

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana Giuseppe Orlando
pt. „A Parsimonious Approach to Forecasting the Yield Curve:
The CIR# Model”
napisanej pod kierunkiem prof. dra hab. Krzysztofa Jajugi

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę Dziekana Wydziału Ekonomii i Finansów Pana prof. dra hab. Andrzeja Graczyka z dnia 20.09.2021, powierzającą mi funkcję recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgra Giuseppe Orlando.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 186 stron. Recenzowana praca składa się ze wstępu, siedmiu rozdziałów i podsumowania. Na strukturę pracy składa się także aneks opisujący zbiór danych użytych do obliczeń (A. Dataset) oraz spis treści, spis rysunków, spis tabel i spis literatury. Spis literatury cytowanej obejmuje 162 pozycje. Wszystkie pozycje są angielskojęzyczne. Fakt, że w spisie literatury brakuje pozycji w języku polskim jest dla mnie zrozumiały.

Bardzo podoba mi się fakt, że rozprawa doktorska powstała na podstawie artykułów naukowych, których współautorem jest Doktorant. Dzięki temu mam gwarancję, że poszczególne badania były dokładnie zrecenzowane przez niezależnych badaczy i redaktorów tych znanych czasopism naukowych, w których ukazały się poszczególne badania Doktoranta.

Sformułowanie tematu, celu i problemu badawczego

W punkcie pierwszym wstępu, zatytułowanym „Goal, original contribution and hypotheses” zaprezentowano cel pracy, hipotezy badawcze oraz wkład Autora w rozwój nauki. Cel pracy jest jasny – przedstawienie nowej metody prognozowania przyszłych stóp procentowych przy użyciu modelu CIR#, stanowiącego rozwinięcie popularnego modelu CIR (Cox, Ingersoll i Ross, 1980, 1985). Jak wskazuje Pan Giuseppe Orlando, nowa metoda ma szereg zalet, niespotykanych we wcześniejszych wersjach modelu CIR. Badanie własności nowego modelu stanowi oryginalny wkład Doktoranta w rozwój ekonomii i finansów.

Hipoteza badawcza zakłada, że model CIR# jest lepszy niż (dokładnie „is outperforming”) inne modele jednoczynnikowe i radzi sobie szczególnie dobrze w opisie struktury terminowej stóp procentowych po kryzysie finansowym rozpoczętym w 2007 roku. Wnioskuje z tego sformułowania, że hipoteza badawcza nie została precyzyjnie przedstawiona. Zapewne Autorowi chodziło o porównanie jakości prognoz modelu CIR# i innych modeli jednoczynnikowych w okresie po 2007 roku, ale o tym dowiadujemy się pośrednio w dalszej części pracy. Niestety nie opisano także dokładnie jakiego

aspektu jakości prognoz dotyczy to badanie. Czy Autorowi bardziej chodziło o zbadanie precyzji, obciążenia prognoz, czy może powtarzalności błędów prognozy? Tego nie dowiemy się z tej pracy.

Ponadto nie zauważyłem w pracy żadnej prognozy całej struktury stóp procentowych przy pomocy któregośkolwiek modelu. Poszczególne stopy należące do krzywej struktury terminowej były w pracy prognozowane oddzielnie przy pomocy różnych modeli. Dlatego część hipotezy mówiąca o wyjątkowo dobrym dopasowaniu struktury terminowej stóp procentowych przy pomocy modelu CIR# wydaje mi się niepoprawna.

Już w pierwszym akapicie wstępu Doktorant powołuje się na swoje współautorskie prace dotyczące prognozowania stóp procentowych, z których wkład wykorzystał przy pisaniu rozprawy doktorskiej. Otrzymałem również potwierdzenia pisemne od wszystkich żyjących współautorów cytowanych prac, świadczące o tym, że Pan Giuseppe Orlando miał istotny wkład w tworzenie poszczególnych artykułów naukowych, które zostały wykorzystane w tej rozprawie. Jest to o tyle ważne, że w niektórych częściach rozprawy Doktorant nie sprecyzował dokładnie, które jej części wynikają bezpośrednio z opublikowanych badań. Oczywiście można wywnioskować to bezpośrednio z treści rozdziałów. Gdyby jednak Doktorant planował publikację rozprawy, to należałoby uściślić te drobne niedociągnięcia w pracy.

