



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki

Instytut Matematyki Stosowanej i Mechaniki

prof. dr hab. Urszula Forys
kierownik Zakładu Biomatematyki i Teorii Gier
Instytut Matematyki Stosowanej i Mechaniki
Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki
Uniwersytetu Warszawskiego
Banacha 2, 02-097 Warszawa

Święcice, 31.07.2026

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Advancing Explainability and Predictive Accuracy in AI-Driven Cardiovascular Risk Assessment. A Hybrid Statistical and Neural Network Approach

Autor rozprawy: mgr Nishadha Himanshi Hikkaduwa Liyanage

Promotor rozprawy: prof. dr hab. Andrzej Nowakowski

Promotor pomocniczy: dr Marta Lipnicka

Recenzja została sporządzona w związku z postanowieniem Komisji Uniwersytetu Łódzkiego ds. stopni naukowych w dyscyplinie informatyka z dnia 9.06.2026 roku i otrzymaniem przeze mnie listu od Przewodniczącego Komisji, prof. Tomasza Gwizdały, z prośbą o ocenę rozprawy doktorskiej pani mgr Nishadhi Himanshi Hikkaduwy Liyanage. Celem recenzji jest ocena spełnienia przez rozprawę doktorską mgr Liyanage warunków określonych w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.).

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska została złożona na Uniwersytecie Łódzkim i ma być podstawą do przyznania stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie informatyka. Ponieważ nie jestem specjalistką w tej dyscyplinie, rozumiem, że moją rolę – jako specjalistki w zakresie szeroko pojętej biomatematyki – jest przyjrzenie się rozprawie od strony zastosowań. Rozprawa doktorska „Advancing Explainability and Predictive Accuracy in AI-Driven Cardiovascular Risk Assessment. A Hybrid Statistical and Neural Network Approach” dotyczy modelowania ryzyka chorób sercowo-naczyniowych w oparciu o rzeczywiste dane i wykorzystanie zarówno metod uczenia maszynowego (ML), jak i klasycznych metod statystycznych. Takie podejście bardzo dobrze wpisuje się w nowoczesne trendy prac interdyscyplinarnych, gdzie matematyka i informatyka pełnią swego rodzaju służebną rolę w stosunku do innych dziedzin – tu nauk biomedycznych. Tematyka rozprawy jest ściśle związana z publikacją w renomowanym czasopiśmie, gdzie doktorantka jest pierwszą autorką:

- H. Liyanage, M. Lipnicka: Computational framework for dynamic cardiovascular risk assessment with cluster-specific Cox models and cumulative risk analysis, Archives of Control Sciences 36(LXXII) 2026, 99 – 131

- Przydałoby się wyjaśnienie, jak powstaje wykres KDE (wykres estymacji gęstości jądra) dla konkretnych danych.
- Zastanawiam się, dlaczego przy analizie BMI Autorka podkreśliła ekstremalnie duże wartości, a nie wspomniała o bardzo małych. Nie tylko otyłość, ale też przesadna chudość nie są zdrowe. W opisie histogramu dla tej cechy pojawia się stwierdzenie, że jest pik w histogramie dla wartości średnich, natomiast widać pik dla wartości najmniejszych, a nie dla średnich.
- Ponownie w opisie histogramu, tym razem dla ciśnienia, są wymienione trzy piki, a jest także wyraźny pik w okolicy 105 mmHg.
- Zastanawiam się, dlaczego w histogramach dla zmiennych ciągłych i kategoriowych na osi pionowej są różne wielkości – „Frequency” vs. „Count”? Wydaje się, że „Count” oznacza liczbę przypadków, ale nie wiem, jak mierzona jest częstotliwość (Frequency).
- Wykresy na rys. 1.10, obrazujące zależność występowania chorób sercowo-naczyniowych od zmiennych kategoriowych, w większości nie zgadzają się z opisem (oprócz cholesterolu) – na wykresach płeć i aktywność wydają się prawie nie mieć związku z zachorowaniem, a palenie i picie poprawiają sytuację.

