

Częstochowa, 10 czerwca 2023 r.

**Dr hab. inż. Marcin Zalaśński, prof. PCz**  
Katedra Inteligentnych Systemów Informatycznych  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki  
Politechnika Częstochowska  
Al. Armii Krajowej 36  
42-202 Częstochowa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Kaczorowskiej  
pt. „*Measurement and Analysis of Cognitive Workload on the Basis  
of Eye-tracking Activity Using Machine Learning*”,  
której promotorem jest prof. dr hab. inż. Adam Wierzbicki  
oraz promotorem pomocniczym jest dr inż. Małgorzata  
Plechawska-Wójcik

## 1. Zakres tematyczny rozprawy

Recenzja rozprawy doktorskiej została przygotowana na podstawie pisma prof. dr hab. inż. Marii Elżbiety Orłowskiej, Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Informatyki Polsko - Japońskiej Akademii Technik Komputerowych. Pismo to zostało utworzone dnia 17 kwietnia 2023 roku.

Recenzowana rozprawa została napisana w języku angielskim, rozpoczyna się od streszczenia napisanego w dwóch językach (w tym w j. polskim), a jej dalszą część stanowi 7 rozdziałów. Całość została przedstawiona na 124. stronach.

Tematyka rozprawy nawiązuje do zagadnienia określenia poziomu obciążenia poznawczego człowieka z wykorzystaniem metod śledzenia wzroku (tzw. *eye-tracking*) oraz uczenia maszynowego. Metoda *eye-tracking* używana jest do pobrania informacji dotyczących ruchu gałek ocznych człowieka, na podstawie których algorytmy uczenia maszynowego szacują aktualny stopień jego obciążenia poznawczego. Podejście to jest interesujące m.in. z tego powodu, iż klasyczne algorytmy służące do szacowania obciążenia poznawczego korzystają z cech pobranych za pomocą metody elektroencefalografii (EEG), która w warunkach praktycznych, np. gdy miałyby za zadanie dokonać „obserwacji” danego człowieka podczas wykonywanej przez niego pracy, jest dużo trudniejsza do wdrożenia. Ponadto, zastosowanie metod uczenia maszynowego służących do klasyfikacji

pobranej cech wskazuje na duży potencjał badawczy przedstawionego tematu rozprawy. Rozpatrywane w ramach pracy zagadnienie jest także bardzo istotne ze społecznego punktu widzenia, gdyż jego skuteczne wdrożenie mogłoby pozwolić na ograniczenie liczby nieprzewidywanych, często nieszczęśliwych zdarzeń, spowodowanych błędem ludzkim wywołanym zmęczeniem czy tzw. przebodźcowaniem.

We *Wstępie*, stanowiącym 1. Rozdział, autorka dokonała stosownego wprowadzenia do tematyki rozprawy. Zostało w nim wyjaśnione pojęcie obciążenia poznawczego, które zdefiniowano jako ilościową miarę wysiłku umysłowego koniecznego do wykonania pewnego zadania. Zwrócono też uwagę na istotę rozpoznawania poziomu zmęczenia spowodowanego dużym obciążeniem funkcji poznawczych w kontekście jego negatywnego wpływu na działania ludzkiego mózgu. Wpływ ten dotyczyć może m.in. skupienia uwagi człowieka, analizowania pewnych bodźców i planowania dalszych działań. W przypadku wielu wykonywanych zawodów, takich jak. np. pilot, kierowca czy kontroler ruchu lotniczego, brak prawidłowej oceny zmęczenia człowieka może być fatalny w skutkach. W związku z powyższym autorka rozprawy stwierdza, że automatyczny mechanizm określania stopnia obciążenia poznawczego człowieka może zapobiec negatywnym skutkom zbyt dużego obciążenia oraz przyczynić się do rozwoju technik uczenia się. W dalszej części wstępu zostaje scharakteryzowana idea metod proponowanych w ramach rozprawy doktorskiej. Bazują one na modelach sztucznej inteligencji, które umożliwiają klasyfikację poziomów obciążenia poznawczego na podstawie sygnałów powstałych na skutek procesu śledzenia ruchu gałek ocznych. Autorka rozprawy wskazuje, iż akwizycja danych potrzebnych do działania proponowanej metody odbywa się w sposób nieinwazyjny, a klasyfikator zbudowany w oparciu o pobrane sygnały działa niezależnie od podmiotów biorących udział w procesie uczenia. Dzięki zastosowaniu algorytmów uczenia maszynowego, proponowana w ramach pracy metoda umożliwi lepsze zrozumienie i interpretację badanego zjawiska przy jednocześnie wysokiej skuteczności szacowania poziomu obciążenia poznawczego. W dalszej części wstępu wskazano, iż wyzwaniem stojącym przed badaczami jest odpowiednie zdefiniowanie i modelowanie procesu fizjologicznego wpływającego na stopień obciążenia poznawczego, czemu naprzeciw wychodzą proponowane metody. Wstęp zawiera też zapowiedź przeprowadzenia eksperymentu dotyczącego weryfikacji skuteczności działania opracowanych w ramach pracy algorytmów.