Opis poszczególnych części rozprawy

Główną część rozprawy stanowi siedem rozdziałów o charakterze teoretycznym i empirycznym. W rozdziale pierwszym Doktorant przedstawia podstawowe pojęcia dotyczące krzywej dochodowości, opisuje rolę banków centralnych w kształtowaniu poziomu stóp procentowych oraz prezentuje czynniki wpływające na wahania stóp procentowych. W rozdziale drugim opisano natomiast matematyczne i statystyczne pojęcia związane z modelowaniem stóp procentowych, takie jak proces stochastyczny czy miara prawdopodobieństwa neutralna wobec ryzyka. Co ciekawe, nie została tutaj zdefiniowana fizyczna miara prawdopodobieństwa.

W rozdziale trzecim zdefiniowano jednoczynnikowe modele stóp procentowych: Vasicka (1977), model CIR (1980, 1985), Hulla i White'a (1990), natomiast rozdział czwarty prezentuje nowy model CIR#, będący rozszerzeniem modelu CIR. W tym rozdziale przetestowano także dopasowanie modelu do struktury terminowej stóp procentowych na rynku euro i dolara.

W rozdziale piątym zademonstrowano w jaki sposób podział próby statystycznej na części – podokresy pozwala uwzględnić największe zmiany w zmienności stóp procentowych, w tym tak zwane skoki (ang. jumps) w dynamice stóp. Zaproponowana nowa metoda pozwala uwzględnić typowe problemy związane z szacowaniem parametrów modeli stóp procentowych takie jak zmiany reżimów, klastrowanie wariancji, czy skośne rozkłady stóp procentowych.

W rozdziale szóstym Autor porównuje dopasowanie do danych empirycznych modelu CIR#, modelu EWMA (exponential weighted moving average model) oraz modelu CIR_{adj} – poprawionej wersji modelu CIR. Wykorzystano tutaj dane miesięczne dotyczące stóp procentowych dla kontraktów o zapadalności od jednego dnia do dwunastu miesięcy dla walut EUR, USD, JPY i CHF.

W rozdziale siódmym porównano z kolei jakość prognoz stóp procentowych na rynku złotego dokonanych przy użyciu modeli CIR#, modelu CIR_{adj}, modelu Hulla i White'a. Model CIR# prognozuje dokładniej przyszłe stopy procentowe niezależnie od przyjętej częstości próbkowania i analizowanych okresów.

W podsumowaniu przedstawiono jeszcze raz zalety, ale także wady zaproponowanej metody modelowania stóp procentowych. Potwierdzono osiągnięcie celu pracy i prawdziwość hipotezy badawczej. Przedyskutowano dalsze wnioski dotyczące zastosowania modelu CIR# przy hedgowaniu kontraktów z użyciem instrumentów pochodnych oraz wnioski dla polityki gospodarczej i dla funkcjonowania instytucji finansowych. W końcu omówiono możliwe dalsze kierunki badań.

Ocena rozprawy doktorskiej

W tej części recenzji skoncentrowałem uwagę na zidentyfikowanych niedociągnięciach rozprawy doktorskiej.

W rozdziale pierwszym podoba mi się opis struktury terminowej stóp procentowych, ważny z punktu widzenia zastosowania modeli wyceny arbitrażowej. Ma również sens opis zależności między poziomem stóp procentowych i stanem gospodarki realnej w dalszej części rozdziału (punkt 1.1.6), ale nie znalazłem uzasadnienia dla tego opisu w pracy. Mogę się jedynie domyślić, że czynniki makroekonomiczne wpływają na zmiany stóp procentowych w modelach stóp procentowych analizowanych w rozprawie. Dziwne jest to, że autor koncentruje uwagę na zależności zachodzącej w drugą stronę, to znaczy jak stopy procentowe wpływają na wzrost gospodarczy (np. tekst na str. 6).

Dziwi mnie prezentacja modelu Nelsona i Siegla (1987) i modelu Svenssona (1994) w tym rozdziale. Po pierwsze te dwa modele nie są później wykorzystywane w pracy, a po drugie inne modele stóp procentowych opisane są w dalszych rozdziałach. Ponadto część dotycząca roli banków centralnych i polityki pieniężnej (konwencjonalnej i niekonwencjonalnej), czy też regulacji i nadzoru nad systemem finansowym jest moim zdaniem zupełnie zbędna, bo ta praca w ogóle nie analizuje wpływu zmian polityki pieniężnej na poziom rynkowych stóp procentowych.