3. Rozdział 2

- Brakuje w tekście odnośników do rysunków 2.1 oraz 2.2.
- W podrozdziale 2.1.5 czytamy, że „perceptron learning algorithm can converge to a stable solution”, a wcześniej było, że zbiega. Zatem zbiega czy może zbiegać?
- Podrozdział 2.1.6 powtarza to, co już było zdefiniowane wcześniej, więc nie rozumiem, czemu to ma służyć, skoro podrozdział nie wprowadza niczego nowego.
- We wstępnej części podrozdziału 2.2 czytamy: „Common activation functions include sigmoid, ReLU, and tanh”, bez wyjaśnienia, co to oznacza. Co prawda później jakieś wyjaśnienia się pojawiają, ale generalnie w takiej sytuacji przydałby się komentarz – proste obliczenia są wyjaśniane kilkakrotnie, a tu (i dotyczy to nie tylko tego fragmentu z funkcjami aktywacji) się pojawia nowe określenie i nie jest wyjaśnione... Później w podrozdziale 2.2.1 pojawia się z kolei określenie „traditional activation functions” i znów czytelnik nie będący specjalistą w zakresie ML musi się domyślać, o jakie funkcje chodzi.
- W podrozdziale 2.2.3 Autorka używa „min-max scaling”, ponownie bez sprecyzowania danego pojęcia.
- W podrozdziale 2.2.5 nareszcie pojawiają się definicje zastosowanych metryk charakteryzujących zdolność sieci do odzwierciedlania danych, przy czym nie bardzo rozumiem, dlaczego „F1-score” jest zapisany w taki dziwny sposób, skoro to średnia harmoniczna „Precision” (precyzja) i „Recall” (czułość).
- W tabeli 2.2 przedstawione zostały testowane architektury i różne metryki je charakteryzujące. W tekście mamy argumentację, dlaczego wybrana została pierwsza architektura („highest classification accuracy”), ale muszę przyznać, że nie do końca mnie to przekonuje. Oczywiście różnice między testowanymi architekturami są niezbyt znaczące, więc logiczne wydaje się wybranie najprostszej.

4. Rozdział 3

- We wzorze (3.5) pojawia się definicja współczynnika s_k jako iloczynu skalarnego dwóch wektorów (tu w_k i x_i), który to iloczyn przewija się przez tę część rozprawy wielokrotnie i jest różnie przez Autorkę nazywany, a to „dot product”, a to „inner product”, więc mam wątpliwość odnośnie zrozumienia tego zapisu.
- W podrozdziale 3.5.1 po raz kolejny pojawia się nowe, ważne określenie, „silhouette score” (miara sylwetkowa), które nie zostało zdefiniowane. Czytelnik nie będący specjalistą w zakresie klasteryzacji, raczej nie ma szansy wiedzieć, co to takiego...
- Na rysunku 3.1 widzimy wykres miary sylwetkowej w zależności od liczby klastrów. Choć rzeczywiście wielkich różnic w tym rankingu nie ma, to jednak wybór $K=15$ wydaje się w tym momencie dziwny... Jest różnica rzędu wielkości dla $K=10$ oraz $K=15$. Faktycznie

bardziej zwięzły. W szczególności rozdział 3, przygotowany w nawiązaniu do publikacji Autorki (z promotor pomocniczą), jest napisany zdecydowanie lepiej niż rozdział 2. Dodatkowo – analiza wykorzystanych danych powinna moim zdaniem stanowić oddzielny rozdział, zamiast być przedstawiona we wstępie. W rozdziale 2 odnośniki do równań w tekście są niepoprawnie złożone – równania mają numery zamknięte w nawiasach, a w tekście nawiasów brakuje. Pojawiają się też zbędne wcięcia/akapity, szczególnie po wycentrowanych wzorach matematycznych. W rozdziale 3 odnośniki są poprawne. W rozdziale 4 pojawiają się niepotrzebne wolne linie, które stanowią przerwy w tekście nie związane z nowymi akapitami.

4. Osiągnięcia naukowe

Główne osiągnięcia naukowe, na podstawie których wnioskuję poniżej o dopuszczenie do obrotu, to:

