

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Michała Palucha

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Michała Palucha zatytułowana: „*Predykcja cen akcji na giełdzie z zastosowaniem modeli analityczno-neuronowych*”. Promotorem rozprawy jest Pani dr hab. inż. Lidia Jackowska-Strumiłło, Prof. PŁ a przewodź zmierza do nadania stopnia naukowego w dyscyplinie naukowej **Informatyka**. Podstawą formalną do sporządzenia tej recenzji było pismo Prodziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, prof. dr hab. inż. Michała Strzeleckiego, datowane 10.11.2016, oparte na uchwale Rady Wydziału z dnia 08.11.2016.

Zanim zacznę prezentować moją opinię na temat przedłożonej pracy pragnę wyjaśnić pewną kwestię, dotyczącą mojej osoby, gdyż moi liczni Przyjaciele i Znajomi na Wydziale EEIA PŁ, znający mnie do tej pory głównie jako specjalistę od zagadnień sztucznej inteligencji (zwłaszcza sieci neuronowych) a także systemów analizy, przetwarzania i rozpoznawania obrazów (głównie medycznych) – mogą przeżyć chwilę zwątpienia widząc mnie w roli recenzenta, wypowiadającego się na temat pracy ulokowanej wyraźnie na pograniczu sztucznej inteligencji (traktowanej tu jako podobszar informatyki) i ekonomii. Otóż pragnę oświadczyć, że to nie jest wynik mojej próby zuchwałego wkroczenia na grunt tak odległy od moich własnych badań, że stawiający pod znakiem zapytania moje kompetencje. Mało kto wie, ale można to sprawdzić w Informatorze Nauki Polskiej albo w bazie OPI, ale ja **od ponad ćwierć wieku** jestem nieprzerwanie także profesorem krakowskiej Akademii Ekonomicznej (obecnie Uniwersytet Ekonomiczny), prowadzę tam wykłady z projektowania i implementacji systemów informatycznych dla potrzeb biznesu, mam rokrocznie kilkunastu magistrantów uzyskujących tytuły zawodowe w zakresie ekonomii, a także wypromowałem trzech doktorów nauk ekonomicznych. Publikuję sporo prac na temat informatycznego wspomaganie procesu zarządzania, a także przez kilka lat byłem doradcą Prezesa BPH ds. informatyzacji (wdrażałem tam pierwszy w Polsce scentralizowany system bankowy PROFILE itd.).

Napisałem o tym wszystkim łamiąc w pewnym sensie konwencję typowej recenzji rozprawy doktorskiej (która powinna być skoncentrowana na Doktorancie, a nie na Recenzencie) – ale obawiałem się, że moja recenzja bez tego wyjaśnienia mogłaby robić wrażenie recenzji

niekompetentnej, przy czym wrażenie to byłoby tym silniejsze, im bardziej Czytający byłby przekonany, że zna obszary mojej działalności naukowej.

Po tym nietypowym rozpoczęciu recenzji wracam do właściwego toku prezentacji mojej opinii i rozpocznę ocenę rozprawy Pana Palucha od ogólnej oceny zawartej w niej problematyki.

Uważam, że cel i zakres pracy, zdefiniowany bardzo precyzyjnie na początku rozprawy (co bardzo pochwalam, bo od razu wiadomo, o co w tej pracy chodzi!), są wybrane kompetentnie i z dużą znajomością rzeczy. Na tę opinię składa się kilka elementów.

Po pierwsze jest to praca dotycząca zadania stworzenia narzędzia informatycznego wspomagającego decyzje inwestorów. Takich prac wprowadzie już kilka było. Między innymi pod moim kierunkiem pisane były prace: **J. Rybarski**: *System decyzyjny ułatwiający wykorzystanie informacji o zjawiskach socjalno-ekonomicznych przy wyborze firm inwestujących na danym terenie* – obrona na AGH 02.02.2009; **R. Domaradzki**: *Zastosowanie sieci neuronowych do generowania wielokryterialnych strategii decyzyjnych (inwestycyjnych) na przykładzie Giełdy Papierów Wartościowych* – obrona na AGH 22.08.2007; **J. Morajda**: *Metody sztucznej inteligencji w zarządzaniu portfelem inwestycyjnym* – obrona na AE w Krakowie 20.04.1999; **B. Maciaszek**: *Modelowanie ciągło - dyskretne w analizie procesu realizacji inwestycji* – obrona na AE w Krakowie 12.11.1986). Wymienię tu także pracę **Marty Kraszewskiej** z Katedry Automatyki AGH zatytułowaną: „*Neuronowe modele decyzyjne w inwestowaniu w instrumenty pochodne na indeks WIG20 Giełdy Papierów Wartościowych*”. Promotorem tej pracy była wprowadzie Pani Prof. dr hab. inż. Ewa Dudek-Dyduch, ale powstała ona w kierowanej przeze mnie Katedrze i była związana z moją inspiracją.

