

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. Jakuba Morkowskiego

pt. „Metoda neuronowo-rozmyta w prognozowaniu kierunku zmian wybranych kursów walutowych”

napisanej pod kierunkiem dr hab. Agaty Kliber, prof. UEP jako promotora

i dr Aleksandry Rutkowskiej jako promotora pomocniczego

Recenzję rozprawy doktorskiej mgra Jakuba Morkowskiego przygotowałem na podstawie pisma skierowanego do mnie przez Przewodniczącą Rady Awansów Naukowych na Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu prof. dr hab. Barbarę Jankowską. Podstawę oceny stanowiły warunki określone w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.).

Przedmiotem oceny były: trafność, ważność i oryginalność wyboru zagadnienia badawczego, sformułowane cele oraz hipotezy i pytania badawcze, wykorzystane dane oraz metodologia zastosowana do weryfikacji hipotez i odpowiedzi na pytania badawcze, struktura rozprawy oraz jej poprawność redakcyjna, jej zawartość merytoryczna, a szczególnie logika prowadzonego wywodu oraz dopasowanie wykorzystanej metodologii do celu pracy.

1. Cel pracy, jego istotność oraz oryginalność problemu badawczego

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było skonstruowanie autorskiej metody neuronowo-rozmytej do prognozowania kierunku zmian kursów walutowych i późniejszego wykorzystania tych prognoz do konstrukcji strategii opcyjnych – innych w przypadku gry na wzrost, spadek i stabilizację. Metoda neuronowo-rozmyta była inspirowana podejściem *ensemble learning*, którego ideą jest łączenie wyników wielu prostych algorytmów uczenia maszynowego w celu uzyskania optymalnego rezultatu.

Badanie empiryczne zostało przeprowadzone na trzech parach walutowych (CHF/EUR, GB/EUR oraz US/EUR) z wykorzystaniem trzech typów sieci neuronowych: MLP, ELM i LSTM o różnych, w sumie 140, kombinacjach hiperparametrów. Zakres czasowy badania obejmował lata 1.01.2014-31.12.2019, a dane były kwotowane w częstotliwości dziennej, co daje łącznie 1440 obserwacji na jedną parę walutową.

Istotność głównego celu pracy jest uzasadniona poprzez powiązanie go z potrzebą posiadania sprawdzonych narzędzi i modeli do prognozowania przyszłych wartości szeregów finansowych, które następnie są wykorzystywane w bardzo wielu obszarach bezpośrednio związanych z funkcjonowaniem nowoczesnych rynków finansowych. Poprawne i dokładne prognozy, nie tylko kursów walutowych, ale generalnie cen różnych aktywów finansowych (akcje, obligacje, towary, ceny nieruchomości, kryptowaluty, itd.) są kluczowym elementem między innymi takich aktywności jak:

- zarządzanie aktywami (np. w trakcie konstrukcji algorytmicznych strategii inwestycyjnych lub optymalizacji portfela lub opracowywania nowych koncepcji modeli czynnikowych do wyceny aktywów finansowych w warunkach równowagi) w takich instytucjach finansowych jak TFI, OFE, fundusze hedgingowe, firmy ubezpieczeniowe, itp.
- zarządzanie ryzykiem, jako jeden z bardziej istotnych elementów w procesie opracowywania i estymacji modeli VaR lub ES.
- planowaniu międzynarodowej aktywności gospodarczej zarówno w kontekście międzynarodowych korporacji, jak i budżetów pojedynczych państw oraz działań banków centralnych.
- I wielu innych aktywności

Zagadnieniu prognozowania cen aktywów finansowych poświęcono niezliczoną liczbę artykułów naukowych oraz monografii, ale bez wątplenia możemy powiedzieć, że temat ten nie ma do tej pory ostatecznego rozwiązania i każde nowe badanie może przyczynić się do znalezienia bardziej skutecznego modelu prognozującego.

Oryginalność postawionego tematu badawczego oraz metodologia wykorzystana do realizacji głównego celu nie budzi poważnych zastrzeżeń, a ewentualne uwagi krytyczne odnoszące się do szczegółowej realizacji zostaną opisane na dalszych stronach tej recenzji.