Podrozdział 1.1 pt. *Problem badawczy*, stanowiący część *Wstępu*, definiuje 3 główne cele badawcze realizowane w ramach rozprawy:

- 1) Zbadanie czy cechy opisujące ruch gałek ocznych i wydajność działań użytkownika można wykorzystać do klasyfikowania poziomów obciążenia poznawczego.
- 2) Opracowanie interpretowalnego modelu uczenia maszynowego, który pozwala na klasyfikację poziomów obciążenia poznawczego.
- 3) Poprawę jakości klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego.

**Należy stwierdzić, że cele te zostały postawione prawidłowo.**

Rozdział 2. Rozprawy został zatytułowany „Przegląd aktualnego stanu wiedzy” i składa się z 10. podrozdziałów, w których autorka dokonała wnikliwego przeglądu literatury światowej, zawierającego odwołanie do 187. pozycji. Pierwszy z podrozdziałów odnosi się do definicji problemu obciążenia poznawczego, definicji czynników go powodujących oraz jego wpływu na sprawność psychofizyczną człowieka. Drugi podrozdział zawiera informacje dotyczące metod oceny poziomu obciążenia poznawczego, które mogą wykorzystywać 3 grupy miar zdefiniowane w literaturze - miary subiektywne, miary wydajności i miary psychofizjologiczne. Kolejny podrozdział to szczegółowe omówienie zagadnienia śledzenia ruchu gałek ocznych (ang. *eye-tracking*) – jego definicja, zastosowanie oraz opis cech charakterystycznych, które można wyekstrahować podczas procesu analizy ruchu gałek ocznych. Czwarty podrozdział zawiera opis statystycznego modelu wykładniczego Gaussa (ang. *ex-Gaussian*), który może być wykorzystywany do modelowania procesu reakcji na pewien bodziec. Następny podrozdział porusza zagadnienie klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego. Klasyfikacja ta w literaturze światowej realizowana jest na różne sposoby, zarówno pod kątem zakładanej liczby klas definiującej poziom obciążenia poznawczego, jak i podejścia do klasyfikacji ze względu na to czy proces ten ma być zależny od danego użytkownika lub grupy użytkowników (czyli od podmiotu). Innymi słowy mówiąc – czy faza uczenia klasyfikatora jest przeprowadzona indywidualnie dla każdego potencjalnego użytkownika lub grupy użytkowników systemu, czy nie (wówczas klasyfikator jest niezależny od podmiotu). Autorka rozprawy wskazała też popularne metody klasyfikacji. Podrozdział szósty skupia się na charakterystyce metod klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego (i ich skuteczności), które nie bazują na ruchu gałek ocznych człowieka. Można zauważyć, że najbardziej skuteczne metody tu prezentowane osiągają skuteczność na poziomie około 97%. Kolejny podrozdział skupia się już na metodach klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego na podstawie śledzenia aktywności gałek ocznych. Można zauważyć, że temat ten jest szeroko poruszany w literaturze światowej i jest aktualnie chętnie podejmowany wśród naukowców, biorąc pod uwagę datę publikacji cytowanych źródeł bibliograficznych. Metody tu prezentowane osiągają maksymalną skuteczność na podobnym poziomie, co te przedstawione w poprzednim podrozdziale. Podrozdział ósmy stanowi opis metod