- zaproponowanie struktury jednokierunkowej sieci neuronowej (FFNN) do oceny ryzyka chorób sercowo-naczyniowych;
- wytrenowanie sieci na rzeczywistych danych klinicznych;
- zbadanie odpowiednich charakterystyk wybranej sieci w kontekście potencjalnego wykorzystania do oceny ryzyka zachorowania na choroby sercowo-naczyniowe;
- zaproponowanie modelu bazującego na podziale populacji pacjentów na podgrupy w oparciu o mechanizm „Winner-take-all” (WTA) w połączeniu z analizą statystyczną w podgrupach w oparciu o model Coxa (proporcjonalnego ryzyka);
- zbadanie odpowiednich charakterystyk zaproponowanego modelu w kontekście potencjalnego wykorzystania do oceny ryzyka chorób sercowo-naczyniowych;
- zastosowanie skumulowanego współczynnika częstości występowania (CPR) jako interpretowalnej miary długoterminowego ryzyka sercowo-naczyniowego (współczynnik ten został zaproponowany w publikacji współautorstwa Doktorantki);
- przeprowadzenie analizy porównawczej obu zaproponowanych metod z wypunktowaniem ich stron mocnych i słabych;
- przeprowadzenie analizy porównawczej zaproponowanych modeli w kontekście modeli znanych z literatury.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Powyżej przedstawiłam już pewne uwagi krytyczne dotyczące redakcyjnej strony rozprawy. Poniżej przedstawiam dodatkowe uwagi szczegółowe, głównie merytoryczne.

Uwagi szczegółowe:

1. Pierwsza ogólna uwaga dotyczy wykorzystanych danych oraz algorytmów numerycznych. Standardem wydaje się teraz udostępnianie w odpowiednich repozytoriach zarówno danych, które są wykorzystywane w przeprowadzanych analizach, jak również kodów, by można było po pierwsze – łatwo zweryfikować otrzymane wyniki, a po drugie – móc przetestować kody na innych zbiorach danych. Niestety dane nie zostały udostępnione, natomiast umieszczenie kodów w pracy – skądinąd konieczne w rozprawie z zakresu informatyki – nie jest równoważne z przygotowaniem odpowiedniego repozytorium.
2. Kolejna ogólna uwaga związana jest z wykorzystywanymi w rozprawie dość licznie różnymi miarami, statystycznymi i nie tylko, które albo nie są wcale wyjaśniane, albo pojawiają się wyjaśnienia heurystyczne, natomiast nie ma odpowiednich definicji. Moim zdaniem byłoby sensowne, gdyby autorka przygotowała dodatek, w którym przedstawiłaby wszystkie stosowane w rozprawie miary, by ułatwić czytanie pracy.
3. Rozdział 1
 - W podrozdziale 1.3.1 przy analizie danych, najpierw w tabeli 1.1, a potem także w tekście pojawia się IQR w postaci pary liczb. IQR, czyli rozstęp międzykwartylowy, to z definicji liczba, a nie para liczb. Rozumiem, że tu błędnie zastosowano nazwę, a wypisane zostały pierwszy i trzeci kwartyl.

blem badawczy, „The Cardiovascular Disease (CVD) Dataset Used for the Research” i „Summary of Exploratory Data Analysis and Dataset Readiness”, dotyczące wykorzystanych w rozprawie danych, oraz „System Specification”, czyli krótki opis wykorzystanego sprzętu i oprogramowania.

Rozdział 2, zatytułowany „APPLICATION OF FEEDFORWARD NEURAL NETWORKS FOR CARDIOVASCULAR RISK ASSESSMENT”, opisuje wykorzystanie metod ML, konkretnie jednokierunkowych sieci neuronowych, do modelowania ryzyka chorób sercowo-naczyniowych. Składa się z 4 podrozdziałów, z których dwa pierwsze są ustrukturyzowane za pomocą kolejnych podrozdziałów. Podrozdział 2.1 pt. „Artificial Neural Networks (ANNs)” stanowi krótkie wprowadzenie do sztucznych sieci neuronowych, zaczynając od najprostszej struktury pojedynczego neuronu, a następnie Autorka wprowadza pojęcie perceptronu, jako podstawę do jednokierunkowej sieci neuronowej (FFNN). Podrozdział 2.2 „Feedforward Neural Networks for Cardiovascular Risk Prediction” to główny fragment rozdziału 2 od strony merytorycznej, w którym Doktorantka przedstawia swoją propozycję modelowania ryzyka zachorowania na choroby sercowo-naczyniowe za pomocą FFNN oraz analizuje odpowiednie metryki charakteryzujące przydatność uzyskanego modelu do predykcji. Podrozdział 2.3 „Discussion” przedstawia dyskusję otrzymanych wyników, natomiast podrozdział 2.4 „Conclusion” stanowi krótkie podsumowanie całego rozdziału 2.