Ważną rolę powinien w pracy odegrać punkt 1.3, w którym przedstawiono czynniki makroekonomiczne wpływające na poziom stóp procentowych. Nie znalazłem jednak żadnego ujęcia powiązania tych czynników z konstrukcją modeli stóp procentowych badanych w rozprawie. Dodatkowo skoncentrowano uwagę na czynnikach strukturalnych, np. naturalnej stopie procentowej, potencjalnym wzroście gospodarczym, czynnikach demograficznych, czy nadmiarze oszczędności w gospodarce globalnej. Natomiast zupełnie pominięto rolę czynników makroekonomicznych i finansowych (np. dynamika PKB, zmiany kredytu, stopa bezrobocia, dynamika cen towarów konsumpcyjnych, zmiany cen nieruchomości, zmiany kursu walutowego, ryzyko sovereign, płynność rynku finansowego). Czynniki takie oddziałują na krzywą stóp procentowych w krótkim okresie, czyli takim w jakim prowadzone są analizy empiryczne w recenzowanej pracy. Podpunkt 1.3.5 jest w dużej części nie na temat (np. str. 33 i 34) i mógłby zostać znacznie skrócony.

Zidentyfikowałem też niezrozumiałe wyrażenia „the yield spread every is high” (str. 5), „looking at the hidden structure of the time series” (str. 8), „currency fx” (str. 12).

W rozdziale drugim słusznie przedstawiono definicje podstawowych procesów stochastycznych, czy opis miary prawdopodobieństwa neutralnej wobec ryzyka. Przeszkadza mi tylko fakt, że na stronach 35 – 40 (punkty 2, 2.1, 2.2) nie zamieszczono żadnych odwołań do literatury, a jestem przekonany, że Doktorant sam nie wymyślił prezentowanych tam wzorów i modeli. Autor mógłby tutaj także wykorzystać precyzyjne definicje miar prawdopodobieństwa dostępne w literaturze, oprócz przedstawionego obrazowego przykładu.

Dla potencjalnego czytelnika zrozumienie punktu 2.2 jest trudne, ponieważ Autor wprowadza tam szereg pojęć ekonomicznych i wyrażeń matematycznych, które nie są powszechnie używane i nie

zostały wcześniej opisane w pracy: „natural filtration”, „zero curve”, „drift and diffusion term”, „single-factor model”, „real-world probabilities”. Stosowana notacja metematyczna nie jest dla mnie do końca zrozumiała, ponieważ Doktorant używa naprzemiennie wyrażen dt i Δt . Zidentyfikowałem też jedno niezrozumiałe wyrażenie „This because does” (str. 42).

Niejasny jest dla mnie sens dodania bardzo krótkiego opisu modeli jednoczynnikowych i wieloczynnikowych na końcu rozdziału drugiego. Ten opis – ważny ze względu na temat rozprawy – powinien być znacznie bardziej dokładny i powinien znajdować się w kolejnym rozdziale pracy, gdzie opisane zostały modele Vasicka, CIR oraz Hulla i White’a.

W rozdziale trzecim liczba niezrozumiałych i niewytłumaczonych wyrażen rośnie. Już w pierwszym zdaniu w punkcie 3.1 mamy niewyjaśnione wcześniej „d-dimensional Ornstein-Uhlenbeck proces”, „SDE”, „space-time change” i „squared Bessel process”. Ponownie brakuje odwołań do literatury, gdzie prezentowane modele zostały wprowadzone i dokładniej opisane. Notacja matematyczna jest chaotyczna. Podam tylko przykłady niewyjaśnionych i niejasnych wyrażen tylko ze strony 46: r_V , r_C , r , δ^σ , σ , Δ_C^σ , naprzemiennie użyte dt i Δt . W dalszej części rozdziału niewyjaśnionych pojęć i wyrażen jest niestety więcej.

W punkcie 3.1 zaprezentowano model CIR, a w punkcie 3.2 – model Vasicka, natomiast wzory na stronach 46 i 49 się powtarzają. Wniosuję, że nieopacznie zostały zapisane wzorami obydwa modele w obydwu punktach. W punkcie 3.2 wykorzystanie potocznego wyrażenia „you can take a horse to water, but you can’t get it to drink” (str. 49) wydaje mi się niestosowne w rozprawie naukowej i nie do końca poprawne językowo. W punkcie 3.3 nie jest dla mnie jasne, czy model Hulla i White’a radzi sobie z problemem ujemnych stóp procentowych, czy jest wręcz przeciwnie (str. 51).

Kolejność prezentowanych modeli w rozdziale trzecim także jest dla mnie niejasna. Czy model Vasicka jest rozszerzeniem modelu CIR lub rozwiązuje jakieś problemy modelu CIR, czy też jest na odwrót?