Wymieniam powyższe prace żeby wzmocnić moją tezę, że wybierając temat swojej rozprawy mgr Paluch „wszedł na często uczęszczany teren”. Jednak po przestudiowaniu rozprawy przekonałem się (z przyjemnością!), że opiniowana tu praca mgr Palucha wnosi wartościowy, znaczący, a przede wszystkim **oryginalny** wkład do wybranej problematyki. Wynika to z faktu, że Autor bardzo roztropnie „nie postawił wszystkiego na jedną kartę” i obok bardzo mądrze stosowanych sieci neuronowych wykorzystywał w swoich badaniach także analizę techniczną i analizę fraktalną, co wespół z sieciami neuronowymi (oznaczanymi w rozprawie jako SSN) daje możliwość stosowania – jak to sam Autor nazwał - nowego, **hybrydowego** podejścia. Tę naukową inicjatywę oraz perfekcyjne dopracowanie szczegółów oceniam bardzo pozytywnie. Rzeczywiście, modele hybrydowe są mniej podatne na fałszywe sygnały pochodzące z GPW niż SSN i choć zapewniają mniejszy zysk, zmniejszają ryzyko popełnienia błędu oraz strat.

Cenię także to, że mgr Paluch zmierzał w swojej pracy do opracowania systemu wspomagającego dość szczególny rodzaj decyzji inwestycyjnych w ramach tzw. „*daytradingu*”, czyli zakupu i sprzedaży walorów tego samego dnia. Odróżnia to opiniowaną tu pracę doktorską od innych znanych mi prac na temat predykcji giełdy, gdyż te prace innych autorów operują zwykle dłuższymi horyzontami prognozy. Taka oryginalność jest z pewnością walorem rozprawy, szkoda więc, że Autor nie podkreślił jej w sformułowanych na stronie 12 **tezach** rozprawy. Niemniej tezy te w pełni akceptuję i podkreślam ich wartość naukową. Dotyczy to zwłaszcza Tezy 1. formułującej ważny (po udowodnieniu, co jednak w opiniowanej pracy nastąpiło) wniosek, że stosowanie odpowiednio połączonych i wzajemnie się uzupełniających podejść angażujących obliczenia neuronowe, analizę techniczną i analizę fraktalną pozwala uzyskać lepsze wyniki (dokładniejszą predykcję cen akcji na giełdzie) od rozdzielnie stosowanych modeli analitycznych oraz modeli neuronowych.

Teza 2. (głosząca, że system informatyczny wykorzystujący proponowane przez Doktoranta podejście umożliwia osiągnięcie zysków na poziomie wyższym od indeksów giełdowych) ma charakter praktyczny. Z pewnością Doktorant miał prawo ją sformułować (i tryumfalnie udowodnić), bo w ten sposób wykazał, że to, co osiągnął, ma wartość także w rozumieniu czysto ekonomicznym. Jednak **naukowo** teza ta moim zdaniem wnosi stosunkowo niewiele. Zauważmy bowiem, że przy założeniu prawdziwości pierwszej tezy – druga jest trywialnie oczywista, bowiem stwierdza ni mniej ni więcej tylko to, że mając lepsze prognozy (a to wynika z pierwszej tezy) podejmujemy korzystniejsze decyzje i osiągamy większe zyski. Czy może być inaczej?

Ale nie przyłączam się do tego szczegółu i jeszcze raz potwierdzam, że tezy sformułowano poprawnie i że wyznaczają one problem naukowy o stopniu trudności i poziomie ważności odpowiadającym ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym tezom rozpraw doktorskich.