Rozdział 3 pt. „A HYBRID COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR CARDIOVASCULAR RISK STRATIFICATION” dotyczy modelu nazwanego przez Doktorantkę hybrydowym, który został zaproponowany jako alternatywa dla sieci FFNN. Składa się z sześciu podrozdziałów i w zasadzie tworzy zamkniętą całość (pomijając odniesienia do rozdziału 2), zaczynając się od podrozdziału 3.1 „Introduction”, a kończąc na podrozdziale 3.6 „Discussion”. W „Introduction” przedstawione zostały motywacje dotyczące zmiany podejścia do modelowania ryzyka chorób sercowo-naczyniowych z globalnego, reprezentowanego przez FFNN, na takie, w którym heterogeniczna populacja pacjentów jest podzielona na podgrupy o podobnym ryzyku zachorowania. Podrozdział 3.2 „Related Work” stanowi krótki przegląd literatury w kontekście metodologii rozdziału 3, w szczególności omówiona została praca współautorstwa Doktorantki z promotorem pomocniczą „Computational framework for dynamic cardiovascular risk assessment with cluster-specific Cox models and cumulative risk analysis”, *Archives of Control Sciences* 36(LXXII) 2026, 99 – 131. Podrozdział 3.3 „Problem Formulation and Research Objectives” przedstawia omawiany problem od strony teoretycznej – zdefiniowana została macierz cech, zbiór obserwacji powstał jako uzupełnienie tej macierzy o obserwowany czas do zdarzenia oraz indykatory zdarzenia (0 lub 1), wprowadzona została funkcja przeżycia oraz funkcja hazardu oraz zależność między tymi funkcjami. Następnie wyjaśniony został podział populacji na podpopulacje w oparciu o mechanizm konkurencyjnego uczenia zwany „Winner-take-all” i zdefiniowana została funkcja hazardu dla podgrup/klastrów. Podrozdział 3.4 „Proposed Computational Framework” opisuje trzyetapową strukturę modelu: podział na klastry, zastosowanie modelu Coxa do poszczególnych klastrów, estymację ryzyka zachorowania przy użyciu współczynnika CPR. W podrozdziale 3.5 „Results” opisane zostały wyniki modelowania, a „Discussion” zawiera obszerną dyskusję dotyczącą hybrydowego typu modelowania, łącznie z podkreśleniem mocnych i słabych stron, a także możliwych kierunków udoskonalenia zaproponowanego podejścia.

Rozdział 4 „DISCUSSION AND CONCLUSION”, składa się z dwóch podrozdziałów – 4.1 „Discussion” i 4.2 „Conclusion”. Na uwagę zasługuje zamieszczona w „Discussion” charakterystyka porównawcza modeli zaproponowanych w pracy i znanych z literatury pokazująca, że obrany kierunek modelowania dobrze się sprawdza na tym tle.

Rozprawa została przygotowana w języku angielskim, zawiera streszczenie po angielsku (Abstract), ale brakuje streszczenia po polsku. Od strony edytorskiej mam niewiele uwag. Przede wszystkim czytając rozprawę ma się wrażenie, że Autorka wielokrotnie powtarza te same treści, odrobinę tylko zmieniając słowa. Wydaje się, że zasadnicze treści można było przekazać w sposób

1. Tematyka rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy doktorskiej została dobrze odzwierciedlona w jej tytule. Autorka zajęła się ważnym z medycznego punktu widzenia problemem analizy ryzyka wystąpienia chorób sercowo-naczyniowych i zaproponowała dwa modele identyfikujące to ryzyko w oparciu o zbiór danych pochodzących z trzech jednostek opieki zdrowotnej na Sri Lance. Z jednej strony wykorzystała zaawansowane metody uczenia maszynowego (ML), a z drugiej połączyła takie metody z klasycznymi modelami statystycznymi, co stanowi o kompleksowości prezentowanego podejścia. W związku z tym uważam, że podjęta tematyka jest zarówno ważna jak i aktualna, a przeprowadzone badania wnoszą istotny wkład w dyscyplinę *informatyka* w kontekście jej zastosowań biomedycznych i dobrze wpisują się w trend badań, które określamy mianem *bioinformatyka*.