2. Hipotezy i pytania badawcze

Główna hipoteza badawcza rozprawy doktorskiej brzmi następująco: *„Rozmyte prognozy kierunku zmian kursu walutowego z autorskiego podejścia neuronowo-rozmytego umożliwiają generowanie wyższych zysków z inwestycji w strategię opcyjnie na wzrost, spadek i stabilizację, niż wykorzystanie zespołowych prognoz sieci neuronowych”*. Szkoda, że Autor w podsumowaniu rozprawy nie odnosi się wprost do tej hipotezy.

Pytania badawcze postawione w tej rozprawie są przypisane do poszczególnych etapów badania. W pierwszym etapie Autor stawia prognozy zmian kierunku kursów walutowych z wykorzystaniem trzech typów sieci neuronowych: ELM, MLP i LSTM o różnej hiperparametryzacji. Prognozy za pomocą sieci neuronowych stawiane są na podstawie danych o interwale jednodniowym, a horyzont prognozy wynosi od 1 do 10 dni. Pytania badawcze przypisane do tego etapu są następujące:

Pyt.1.1. Czy trafność prognozowania kierunku zmian kursu zależy od horyzontu prognozy?

Pyt.1.2. Czy trafność prognozowania kierunku zmian kursu zależy od hiperparametryzacji sieci?

Pyt.1.3. Czy trafność prognozowania kierunku zmian kursu jest uzależniona od typu sieci?

Pyt.1.4. Czy trafność prognozowania kierunku zmian kursu za pomocą sieci neuronowych jest wyższa niż modeli ekonometrycznych?

W drugim etapie badania Autor konstruuje prognozy z wykorzystaniem metody rekurencyjnej. Metoda rekurencyjna polega na dokonaniu prognoz za pomocą zawężonego podzbioru dwudziestu sieci o różnych hiperparametrach, które okazały się najlepsze w okresie poprzedzającym moment stawiania nowej prognozy. Celem tego etapu jest sprawdzenie czy metoda rekurencyjna pozwoli na wytypowanie rodzajów sieci neuronowych oraz określonej hiperparametryzacji, charakteryzujących się wyższym

poziomem trafności dla danej waluty oraz horyzontu prognozy. Pytania badawcze przypisane do tego etapu są następujące:

Pyt.2.1. Czy trafność prognoz uzyskanych metodą rekurencyjną będzie wyższa niż trafność prognoz uzyskana prognozą naiwną lub modelem ARMA?

Pyt.2.2. Czy prognozy z metody rekurencyjnej będą trafniejsze niż średnie prognozy dla pojedynczych sieci?

W etapie trzecim Autor konstruuje prognozy z wykorzystaniem podejścia neuronowo-rozmytego. W podejściu tym Autor grupuje wyniki uzyskane z użyciem wszystkich lub wybranych prognoz dokonanych przez trzy różne typy sieci neuronowych o różnych hiperparametrach, w celu postawienia jednej prognozy rozmytej. Pytania badawcze dotyczą różnic między wynikami uzyskanymi przez zastosowanie różnego typu funkcji przynależności w podejściu neuronowo-rozmytym oraz porównania tej metody do metod z etapów poprzednich:

Pyt.3.1. Czy typ funkcji przynależności ma wpływ na trafność prognoz w podejściu neuronowo-rozmytym?

Pyt.3.2. Czy metoda neuronowo-rozmyta cechuje się wyższą trafnością prognoz niż sieci neuronowe?

Pyt.3.3. Czy metoda neuronowo-rozmyta charakteryzuje się wyższą trafnością prognoz niż model ARMA i prognoza naiwna?

Pyt.3.4. Czy połączenie podejścia rekurencyjnego z podejściem neuronowo-rozmytym poprawi trafność prognoz?

Etap czwarty został przedstawiony w V rozdziale rozprawy. Autor wykorzystuje w nim prognozy uzyskane w poprzednich etapach badania do inwestycji w instrumenty pochodne. Pytania, jakie przyświecają badaniom przedstawionym w tej części rozprawy, są następujące:

Pyt.4.1. Czy wykorzystanie rozmytych prognoz zmian kierunku cen pozwoli na osiągnięcie wyższego zysku z inwestycji w kontrakty oraz opcje niż wykorzystanie wskazań uzyskanych z prognoz sieci neuronowych oraz metody rekurencyjnej?

