

dr hab. Ewa Majerowska, prof. UG
Katedra Ekonometrii
Wydział Zarządzania
Uniwersytet Gdański

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Grzegorza Tratkowskiego
pt. „Dynamiczna optymalizacja portfela inwestycyjnego
z wykorzystaniem uczenia ze wzmocnieniem”
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk społecznych
w dyscyplinie ekonomia i finanse**

1. Podstawy sporządzenia recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo p. Dziekana Wydziału Ekonomii i Finansów Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, z dnia 3 października 2022 roku, z prośbą o zrecenzowanie pracy doktorskiej mgr. Grzegorza Tratkowskiego.

Recenzja została przygotowana zgodnie z obowiązującą Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668).

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Do oceny złożono rozprawę doktorską mgr. Grzegorza Tratkowskiego pt. „Dynamiczna optymalizacja portfela inwestycyjnego z wykorzystaniem uczenia ze wzmocnieniem”. Praca składa się ze 302 stron. Zawiera wprowadzenie, cztery rozdziały, zakończenie, bibliografię, która zajmuje 30 stron, spis tabel i rysunków oraz dodatek (4 strony) zawierający wykaz szeregów czasowych wykorzystanych w badaniu empirycznym.

Zgodnie z art. 187 punkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668) „Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych (...)”. Warunek ten zatem został spełniony.

Rozprawa doktorska poświęcona jest wykorzystaniu algorytmów uczenia maszynowego do tworzenia optymalnych portfeli inwestycyjnych. Autor przybliżył podstawowe zagadnienia związane z zarządzaniem portfelem inwestycyjnym, jego budową i oceną efektywności. Następnie opisał istotę i rodzaje uczenia maszynowego. W części empirycznej pracy zaproponował wykorzystanie wybranego algorytmu uczenia się do konstrukcji portfeli różnych aktywów. Poruszona przed Doktoranta tematyka jest aktualna i stanowi przedmiot współczesnych badań naukowych, a zatem wpisuje się w nurt badań prowadzonych w dyscyplinie ekonomia i finanse.

Zakres rozprawy obejmuje przybliżenie pojęcia portfela inwestycyjnego, uczenia maszynowego oraz ocenę skuteczności wykorzystania uczenia maszynowego do konstrukcji portfela. Generalnie tytuł rozprawy w odzwierciedla jej zawartość. Wątpliwość może budzić określenie „dynamiczna optymalizacja portfela”.

Wprowadzenie rozprawy zawiera uzasadnienie wyboru tematu przez Autora oraz znaczenie poruszanej problematyki. Autor wskazał w nim dwa cele główne, którymi są (1) dokonanie przeglądu literatury dotyczącego wykorzystania uczenia maszynowego w zarządzaniu portfelem inwestycyjnym, oraz (2) „weryfikację skuteczności budowy dynamicznego (wielookresowego z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych) portfela inwestycyjnego z zastosowaniem algorytmu uczenia ze wzmocnieniem w porównaniu z klasycznym podejściem Markowitza”. Tak sformułowane cele wydają się nieprecyzyjne. Przegląd literatury nie może być celem samym w sobie, a jedynie stanowić przyczynek do poszukiwania luki badawczej, którą autor chciał wypełnić. Co do celu drugiego to raczej ocenia się skuteczność wyników uzyskanych za pomocą zaproponowanej metodologii budowy portfela. Ponadto Autor sformułował cztery cele szczegółowe. Tu znowu pojawia się wątpliwość czy weryfikowana jest efektywność algorytmu, czy wyników dotyczących budowanego portfela. W dalszej części wprowadzenia Doktorant przybliżył zakres i przedmiot własnego badania empirycznego oraz przybliżył krótko zawartość poszczególnych rozdziałów pracy.

