

Prof. dr hab. Magdalena Osińska
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania
Katedra Ekonometrii i Statystyki

Toruń, dn. 19 stycznia 2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Giuseppe Orlando na temat
„A Parsimonious Approach to Forecasting the Yield Curve: The CIR# Model”
napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Krzysztofa Jajugi

Niniejsza recenzja została przygotowana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Ekonomii i Finansów z dnia 20 września 2021 r., powierzającej mi funkcję recenzenta rozprawy doktorskiej Giuseppe Orlando oraz załączonej dokumentacji, w tym potwierdzającej udział Giuseppe Orlando w opublikowanych artykułach współautorskich, nadesłanej w dniu 14 stycznia 2022 r.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest dziełem średnio obszernym, liczy ona łącznie 186 stron. Praca oparta jest na literaturze obejmującej 162 pozycji, przy czym 78 prac zostało opublikowanych w ostatniej dekadzie. Autor rozprawy jest także współautorem 8 opracowań zacytowanych w spisie literatury, które tematycznie są związane z tytułem i zakresem recenzowanej rozprawy. Obejmują one 7 artykułów w czasopismach o zasięgu międzynarodowym (m.in. w *Journal of Forecasting*, *Studies in Economics and Finance*, *Chaos, Solitons and Fractals*) oraz jeden rozdział w monografii wydanej przez Springer International. Recenzowana rozprawa składa się ze wstępu, siedmiu rozdziałów i konkluzji. Na strukturę pracy składa się także załącznik dotyczący informacji na temat danych, spis literatury oraz spisy wykresów i tabel.

Sformułowanie tematu, celu i problemu badawczego

Krzywa dochodowości obrazuje zależność między stopą procentową a terminem jej zapadalności. Jest to narzędzie, które umożliwia ocenę okresu zwrotu zainwestowanych środków finansowych, a także wybór instrumentów inwestycyjnych. Umożliwia także ocenę procesów zachodzących na rynkach finansowych i ich wzajemne porównanie. Prognoza krzywej dochodowości jest stale wykorzystywana w finansach, zatem jej trafność jest elementem kluczowym.

Literatura na temat krzywej dochodowości czy też terminowej struktury stóp procentowych jest bardzo bogata, gdyż pytanie na jaki okres opłaca się inwestować jest zagadnieniem fundamentalnym. Instytucje finansowe stosują różne modele do przewidywania struktury terminowej. Dla przykładu FED stosuje bezarbitrażowy model trójczynnikiowy, zaś EBC podaje w swojej dokumentacji modele Nelsona i Siegela oraz model Svenssona. Model łączny

w wersji Nelsona-Siegela-Svenssona jest wykorzystywany w praktyce również przez Narodowy Bank Polski.

W rozprawie doktorskiej przygotowanej przez Pana Giuseppe Orlando wykorzystano model Coxa, Ingersolla i Rossa (CIR) opracowany w 1985 r., który stał się podstawą modyfikacji przedstawionej w rozdziale czwartym pracy. Modyfikacja ta została zaproponowana wcześniej w pracy Orlando, Mininni i Bufalo z 2019 r., oznaczonej w bibliografii numerem 124. Autor odniósł się do faktu, że prace, których jest współautorem dotyczące modelu CIR i jego modyfikacji CIR#, opublikowane po 2018 r., są oryginalne i zostały opracowane w ramach realizacji programu doktorskiego w Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu. Wkład autorski G. Orlando w pracach współautorskich został określony odpowiednio na 33,3% i 50%, zależnie od liczby autorów.

Argumentem na rzecz wyboru modelu CIR jest jego oszczędna parametryzacja, jest to bowiem model jednoczynnikowy. Ponadto motywacją do jego modyfikacji były wyzwania wynikające z zaobserwowanych na rynku wahań zmienności, skoków oraz liniowej premii za ryzyko, których model oryginalny nie uwzględnia.

Z tej perspektywy tematyka podjęta przez Pana Giuseppe Orlando jest zarówno aktualna jak i interesująca na płaszczyźnie teoretycznej oraz aplikacyjnej. Sformułowanie problemu badawczego jako zagadnienia wyodrębnionego nosi znamiona oryginalności.

We wstępie Autor określił cel pracy, którym jest opracowanie nowej, odpornej metody prognozowania przyszłych stóp procentowych na podstawie modelu CIR. Zmodyfikowana wersja modelu została określona jako CIR#.

Hipoteza badawcza przyjęta w pracy głosi, że model CIR# jest lepszy niż inne modele jednoczynnikowe, a nowe podejście jest szczególnie użyteczne do opisu struktury terminowej stóp procentowych po 2007 r.

Cel i hipoteza badawcza definiują zarówno zakres tematyki podejmowanej w rozprawie jak również wskazują kierunki postępowania w trakcie jej przygotowywania. Zostały one sformułowane zgodnie z zasadami obowiązującymi w metodologii nauk ekonomicznych. Ponadto, są zgodne z zakresem dyscypliny ekonomia i finanse, w której praca została przygotowana.

