rubaszek, prof. SGH