oceny poziomu obciążenia poznawczego wykorzystujących charakterystyki bazujące na śledzeniu wzroku w połączeniu z innymi monitorowanymi aktywnościami. Przedostatni podrozdział przeglądu literatury porusza niezwykle istotne zagadnienie interpretowalności działania klasyfikatorów uczonych maszynowo. Utworzenie interpretowalnego klasyfikatora pozwala na zrozumienie mechanizmu jego działania, a co za tym idzie daje duże możliwości pod kątem analizy jego funkcjonowania i ewentualnej rozbudowy oraz szybkiej korekty jego parametrów, co może mieć wpływ na znaczny wzrost skuteczności procesu klasyfikacji. Ponadto, zastosowanie interpretowalnego klasyfikatora umożliwia głębsze poznanie modelowanego procesu. Ostatni podrozdział stanowi podsumowanie dokonanego przeglądu literatury. Autorka zwraca uwagę na to, że metody oceniające stopień obciążenia poznawczego bazują głównie na sygnałach EEG, są one jednak trudne do wdrożenia w praktycznych zastosowaniach ze względu na dość inwazyjną metodę stosowaną do akwizycji danych. Autorka podkreśla także, że większość metod prezentowanych w literaturze światowej jest zorientowana wyłącznie na jak najlepszy rezultat klasyfikacji, pomijając przy tym aspekt interpretowalności działania klasyfikatora. Autorka wskazuje, że metody opracowane w ramach recenzowanej rozprawy doktorskiej wykorzystują interpretowalne metody uczenia maszynowego, co umożliwia głębszego zrozumienie natury funkcjonowania procesów poznawczych, a co za tym idzie, kluczowych czynników mających wpływ na poziom obciążenia poznawczego. W końcowej części rozdziału autorka podkreśla, że w ramach swojej rozprawy zastosowała podejście do klasyfikacji niezależne od podmiotu (ang. *subject-independent*), wykładniczo zmodyfikowany rozkład Gaussa do opisu cech charakteryzujących proces *eye-tracking*'u, a także agregację rozmytą dla wyników zwracanych przez różne modele klasyfikacji. **W mojej opinii przegląd literatury został przeprowadzony bardzo starannie i wyczerpująco.**

Rozdział 3. określa wkład wniesiony przez niniejszą rozprawę do rozwoju dziedzin informatyki oraz kognitywistyki. W podrozdziale 3.1 zostały opisane osiągnięcia dotyczące informatyki, są to: 1) Opracowanie metody klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego niezależnej od podmiotu, bazującej na śledzeniu wzroku i miarach wydajności; 2) Opracowanie interpretowalnego, wieloklasowego, niezależnego od podmiotu modelu uczenia maszynowego określającego poziom obciążenia poznawczego; 3) Opracowanie wieloklasowego, niezależnego od podmiotu modelu uczenia maszynowego określającego poziomy obciążenia poznawczego z wykorzystaniem rozmytych funkcji agregacji; 4) Opracowanie wieloklasowego, niezależnego od podmiotu modelu uczenia maszynowego określającego poziomy obciążenia poznawczego z wykorzystaniem wykładniczo zmodyfikowanego rozkładu Gaussa. W podrozdziale 3.2 zostało opisane osiągnięcie dotyczące nauk kognitywnych. Jest to kognitywna analiza czynnikowa oparta na

interpretowalnych modelach uczenia maszynowego. Autorka wskazuje też, że w rozdziale 6. niniejszej rozprawy przedstawiono artykuły naukowe zawierające szczegółowe informacje dotyczące opracowanych algorytmów. Opis ww. metod zostanie przedstawiona w rozdziale 2. niniejszej recenzji pt. „Oryginalne rezultaty uzyskane w rozprawie”.

Rozdział 4. zawiera podsumowanie niniejszej rozprawy, nawiązując ponownie do postawionych celów badawczych oraz krótkiej prezentacji proponowanych w ramach rozprawy autorskich metod. Autorka wspomina także o pewnych ograniczeniach, które miały miejsce w czasie testowania efektywności opracowanych metod – problemie dotyczącym ustaleniu progów poziomu obciążenia poznawczego dla klasyfikatora niezależnego od podmiotu i dość wąskiej grupie wiekowej i zawodowej uczestników biorących w eksperymencie. Autorka przyznaje jednak, że w swoich przyszłych badaniach podejmie próbę wyjścia naprzeciw powstałym ograniczeniom, podając gotowe rozwiązania zaistniałych problemów. Rozdział ten kończy się stwierdzeniem mówiącym, iż niniejsza rozprawa może być przydatna naukowcom poszukującym pomysłów i technik badania obciążenia poznawczego i zawiera ona przegląd literatury dotyczącej zagadnień obciążenia poznawczego, śledzenia ruchu gałek ocznych i klasyfikacji.