Ocena poszczególnych części rozprawy

Rozdziały 1-3 mają charakter wprowadzający. W rozdziale pierwszym omówione zostały podstawowe pojęcia dotyczące krzywej dochodowości, czynniki wpływające na wysokość stóp procentowych, modele Nelsona i Siegela oraz Svenssona służące szacowaniu krzywej dochodowości oraz polityka monetarna banków centralnych. W rozdziale drugim omówione zostały modele procesów stochastycznych, jak również modele krótkookresowych stóp procentowych. Można stwierdzić, że lista wymienionych modeli jedno i wieloczynnikowych wyczerpuje zestaw najbardziej znany. W rozdziale trzecim przybliżone zostały trzy modele jednoczynnikowe, które ilustrują oszczędne podejście do prognozowania krzywej dochodowości. Są to następujące modele: Vasicka (1977), Hulla and White'a (1990) oraz model CIR (1985).



Najważniejszymi z punktu widzenia oceny wkładu Autora w rozwiązanie problemu naukowego są rozdziały 4-6 rozprawy.

W rozdziale czwartym zaprezentowany został model CIR# zaproponowany w pracy Orlando, Mininni, Bufalo (2019), opublikowanej w *Studies in Economics and Finance*. Modyfikacja modelu CIR polega na zastosowaniu następującego algorytmu:

- 1). W pierwszej kolejności należy dokonać podziału danych rynkowych na podpróby, uwzględniając wszystkie statystycznie istotne zmiany wariancji rzeczywistych stóp spot, co pozwala także uwzględnić skoki. Równoległe realne stopy procentowe są przesuwane od poziomu zero lub wartości ujemnych, ale zachowują prawdziwą dynamikę zmienności.
- 2). W drugim etapie należy dopasować optymalne modele ARIMA do każdej podpróby i wyznaczyć reszty standaryzowane.
- 3). W trzecim etapie następuje kalibracja parametrów modelu do poziomu odpowiadającego przesuniętych rynkowym stopom procentowym.
- 4). Wartości stóp procentowych otrzymane z dopasowanego modelu CIR i przesunięte z powrotem do poziomu rynkowego są porównywane z wartościami rzeczywistymi za pomocą standardowych miar dopasowania.

Otrzymany model nosi nazwę CIR#. W każdym z opisanych etapów 1)-4) wymagana jest decyzja odnośnie do stosowanych procedur statystycznych oraz numerycznych. W rozdziale czwartym ilustracja empiryczna dotyczy stóp procentowych overnight w walucie euro. Ostatecznie zmodyfikowany model służy prognozowaniu stóp procentowych. Wyniki prognoz zostały porównane z prognozami uzyskanymi na bazie oryginalnego modelu CIR.

Przedmiotem rozdziału piątego jest prognozowanie stóp procentowych według okresów zapadalności za pomocą modeli Vasicka oraz CIR. Rozdział ten został opracowany na podstawie pracy Orlando, Mininni i Bufalo z 2019 r. opublikowanej w *Journal of Forecasting*. W celu uwzględnienia wielu skoków (zmian struktury, punktów zwrotnych), dane rynkowe zostały podzielone według empirycznych rozkładów prawdopodobieństwa, które są nieznane. Rozkłady empiryczne zostały porównane z dwoma znanymi rozkładami, tj. rozkładem normalnym oraz niecentralnym rozkładem chi-kwadrat. W wyniku tego uzyskano mieszanki rozkładów, odpowiednio normalnych i chi-kwadrat. Stosując kolejną procedurę sekwencyjną dopasowano modele Vasicka oraz CIR do danych złożonych z tygodniowych stóp procentowych dla instrumentów denominowanych w euro z okresem zapadalności 30 dni (1 miesiąc) oraz 30 lat. Wyniki średniokwadratowego błędu prognoz wskazywały na lepsze dopasowanie wyników bazujących na podziale według rozkładu chi-kwadrat.

W rozdziale szóstym przedstawione zostały wyniki prognozowania stóp procentowych na podstawie modelu CIR#. Został on opracowany w korespondencji z artykułem Orlando i Bufalo z 2021 r., opublikowanym w *Journal of Forecasting*. Przedmiotem badania było porównanie własności prognostycznych modelu CIR# z modelem EWMA oraz udoskonalonym modelem CIR_{adj}. W tym celu korzystano ze zbiorów danych dotyczących stóp procentowych dla instrumentów o zapadalności od 1 dnia do 12 miesięcy wyrażonych w euro, dolarze amerykańskim, jenie japońskim oraz franku szwajcarskim. Wyniki analiz empirycznych

wskazały na fakt, że model CIR# jest w stanie poradzić sobie z ujemnymi lub zerowymi stopami procentowymi, skupianiem zmienności oraz skokami.

Przedmiotem rozdziału siódmego było prognozowanie stóp procentowych dla złotego z wykorzystaniem modeli CIR#, CIR_{adj}, Hulla i White'a oraz EWMA. Wyniki porównania prognoz wyliczonych dla danych dziennych i tygodniowych wskazały na przewagę modelu CIR#.