Pyt.4.2. Czy zastosowanie prognoz rozmytych do strategii opcyjnej na stabilizację pozwoli na ograniczenie potencjalnych strat lub osiągnięcie wyższych zysków niż stosowanie tylko gry na wzrost lub spadek?

3. Struktura pracy

Rozprawa doktorska podzielona jest na pięć rozdziałów. Pierwsze trzy stanowią merytoryczne wprowadzenie do zagadnień stanowiących bazę niniejszej pracy, natomiast ostatnie dwa zawierają przedstawienie wyników badań empirycznych.

Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do zagadnień związanych z rynkiem FOREX i możliwościami inwestycyjnymi w kursy walutowe. W rozdziale tym Autor przedstawia strukturę i sposób działania rynku FOREX, a także koncepcję i charakterystykę instrumentów pochodnych, wraz ze wskazaniem na możliwości inwestycyjne (lub zabezpieczające) płynące ze stosowania różnego ich typu i budowanych na ich podstawie strategii opcyjnych. Rozdział kończy przedstawienie jednej metody wyceny instrumentów pochodnych.

W rozdziale drugim opisane zostały metody wykorzystywane w badaniu empirycznym do prognozowania kierunku zmian cen, które następnie stają się podstawą do dokonywania inwestycji. Na wstępie Autor przedstawia klasyczne modele statystyczne, czyli prognozowanie naiwne i model ARMA. Metody te stanowią punkt odniesienia do oceny trafności prognozowania kierunku zmian kursów metodami stosowanymi w dalszej części pracy. Druga część rozdziału została poświęcona sieciom neuronowym. Opisane w nim zostały różnego rodzaju sieci oraz przedstawiono przegląd literatury na temat tych metod, które z powodzeniem stosowane są w prognozowaniu. Przegląd ten stanowi podstawę do wyboru typów sieci neuronowych, które zostały użyte w badaniu empirycznych.

W trzecim rozdziale zaprezentowana jest propozycja autorskiej metody neuronowo-rozmytej. Wprowadzone zostały podstawowe pojęcia z zakresu zbiorów i logiki rozmytej, a także przedstawiono tam różne metody tworzenia funkcji przynależności. Autor prezentuje również w tym rozdziale istniejące w literaturze sposoby łączenia sieci neuronowych z podejściem rozmytym, wskazując na podobieństwa i różnice między nimi, a proponowaną przez siebie metodą.

W rozdziale czwartym i piątym przedstawiono wyniki badań. W rozdziale czwartym Autor koncentruje się na trafności prognoz kierunku zmian kursów, porównując trafność prognozowania metody neuronowo-rozmytej z metodami ekonometrycznymi, metodą podążania za wskazaniem większości sieci oraz metodą rekurencyjnego wyboru sieci o najlepszych hiperparametrach.

W rozdziale piątym Autor skupia się na możliwości generowania zysków z dokonywanych inwestycji na podstawie prognoz uzyskanych w rozdziale czwartym. Uwzględniono inwestycje w kontrakty oraz opcje, w tym strategię opcyjne nakierowane na wzrost, spadek i stabilizację.

4. Metodologia oraz dane

Metodologia wykorzystana w pracy do prognozowania finansowych szeregów czasowych, a konkretniej kursów walutowych bazuje na kilku podstawowych koncepcjach teoretycznych:

- modelach opartych na uczeniu maszynowym, gdzie wykorzystano następujące sieci neuronowe:
 - ELM (ang. *Extreme Learning Machine*) – maszyna uczenia ekstremalnego
 - MLP (ang. *Multilayer Perceptron*) – perceptron wielowarstwowy
 - LSTM (ang. *Long Short-Term Memory*) – sieć o długiej pamięci krótkotrwałej
- modelach wykorzystujących koncepcję uczenia zespołowego (ang. *Ensemble Learning*)
- koncepcji zbiorów i liczb rozmytych wykorzystanych w celu poprawy trafności prognoz generowanych przez sieci neuronowe
- modelach ekonometrycznych w celu porównania testowanych modeli do jakiegoś *benchmarku*:
 - Prognozowanie naiwne
 - Model ARMA

Metodologia zaproponowana przez Autora rozprawy wydaje się dopasowana do celu pracy w warstwie makro, chociaż pewne istotne szczegóły zostały zaprojektowane nie do końca prawidłowo o czym piszę w dalszej części tej recenzji.