Pierwszy rozdział pracy dotyczy zarządzania portfelem inwestycyjnym. Autor opisał w nim ideę rynku efektywnego. Drugi podrozdział poświęcił charakterystyce inwestora i polityce inwestycyjnej. W kolejnej części przybliżył strategie inwestycyjne, wskazując na znaczenie analizy fundamentalnej i analizy technicznej. W tej części pracy brak informacji źródłowych, dotyczących na przykład podstawowych założeń analizy technicznej. Brak również wyjaśnienia pojęcia portfela inwestycyjnego. Następna część rozdziału dotyczy budowy portfela inwestycyjnego. Autor przybliżył w niej podstawy teorii użyteczności Neumanna i

Morgensterna, postaci funkcji użyteczności, a następnie podstawy teorii portfelowej Markowitza. Kolejną część rozdziału stanowi opis sposobów tworzenia portfeli optymalnych. Doktorant wyróżnił tu sześć podstawowych kryteriów optymalizacji portfela, takich jak minimalizacja ryzyka przy założonym poziomie dochodu, maksymalizacja dochodu przy założonym poziomie ryzyka, minimalizacja ryzyka, maksymalizacja dochodu, optymalizacja łącznego dochodu i ryzyka oraz optymalizacja przy uwzględnieniu więcej niż dwóch charakterystyk portfela. Ostatnia część poświęcona została efektywności portfela, miarom ryzyka i miarom efektywności. Zabrakło w tej części podziału miar ryzyka na miary dyspersji, wrażliwości i zagrożenia. Opisanie w punkcie 1.5.3 wskaźniki efektywności wyznaczane są na podstawie oszacowanych modeli wyceny, którym należałoby poświęcić oddzielną część. Cały rozdział ma charakter teoretyczny, napisany jest w oparciu o bogato dobraną literaturę, brak jednak, jak wcześniej wspomniałam, źródeł pierwotnych.

Drugi rozdział pracy, mający także charakter teoretyczny, dotyczy uczenia maszynowego w zarządzaniu portfelem inwestycyjnym. W rozdziale tym Autor wyjaśnił co rozumie się pod pojęciami „sztucznej inteligencji” oraz „uczenia maszynowego”. Definicje zestawiał w sposób syntetyczny w Tabeli 5. Następnie opisał wybrane rodzaje uczenia maszynowego (uczenie z nadzorem, uczenie bez nadzoru, uczenie ze wzmocnieniem), wskazując na ich cechy charakterystyczne i możliwości zastosowania. W dość szczegółowo Autor opisał proces uczenia się ze wzmocnieniem, wykorzystany w czwartym rozdziale rozprawy. W części tej powołał się na odpowiednio wybrane, aktualne źródła literatury. Kolejną część rozdziału stanowi opis sposobów oceny efektywności algorytmów uczenia maszynowego z podziałem na opisanie wcześniej ich rodzaje. Wydaje się, że chodzi tu raczej o ocenę przydatności poszczególnych rodzajów algorytmów ze względu na efektywność otrzymanych wyników. Na uwagę zasługuje zestawienie miar ocen klasyfikatorów w Tabeli 9, z uwzględnieniem ich zalet i wad. Natomiast pierwszy akapit pod tą tabelą jest niezrozumiały. Ostatni podrozdział rozdziału drugiego zawiera przegląd literatury dotyczącej zastosowania uczenia maszynowego. Ta część pracy jest napisana w sposób usystematyzowany i przemyślany, co stanowi jej walor. Autor, opierając się na wskazanym źródle literatury, przytoczył procedurę przeglądu literatury, która posłużyła identyfikacji luki badawczej. Następnie sformułował sześć pytań badawczych, które dotyczyły rodzaju uczenia maszynowego, celu i oceny jego wykorzystania, danych wejściowych i wyjściowych wraz z ich częstotliwością, a także efektywności. Wyniki przeglądu literatury Autor syntetycznie przedstawił w Tabeli 14. W mojej opinii ta część stanowi istotny wkład Autora.