Rozdział 5. rozprawy zawiera spis pozycji bibliograficznych wykorzystanych w ramach przedstawionej pracy.

Rozdział 6., o czym wspominałem poprzednio, stanowią artykuły opisujące szczegółowo autorskie metody opracowane w ramach niniejszej rozprawy.

Rozdział 7. zawiera informacje na temat kariery naukowej autorki rozprawy, w tym m.in. listę 30. publikacji Pani mgr inż. Moniki Kaczorowskiej, listę 3. projektów naukowych i 3. konferencji naukowych, w których brała udział, a także listę 3. otrzymanych przez nią nagród.

**W ramach podsumowania Rozdziału 1. niniejszej recenzji należy stwierdzić, że struktura przedstawionej rozprawy doktorskiej jest jak najbardziej właściwa.**

## **2. Oryginalne rezultaty uzyskane w rozprawie**

Do oryginalnych rezultatów uzyskanych w rozprawie doktorskiej Pani mgr. inż. Moniki Kaczorowskiej, które stanowią wkład do rozwoju dyscypliny naukowej informatyka techniczna

i telekomunikacja, zaliczyć można zaproponowany przez nią 4. algorytmy związane z określeniem poziomu obciążenia poznawczego na podstawie ruchu gałek ocznych. Wspomniane algorytmy zostały szerzej opisane przez autorkę niniejszej rozprawy w jej 4. artykułach naukowych. Oryginalne rezultaty uzyskane w ramach rozprawy można podsumować następująco:

- Autorka opracowała metodę klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego niezależną od podmiotu, bazującą na śledzeniu wzroku i tzw. miarach wydajności. Metoda ta nawiązuje do pierwszego celu postawionego w ramach rozprawy. Do mierzenia poziomu obciążenia poznawczego wykorzystuje ona założenia metodologii DSST (ang. *Digital Symbol Substitution Test*), polegającej na testowaniu poziomu zmęczenia człowieka na podstawie przypisania pewnych zdefiniowanych uprzednio symboli do odpowiedniego klucza, będącego sekwencją liczb. W ramach artykułu autorka wykorzystuje 20 cech charakterystycznych wyekstrahowanych podczas procesu śledzenia wzroku (opisujących procesy tzw. fiksacji wzroku i ruchy sakkadowe gałek ocznych, a także cechy źrenicy). Na etapie uczenia i klasyfikacji jest wykorzystywana pewna ograniczona pula ww. cech, wyselekcjonowana z wykorzystaniem współczynnika Fishera lub metody PCA (ang. *Principal Component Analysis*) w celu zapewnienia lepszej skuteczności klasyfikacji. W ramach rozpatrywanego algorytmu zostały utworzone binarne klasyfikatory niezależne od podmiotu, które ostatecznie określają poziom obciążenia poznawczego jako wysoki lub niski. W ramach przedstawionej pracy najwyższą skuteczność, na poziomie 94%, uzyskał klasyfikator liniowy typu SVM (ang. *Support Vector Machine*) w połączeniu z zestawem cech wyselekcjonowanych z wykorzystaniem współczynnika Fishera. Metodę tę na tle innych prezentowanych w literaturze wyróżnia wykorzystanie szerokiego zestawu cech opisujących ruch gałek ocznych oraz wykorzystanie miary poziomu obciążenia poznawczego wyznaczanej za pomocą testu DSST. Omawiana metoda została opublikowana w artykule pt. „*Binary Classification of Cognitive Workload Levels with Oculography Features*”, w wydawnictwie konferencyjnym CISIM 2020: Computer Information Systems and Industrial Management.
- Autorka opracowała interpretowalny, wieloklasowy, niezależny od podmiotu model uczenia maszynowego określający poziom obciążenia poznawczego. Metoda ta nawiązuje do drugiego celu postawionego w ramach rozprawy. Model ten pozwala określać trzy poziomy obciążenia poznawczego (niski, średni i wysoki) na podstawie wybranych cech charakterystycznych opisujących ruch gałek ocznych człowieka. Metoda ta wykorzystuje ten sam zestaw ww. cech, co algorytm opisywany w poprzednim podpunkcie. W celu definicji poziomu obciążenia poznawczego, w ramach algorytmu wykorzystano ponownie test DSST. W ramach