Przedmiotem badania były trzy pary walutowe CHF/EUR, GBP/EUR oraz USD/EUR analizowane w okresie 1.01.2014-31.12.2019. Okres danych jest definitywnie za krótki w celu realizacji głównego celu pracy, szczególnie, że dane dzienne dla kursów walutowych są szeroko dostępne w darmowych bazach danych,

a zwiększenie badanego okresu niewątpliwie wpłynęłoby na możliwość lepszej generalizacji otrzymanych wyników.

5. Merytoryczna ocena pracy

a. Najważniejsze osiągnięcia pracy

- i. Wykorzystanie sieci neuronowych (ELM, MLP i LSTM) do prognozowania finansowych szeregów czasowych, którymi w przypadku tej pracy były kursy walutowe.
- ii. Interesujące połączenie logiki zbiorów/liczb rozmytych w kontekście generowania prognoz dla finansowych szeregów czasowych z wykorzystaniem koncepcji sieci neuronowych.
- iii. Przejrzyste i przekonujące podzielenie rozprawy na cztery etapy badania oraz dobranie do nich konkretnych i wnikliwych pytań badawczych.
- iv. Schematy na stronach 80 i 81 dużo wnoszące w przejrzystość badania oraz łatwość zrozumienia jego niuansów.
- v. Bardzo precyzyjne i syntetyczne odniesienie się do wszystkich hipotez w Tabeli 75.

b. Najbardziej istotne błędy

- i. Brak precyzyjnego podziału na próbkę treningową, walidacyjną i testową (ew. dodatkowo dane na których były dostrajanie hiperparametry sieci neuronowych) oddzielnie dla każdego etapu badania, tak aby czytelnik dokładnie wiedział na jakich danych było dokonywane poszczególne czynności w procesie generowania prognoz (estymacja/optimalizacja, walidacja, wybór najlepszych modeli, generowanie prognoz). Dokładny wykres obrazujący to zagadnienie pozwoliłby bardziej precyzyjnie odnieść się do ewentualnego problemu związanego z obciążeniem „*patrzenia w przyszłość*” (ang. *forward-looking bias*).
- ii. Skupienie się w ocenie prognoz, generowanych przez testowane modele, jedynie na ich trafności rozumianej (s.79) „*jako procentowy udział poprawnych prognoz w ogólnej liczbie postawionych*”, co uniemożliwia jednocześnie odniesienie się wielkości różnicy pomiędzy wartością prognozowaną, a rzeczywistą realizacją prognozowanej zmiennej.
- iii. Rozdział V (odnoszący się do IV etapu badania) zawiera badanie weryfikujące możliwość osiągnięcia ponadprzeciętnego zysku na podstawie prognoz uzyskanych w pierwszej części badania. Niestety nigdzie nie znalazłem informacji, czy okres dla badania w rozdziale V następuje po okresie z pierwszej części badania. Jeżeli tak nie jest, to Autor popełnia w pewnym sensie klasyczny błąd związany z „*patrzeniem w przyszłość*” (ang. *forward-looking bias*), wykorzystując wiedzę o najlepszych modelach (np. sieci neuronowe estymowane później na cenach, a nie na stopach zwrotu) z całego okresu.
- iv. Podobny problem, związany z błędem „*patrzenia w przyszłość*” (ang. *forward-looking bias*), pojawia się w II etapie badania, w którym Autor „*konstruuje prognozy z wykorzystaniem sieci o najlepszych ustawieniach uzyskanych w próbie testowej i...*” i następnie na tym samym okresie tworzy prognozy metodą rekurencyjną, wykorzystując wiedzę o najlepszych modelach z całego okresu.
- v. Brak procesu „*dostrajania hiperparametrów*” dla testowanych sieci neuronowych, a przynajmniej brak opisu jak to mogło wyglądać. Jedynymi hiperparametrami sieci opisanymi w badaniu (s.87) była liczba węzłów ukrytych oraz liczba opóźnień