Akceptuję także zestaw pięciu zadań badawczych, które Doktorant wskazał jako „kamienie milowe” w dążeniu do udowodnienia założonych tez rozprawy, a wyprzedzając nieco argumentację przedstawioną w dalszej części recenzji stwierdzam, że zasygnalizowana sekwencja zadań została w ocenionej pracy zrealizowana poprawnie, a nawet z dużym znanstwem, w wyniku czego Doktorantowi udało się osiągnąć cel, jakim było stworzenie nowego narzędzia doradczego dla inwestorów, opartego na sieciach neuronowych i narzędziach analitycznych wykorzystywanych łącznie.

Przechodząc do szczegółowej analizy zawartości pracy stwierdzam, że Autor rozpoczął pracę od przeglądu (w trzecim rozdziale rozprawy) zagadnień związanych z analizą danych z Giełdy Papierów Wartościowych (GPW) w Warszawie. Najpierw przedstawił podstawy funkcjonowania giełdy (bardzo skrótowo, być może nawet nadmiernie skrótowo), a potem omówił (obszernie, szczegółowo i bardzo kompetentnie) techniki prognozowania przyszłych notowań: analizę techniczną (często używaną) i analizę fraktalną (mniej popularną, ale bardzo interesującą).

W kolejnym rozdziale (czwartym) mgr Paluch omówił technikę sztucznych sieci neuronowych. Opis ten nie wyczerpał wszystkich zagadnień związanych z budową, uczeniem i stosowaniem modeli neuronowych, ale z punktu widzenia potrzeb ocenianej pracy opis ten można uznać za wystarczający. Następny rozdział (piąty) dotyczy modelowania szeregów czasowych. Tu znowu bardzo obszerną problematyką włożono w bardzo ograniczoną objętość tekstu bardzo profesjonalnie zbudowanego opisu, podającego wszystkie potrzebne wiadomości, ale nie przeciążonego nadmiarem szczegółów.

Omówione wyżej rozdziały rozprawy (1 – 5) mają charakter przeglądu literatury. Autor wykazał w nich nieprzeciętną wiedzę i erudycję, ale własnych (oryginalnych) wyników naukowych nie pokazał, przeto z punktu widzenia oceny pracy jako rozprawy doktorskiej (gdzie oceniane są głównie oryginalne osiągnięcia naukowe Autora) mają one znaczenie pomocnicze. Natomiast w związku z godną uznania umiejętnością mgra Palucha zbierania i zwartej przedstawiania najistotniejszych elementów rozważanych zagadnień wyrażam opinię, że ta część rozprawy będzie zapewne w przyszłości nieocenionym wręcz źródłem informacji źródłowych dla wielu kolejnych badaczy.

Oryginalne wyniki naukowe Doktoranta znaleźć można natomiast w dalszych rozdziałach rozprawy. Bardzo cenny pod tym względem jest zdecydowanie rozdział 6. W jego pierwszej części (podrozdział 6.1) znaleźć można bardzo cenne przykłady badania efektywności modeli decyzyjnych opartych na sieciach neuronowych (tak zwanych modeli C-SSN, w których na wejście SSN wprowadzane są tylko ceny zamknięcia z poprzednich n -dni). Wniosek, jaki wyciąga Autor na podstawie przeprowadzonych badań, jest wnioskiem negatywnym: modele C-SSN zostały (słusznie!) uznane za niewystarczające, aby na ich podstawie można było inwestować na giełdzie.

Dlatego w kolejnym podrozdziale (6.2) przyszła kolej na zapowiadane od początku pracy model hybrydowe. Uważam to za najciekawszy element ocenianej pracy. Sprzęgnięcie analizy technicznej, pełniące rolę „preprocesora” między danymi z giełdy i wejściem sieci neuronowej jest dobrym pomysłem, a wyniki przytaczane przez Doktoranta potwierdzają tę tezę. Jednak wyniki

uzyskane w opisanym modelu nadal nie zadowalały Autora, dlatego w kolejnym podrozdziale (6.3) mgr Paluch uwzględnił zastosowanie sztucznych sieci neuronowych, analizy technicznej oraz analizy fraktalnej, a następnie uruchomił dość obszerne badania empiryczne, których przebieg i wyniki opisano w podrozdziale 6.4. Celem badań było wybranie najlepszej struktury modelu hybrydowego z SSN oraz określenie najlepszej kombinacji wskaźników AT i AF – i miło mi odnotować, że cel ten został osiągnięty.