Autor zwrócił ponadto uwagę na zastosowanie zaproponowanego modelu do modelowania krzywej dochodowości dla instrumentów notowanych przez Bank Centralny Federacji Rosyjskiej (RUONIA).

Podsumowując, analizę poszczególnych części pracy można stwierdzić, że w wyniku badań prowadzonych przez G. Orlando cel pracy został osiągnięty, zaś hipoteza badawcza została potwierdzona. Giuseppe Orlando zastosował kilka modyfikacji w odniesieniu do oryginalnego modelu CIR, z których najważniejsze to: podział próby na segmenty zgodnie z punktami zwrotnymi, zastosowanie kalibracji opartej na schemacie dyskretyzacji Milsteina, wykorzystaniu reszt z „optymalnych” modeli ARIMA - zamiast procesu ruchów Browna, co powoduje eliminację składników systematycznych obserwowanych w danych rynkowych. Kwestia przesunięcia stóp procentowych, w przypadkach kiedy są one ujemne lub bliskie zeru poprzez dodanie pewnej stałej jest zabiegiem najbardziej oczywistym, ale również niezbędnym. Doktorant potwierdził zatem istotny wkład metodyczny do modelowania krzywej dochodowości.

Ocena wkładu Doktoranta

Dokonując całościowej oceny rozprawy Giuseppe Orlando można potwierdzić głęboką znajomość tematyki związanej z terminową strukturą stóp procentowych i ich znaczenia w polityce monetarnej. Ponadto uwagę zwraca zaawansowany warsztat badawczy, obejmujący nie tylko elementy matematyki finansowej i metod numerycznych, ale także statystyki, modeli szeregów czasowych i związanych z nimi narzędzi ewaluacyjnych. Praca zawiera szereg rozwiązań oryginalnych. Główny wkład p. Giuseppe Orlando do dyscypliny ekonomia i finanse jest następujący:

- rozszerzenie modelu CIR, poprzez zastosowanie segmentacji próby i optymalnych modeli ARIMA,
- wykazanie, że kalibracja parametrów modelu daje wyniki nie gorsze niż symulacja Monte Carlo,
- przekształcenie modelu CIR z konstrukcji dla krótkoterminowej w postać umożliwiającą prognozowanie dowolnej krzywej dochodowości,
- szerokie badania empiryczne przedstawione w postaci porównawczej dla różnych krzywych dochodowości i różnych modeli jednoczynnikowych.

Warto podkreślić, że Autor widzi zalety i ograniczenia modelu CIR# i na tej podstawie planuje dalsze badania w kierunku jego rozszerzenia do postaci dwuczynnikowej.

Uwagi o charakterze formalnym



Praca doktorska jest napisana precyzyjnym językiem, zawiera wszystkie niezbędne odniesienia i informacje. W całym tekście nie ma zbyt wielu błędów językowych czy literowych, choć można znaleźć kilka niezręczności.

Dla przykładu, na stronie 44 przywołano model CIR z 1995 r. zamiast z 1985 r., zaś na str. 62 następuje odwołanie do koloru czerwonego na wykresie, który został wydrukowany w kolorze czarno-białym. Odniesienia do kolorów znajdujemy ponadto w opisie kolejnych wykresów (np. 5-6 i 5-7). Na str. 122 pojawia się informacja, że ze względu na oszczędność miejsca nie zamieszczono wyników współczynnika Spearmana. Wydaje się, że w wypadku dysertacji problem ograniczenia miejsca nie był szczególnie istotny. Odnosząc się do wyników współczynnika korelacji rang Kendalla i testowania jego istotności wskazano „the alternative hypothesis (...) is of no correlation”. Oczywiście o braku korelacji mówi hipoteza zerowa (null hypothesis).

Elementem, który przeszkadzał w odbiorze pracy był spis treści, a dokładnie miejsce jego zamieszczenia. Został on zamieszczony na końcu pracy, ale przed spisem wykresów tabel oraz spisem literatury, co powodowało, że w celu skorzystania, za każdym razem należało go poszukać. Znacznie lepiej byłoby umieścić go na początku pracy.

Ocena końcowa

Reasumując ocenę rozprawy doktorskiej p. Giuseppe Orlando stwierdzam, że przedstawiony w pracy problem naukowy jest oryginalny i stanowi wyodrębnione zadanie badawcze. Doktorant wykazał się znajomością zagadnień związanych z krzywą dochodowości, a tym samym wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej ekonomia i finanse. Ponadto, Autor zaproponował rozszerzenie modelu CIR i przeprowadził własne badania symulacyjne i empiryczne dotyczące prognozowania krzywej dochodowości zwłaszcza dla euro oraz złotego, wykazując się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Konkludując stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnoszę zatem o dopuszczenie p. Giuseppe Orlando do dalszego postępowania związanego z procedurą doktorską.