Podsumowując, uważam rozdział trzeci rozprawy za niedopracowany i częściowo niejasny.

W rozdziale czwartym przedstawiono główne osiągnięcie Autora, czyli model CIR#.

Doceniam zalety wprowadzonego rozszerzenia dla modelu CIR, w szczególności: uwzględnienie możliwości występowania ujemnych stóp procentowych, nie zmniejszający się wraz z poziomem stóp procentowych parametr dyfuzji, zmieniający się w czasie parametr zmienności stóp kalibrowany na podstawie danych rynkowych, czy też uwzględnienie skoków w poziomach stóp procentowych.

Mam jednak uwagi i pytania odnośnie do zaproponowanego modelu i metody jego kalibracji:

- 1) Nie jest dla mnie jasne i nie wynika to z treści pracy, czy model po odfiltrowaniu autokorelacji ze składnika losowego przy pomocy modelu „optymalnego” ARMA dalej spełnia założenia braku arbitrażu, tak jak w oryginalnym modelu CIR. Zastosowanie modelu ARMA ma przecież wpływ także na strukturę terminową stóp procentowych w danym momencie w czasie, co utrudnia zachowanie zasady braku arbitrażu.
- 2) Modele wyceny arbitrażowej takie jak CIR, model Vasicka, czy model Hulla i White’a służą do opisu całej krzywej terminowej stóp procentowych. Parametry tych modeli kalibruje się na podstawie danych z całej krzywej oraz historycznych notowań poszczególnych stóp procentowych należących do tej krzywej w czasie. Natomiast w przedstawionej metodzie Autor wykorzystuje jedynie dane w postaci szeregów czasowych i prognozuje każdą stopę procentową oddzielnie. W tej sytuacji zasada braku arbitrażu może nie być spełniona, a stopy na krzywej mogą się kształtować niezależnie od siebie. Dlatego w takim razie wykorzystywany jest model CIR#, skoro lepsze rezultaty prognoz otrzymamy przy pomocy wyspecjalizowanych

modeli szeregów czasowych uwzględniających wahania zmienności stóp procentowych oraz okresy prosperity i turbulencji na rynkach?

- 3) Zaproponowana metoda zakłada między innymi podział próby złożonej jedynie z 68 obserwacji na osiem części, z których każda liczy co najmniej 8 obserwacji. Wybór modelu ARIMA i szacowanie jego parametrów na podstawie 8 obserwacji wydaje mi się złym pomysłem ze względu na ryzyko „overfitting” (czyli dobre dopasowanie modelu w próbie, natomiast złe dopasowanie poza próbą). Własności statystyczne takiego modelu są praktycznie nieznanne. Ponadto transformacja Johnsona (Johnson’s transformation, str. 65) powoduje dalszą utratę liczby stopni swobody. Czy wszystkie parametry modelu CIR# są kalibrowane na podstawie jedynie 8 obserwacji? Czy brana jest pod uwagę prawdopodobna zmiana parametrów modelu CIR# w okresie prognozowanym?
- 4) Metoda wyboru specyfikacji modelu ARIMA w drugim kroku procedury jest moim zdaniem błędna z następujących powodów:
 - a. W metodzie tej jednym z warunków wyboru specyfikacji jest rozkład normalny składnika losowego. Testowanie normalności rozkładu składnika losowego na podstawie kilku obserwacji (i jeszcze mniejszej liczby stopni swobody) utrudnia odrzucenie hipotezy zerowej (moc testu będzie niewielka).
 - b. Nie rozumiem, dlaczego kryterium normalności rozkładu reszt (innowacji) miałoby być ważniejsze niż na przykład kryterium informacyjne AIC lub BIC. Możliwe jest odrzucenie na tym etapie optymalnego modelu ze względu na kryterium BIC tylko dlatego, że innowacje takiego modelu nie mają rozkładu normalnego.
 - c. Nie znam testu stacjonarności szeregu czasowego, który dawałby wiarygodne wyniki dla kilku obserwacji. W jaki sposób testowania jest stacjonarność szeregów czasowych? Podobnie niemal niemożliwe jest odrzucenie hipotezy zerowej o braku autokorelacji (cząstkowej) stóp procentowych w sytuacji, kiedy do szacowania tych autokorelacji mamy do dyspozycji zaledwie kilka obserwacji.
 - d. Do wyboru specyfikacji wykorzystywane są statystyki oceniające jakość dopasowania w próbie (np. R^2) zamiast wykorzystania statystyk mierzących jakość prognoz modelu poza próbą (np. crossvalidation criterion). Model będzie wykorzystany do prognozowania, a kryterium wyboru specyfikacji modelu powinno być dostosowane do celu budowy modelu.
- 5) Metoda ANOVA nie jest optymalną metodą identyfikowania zmian strukturalnych w modelach szeregów czasowych. Wadą tej metody jest na przykład arbitralny wybór podprób. Są dostępne testy statystyczne, które lepiej nadają się do tego typu analiz. Autor sam wymienia część z nich na str. 72.
- 6) Odfiltrowanie procesu ARIMA z szeregu stóp procentowych ma wpływ na wartość parametrów modelu CIR#, który także ma wbudowany element autoregresyjny. Czy Autor badał tą zależność?
- 7) W przypadku szacowania parametrów modelu dla długich stóp procentowych (np. rocznych) przy użyciu danych próbkowanych z dużą częstością (np. dane dzienne lub tygodniowe) występuje problem nachodzących na siebie obserwacji (overlapping observations problem). Po prostu stopa roczna obserwowana tydzień po tygodniu jest niemal identyczna. W takiej sytuacji kilka obserwacji nie wystarczy by precyzyjnie oszacować parametry modelu CIR#. W jaki sposób Autor radzi sobie z takim problemem?

