

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Yasena Asada Mhanna Rajihy**  
**nt. „ICA and Artificial Neural Networks in Supporting Decision Process**  
**on the Example of the Capital Market”**

Napisanej pod kierunkiem dr hab. Inż. Kesry Nermenda, prof. US

**Uzasadnienie wyboru tematu pracy**

Globalizacja i integracja gospodarcza objawia się zwiększonym wzajemnym uzależnieniem się gospodarek oraz upodobnianiem się państw i społeczeństw. Specjaliści wymieniają zarówno zalety, jak i wady tych procesów. Do tych pierwszych oprócz wymiany dóbr i usług, kapitału i inwestycji, zalicza się transfer technologii i wspomaganie rozwoju społecznego. Wadami wspomnianych procesów jest polaryzacja społeczeństw i rozprzestrzenianie się kryzysów (ryzyka).

Niewątpliwie globalizacja i integracja nie byłyby możliwe gdyby nie odpowiednie zapisy legislacyjne umożliwiające międzynarodowe i międzyregionalne przepływy dóbr, usług, kapitału i wiedzy. Jednakże – o czym należy pamiętać - niezwykle istotnym elementem jest rozwój technik komputerowych i telekomunikacji, który umożliwia sprawne zawieranie transakcji. Jest to szczególnie widoczne na rynkach finansowych charakteryzujących się znaczną dynamiką, na których dość powszechnie wykorzystywany jest już tzw. handel algorytmiczny lub handel wysokich częstotliwości (*algorithmic trading, algo trading, czy high frequency trading*), polegający na zawieraniu wielu transakcji w bardzo krótkim okresie czasu. W tym celu tworzone są specjalne platformy handlu elektronicznego, w których wykorzystywane są automatyczne systemy informatyczne pozwalające na składanie ofert

kupna i sprzedaży na podstawie analiz ogromnych zbiorów danych (tzw. *big data*) pochodzących z rynku.

Można oczywiście podjąć w tym miejscu krytykę handlu wysokiej częstotliwości poprzez stwierdzenie, że rozpowszechnianie się handlu algorytmicznego na rynku kapitałowym powoduje np. utratę przez ten rynek jego podstawowej roli takiej jak wycena spółek, nie zmienia to jednak faktu, że ten rodzaj handlu na rynkach finansowych jest coraz bardziej popularny i dynamicznie się rozwija. W związku z tym podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest aktualna i ważna.

### **Ocena merytoryczna pracy**

Praca została napisana w języku angielskim i składa się z pięciu rozdziałów, poprzedzonych Wstępem i podsumowanych Zakończeniem. Rozprawa uzupełniona została spisem literatury, załącznikami na płycie CD oraz ośmio-stronicowym streszczeniem w języku polskim. Bibliografia zawiera około 300 pozycji literatury głównie anglojęzycznych, chociaż odwołano się też do kilku polskich opracowań. Podstawowy tekst pracy mieści się na 205 stronach, a cała rozprawa zawiera 247 stron tekstu.

We Wstępie sformułowano cele: główny i poboczny pracy. Celem głównym jest zbadanie możliwości zastosowania analizy składowych niezależnych (*Independent Component Analysis*) i sztucznych sieci neuronowych (*Artificial Neural Networks*) do wspomagania procesu podejmowania decyzji inwestycyjnych. Natomiast cel pomocniczy polega na zbudowaniu modelu prognozującego ceny, wykorzystując wspomniane wyżej metody (- tj. budowa modelu zintegrowanego).

Sformułowano również dwie hipotezy badawcze. Według pierwszej z nich, jednoczesne zastosowanie analizy składowych niezależnych i sztucznych sieci neuronowych do prognozowania cen na giełdzie pozwala na bardziej precyzyjną prognozę dzięki identyfikacji i eliminacji szumu informacyjnego. Natomiast druga stwierdza, że zintegrowany model predykcyjny, skonstruowany przy użyciu analizy składowych niezależnych i sztucznych sieci neuronowych, może być użytecznym narzędziem w procesie podejmowania decyzji inwestycyjnych i to zarówno dla praktyków, jak i teoretyków.

Oceniając hipotezy badawcze należy stwierdzić, że zostały one sformułowane z wyraźnym odcieniem aplikacyjnym. Dotyczą bowiem istotnych zagadnień związanych z dokładnością prognoz generowanych przez modele matematyczne, co ma kluczowe znaczenie

dla praktyki inwestycyjnej, czy szerzej gospodarczej. Dokładność prognoz jest niezwykle istotna w procesie podejmowania decyzji, a budowa odpowiednich modeli wzbogaca teorię.

Rozdział pierwszy stanowi ogólne wprowadzenie do problematyki rynku kapitałowego, będącego elementem rynku finansowego. W pierwszym podrozdziale Autor omawia strukturę rynku kapitałowego jego uczestników oraz instrumenty. Drugi podrozdział poświęcono zagadnieniom związanym z podejmowaniem decyzji inwestycyjnych, a trzeci – roli prognozowania na rynku kapitałowym.

Rozdział drugi stanowi przegląd metod prognozowania finansowych szeregów czasowych oraz strategii inwestycyjnych. Dwa ostatnie podrozdziały poświęcono metodom analizy szeregów czasowych oraz sztucznym sieciom neuronowym i ich zastosowaniu w prognozowaniu finansowych szeregów czasowych. Wskazano również na rodzaje i własności finansowych szeregów czasowych, chociaż pominięto dyskusję dotyczącą problemów modelowania szeregów o opisanych charakterystykach. Wydaje się, że zawarta w pierwszym podrozdziale charakterystyka funkcji giełd papierów wartościowych i skrótowy opis ich organizacji powinny znaleźć się w poprzednim rozdziale.