zastosowanych w sieci. W pracy można zauważyć kompletny brak dyskusji tematu pozostałych hiperparametrów, które powinny zostać dostrojone w celu prawidłowego działania sieci neuronowych, np. w przypadku LSTM nie mamy żadnych informacji na temat takich hiperparametrów jak: liczba neuronów w warstwach ukrytych, długość sekwencji, funkcja aktywacji, funkcja straty, „optimizer”, liczba „epochs”, „dropout rate”, „learning rate”, co sprawia, że nic nie wiemy o wybranych parametryzacjach testowanych sieci oraz jak dokładnie ten proces się odbywał. To zagadnienie odnosi się do jednego z głównych pytań badawczych (pytanie.1.2), a powyższe argumenty wskazują na to, że temat ten został potraktowany zbyt wąsko, w związku z czym odpowiedź na to pytanie jest jedynie częściowa.

- vi. Rysunek.43, szczególnie dla „hd7...” nie jest zgodny z danymi w Tabeli.12, co niestety może implikować podobne błędy w innych częściach pracy, które nie są tak widoczne.
- vii. Autor estymuje model ARMA na cenach i na stopach zwrotu, co sugeruje, że estymując go na cenach popełnia istotny błąd metodologiczny szacując model na danych niestacjonarnych. Ten wątek powinien zostać precyzyjnie wyjaśniony.
- viii. Rozdział IV. Dlaczego metoda rekurencyjna w wariancie II (MR-II) charakteryzuje się wyższą trafnością w porównaniu do wyników metody NR (neuronowo-rozmytej) dla większej liczby przypadków (tabela 42 i 43) niż metoda MR-I, podczas gdy przy wcześniejszym porównaniu (Tabela.34) widzimy, że metoda MR-I okazała się lepsza od MR-II? Autor powinien przedyskutować to zagadnienie.
- ix. Zdecydowanie najsłabszą częścią pracy, szczególnie w warstwie metodologicznej i założeń, a przez to również w warstwie wnioskowania, jest rozdział V:
 - Brak odniesienia do tematu zmienności implikowanej (IV), co jest szczególnie rażące przy strategii inwestycyjnej wykorzystującej opcje i proces ich wyceny w różnych okresach. Autor kompletnie nie odnosi się do sposobu szacowania σ we wzorze BSM (jaki estymator zmienności? z jakimi parametrami? został zastosowany w tym celu). Dodatkowo, Autor kompletnie pomija zagadnienie prognozowania zmienności przy inwestycji w opcje, gdzie szczególnie przy inwestycji w strategię stelaża jest to zagadnienie kluczowe, często znacznie bardziej wpływające na końcowy wynik inwestycji niż samo prognozowanie ceny, z uwagi na silne fluktuacje IV w trakcie trwania inwestycji w opcje. Strategia „stelaża” czy „rozszerzonego stelaża” jest nawet określana w literaturze finansowej jako „czysta gra na zmienność” (ang. *pure play on volatility*).
 - Brak odniesienia się do zagadnienia Thety, szczególnie przy dłuższym horyzoncie inwestycyjnym, gdzie zmniejszająca się wartość czasowa opcji (przy innych czynnikach niezmiennych) ma kluczowy wpływ na wynik inwestycji w strategię opcyjne.
 - Niezrozumienie zagadnienia dźwigni finansowej przy inwestycji w instrumenty pochodne, co wyraźnie uwidacznia się w momencie porównania stóp zwrotu dla inwestycji w kontrakty terminowe *versus* inwestycja w opcje kupna lub sprzedaży (Tabele 51, 52 i 53 oraz ich opis). W przypadku inwestycji w kontrakty terminowe również możemy wykorzystać zjawisko dźwigni finansowej, także jeżeli Autor nie założył takiej możliwości, a później porównuje inwestycję w kontrakty bez dźwigni z inwestycją w opcje z dźwignią, charakteryzując tę pierwszą inwestycję jako związaną z

„niskimi zyskami” to niestety świadczy to o niewystarczającym zrozumieniu specyfiki wykorzystanych instrumentów pochodnych.