opisywanego algorytmu autorka zdecydowała się wykorzystać zestaw klasyfikatorów binarnych do uzyskania rankingu cech opisujących ruchy gałek ocznych dla każdego poziomu obciążenia poznawczego, który to ranking jest definiowany poprzez wagi wyznaczone za pomocą regresji logistycznej. Metoda ta przetestowana była przez 8 różnych klasyfikatorów, uzyskując skuteczność na poziomie 97% (dla klasyfikatorów: liniowego SVM, regresji logistycznej, MLP). Należy wspomnieć, że klasyfikacja wieloklasowa w kontekście poziomu obciążenia poznawczego nie jest powszechnie spotykana w literaturze światowej, co działa dodatkowo na korzyść prezentowanej metody. Ponadto warto zauważyć, że przedstawiony model jest interpretowalny, co jest jedną z głównych zalet i elementem innowacyjnym proponowanego podejścia. Autorka rozprawy prezentuje też zestawienie dotyczące interpretacji powiązania poszczególnych cech opisujących proces ruchu gałek ocznych z odpowiednim poziomem obciążenia poznawczego. Omawiana metoda została opublikowana w artykule pt. „*Interpretable Machine Learning Models for Three-Way Classification of Cognitive Workload Levels for Eye-Tracking Features*”, w czasopiśmie *Brain Sciences*.

- Autorka opracowała wieloklasowy, niezależny od podmiotu model uczenia maszynowego określający poziom obciążenia poznawczego z wykorzystaniem rozmytych funkcji agregacji. Metoda ta nawiązuje do trzeciego celu postawionego w ramach rozprawy. Model ten wykorzystuje funkcję rozmytej agregacji bazującej na uogólnionej postaci całki Chocqueta, a dzięki zastosowaniu zespołu klasyfikatorów pozwala na uzyskanie większej dokładności niż w przypadku metod opisanych uprzednio. Dla każdego z zastosowanych klasyfikatorów są stosowane wagi ważności, wyznaczone na etapie uczenia w procesie tzw. krosvalidacji, przeprowadzonym z wykorzystaniem zbioru treningowego danych, którego efektem są wartości skuteczności poszczególnych klasyfikatorów, pozwalające na wyznaczenie wspomnianych wag ważności. Metoda ta wykorzystuje zestaw cech opisany w pierwszej publikacji. Model ten, podobnie jak poprzedni, pozwala przewidywać trzy poziomy obciążenia poznawczego (niski, średni i wysoki). Proponowana metoda pozwoliła na osiągnięcie poziomu skuteczności klasyfikacji w wysokości 96,44%, co daje rezultat lepszy o 0,22% niż w przypadku najskuteczniej działającego pojedynczego klasyfikatora prezentowanego przez autorkę. Należy zaznaczyć, że zastosowanie metod agregacji rozmytej do klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego jest nowym podejściem, które nie występuje w literaturze światowej, co stanowi istotny wkład pracy w rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja. Omawiana metoda została opublikowana w artykule pt. „*On the Improvement of Eye Tracking-Based Cognitive Workload Estimation Using Aggregation Functions*”, w czasopiśmie *Sensors*.

- Autorka opracowała wieloklasowy, niezależny od podmiotu model uczenia maszynowego określający poziom obciążenia poznawczego z wykorzystaniem wykładniczo zmodyfikowanego rozkładu Gaussa. Zaimplementowany w jej obrębie model danych wykorzystywany w procesie klasyfikacji opiera się na cechach ruchu gałek ocznych opisanych poprzez parametry wykładniczego rozkładu Gaussa, który jest powszechnie używany do modelowania tzw. czasów odpowiedzi (ang. *reaction time*) w psychologii poznawczej. W celu definicji poziomu obciążenia poznawczego, w ramach algorytmu ponownie wykorzystano test DSST. Podobnie jak w dwóch poprzednich metodach, rozpatrywany algorytm pozwala przewidywać trzy poziomy obciążenia poznawczego (niski, średni i wysoki). W ramach rozpatrywanej metody autorka zaimplementowała mechanizm wyznaczania wag ważności poszczególnych cech opisujących ruch gałek ocznych, wykorzystując przy tym metodę grupowania danych *k-means*, działającą we współpracy z liniowym klasyfikatorem SVM i klasyfikatorem regresji logistycznej. Działanie metody zostało przetestowane za pomocą czterech niezależnych klasyfikatorów, spośród których najwyższą skuteczność na poziomie 95,97% uzyskał klasyfikator *random forest* bazujący na wykorzystaniu drzew decyzyjnych. Główną innowacją zaprezentowaną w ramach niniejszej metody na tle innych metod prezentowanych w literaturze światowej jest wykorzystanie cech zbudowanych w oparciu o statystykę *ex-Gaussowską*. Omawiana metoda została opublikowana w artykule pt. „*Automated Classification of Cognitive Workload Levels Based on Psychophysiological and Behavioural Variables of Ex-Gaussian Distributional Features*”, w czasopiśmie *Brain Sciences*.