Kilka elementów budowy modelu CIR# i procesu kalibracji jego parametrów jest niejasnych:

- 1) Doktorant bez wyjaśnień wprowadza w swoim wywodzie tzw. fizyczną miarę \mathbb{P} prawdopodobieństwa, mimo że wcześniej wykorzystywał neutralną wobec ryzyka miarę \mathbb{Q}

prawdopodobieństwa. Relacja między miarami i powód zmiany miary powinien zostać dokładniej wyjaśniony w pracy. Można by tutaj na przykład wykorzystać i rozbudować tekst ze str. 57.

- 2) Nie jest dla mnie jasny sposób wyliczenia parametru α w równaniu (4.4). Uważam, że powinien zostać dokładniej wyjaśniony na str. 61.
- 3) Sposób wyliczania parametrów σ, θ, k nie został dobrze wyjaśniony. Wytlumaczenia na str. 65 i 66 są niewystarczające. Interpretacja wyrażenia $r_h(k)$ jest niejasna, podobnie jak sposób obliczania tego wyrażenia opisany na str. 66. Postać funkcji f we wzorze (4.5) nie jest wyjaśniona (str. 65).
- 4) Nie jest dla mnie jasne jak porównywane są statystyki R^2 i BIC dla modeli ARIMA, w których zmienne objaśniane są przedstawiane w oryginalnej formie (y_t), w formie przyrostów (Δy_t) i podwójnych przyrostów ($\Delta^2 y_t$). Statystyki R^2 i BIC nie powinny być porównywane dla różnych zmiennych objaśnianych.
- 5) W punkcie 4.4.1 jest mowa o teście ANOVA jako metodzie wyboru podprób do kalibracji modelu CIR#. Jednocześnie w punkcie 4.4.4 Doktorant twierdzi, że wybrał algorytm Lavielle (2005) do wyboru podprób. Która wersja jest obowiązująca w pracy?

Do przedstawionej metody prognozowania mam następujące uwagi:

- 1) Jeśli dobrze zrozumiałem treść punktu 4.5, horyzont prognozy ustalony jest sztywno na jeden okres do przodu. Zwykle prognozy dokonuje się w różnych horyzontach. Dlatego wybór jednego okresu powinien zostać uzasadniony.
- 2) Wybór okna kalibracji parametrów składającego się z jedynie ośmiu obserwacji wydaje mi się przypadkowy i niewystarczająco udokumentowany.
- 3) Nie rozumiem na czym polega problem z dostępem do danych z wysoką częstością obserwacji poruszony na str. 73. Dane dzienne dla stóp procentowych są łatwo dostępne w różnego rodzaju serwisach i bazach danych finansowych.
- 4) Badania empiryczne przeprowadzone w punkcie 4.5 nie zostały dokładnie opisane. Z wykresów tam przedstawionych wynika na przykład, że precyzja prognoz dla modelu CIR jest wyższa niż dla modelu CIR# w przypadku niektórych tenorów i walut. W jaki sposób Doktorant wytłumaczy taki wynik?
- 5) Dlaczego przedstawione modele nie zostały wykorzystane do prognozowania całej krzywej terminowej stóp procentowych, skoro modele wyceny arbitrażowej właśnie w tym celu zostały stworzone?