2. Cele badawcze

Cele badawcze rozprawy zostały jasno sformułowane na początku rozprawy w rozdziale 1.2 „Problem statement”, jak również w streszczeniu, a następnie obszernie skomentowane w dyskusji na końcu rozprawy. Jako główny cel rozprawy Doktorantka wskazała zaproponowanie zintegrowanego hybrydowego modelu do oceny ryzyka chorób sercowo-naczyniowych, który łączyłby skuteczność metod wykorzystujących ML – którym niestety brakuje interpretowalności – z klasycznymi metodami statystycznymi – mniej skutecznymi, za to dającymi możliwość zinterpretowania wyników. Model taki miał zostać skonfrontowany z „czystym modelem ML”. Postawione zostały następujące pytania badawcze.

1. Jaką wydajność predykcyjną ma model zbudowany w oparciu o jednokierunkową sieć neuronową (FFNN w rozprawie, rozdział 2) w porównaniu z wydajnością modelu hybrydowego (rozdział 3)?
2. Czy modelowanie uwzględniające podgrupy może poprawić interpretowalność bez obniżania dokładności predykcji?
3. Jakie kompromisy pojawiają się w kontekście wykorzystania w predykcji klinicznej globalnych modeli FFNN i podejścia hybrydowego?
4. W jaki sposób można ustrukturyzować wyniki modelowania uzyskane przy użyciu obu podejść, aby lepiej wspierać podejmowanie decyzji w praktyce klinicznej?

W mojej ocenie postawione cele i pytania badawcze są ważne, nietrywialne, a użyta metodologia właściwa i aktualna, tym samym więc spełniają wymagania stawiane przed pracami doktorskimi. Wskazane cele zostały zrealizowane, a sformułowane pytania znalazły odpowiedzi poparte rzetelnymi badaniami.

3. Organizacja, zawartość i strona redakcyjna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 81 stron, na których przedstawione zostały główne wyniki, ale dodatkowo, prócz stron tytułowych, dedykacji oraz spisów treści, rysunków i tabel, zawiera także dwa dodatki – stanowiące kluczowy element rozprawy – prezentujące implementację numeryczną proponowanych modeli w Pythonie. Została podzielona na 4 rozdziały, w tym dwa główne rozdziały zawierające opisy dwóch podejść do modelowania ryzyka chorób sercowo-naczyniowych. Statystyczną analizę wykorzystywanego zbioru danych przedstawiono we wstępie, a ostatni rozdział zawiera obszerną dyskusję otrzymanych wyników, także na tle modeli znanych z literatury. W pracy zawarto bibliografię, która liczy 69 pozycji, dotyczących zarówno bezpośrednio metod numerycznych, ML i statystycznych, jak też zastosowań tychże w ocenie ryzyka chorób sercowo-naczyniowych.

Rozdział 1 pt. „INTRODUCTION” składa się z pięciu podrozdziałów, których tytuły w jednoznaczny sposób identyfikują zawartość: „Background and research context” z podrozdziałem „Research Gap”, stanowiącym wstępną argumentację dotyczącą potrzeby dalszej pracy nad modelowaniem ryzyka chorób sercowo-naczyniowych, „Problem Statement”, w którym zdefiniowano pro-

między 1 a 12 dużej różnicy nie ma... Przypadłaby się lepsza argumentacja – w tekście czytamy, że wybór „is guided by additional criteria”, ale nie udało mi się ich znaleźć.

- Szkoda, że Autorka nie zamieściła w tym rozdziale analizy podobnej do tej z publikacji swojego współautorstwa, gdzie przedstawiony został ranking cech pod względem istotności dla przynależności do danego klastra.

6. Konkluzja

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr Nishadhi Himanshi Hikkaduwy Liyanage zawiera bardzo wartościowe wyniki, które w przyszłości mogą posłużyć w praktyce klinicznej nie tylko do oceny ryzyka wystąpienia chorób sercowo-naczyniowych, ale stanowią rzetelną bazę do modelowania ryzyka wystąpienia różnych chorób na podstawie danych klinicznych.

Dorobek publikacyjny Autorki jest wystarczający w świetle obowiązujących przepisów.

W związku z powyższym, rozprawa ta spełnia warunki Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.) i może być przedmiotem publicznej obrony w dziedzinie nauk ścisłych w dyscyplinie *Informatyka*. Wniosuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pani mgr Nishadhi Himanshi Hikkaduwy Liyanage do publicznej obrony.

prof. dr hab. Urszula Foryś