- Brak odniesienia się do ryzyka inwestycji i skupienie się tylko i wyłącznie na wyższych zyskach (patrz pytanie.4.1 i 4.2) co jest poważnym błędem w jakimkolwiek badaniu weryfikującym efektywność dowolnej strategii inwestycyjnej. Analizując różne alternatywy inwestycyjne nie skupiamy się tylko na „ wyższym zysku”, tylko na zysku ważonym ryzykiem i powinniśmy bazować na miarach takich jak: wskaźnik Sharpe’a, Information ratio (w różnych wersjach: IR*, IR**, czy IR***)¹ lub innych podobnych miarach.
- Zastosowanie błędnego kryterium optymalizacyjnego przy ocenie prognoz ze stosowanych modeli w celu ich wykorzystania do stworzenia efektywnej strategii inwestycyjnej. Punktowa ocena prognozy lub ocena tylko i wyłącznie trafności kierunkowej prognozy nie jest w tym przypadku właściwym podejściem i prowadzi do wybrania błędnego modelu, który niesłusznie oceniamy jako najlepszy. Propozycja odpowiedniego kryterium optymalizacyjnego w tego typu zadaniach, takiego np. jak MADL, wraz z dokładnym opisem potencjalnych błędów spowodowanych wykorzystaniem innych koncepcji, została dokładnie przedstawiona w Michańków i in. (2022)², który to artykuł jest opisany przez Autora we wcześniejszej części pracy al. Kluczowe wnioski z niego wynikające niestety zostały pominięte.
- Tabela.61 – Autor nie wyjaśnia jak dokładnie wygląda algorytm wyboru pomiędzy strategiami „O” i „O+”, co uniemożliwia precyzyjne zrozumienie wyników oraz odniesienie się do nich.
- Tabela.63 – skupienie się przy porównaniu różnych metod tylko na maksymalnej stopie zwrotu uniemożliwia odpowiednią ocenę inwestycji, ponieważ oceniamy wtedy tylko jeden najlepszy wariant z bardzo wielu testowanych.

c. Słabe strony pracy

- i. Pierwszy rozdział pracy jest w 90% zbędny, z uwagi na to, że stanowi podstawową wiedzę z zakresu instrumentów pochodnych nauczaną na studiach na poziomie licencjackim, a tłumaczenie jak wygląda profil wypłaty ze strategii opcyjnych na poziomie doktoratu jest kompletną stratą czasu i niepotrzebnym wypełnianiem miejsca w rozprawie doktorskiej.
- ii. Co więcej, niektóre z przedstawionych wykresów w rozdziale pierwszym (np. Rysunek. 11, 13, 15, 16, 17, 21) zostały przedstawione na tyle niestarannie, że wynikowa strategia opcyjna nie mogła powstać ze składowych profili wypłaty oznaczonych liniami przerywanymi.
- iii. Dodatkowo, definicje strategii „byka” i „niedźwiedzia” na stronach 32 i 33 są niepełne ponieważ zarówno strategię „byka” (ang. *bull call/put spread*), jak i „niedźwiedzia” (ang. *bear call/put spread*) można stworzyć przy pomocy opcji kupna, jak i sprzedaży.