Zidentyfikowałem w rozdziale czwartym następujące niezrozumiałe wyrażenia: „dynamic of interest rates” (str. 53), „e” (str. 56), „converges in a much better way” (szybciej czy wolniej?, str. 66), „minimizes the Bayesian Information Criterion (BIC) matrix” (jak można zminimalizować macierz?, str. 67), „Chapter A” (Appendix A?, str. 68), „real interest rates” (real or observed?, str. 73).

W rozdziale piątym Autor skoncentrował uwagę na prognozowaniu stóp procentowych przy pomocy modelu Vasicka, modelu CIR, i modelu EWMA (exponential weighted moving average).

Moje uwagi do części teoretycznej tego rozdziału są następujące:

- 1) Nie wyjaśniono jak szacowany jest parametr λ modelu EWMA. Narzucenie sztywnej wartości parametru wpływa oczywiście na jakość prognoz. Czy długość podprób estymacji jest w przypadku tego modelu również optymalizowana?
- 2) Wybór modelu EWMA do prognozowania stóp procentowych nie jest oczywisty. Istnieją modele szeregów czasowych, które wydają się być lepiej przystosowane do prognozowania

szeregów stóp procentowych. Modele AR-GARCH (autoregresyjne modele z uogólnioną autoregresyjną warunkową heteroskedastycznością składnika losowego) lub MS-AR (autoregresyjne modele przełącznikowe Markowa) to tylko bardziej popularne przykłady.

- 3) Sekwencja przeprowadzonych testów Lillieforsa na podobnych próbach daje obciążone wyniki, które w znacznym stopniu zależą od mocy testu statystycznego. Samo wielokrotne powtarzanie testu zwiększa prawdopodobieństwo odrzucenia hipotezy zerowej i dlatego postulowany poziom istotności testu nie zostanie zachowany. Ponadto prezentowany algorytm w Tabeli 5.1 jest sprzeczny z opisem powyżej tej tabeli. Rozumiem, że chodzi o powiększanie próby do momentu, w którym hipoteza zerowa zostanie odrzucona.
- 4) Dzielenie próby tylko ze względu na fakt, że rozkład zmiennej nie jest normalny w całej próbie, a jest normalny w podpróbach, wydaje mi się dziwny. Dużo większe znaczenie ma na przykład zmieniająca się w czasie wariancja zmiennej czy też jej wartość oczekiwana.
- 5) Na str. 96-97 przedstawiono sposoby szacowania parametrów modelu CIR i Vasicka. Jak przedstawione metody są powiązane z metodą szacowania modelu CIR# w rozdziale czwartym?
- 6) W jaki sposób Autor bierze pod uwagę autokorelację błędów prognozy w przypadku występowania wspomnianego wcześniej problemu nakładających się obserwacji?
- 7) Czy do prognozowania out-of-sample wykorzystywana jest informacja o momentach, w których następuje zmiana strukturalnych parametrów modelu CIR?

W części prezentującej wyniki empiryczne zauważyłem następujące niedociągnięcia:

- 1) Nie rozumiem o jakich instrumentach pochodnych mowa w pierwszym akapicie punktu 5.3.
- 2) Dlaczego transformacja Johnsona dotyczy zmiennych z rozkładem normalnym w punkcie 3 na str. 100? Wydaje się to nielogiczne.
- 3) Nie przedstawiono żadnej interpretacji ekonomicznej wyników w Tabeli 5.3. Czy te wyniki mają ekonomiczną interpretację?
- 4) Na rysunku 5-2 zauważyłem, że prognoza stopy procentowej jest dokonywana na podstawie informacji z początku każdej podpróby a nie na podstawie informacji z poprzedniego okresu. To podejście dziwi, bo wcześniejsze dyskusje sugerowały, że horyzont prognozy jest stały i wynosi jeden okres.
- 5) Rysunki 5-2 do 5-5 pokazują jedynie, że prognozy dokonywane w mniejszych podpróbach są dokładniejsze z powodu, który przedstawiłem powyżej. Najdokładniejsze prognozy otrzymałby Autor, gdyby podpróby liczyły po jednej obserwacji, co nie ma dużego sensu. Te prognozy wcale nie świadczą o wyższości jednej metody dzielenia prób nad drugą metodą. Przedstawione prognozy bazują po prostu na różnych zbiorach informacji.