Rozdział trzeci rozprawy poświęcony jest w całości algorytmom uczenia ze wzmocnieniem. Wykorzystując odpowiednio dobraną literaturę Autor opisał wybrane algorytmy. Podobnie jak we wcześniejszych częściach rozprawy pod koniec pierwszego podrozdziału zestawiał w sposób tabelaryczny opisane algorytmy i wskazał ich podstawowe zalety i wady. Drugi podrozdział stanowi kolejny przegląd literatury, w tym przypadku zastosowania algorytmów uczenia ze wzmocnieniem w procesie budowy portfela inwestycyjnego. W trzecim podrozdziale Autor opisał szczegółowo algorytm G-learning, natomiast w ostatnim podrozdziale problem budowy portfela inwestycyjnego z wykorzystaniem algorytmu G-learning. Na s. 187 pojawia się zdanie, że „(...) autor przekształcił opracowany problem budowy portfela do zarządzania majątkiem na problem optymalizacji portfela inwestycyjnego.” Tu należałoby się uzasadnienie dlaczego zarządzanie portfelem Autor utożsamia z optymalizacją portfela. Struktura tego rozdziału nie jest zrozumiała. Brak uzasadnienia dlaczego tylko jednemu z algorytmów Autor poświęcił dwa podrozdziały, a inne zawarł w podrozdziale pierwszym tego rozdziału. W kolejnym rozdziale wykorzystał ten algorytm jednakże należałoby o tym wcześniej wspomnieć.

Ostatni, czwarty rozdział rozprawy, stanowi badanie własne Autora. Tytuł rozdziału sugeruje wykorzystanie wybranych algorytmów podczas gdy już w pierwszym zdaniu Autor deklaruje wykorzystanie tylko algorytmu G-learning. Wyniki badania z wykorzystaniem algorytmu porównane zostały z wynikami dla portfeli tworzonych zgodnie z teorią Markowitza oraz z wynikami dla portfeli uwzględniającymi koszty transakcyjne. Przyjęte kryteria optymalności portfela to: maksymalizacja stopy zwrotu, minimalizacja ryzyka mierzonego odchyleniem standardowym oraz optymalizacja wskaźnika łączącego stopę zwrotu i ryzyko. W pierwszym podrozdziale autor opisał metodykę badania, w kolejnym opisał sposób przygotowania danych generowanych, w następnym zaś danych empirycznych. Zakres badania jest relatywnie szeroki, obejmuje aktualne dane rzeczywiste (4167 obserwacji dziennych). Doktorant wykorzystał stopy zwrotu obligacji, walut, akcji i towarów, na ich podstawie utworzył również portfel mieszany. Analiza statystyczna została poprawnie przeprowadzona. Kolejną część rozdziału stanowi opis wyników badań. Badanie zostało prawidłowo przygotowane i przeprowadzone. Wynik badań zostały w pracy przejrzysto przedstawione i skomentowane. Ostatni podrozdział zawiera główne, wypunktowane wnioski z badania. Autor wykazał, że wykorzystanie zaproponowanego algorytmu przyniosło lepsze przeciętne wyniki dla każdej klasy aktywów niż w przypadku stosowania klasycznych metod tworzenia portfeli. Potwierdził zatem podaną we wstępie tezę dotyczącą przewagi stosowania uczenia maszynowego nad klasycznymi metodami tworzenia portfeli.

Zakończenie stanowi syntetyczne podsumowanie całej pracy. Autor powtórzył w nim cel pracy. Następnie opisał krótko zawartość każdego z rozdziałów. Doktorant wskazał swój wkład własny w rozwój badań. Wykazał, że w literaturze przedmiotu brak metodyki testowania efektywności strategii tworzenia portfeli inwestycyjnych z uwzględnieniem danych generowanych i danych empirycznych. Zaproponował więc swoją procedurę w tym zakresie. Następnie opisał przeprowadzone przez siebie badanie empiryczne. Według Autora przedstawił on oryginalne rozwiązanie problemu optymalizacji portfela inwestycyjnego z wykorzystaniem wybranego algorytmu uczenia maszynowego ze wzmocnieniem G-learning. Doktorant wskazał także możliwości rozszerzenia zaproponowanego przez siebie badania.