¹ Bui Q., Ślepaczuk R., 2021, Applying Hurst Exponent in Pair Trading Strategies on Nasdaq 100 index, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 592, p. 126784, ISSN = 0378-4371, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037843712100964X>

² Michańków J., Sakowski P., Ślepaczuk R., 2022, The comparison of LSTM in algorithmic investment strategies on BTC and SP500 index, *Sensors* 22, 917, <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/917>

- iv. Podobne pominięcie możliwości skorzystania z opcji sprzedaży pojawia się przy definicji strategii motyla (ang. *long/short butterfly*) na stronie 34.
- v. Kolejny błąd przy definicji strategii pojawia się na stronie 37 przy definicji strategii rozszerzonego stelaża. Jest „...cena wykonania długiej opcji kupna **musi być wyższa niż** cena wykonania opcji sprzedaży”, a nie jest to prawdą z uwagi na to, że korzystając z parytetu opcji kupna sprzedaży, ta cena wykonania może być zarówno wyższa jak i niższa.
- vi. Ponadto, definicja strategii „niedźwiedzia” na stronie 33 jest błędna: zamiast „...w opcji sprzedaży powinna być **niższa** niż cena wykonania pozycji krótkiej...” powinno być „...w opcji sprzedaży powinna być **wyższa** niż cena wykonania pozycji krótkiej...”
- vii. Okres danych wykorzystanych w badaniu jest definitywnie za krótki w celu realizacji głównego celu pracy, szczególnie, że dane dzienne dla kursów walutowych są szeroko dostępne w darmowych bazach danych, a zwiększenie badanego okresu niewątpliwie wpłynęłoby na możliwość lepszej generalizacji otrzymanych wyników.
- viii. Okres zakończenia badania: 31.12.2019 powinien być również bardziej zbliżony do momentu złożenia pracy: 31.05.2022, co pozwoliłoby na uwzględnienie turbulencji na rynkach finansowych związanych z wybuchem epidemii COVID-19, które z całą mocą ukazały się na przestrzeni 2020 roku.
- ix. Dokładność – metodologia (s.40: Autor przedstawia model wyceny dla opcji kupna i sprzedaży bez żadnego odniesienia o jakim aktywnie bazowym mówimy. W przypadku formuł od (1-4) jest to model do wyceny akcji nie wypłacających dywidendy. Dodatkowo, Autor błędnie pisze, że można go stosować do wyceny opcji na inne instrumenty bazowe, podczas gdy można to robić ale po drobnych modyfikacjach w zależności od tego o jakim aktywie bazowym mówimy. Przydatne byłoby w tym miejscu przedstawienie modyfikacji tego modelu do wyceny opcji walutowych przedstawionej przez Garmana i Kohlhagena (1983)³.
- x. Poprawność formuł (s.45, formuła (12) i formuła(45) w większości znanych opracowań przed b1 mają „+”, a nie „-”)
- xi. Dodanie dolnego wiersza podsumowania w tabelach podobnych do 38, 40, 41, 42, 43, itp., zliczającego liczbę najlepszych wariantów, wpłynęłoby istotnie na możliwość szybkiego zrozumienia wyników tam prezentowanych.
- xii. W Tabeli.75 odpowiedź na pytanie.2.2 nie jest odpowiedzią na to pytanie.

6. Formalna ocena pracy

Praca pod względem edycyjnym została przygotowana dobrze, jednak Autor nie ustrzegł się błędów interpunkcyjnych, pomyłek w nazewnictwie, a czasem niefortunnych lub błędnych sformułowań. Poniżej przedstawiam przykłady takich sytuacji:

- i. Edycja „**wciąć**” w treści pracy, które w różnych jej miejscach mają nie widzieć dlaczego inną wielkość (s.9).
- ii. Literówki (s.9: jest „...w badaniu **empirycznych**...”, powinno być „...w badaniu **empirycznym**...”; s.43: jest „...Autoregressive Moving **Average** Model...”, powinno być „...Autoregressive Moving **Average** Model...”, s.50: „...jest **propagacji** wsteczna...”

³ Garman, B. M., Kohlhagen S. W., „Foreign currency options values”, Journal of International Money and Finance, 1983, s. 231 – 237.