Wyniki prac badawczych opisanych w rozdziale 6. rozprawy posłużyły do zbudowania narzędzia informatycznego nadającego się do praktycznych zastosowań. Narzędziem tym jest autorski ekspertowy system informatyczny „Predyktor”, opisany w rozdziale 7 rozprawy. Osnową dla budowy wzmiankowanego systemu stanowił język Java oraz Spring Framework. Autor deklaruje, że zbudowany system jest wdrożony na serwer Apache Tomcat, skąd jest dostępny dla użytkowników końcowych. Pokazuje nawet na rysunku 7.2. główny interfejs tego systemu ekspertowego, jednak **nie podaje adresu, pod którym można by było ten system odwiedzić by sprawdzić jego działanie** – na przykład w czasie opiniowania niniejszej pracy. To duża wada, bo oceniając prace informatyczne dobrze jest samemu sprawdzić, jak działa opisywane przez Autora oprogramowanie i na ile sprawdzają się (na innych danych, niż używane w rozprawie!) opracowane przez Doktoranta algorytmy. Bez takiej możliwości weryfikacji trzeba przyjmować jedynie „na wiarę” deklaracje Autora opisującego DZIAŁANIE stworzonego systemu informatycznego, co nie jest rozwiązaniem korzystnym. Jednak wykazując zaufanie do Doktoranta stwierdzam, że pokazane przez mgra Palucha jedynie w formie schematów blokowych autorskie algorytmy zastosowane w zbudowanym systemie wyglądają sensownie i **zapewne** działają poprawnie.

W rozdziale siódmym poza sieciami neuronowymi badanymi w ramach rozdziału 6. i związanymi z nimi algorytmami opisano także użycie sieci Hopfielda pozwalającej na wspomaganie procesu podejmowania decyzji inwestycyjnych. Ponieważ sygnały z tej sieci mogły być mało zrozumiałe dla typowego użytkownika systemu, dlatego mgr Paluch opracował także autorski algorytm do interpretacji wyników z sieci Hopfielda w kategoriach możliwych do zinterpretowania przez analityka.

Rozdział ósmy rozprawy poświęcony jest opisowi sposobu korzystania z autorskich metod przewidywania cen akcji (opartych na modelach hybrydowych z sieciami SSN) oraz sposobu korzystania z opisanego w poprzednim rozdziale systemu ekspertowego „Predyktor”. Autor założył, że zakup i sprzedaż akcji będą odbywały się tego samego dnia w trakcie otwartej sesji na GPW. Podkreślałem już na wstępie recenzji, że założenie to w dużym stopniu wpływa na moją ocenę stopnia oryginalności pracy, bo znane mi prace innych autorów działają przy znacząco

odmiennych założeniach. Dodatkowo opracowano dwie metody inwestowania oraz wprowadzono realistyczne założenia (między innymi dotyczące prowizji maklerskiej). Symulowane działania inwestycyjne na rzeczywistych ale retrospektywnych danych z GPW dowiodły, że system „Predyktor” może naprawdę pomnożyć zyski z inwestycji. Trzeba jednak dodać, czego Autor pracy nie zrobił, że inwestycje te (kierowane przez system „Predyktor”) nie mogą być zbyt duże. Zarobić może pojedynczy niezbyt bogaty inwestor, ale nie duży potężny fundusz powierniczy. Rynek papierów wartościowych nie jest bowiem rynkiem sztywnym i duże inwestycje oparte na takiej czy innej prognozie mogą zmienić warunki i spowodować, że rzeczywiste notowania zaczną się oddalać od wartości wynikających z prognozy – i to zaczną się oddalać w niekorzystnym kierunku. Dlatego dowody skuteczności takiej czy innej strategii inwestycyjnej oparte na sztywnych danych retrospektywnych, czyli pochodzących z takich sesji GPW na których w rzeczywistości nikt z tej strategii nie korzystał – mogą być mylące gdy idzie o działania dużych inwestorów. Ale oceniana rozprawa mgra Palucha nie jest naukową propozycją dla dużych inwestorów, więc przyjęte w pracy założenia można w pełni akceptować.