**W ramach podsumowania Rozdziału 2. niniejszej recenzji należy stwierdzić, że autorskie metody opracowane w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej zawierają istotne elementy nowości, wyróżniające je na tle innych algorytmów prezentowanych w literaturze światowej.**



### 3. Uwagi dotyczące rozprawy

Recenzowana rozprawa została przygotowana bardzo starannie pod kątem merytorycznym, a także edytorskim. Ponadto wniesienie przez Panią mgr inż. Monikę Kaczorowską istotnego wkładu w rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja nie budzi moich zastrzeżeń. W związku z powyższym, uwagi zamieszczone poniżej nie wpływają na pozytywną ocenę recenzowanej pracy, a mają jedynie charakter dyskusyjny. Można je podsumować następująco:

- W ramach swoich badań autorka rozprawy przeprowadza eksperymenty potwierdzające skuteczność opracowanych metod, w których udział bierze grupa 30. (lub bliska tej liczbie) studentów o przedziale wiekowym od 20 do 24 lat. Jak autorka słusznie zauważa, grupa ta może być mało reprezentatywna w kontekście całego społeczeństwa, zwłaszcza biorąc pod uwagę fakt, że opracowane metody są określane mianem niezależnych od podmiotu (ang. *subject independent*). W związku z tym pojawia się pytanie, czy metody te będą równie skuteczne dla innych grup społecznych?
- Dobrą praktyką jest porównywanie skuteczności działania własnych autorskich metod z tymi opracowanymi przez innych autorów, które zostały zaprezentowane w literaturze światowej. W artykułach prezentowanych w ramach niniejszej rozprawy takiego jasnego porównania zabrakło. Czy autorka może zaprezentować takie porównanie, np. w formie tabeli?
- Metoda prezentowana przez autorkę, która bazuje na agregacji klasyfikatorów, uzyskała jedynie nieznacznie lepszą skuteczność niż pojedyncze klasyfikatory prezentowane przez autorkę. Czy w związku z powyższym metoda ta jest warta zastosowania w praktyce, biorąc pod uwagę jej złożoność obliczeniową?
- W różnego rodzaju zagadnieniach wykorzystujących wagi danych wejściowych, np. cech opisujących dany proces, z dużą skutecznością wykorzystywane są także elastyczne neuronowo-rozmyte klasyfikatory. Czy autorka rozważała zastosowanie tej grupy klasyfikatorów w ramach swoich badań?

#### 4. Podsumowanie i konkluzja

W podsumowaniu stwierdzam, co następuje:

- Autorka rozprawy doktorskiej rozważała zagadnienia określenia poziomu obciążenia poznawczego człowieka z wykorzystaniem metod śledzenia wzroku (tzw. *eye-tracking*) i uczenia maszynowego.
- Rozprawa doktorska została zredagowana w poprawny sposób, przedstawione w niej oryginalne autorskie rozwiązania opisano przejrzysto i z całą pewnością są one wartościowe w kontekście wkładu w dalszy rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja. Przygotowanie niniejszej rozprawy potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydatkę do stopnia doktora.
- Rozprawa stanowi dobre podsumowanie ogólnej wiedzy teoretycznej mgr inż. Moniki Kaczorowskiej w zakresie dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

**W konkluzji stwierdzam, że praca doktorska „*Measurement and Analysis of Cognitive Workload on the Basis of Eye-tracking Activity Using Machine Learning*”, której autorką jest Pani mgr inż. Monika Kaczorowska, spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.**