W rozdziale trzecim przedstawiono analizę składowych niezależnych, będącą nowoczesną techniką przetwarzania sygnału. Kolejne podrozdziały poświęcono omówieniu podstawowych pojęć, prezentacji algorytmów i przeglądowi zastosowań analizy składowych niezależnych na rynkach finansowych.

Rozdział czwarty zawiera opis struktury i parametrów proponowanego przez Doktoranta modelu prognozowania notowań giełdowych. Pierwszy podrozdział jest przeglądem wybranych aspektów konstrukcji i algorytmów trenowania sztucznych sieci neuronowych, ze wskazaniem na algorytm wstecznej propagacji błędu. Oprócz tego omawiane są liniowa analiza dyskryminacyjna, metoda k-najbliższych sąsiadów oraz naiwny klasyfikator Bayesowski. Dokonując wyboru najlepszej (spośród wspomnianych wyżej) metody prognostycznej, zaprezentowano wyniki realizacji eksperymentu empirycznego dla danych pochodzących z Al Rajhi Bank (tablica 1 s. 143), wskazując na algorytm wstecznej propagacji błędu jako generujący prognozy najbardziej zbliżone do danych rzeczywistych. W dalszej części omówiono model sztucznej inteligencji i technikę jego trenowaniu w oparciu o algorytm wstecznej propagacji błędu. W mojej ocenie tytuł i sama konstrukcja tego podrozdziału są błędne, bowiem składa się on z dwóch części, które pełnią odmienną rolę. Pierwsza część (kończąca się na s. 143) stanowi skrótowy opis wybranych metod i empiryczną weryfikację ich przydatności do realizowanych przez Doktoranta celów badawczych i ta część powinna albo być kontynuacją wprowadzenia do rozdziału czwartego,

albo mieć inny tytuł np. *Method Selection*. Natomiast druga część (rozpoczynająca się na s. 143) może być opatrzona tytułem tego podrozdziału, bowiem w istocie omawia kwestie związane z konstrukcją sieci neuronowej i algorytmem wstecznej propagacji błędów.

W dalszej części tego rozdziału przedstawiono różne podejścia do uporządkowania metody składowych niezależnych. Ostatni podrozdział zawiera opis zaproponowanego przez Doktoranta schematu budowy modelu prognozowania, powstałego w wyniku integracji metody składowych niezależnych z algorytmem wstecznej propagacji błędów, stosowanej do wyznaczenia wag (parametrów) sztucznych sieci neuronowych.

Rozdział piąty ma charakter empiryczny i zawiera opis eksperymentów numerycznych, polegających na prognozowaniu notowań dwóch banków islamskich: Abu Dhabi Islamic Bank oraz AI Rajhi Islamic Bank, których skrótową charakterystykę zawarto w podrozdziale drugim. W tabelach i na wykresach przedstawiono wyniki uzyskane dla zbiorów testowych tj. takich danych, które nie były wykorzystane w procesie trenowania sieci neuronowej (czyli będące poza próbą estymacyjną). Przeprowadzono kompleksową ocenę jakości prognoz dla różnie skonstruowanych i trenowanych modeli prognostycznych, wykorzystując w tym celu znane mierniki jakości prognoz, opisane w pierwszym podrozdziale. Kompleksową ocenę efektywności modeli przeprowadzoną na podstawie eksperymentów empirycznych dotyczących danych z obu banków islamskich przedstawiono w trzecim podrozdziale.

W Zakończeniu podsumowano przedstawione w pracy rozważania z punktu widzenia realizacji założonych celów badawczych i weryfikacji postawionych hipotez. Wskazano również na wkład własny Doktoranta i kierunki dalszych badań.

### **Ocena formalna pracy**

Strukturę pracy, mimo przedstawionych drobnych uwag, oceniam jako poprawną. Redakcja rozprawy nie budzi zastrzeżeń, chociaż brak w niej wartkiego toku wywodów, na co niewątpliwie ma wpływ fakt, że nie jest pisana w ojczystym języku Doktoranta. W pracy znajdują się liczne odniesienia do literatury przedmiotu, której dobór – zamieszczony w spisie bibliografii – oceniam jako poprawny i bogaty.

### **Wnioski końcowe**

Dokonując oceny rozprawy doktorskiej mgr Yasena Asada Mhanna Rajhy należy stwierdzić, że przedstawiona do recenzji praca doktorska zawiera w sobie elementy studiów

literaturowych i badań własnych. Interesujące są rozważania dotyczące modelowania i prognozowania cen papierów wartościowych za pomocą różnych metod. Oryginalnym wkładem jest zaproponowany zintegrowany model wykorzystujący metodę składowych niezależnych i sztuczne sieci neuronowe trenowane algorytmem wstecznej propagacji błędów. Uzyskane wyniki empiryczne wydają się bardzo obiecujące z punktu widzenia możliwości ich zastosowania w praktyce. Tym samym postawione hipotezy badawcze zostały zweryfikowane, a cele badawcze osiągnięte.

Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska mgr Yasena Asada Mhanna Rajhy spełnia wymagania określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w dziedzinie sztuki z dnia 14. marca 2003 roku, w związku z czym wnioskuję o dopuszczanie Doktoranta do dalszych etapów procedury w przewodzie doktorskim i o nadanie stopnia naukowego doktora nauk ekonomicznych w dyscyplinie nauk o zarządzaniu.