Zidentyfikowałem w rozdziale piątym następujące niezrozumiałe wyrażenia: „steady normal distribution” (str. 92), „the first four data” (points?, str. 92).

Podsumowując, podoba mi się fakt porównania jakości prognoz trzech modeli stóp procentowych dla różnych tenorów i walut. Nie jestem pewny, czy zostały spełnione równe warunki dla tych modeli przy porównywaniu ich możliwości prognostycznych. Moje zastrzeżenie dotyczy też faktu, że jakość prognoz mierzona jest przy pomocy jednej miary RMSE. Nie badano obciążenia prognoz, czy też powtarzalności błędów prognozy.

Rozdział szósty dotyczy prognozowania przy pomocy modelu CIR#, dostosowanego modelu CIR i modelu EWMA.

Podoba mi się tutaj fakt wykorzystania większej liczby statystyk mierzących jakość prognoz niż w poprzednim rozdziale, a także wykorzystanie podobnych danych (w sensie dzielenia podprób i przesuwania poziomu stóp procentowych) dla różnych modeli w celu zapewnienia porównywalności prognoz. Na uwagę zasługuje też duża liczba analizowanych rynków pieniężnych (rynk EUR, USD, JPY i CHF) oraz dodatkowa analiza dla okresów turbulencji na rynku finansowym.

Moje wątpliwości budzi brak dokładnego wyjaśnienia, na czym polega modyfikacja modelu CIR (CIR_{adj}). Niestety nie znalazłem też informacji czy parametr λ modelu EWMA jest szacowany. W opisie wyników empirycznych przydałyby się także wykresy porównujące jakość prognoz z trzech modeli w czasie.

Do wyników empirycznych mam następujące uwagi:

- 1) Na rysunku 6-3 (str. 121) błędy prognozy modelu CIR podążają blisko za obserwowaną rynkową stopą procentową, co sugeruje, że same prognozy otrzymane przy pomocy modelu CIR są bliskie zeru. Świadczyłoby to o błędnej estymacji modelu CIR i moim zdaniem wymaga wyjaśnienia.
- 2) Przy analizie korelacji prognoz stóp procentowych z obserwowanymi stopami procentowymi w punkcie 6.2.4 nie omówiono stacjonarności analizowanych szeregów oraz liczby obserwacji użytych do obliczeń korelacji. Utrudnia to interpretację zaprezentowanych tam wyników.
- 3) Analiza przedstawiona w punkcie 6.3 jest dla mnie kompletnie niezrozumiała. Nie wyjaśniono tutaj jakiego rodzaju losowe szeregi czasowe zostały wykorzystane do symulacji i testów. Nie wiadomo jaka jest próba użyta do estymacji modeli, a jaka jest próba testowa. Powód zastosowania i interpretacja poszczególnych metod statystycznych są niejasne.

Zidentyfikowałem w rozdziale szóstym następujące niezrozumiałe wyrażenia: „model model” (str. 111), „For the reasons above mentioned [...] for the simple reason” (str. 112).

Przedstawiona w **rozdziale siódmym** ocena jakości prognoz na polskim rynku pieniężnym otrzymanych przy pomocy modelu CIR# była dla mnie szczególnie interesująca.

Prezentowane na rysunku 7-1 porównanie prognoz i rzeczywistych obserwacji stóp procentowych wskazuje na dobre dopasowanie modelu do danych. Interesujący jest fakt, że największe odchylenia prognoz od rynkowych stóp procentowych widoczne jest dla poziomu stóp procentowych bliskiego 20%. Świadczy to tym, że w okresie transformacji i wysokiej inflacji w Polsce model CIR# radzi sobie relatywnie gorzej niż w późniejszym okresie z umiarkowaną dynamiką wskaźnika cen.

Niestety i tutaj zauważyłem pewne niedociągnięcia w opisie prezentowanych wyników.

- 1) Nie wiadomo w jaki sposób zostały oszacowane poszczególne porównywane modele.
- 2) Nie wiadomo, czy prognozy są wykonywane na specjalnej próbie testowej czy też na próbie, którą wykorzystano do szacowania modeli. Nie wiadomo jakich okresów dotyczą te próby.
- 3) Niejasna jest struktura części empirycznej rozdziału siódmego. W punkcie 7.1 opisane są wyniki dla danych dziennych i dla różnych tenorów stóp procentowych. W punkcie 7.2.1 ponownie omawiane są wyniki otrzymane z obliczeń na danych dziennych ale tylko dla trzymiesięcznej stopy procentowej. Odpowiednie wyniki dotyczące trzymiesięcznej stopy procentowej w punkcie 7.1 są inne niż w punkcie 7.2.1. Nie wyjaśniono, dlaczego dodatkowo przeprowadzono obliczenia na danych tygodniowych w punkcie 7.2.2.

