

Prof. dr hab. inż. Jacek Rumiński  
Politechnika Gdańska,  
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i  
Informatyki  
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
email: jacek.ruminski@pg.edu.pl

Gdańsk, 30.05.2025

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

*Hubert Świerczyński*

zatytułowanej:

*APPLICATION OF MACHINE LEARNING TECHNIQUES IN GLAUCOMA  
DETECTION AND CONTROL*

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Dziekana Wydziału Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej, prof. Mikołaja Morzy, informującego mnie, że zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Poznańskiej, z dnia 25 marca 2025 roku, zostałem wskazany jako recenzent rozprawy doktorskiej Pana mgr. Huberta Świerczewskiego, przygotowanej po opieką promotora dr. hab. Szymona Szczęsnego oraz promotora pomocniczego dr. Cezarego Mazurka. Rozprawa jest napisana w języku angielskim, dlatego cytowane fragmenty będą w niniejszej recenzji przywoływane w oryginale.

### **1. Problem badawczy i jego znaczenie**

Doktorant precyzyjnie sformułował tezę rozprawy, wskazując problem naukowy do rozwiązania: „It is possible to efficiently support glaucoma diagnosis and control using machine learning techniques for analysis of Trigerfish CLS and cardiac sensor data supplemented with selected clinical measurements of the eye”. Wskazany problem naukowy dotyczy poszukiwania metod do wczesnej detekcji jaskry, zakładając zastosowanie soczewki kontaktowej z wbudowanym tensometrem oporowym do pomiaru zmian kształtu rogówki oraz wykorzystanie urządzeń monitorujących parametry układu sercowo-naczyniowego. Doktorant wskazuje, że zarejestrowane zmiany objętości gałki ocznej mogą umożliwiać ocenę zmiany ciśnienia wewnątrz gałki ocznej, istotnej przy ocenie ryzyka jaskry.

Rozprawa ma charakter naukowy, gdyż postawiony problem jest oryginalny i nie był wystarczająco zbadany, aby wykluczyć ryzyko badawcze, polegające na oczywistej odpowiedzi na postawiony problem. Doktorant właściwie wykorzystał eksperymentalne metody badawcze, w ramach których zebrał dane i poddał je seriom analiz z wykorzystaniem metod statystycznych i uczenia maszynowego w celu sformułowania określonych wniosków.

Jaskra jest poważnym i częstym problemem związanym z układem wzrokowym, prowadzącym do pogorszenia lub nawet utraty widzenia. Dlatego wszelkie prace badawcze, które mogą prowadzić w kierunku wiarygodnej oceny ryzyka wczesnego wystąpienia jaskry, mają istotny wymiar praktyczny.

## 2. Wkład autora

Za kluczowe osiągnięcia Doktoranta uważam:

- Opracowanie i weryfikacja modeli uczenia maszynowego ukierunkowanych na wsparcie diagnostyki jaskry z wykorzystaniem danych rejestrowanych z układów Triggerfish CLS i czujników pomiaru parametrów układu sercowo-naczyniowego.
- Opracowanie i weryfikacja potoku przetwarzania danych pomiarowych, który umożliwia ocenę relacji danych z czujników Triggerfish CLS z danymi czujników pomiaru parametrów układu sercowo-naczyniowego.

Inne osiągnięcia autora obejmują aspekty potencjalnie istotne z praktycznego punktu widzenia, takie jak:

- Implementacja systemu oprogramowania do wsparcia diagnostyki jaskry w oparciu o modele uczenia maszynowego.
- Opracowanie funkcji wizualizacji danych w celu identyfikacji cech związanych z przebiegiem jaskry i rokowaniem.
- Opracowanie scenariuszy współpracy badawczej dla okulistów i naukowców zajmujących się danymi w obszarze związanym z tematyki rozprawy.

Doktorant wskazał w rozprawie, że część propozycji i wyników opisanych w pracy została wcześniej opublikowana w publikacjach wskazanych jako A1 (opublikowana w Scientific Reports, 03.2025), A2, C1 (konferencja) i P1 (patent). W pozycjach A1 i A2 Doktorant jest pierwszym autorem, a w pozostałych pracach jest ostatnim współautorem.