Ocenianą pracę kończy krótkie, ale porządnie udokumentowane podsumowanie (numerowane jako dziewiąty rozdział rozprawy), zawierające wnioski. Są one dobrze przedstawione, chociaż nie odnoszą się do wszystkich wykrytych w badaniach prawidłowości i nieprawidłowości działania proponowanej metody przewidywania cen akcji na giełdzie. W podsumowaniu tym wskazano, że stworzone przez Doktoranta modele hybrydowe wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe, analizę techniczną i analizę fraktalną oraz historyczne dane, umożliwiają dobrą predykcję cen akcji na giełdzie, co prowadzi do możliwości ich użycia do zaplanowania strategii inwestycyjnej i osiągnięcie zysków na poziomie wyższym od indeksów giełdowych. Wskazano także, iż uzyskane wyniki potwierdzają prawdziwość obu tez rozprawy, co z przyjemnością potwierdzam i akceptuję.

Tekst pracy uzupełniają dwa dodatki pokazujące odpowiednio błędy uzyskiwane dla sieci neuronowych o różnej liczbie neuronów wejściowych (Dodatek A) oraz wskaźniki analizy technicznej wykorzystywane w dysertacji (Dodatek B).

Podsumowując powyższe omówienie zawartości i najważniejszych osiągnięć rozprawy z przyjemnością stwierdzam, że realizując postawione cele badawcze Doktorant wykazał się umiejętnością prawidłowego formułowania oraz skutecznego rozwiązywania złożonych problemów naukowych i inżynierskich. Uważam więc – co wyrażę jeszcze we wniosku końcowym tej opinii – że **oceniana rozprawa doktorska powinna być przyjęta i zaakceptowana.**

Przy studiowaniu rozprawy napotkałem miejsca, które budziły moje **wątpliwości**, więc będę wdzięczny, jeśli Doktorant wyjaśni te kwestie w trakcie obrony.

Pierwsza wątpliwość wyłoniła się w momencie, gdy Doktorant bardzo kategorycznie stwierdził (str. 58), że każda badana sieć neuronowa powinna być przetestowana 8 razy. To, że badaną sieć trzeba uczyć i testować wielokrotnie – jest rzeczą wiadomą, bo to wynika z indeterminizmu procesu uczenia. Ale dlaczego właśnie **ośmiokrotne** badanie ma być tym właściwym, a nie siedmiokrotne czy dziesięciokrotne? Domyślam się, że mgr Paluch przyjął tę wybraną wartość arbitralnie (i miał do tego prawo!) – ale w takim przypadku nie powinien tej arbitralnej decyzji przedstawiać w tekście pracy jako absolutnego pewnika czy wręcz „prawdy objawionej”!

Druga wątpliwość dotyczyła sposobu prowadzenia testów. Doktorant pisze (str. 59), że badania prowadził metodą kolejnych eliminacji, budując początkowo 351144 sieci i wybierając potem kolejno najlepsze sieci zgodnie z różnymi kryteriami. Dalej wzmiankuje, że w innych badaniach przebadanych zostało łącznie 1.219.107 modeli hybrydowych. Są to wyniki imponujące, ale **obowiązkiem** Autora było wskazanie w tym miejscu **narzędzia informatycznego**, z pomocą którego wykonywano te badania (bo przecież nie przetestował ponad miliona sieci „ręcznie”). Piszę o tym, bo jednym z głównych wymagań stawianych pracy naukowej jest to, że musi ona być „intersubiektywnie weryfikowalna”. Chodzi o takie przedstawianie wyników badań, by inny badacz mógł odtworzyć warunki doświadczenia, powtórzyć je – i sprawdzić, czy dostanie taki sam wynik. Tutaj tego elementu zabrakło! Można **przypuszczać**, że w trakcie eksperymentów mających na celu optymalizację modelu było używane oprogramowanie opisane potem (w dużym skrócie!) w rozdziale 7. rozprawy. Jednak po pierwsze badania o których mowa opisane są w rozdziale 6, a oprogramowanie dyskutowane jest w rozdziale 7, więc czytelnik jest początkowo zdezorientowany w tej sprawie, a po drugie owo oprogramowanie przedstawiane jest w rozdziale 7. pod tytułem: „*Ekspertowy system informatyczny wspomagający podejmowanie decyzji inwestycyjnych*” co sugeruje, że prezentowany jest gotowy finalny produkt, a nie narzędzie badawcze.