Wykorzystana w rozprawie bibliografia jest bogata i aktualna. Zawiera 384 pozycje, w tym książki, artykuły naukowe i źródła internetowe. Jak już wcześniej wspomniałam zabrakło pierwotnych źródeł literatury dotyczących analizy portfelowej.

W pracy występują pewne nieścisłości, na przykład na s. 197 Autor pisze :W pierwszej części tego rozdziału zostanie opisana metodyka badania, czyli konstrukcja problemu (...)”. Trudno zgodzić się z takim sformułowaniem. Na s. 207, Autor wskazuje, że zebrano dane dzienne od 31 grudnia 2005 roku do 21 grudnia 2021 roku „(...) co przekłada się na prawie 16 lat oraz 4167 dziennych obserwacji”. Raczej 16 lat, co stanowi 4167 obserwacji.

Rozprawa została napisana poprawnym językiem. Autor zastosował formę bezosobową. Pojawia się jednak także forma osobowa, na przykład na s. 82 w pogrubionym tekście. Występują drobne błędy redakcyjne, np. w pozycji 348 bibliografii numery stron podane są w nawiasie.

Podsumowując, przedłożona do recenzji rozprawa mgr. Grzegorza Tratkowskiego wskazuje, że Autor wykazał się w niej znajomością współczesnego rynku finansowego, rozeznaniem aktualnego stanu badań w zakresie uczenia maszynowego i elementów z nim związanych. Wykazał się również umiejętnością przygotowania i przeprowadzenia badania empirycznego, z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi statystycznych.

Wskazane powyżej uwagi krytyczne nie umniejszają ogólnie pozytywnej oceny pracy. Ostatecznie jako wkład własny w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse można wskazać (1) usystematyzowanie definicji „sztucznej inteligencji” i „uczenia maszynowego”, (2) dokonanie przeglądu literatury z zakresu uczenia maszynowego wraz z jego uzasadnieniem i

syntetycznym zestawieniem, (3) propozycję badania efektywności portfeli inwestycyjnych uwzględniających dane generowane i dane empiryczne dla różnego rodzaju aktywów finansowych, (4) przygotowanie i opis badania wykorzystującego uczenie maszynowe ze wzmocnieniem dla różnego rodzaju instrumentów finansowych, (5) ocenę efektywności tworzonych portfeli i interpretację wyników.

3. Wnioski końcowe

Przedstawiona do oceny przez Pana mgr. Grzegorza Tratkowskiego rozprawa doktorska pod tytułem . „Dynamiczna optymalizacja portfela inwestycyjnego z wykorzystaniem uczenia ze wzmocnieniem” stanowi zwartą pracę. Doktorant zawarł w niej zarówno wiedzę teoretyczną, jak i empiryczną, za zakresu uczenia maszynowego oraz budowy optymalnych portfeli inwestycyjnych, zawierających różne instrumenty finansowe. Stwierdzam, że Autor wniósł wkład w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse.

Autor wykazał się znajomością współczesnych badań dotyczących wykorzystania uczenia maszynowego do konstrukcji portfela optymalnego ze względu na wybrane kryterium optymalizacji. Praca charakteryzuje się oryginalnością i spójnością. Doktorant samodzielnie określił cel pracy, zidentyfikował lukę badawczą, zaproponował procedurę oceny efektywności portfeli inwestycyjnych, przeprowadził własne badania empiryczne, a zatem wykazała się umiejętnością rozwiązywania problemów naukowych.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. Grzegorza Tratkowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w obowiązujących przepisach zgodnie z treścią art.187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668).



Sopot, 05.02.2023r.