W publikacji wskazanej w rozprawie jako A2 (<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105350>) podano precyzyjnie podział pracy pomiędzy autorami:

**“Hubert Świerczyński:** Writing – original draft, Writing – review & editing, Visualization, Formal analysis, Software. **Juliusz Pukacki:** Data curation, Methodology. **Szymon Szczęsny:** Writing – review & editing, Validation. **Cezary Mazurek:** Supervision, Methodology. **Robert Wasilewicz:** Supervision, Conceptualization, Investigation.”

Na podstawie powyższych deklaracji można stwierdzić, że Doktorant przeprowadził analizę formalną oraz opracował oprogramowanie związane m.in. z uczeniem maszynowym. Natomiast części pracy badawczej związane z opracowaniem koncepcji badań, metod badawczych jak i przetwarzania danych realizowane były przez innych współautorów. Oczywiście rozprawa doktorska jest szersza niż opis metod i wyników wskazanych w publikacji A2. Niemniej, część wyników przedstawionych w rozprawie (kluczowy rozdział 6) jest spójna w powyższą publikacją, dlatego chciałbym skierować do Doktoranta pytanie/prośba, w przypadku publicznej obrony pracy:

P1. Ponieważ osiągnięcia wskazane w rozprawie (str. 3) ściśle pokrywają się z osiągnięciami publikacji A2, proszę określić i opisać czy i w jakim zakresie (udział) Doktorant zaadoptował

znane metody uczenia maszynowego i na czym polegał rozwój „efektywnych modeli predykcyjnych ML” przez Doktoranta.

W publikacji A1 również wskazano udział poszczególnych autorów:

“Conceptualization: C.M., R.W., J.P., H.Ś.; Data acquisition and management: R.W., J.P.; Manuscript writing and editing: H.Ś., S.S.; Software design and implementation: H.Ś.; Investigation: R.W.; Statistical analysis: H.Ś.; Supervision: S.S., C.M. All authors reviewed the manuscript.”

Wyraźnie wskazano, że Doktorant był współautorem koncepcji badań, analizy statystycznej oraz praktycznej części eksperymentów poprzez zaprojektowanie i implementację oprogramowania.

Podsumowując, na podstawie rozprawy oraz kluczowych publikacji związanych tematyką rozprawy, których Doktorant jest pierwszym autorem stwierdzam, że można wystarczająco wyróżnić indywidualny wkład autora w realizację badań i wskazanych osiągnięć.

### **3. Poprawność**

Elementy badań naukowych Doktoranta dotyczące tez opisano w rozdziałach 5-8, przy czym kluczową część w mojej ocenie stanowi rozdział szósty.

W badaniu opisywanym w rozdziale szóstym Doktorant wskazuje udział 105 osób, w tym 67 kobiet i 38 mężczyzn. W dalszej części Doktorant wskazuje, że w ramach grupy badawczej było 45 przypadków kategorii „high tension glaucoma” (POAG/HTG), 21 przypadków kategorii „normal tension glaucoma” (POAG/NTG) oraz 39 w grupie kontrolnej (NORM). Nie wiem natomiast dlaczego Doktorant wskazuje, iż „minority class involves common diagnosis types that are labeled in the thesis as NOT NORM” i dalej „Randomly selected cases in the majority class (NORM) were skipped”. Skoro przypadków w grupie kontrolnej było mniej, to dlaczego dokonano jeszcze zmniejszenia liczebności tej klasy? Dlatego na poczet przyszłej dyskusji kieruję następujące pytanie/prośbę:

P2. Proszę wyjaśnić, na czym polegała procedura selekcji/pomijania przykładów dla zrównoważenia zbioru i jak losowość tej operacji wpływała na wyniki końcowe.

Powyższe pytanie związane jest również z dalszym opisem w rozdziale 6, w którym Doktorant wskazuje zastosowaniem metody zwiększenia przykładów dla kategorii NORM: „Additionally, assessment of the results was performed using SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique [76] for the input dataset to oversample NORM class. We generated balanced set containing 70 NORM and 69 NOT NORM cases (i.e. 139 total)”.

Doktorant wskazał, że rejestrowano pomiary ciśnienia krwi za pomocą SOMNOtouch NIBP. Nie jest dla mnie jasne, jak dokonano procedury kalibracji oraz czy wyznaczono dokładność pomiaru ciśnienia krwi. W tym zakresie również mam pytanie na poczet przyszłej dyskusji:

P3. Proszę wyjaśnić, jak przeprowadzano procedury kalibracji dla urządzenia SOMNOtouch NIBP oraz jak błąd dokładności pomiarów ciśnienia tą techniką mógł wpływać na uzyskiwane wyniki.