Trzecia wątpliwość dotyczy rozważań na temat wpływu architektury sieci na wyniki (podrozdział 6.4.1.). Analizując wyniki dla zmiennej liczby wejść do sieci mgr Paluch odnotował empirycznie ustalony przez siebie fakt, że ze wzrostem liczby wejść błąd działania sieci rośnie. Nie nadał jednak temu stwierdzeniu właściwej interpretacji, a należało, bo jest to stwierdzenie raczej paradoksalne: **gdy sieć ma więcej informacji na wejściu to gorzej działa!**

Dlaczego?

Doktorant tego nie wyjaśnia ani nie komentuje, dlatego spróbuję to zrobić za niego, prosząc o ustosunkowanie się do mojej sugestii w trakcie obrony.

Otóż sugeruję, że **zapewne** wynika to z faktu, iż zwiększona liczba wejść do sieci implikuje zwiększoną (czasem nawet z kwadratem!) liczbę współczynników wagowych, których wartości muszą być ustalone w trakcie procesu uczenia. Doktorant nie wspomina nigdzie o liczbie danych składających się na zbiór uczący, ale jest rzeczą oczywistą, że liczba ta była ograniczona. Ograniczona liczba danych w zbiorze uczącym oznacza jednak także ograniczoną ilość informacji, którą proces uczenia może przenieść ze zbioru uczącego do zbioru parametrów uczonej sieci. Jeśli zbiór uczący jest za mały w stosunku do zbioru parametrów uczonej sieci, to proces uczenia nie jest w stanie prawidłowo wyznaczyć optymalnych wartości tych parametrów (współczynników wagowych neuronów), co powoduje, że taka potencjalnie „mądrzejsza”, ale fatalnie niedouczona sieć, działa gorzej, niż sieć mniejsza, ale z optymalnie dobranymi parametrami.

Dla potwierdzenia (lub sfalsyfikowania) tego mojego przypuszczenia namawiam Doktoranta do tego, by przeprowadził doświadczenie **wielokrotnego** uczenia sieci o ustalonej wcześniej empirycznie optymalnej liczbie wejść (8 do 12 wg. wzmianki na stronie 65 ocenianej rozprawy) oraz sieci o zdecydowanie za dużej liczbie wejść (30 wg. informacji zawartej na rysunku 6.18). Jeśli moje przypuszczenie jest słuszne – to powinno się dać zaobserwować mały rozrzut jakości wyników kolejnych „seansów” nauczania dla sieci optymalnej i duży rozrzut dla sieci „przewymiarowanej”. Ciekawe, czy doświadczenie potwierdzi to przypuszczenie?

Podobne wyjaśnienie może wiązać się także z **prawą** stroną wykresu pokazującego wpływ liczby neuronów ukrytych na jakość działania sieci (rys 6.21 na stronie 66). Lewa strona tego wykresu, pokazująca tendencję wzrostową jakości działania sieci wraz ze wzrostem liczby neuronów ukrytych jest łatwiejsza do wyjaśnienia – po prostu do pewnego momentu wzrost „możliwości intelektualnych” sieci (mierzonych liczbą zawartych w nich neuronów ukrytych) wiąże się w oczywisty sposób z polepszaniem jakości ich działania. Natomiast prawa strona wykresu wymaga uzasadnienia – i propozycję takiego uzasadnienia właśnie sformułowałem.