- powinno być „...jest **propagacja** wsteczna...”, s.60: jest „...do kolejnego **korku**...”, powinno być „...do kolejnego **kroku**...”, s.80: jest „**Prognozowania** sieciami”, powinno być „**Prognozowanie** sieciami”, s.135: „**Pozostałem** metody występowały mniej niż w 5% przypadków. Przedstawiony ranking **mogłyby** wskazywać”, powinno być „**Pozostałe** metody występowały mniej niż w 5% przypadków. Przedstawiony ranking **mógliby** wskazywać”, i wiele podobnych)
- iii. Poprawność nazewnictwa (s.17: jest „**CDF**”, powinno być „**CFD**”)
 - iv. Stylistyka (s.17: jest „...cztery z **najbardziej** **najpopularnych** walut...”, powinno być „...cztery z **najbardziej** **popularnych** walut...”)
 - v. Błędna terminologia (s.29: jest „...dokonujemy **krótkiego zakupu** instrumentu bazowego...”, powinno być „...dokonujemy **krótkiej sprzedaży** instrumentu bazowego...”)
 - vi. Staranność - cytowanie (s.37: jest „(**Dziwago** 2010)”, powinno być: „(**Dziawgo**, 2010)”
 - vii. dokładność – opis (s.156” „...w tabeli 57. sporządziłem zestawienie... Wartości w nawiasach zwykłych oznaczają zysk w euro dla inwestycji w kontrakty, a w nawiasach **kwadratowych**” <-w tabeli 57 nie ma nawiasów kwadratowych.
 - viii. Brak w bibliografii pozycji cytowanych w tekście (s.40: „(**Black i Scholes, 1972**)”, a dodatkowo błędny rok w cytowaniu ponieważ zakładam, że Autor mówi o tej pozycji: Black, F. and Scholes, M. (1973) The Pricing of Options and Corporate Liabilities. Journal of Political Economy, 8, 637-654, <http://dx.doi.org/10.1086/260062>
 - ix. Nieprawidłowe/niejednolite cytowania (s.44: jest „(**Doman, M. i Doman, R., 2009**)”, a powinno być „(**Doman i Doman, 2009**)”)
 - x. Brak kropek pomiędzy zdaniem (s.185: „...**innych metod W** ostatnim kroku...”)
 - xi. Błędna nazwa Tabeli.18: jest „**Porównanie** wyników sieci neuronowych i **prognozy naiwnej**”, powinno być „**Porównanie** wyników sieci neuronowych i **modelu ARMA**”
 - xii. Błędne numery tabel (s.130): jest „w tabeli **34**...”, powinno być „w tabeli **36**”; jest „W tabeli **37**”, powinno być „W tabeli **35**”; w kolejnych numerach tabel (36, 35 i 39) na tej stronie są również błędy, ale trudno domyśleć się którą konkretnie tabelę Autor miał na myśli.

7. Wniosek Końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawione argumenty, stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgra Jakuba Morkowskiego pt. „Metoda neuronowo-rozmyta w prognozowaniu kierunku zmian wybranych kursów walutowych” przygotowana pod kierunkiem dr hab. Agaty Kliber, prof. UEP jako promotora oraz dr Aleksandry Rutkowskiej jako promotora pomocniczego spełnia wymagania prawne stawiane rozprawom doktorskim. Stanowi ona ciekawy wkład w tematykę prognozowania finansowych szeregów czasowych z wykorzystaniem metod zaliczanych do uczenia maszynowego (ang. *machine learning*), ich rozwinięcia poprzez użycie koncepcji zbiorów rozmytych oraz porównania wyników z klasycznymi modelami ekonometrycznymi. Doktorant, pomimo wielu mniejszych błędów, wykazał w pracy odpowiedni poziom wiedzy w dyscyplinie ekonomia i finanse i potwierdził tym samym umiejętność samodzielnego prowadzenia oryginalnej pracy naukowej.

W tym miejscu chciałbym zaznaczyć, że wszystkie kwestie opisane w sekcji 5 tej recenzji: *Merytoryczna ocena pracy* w jej części b: *Najbardziej istotne błędy* powinny zostać szczegółowo wyjaśnione najpóźniej w trakcie publicznej obrony.

Podsumowując, uważam że rozprawa doktorska mgra Jakuba Morkowskiego spełnia wymogi prawne stawiane rozprawom doktorskim, zawarte w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) i dlatego **wnioskuję o dopuszczenie mgra Jakuba Morkowskiego do kolejnych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk społecznych, w dyscyplinie ekonomia i finanse.**

Warszawa, 2022-09-26

dr hab. Robert Ślepaczuk

.....