W analizie spektralnej danych z czujników (str. 40) Doktorant wyznaczał cechy w dziedzinie częstotliwości: „*Periodograms of raw TF were generated for sleep wake interval. Peaks around 1 Hz are related to the heart rate. We computed frequency of the main components and maximum and mean power in the relevant peak clusters. Preliminary evaluation of the selected ML models enhanced with these numerical features didn't show improvement*”. Przedstawiony opis nie jest dla mnie jasny i dlatego mam kolejne pytanie:

P4. Proszę pokazać przykładowe periodogramy, a następnie proszę określić rozdzielczość wyznaczania częstotliwości dla stosowanych w pracy częstotliwości próbkowania sygnałów TF i ich czasu trwania oraz poddać dyskusji uzyskane wyniki w świetle rezultatów z rozdziału 6.

Podsumowując wyniki z rozdziału 6, mogę stwierdzić, że Doktorant prawidłowo zastosował metodę walidacji krzyżowej, wielokrotnie powtarzał eksperymenty celem redukcji przypadkowości wyników i wskazania statystyki rezultatów, zastosował szereg znanych metod uczenia maszynowego oraz przeprowadził analizę wyników zgodnie z klasyczną metodą badawczą. Dlatego opisywane wyniki są godne zaufania.

Doktorant wykazał, że stosując jedynie klasyczny parametr ciśnienia w oku IOP lub parametry biomechaniczne oka uzyskiwane są mniejsze własności predykcyjne w zakresie detekcji jaskry niż w przypadku zespołu atrybutów powiększonego o parametry zaproponowane w pracy. Ponieważ jednak, jak wskazuje np. rysunek 6.12, duże znaczenie predykcyjne mają cechy bazujące na pomiarach częstości akcji serca i ciśnienia krwi, to ważne byłoby sprawdzenie, czy parametry klasycznie mierzone dla oka jak IOP, CH, CRF w połączeniu jedynie z parametrami wyodrębnionymi z pomiarów HR/DAP/SAP/MAP nie dają również dobrych wyników predykcyjnych (tj. bez udziału TF). W każdym bowiem scenariuszu przedstawionym w tablicy 6.5 (tj. dla metod m5-m9) występują cechy związane z TF i nie jest jasne, czy zbadano również kombinację parametrów, o których wspomniano wyżej. Stąd pojawia się pytanie:

P5. Czy zbadano zestaw cech złożony z parametrów klasycznych jak IOP, CH, CRF w połączeniu jedynie z parametrami wyodrębnionymi z pomiarów HR/DAP/SAP/MAP w zakresie własności predykcyjnych dotyczących jaskry?

Jeśli tego nie zbadano, to możliwe jest, że cechy wyodrębnione z HR/DAP/SAP/MAP mogą wpływać na poprawę zdolności predykcyjnych modeli, a nie cechy uzyskane z TF. Tym bardziej że analiza eksploracyjna pokazana w rozdziale 8, wskazuje na widoczne zróżnicowanie pomiędzy kategoriami NORM i NTG, uwzględniając parametry ciśnienia krwi. Relacje te powinny być zweryfikowane przez Doktoranta.

Warto przy okazji wskazać, że stosowanie kolorów czerwonego i zielonego jako przeciwnych w wizualizacji nie jest najlepszą metodą, ze względu na umiarkowany kontrast tych barw, szczególnie dla osób z daltonizmem (co można zweryfikować, stosując stosowne symulatory np. na stronie <https://daltonlens.org/colorblindness-simulator>).

Opisywane w rozdziale 7 rozwiązania związane są raczej z aspektami technicznymi, wynikającymi z aspektów naukowych przedstawionych w rozdziale 6. Wskazany projekt systemu wraz z elementami wizualizacji danych i wyników jest bardzo cenny, niemniej w nie wnosi istotnych nowości w aspekcie badawczym. Ciekawa w kontekście analitycznym jest analiza eksploracyjna związana z cechami przedstawiona w rozdziale 8.