Pewna niejasność wiąże się dla mnie także ze sprawą **funkcji aktywacji neuronów**, badanych w podrozdziale 6.4.2 rozprawy. Doktorant wskazał tam (jako przedmiot swoich badań) trzy formy funkcji aktywacji neuronów: funkcję sigmoidalną, tangens hiperboliczny oraz funkcję logarymiczną. I właśnie ta ostatnia budzi moje zdziwienie, bowiem jest w tym zastosowaniu wielce nietypowa! Funkcję sigmoidalną stosują prawie wszyscy, tangens hiperboliczny także bywa dość

często stosowany, ale funkcję logarytmiczną jako funkcję aktywacji neuronów napotykam po raz pierwszy. Co przemawiało za jej wyborem (zresztą – jak pokazały badania – nietrafnym)?

Oceniana praca jest bardzo starannie zredagowana, co jednak nie oznacza, że nie da się w niej wskazać pewnych usterek, które ze wspomnianego wyżej obowiązku recenzenckiego postaram się także przedstawić – oczywiście mając pełną świadomość, że usterki te dotyczą spraw nawet nie drugo- ale wręcz trzeciorzędnych.

- Pierwszą usterkę zauważyłem już na stronie 8 w pierwszym wierszu wykazu symboli. Napisano tam: „*współczynnik momentu*” a powinno być „*współczynnik momentum*”.
- Z kolei na stronie 11 razi niepotrzebne użycie wielkiej litery w tekście „*na całym Świecie*”
- Niezręczne jest sformułowanie „puentujące” piąty rozdział rozprawy (na stronie 42): „*w dalszej części pracy rozważane będą tylko modele oparte o SSN*”. Przecież istotną wartością rozprawy jest korzystanie z modeli **hybrydowych**, wykorzystujące obok SSN także metod AT oraz AF, więc taka zapowiedź dezorientuje czytelnika!
- Wadliwy redakcyjnie jest także (moim zdaniem) tytuł Tabeli A.1: *Najmniejszy błąd MSE osiągnięty przez SSN w stosunku do liczby neuronów wejściowych*. Sformułowanie „*w stosunku do*” jest tu moim zdaniem nieodpowiednie.

Generalnie jednak merytoryczna zawartość rozprawy a także jej forma zasługują na pochwałę. Powiem więcej: jest to jedna z lepszych prac, jakie zdarzyło mi się oceniać!

Przeto przechodząc do wniosku końcowego tej recenzji stwierdzam, że opiniowana rozprawa **mgr inż. Michała Palucha** zatytułowana: „*Predykcja cen akcji na giełdzie z zastosowaniem modeli analityczno-neuronowych*” **spełnia wymagania** **odnośnej Ustawy**. Praca ta może być przyjęta jako rozprawa doktorska, a moja opinia na temat jej wartości naukowej jest **pozytywna**. Dlatego wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej o **dopuszczenie** Autora rozprawy, mgr inż. Michała Palucha do jej publicznej obrony.

Ponadto z powodów, które były wyżej wymienione, wnioskuję o **wyróżnienie** tej rozprawy.

Mój wniosek uzasadniam tym, że opiniowana dysertacja mgra Michała Palucha tym się między innymi wyróżnia, że przy wspomaganie decyzji inwestycyjnych **bardzo pomysłowo odwołuje się do modelu hybrydowego będącego Jego oryginalną autorską koncepcją**. Model ten oparty jest na sieciach neuronowych połączonych z dwiema metodami analitycznymi, co jest rozwiązaniem nie spotykanym w pracach innych autorów. Dodatkowo jakość sugestii generowanych przez stworzony

przez Doktoranta system została polepszona pomyslowym użyciem sieci Hopfielda. Wszystkie elementy systemu wspomagania decyzji inwestorów zostały w pracy prawidłowo dobrane, dobrze dostosowane do przeznaczonego im zadania i trafnie użyte. Wszystkie rozważania prowadzone w pracy są merytorycznie poprawne i wyróżniają się wysokim poziomem innowacyjności. W wykazie literatury rozprawy można znaleźć **pięć prac**, których pierwszym autorem jest mgr Paluch - i są to prace publikowane w dobrych czasopismach. Dlatego ze swojej strony oceniam tę dysertację i ten dorobek naukowy o wiele wyżej, niż typową pracę doktorską, co uzasadnia mój wniosek o **wyróżnienie** tej rozprawy oraz jej Autora.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'P. Paluch', written in a cursive style.