Podsumowując moje **uwagi z poszczególnych części rozprawy**, chciałbym zauważyć, że struktura pracy jest prawidłowa i tematyka poszczególnych rozdziałów została dobrze dobrana. Ogólny wywód jest uporządkowany i logiczny, chociaż kolejność niektórych omawianych tematów wewnątrz rozdziałów budzi wątpliwości. Dysertacja jest napisana zrozumiałym językiem, a liczba błędów językowych nie jest duża. Cytowana literatura jest bardzo obszerna i pozwala ocenić w jakim stopniu prezentowane badania są nowatorskie i oryginalne.

Niektóre wywody w kluczowych rozdziałach czwartym i piątym nie są dla mnie klarowne. Dlatego zadaję w recenzji dużo pytań, na które chciałbym uzyskać odpowiedź w czasie obrony pracy doktorskiej.

Przedstawione wyżej uwagi skłaniają mnie do też wniosku, że w przypadku rozprawy doktorskiej Pana Giuseppe Orlando prawdopodobnie bardziej celowe byłoby złożenie przez Doktoranta cyklu publikacji dotyczących modelowania rynkowych stóp procentowych niż nieco niedopracowanej rozprawy wykorzystującej najważniejsze wyniki otrzymane w tych publikacjach. Poziom trudności omawianych zagadnień z pogranicza matematyki finansowej i ekonometrii szeregów czasowych tłumaczy oczywiście niedociągnięcia tej rozprawy.

Inne drobne uwagi dotyczące formatowania pracy

Sposób odwoływania się do innych badań w pracy jest chaotyczny. W niektórych przypadkach Doktorant wymienia nazwiska autorów cytowanych prac oraz podaje numer badania ze spisu literatury, a w innych przypadkach podany jest jedynie numer badania ze spisu literatury. Zapisanie jedynie numeru badania jest kłopotliwe dla czytelnika, bo zmusza go do przeglądania spisu literatury w celu zorientowania się, o które cytowanie badanie w tekście chodzi. Dlatego w artykułach ekonomicznych odchodzi się od tego sposobu zapisywania odwołań do literatury.

Spis literatury nie jest jednolicie sformatowany i zawiera powtórzenia tych samych pozycji z literatury.

Ocena wkładu Doktoranta w rozwój nauki

Wkład Doktoranta w rozwój ekonomii i finansów jest moim zdaniem niepodważalny. Jest on współautorem przynajmniej ośmiu artykułów naukowych opublikowanych w znanych czasopismach i wydawnictwach, np. Journal of Forecasting, Journal of Computational and Applied Mathematics. Zarówno w pracy doktorskiej jak i w napisanych artykułach Doktorant wykazuje się znajomością tematyki, zaawansowanym warsztatem badawczym z zakresu matematyki finansowej, ekonometrii i metod statystycznych. Do szczególnych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- propozycję własnego modelu wyjaśniającego zmiany stóp procentowych i metody jego kalibracji,
- porównanie możliwości prognostycznych popularnych modeli stóp procentowych dla najważniejszych rynków finansowych oraz dla Polski,
- wykorzystanie zaawansowanych modeli szeregów czasowych oraz metod ekonometrycznych i statystycznych służących do oszacowania parametrów i testowania jakości modeli.

Ocena końcowa

Podsumowując ocenę przedstawionej rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że zaprezentowany w pracy problem naukowy jest oryginalny i stanowi wyodrębnione zadanie badawcze. Doktorant wykazał się znajomością funkcjonowania rynku pieniężnego, budową modeli stóp procentowych, metod ekonometrycznych i statystycznych i ogólną wiedzą teoretyczną z zakresu ekonomii i finansów. Ponadto Autor rozprawy przeprowadził wieloetapowe własne badania empiryczne dotyczące prognozowania stóp procentowych przy pomocy różnych modeli szeregów czasowych opartych na teorii arbitrażu stóp procentowych oraz porównał jakość prognoz dokonanych przy pomocy różnych modeli ekonometrycznych. Doktorant tym samym wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska spełnia wymogi określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.) stawiane pracom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie Pana Giuseppe Orlando do dalszego postępowania związanego z przewodem doktorskim.