#### 4. Wiedza kandydata

W rozdziałach 3 i 4 Doktorant opisuje bardzo podstawowe zagadnienia związane z tematyką rozprawy dotyczące jaskry i jej metod detekcji, w szczególności z wykorzystaniem modeli uczenia maszynowego. Opisuje również na bardzo podstawowym poziomie wybrane aspekty dotyczące metod uczenia maszynowego. Uważam, że taki podstawowy opis nie jest konieczny w rozprawie doktorskiej, a lepiej, żeby Doktorant skupił się na pogłębionej analizie stanu wiedzy, wskazując aktualne osiągnięcia w obszarze uczenia maszynowego (np. z zastosowaniem nowoczesnych architektur np. bazujących na transformerach) zamiast skupiać się na przykład na podstawach w zakresie regresji (przedstawionej raczej jako problem analityczny, nie jako problem uczenia maszynowego).

Niemniej, Doktorant wskazał, iż posiada odpowiednią wiedzę w zakresie podstaw uczenia maszynowego, problemów zastosowania takich metod w diagnostyce medycznej oraz prowadzenie badań z uwzględnieniem wstępnego przetwarzania danych, zastosowania walidacji krzyżowej, wyboru metod uczenia maszynowego, zastosowania właściwych metryk, wizualizacji wyników oraz dyskusji i oceny rezultatów prac badawczych. Mogę stwierdzić, że istnieją przesłanki do oceny, że kandydat posiada ogólną wiedzę w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja.

Doktorant przywołał w rozprawie 97 publikacji. Łącznie 36 pozycji literatury to publikacje nowe, tj. zaprezentowane w ciągu ostatnich pięciu lat. Szereg z tych prac dotyczy aspektów bardzo ogólnych (np. wartości norm, metod uczenia maszynowego z zastosowaniem R i H2O, itp.). Są to prace częściowo powiązane z tematyką rozprawy. Niemniej zabrakło aktualnych publikacji jak np. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2024.105042>, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105607>, w których wykorzystano szereg nowoczesnych metod (m.in. zastosowaniem mechanizmu uwagi) w problemie zastosowania metod uczenia maszynowego do detekcji jaskry. Prace takie powinny być dodane i omówione w przeglądzie stanu wiedzy zamiast bardzo podstawowych rozważań w zakresie elementarnych podstaw np. regresji liniowej.

Ponadto zabrakło mi bardziej szczegółowej analizy prac związanych z wykorzystaniem czujników w soczewkach kontaktowych we wspomaganiu diagnostyki i leczenia jaskry, np.: <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2019.02.003>, <https://doi.org/10.1016/j.bmt.2023.03.001>, <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2024.103777>.

#### 5. Inne uwagi<sup>1</sup>

Tematyka badań naukowych jest głównie związana z dyscypliną inżynieria biomedyczna. Doktorant poszukiwał bowiem metod, których zestawienie w proces przetwarzania danych prowadzić miało do wczesnej diagnozy jaskry. Tematyka rozprawy mieści się również

---

<sup>1</sup> Opcjonalnie

częściowo w informatyce technicznej i telekomunikacji, ze względu na stosowanych charakter informatyki w badaniach opisanych w rozprawie.

## 6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami)<sup>2</sup> moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

**A.** Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

|                          |                                     |                          |                          |                          |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Zdecydowanie<br>TAK      | Raczej TAK                          | Trudno<br>powiedzieć     | Raczej NIE               | Zdecydowanie<br>NIE      |

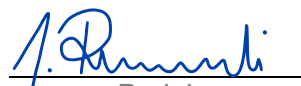
**B.** Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja?

|                          |                                     |                          |                          |                          |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Zdecydowanie<br>TAK      | Raczej TAK                          | Trudno<br>powiedzieć     | Raczej NIE               | Zdecydowanie<br>NIE      |

**C.** Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

|                                     |                          |                          |                          |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Zdecydowanie<br>TAK                 | Raczej TAK               | Trudno<br>powiedzieć     | Raczej NIE               | Zdecydowanie<br>NIE      |

Ze względu na wartościowe publikacje w zakresie opracowanych metod i wyników badań związanych z rozprawą, rozprawa potencjalnie może zostać wyróżniona. Jednak taką rekomendację pozostawiam sobie po uzyskaniu odpowiedzi na pytania w toku dalszego postępowania.

  
Podpis

<sup>2</sup> <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20190000276>