



Politechnika
Wrocławska

Wrocław, 11.06.2025 r.

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Kamili Białek zatytułowanej: „Strategie przygotowania obrazów pisma odręcznego na potrzeby rozpoznawania choroby Parkinsona z wykorzystaniem sieci konwolucyjnej” przygotowanej pod kierunkiem: dra hab. inż. Jacka Jakubowskiego, prof. WAT, w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem przez przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego - pana prof. dra hab. inż. Jana Jabczyńskiego, na podstawie uchwały nr 41/RDN AEEiTK/2025 z dnia 19.03.2025, do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne panu mgr inż. Kamili Białek.

Niniejsza recenzja sporządzona została na podstawie art. 186 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742), w celu oceny, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej, zgodnie z wymogami przewidzianymi dla nadania stopnia doktora.

W ramach przeprowadzonej recenzji zostaną ocenione następujące punkty:

1. Tematyka pracy doktorskiej i jej wkład w dyscyplinę Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Ad. 1. Temat pracy doktorskiej brzmi: „Strategie przygotowania obrazów pisma odręcznego na potrzeby rozpoznawania choroby Parkinsona z wykorzystaniem sieci konwolucyjnej”.

Niniejsza rozprawa doktorska bada zastosowanie konwolucyjnych sieci neuronowych (CNN) w rozpoznawaniu choroby Parkinsona na podstawie analizy pisma odręcznego zarejestrowanego tabletem graficznym. Kluczowym odkryciem jest wpływ wydłużonego czasu pisania na uwidocznienie zmian grafomotorycznych, przy czym zastosowanie pełnych zdań (zamiast pojedynczych liter) znacząco poprawiło dokładność modelu. Wyniki potwierdzają, że proponowane podejście, wykorzystujące m.in. sieć AlexNet, może wspierać wczesną diagnostykę choroby Parkinsona.

W mojej ocenie – wybrany temat rozprawy, jest aktualny, niezmiernie ciekawy, o interdyscyplinarnym charakterze i stanowi wkład dla dyscypliny naukowej: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

2. Zagadnienia naukowe rozprawy – cel oraz tezy.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury oraz wstępnych analiz badawczych sformułowano cel rozprawy, którym – jak wskazano – jest:

„zbadanie zagadnienia wpływu procesu przygotowania obrazów pisma na dokładność systemu rozpoznawania choroby Parkinsona wykorzystującego jako klasyfikator konwolucyjną sieć neuronową”.

Dla osiągnięcia celu rozprawy sformułowano i rozwiązano następujące problemy badawcze:

1. Opracowano elementy stanowiska badawczego w części przeznaczanej do rejestracji próbek pisma odręcznego pacjentów za pomocą tabletu graficznego.
2. Zaplanowano i przeprowadzono eksperymenty rejestracyjne próbek pisma z udziałem grupy badawczej pacjentów ze zdiagnozowaną chorobą Parkinsona oraz grupy kontrolnej osób zdrowych.
3. Zaproponowano różne strategie przygotowania danych obrazowych dla sieci konwolucyjnej uwzględniające możliwości wykorzystania próbek pisma o przedłużonym czasie rejestracji.
4. Zaproponowano metodykę podejmowania decyzji przez sieć konwolucyjną dla przypadków wykorzystania jako dane wejściowe sekwencji obrazów zdań i sekwencji obrazów słów.
5. Zaplanowano i przeprowadzono eksperymenty numeryczne wykorzystujące walidację krzyżową celem uzyskania wiarygodnej oceny procesu klasyfikacji dla zaproponowanych strategii.

W wyniku przeprowadzonej analizy teoretycznej oraz badań eksperymentalnych ukierunkowanych na osiągnięcie wysokiej skuteczności w rozpoznawaniu choroby Parkinsona na podstawie próbek pisma odręcznego z wykorzystaniem konwolucyjnych sieci neuronowych, uzasadnione jest sformułowanie dwóch następujących tez rozprawy:

1. *użycie sekwencji obrazów zdań daje lepsze wyniki klasyfikacji binarnej w diagnostyce choroby Parkinsona z wykorzystaniem konwolucyjnej sieci neuronowej niż użycie obrazu zdania pojedynczego,*
2. *możliwa jest dalsza poprawa dokładności klasyfikacji binarnej w diagnostyce choroby Parkinsona z wykorzystaniem konwolucyjnej sieci neuronowej na drodze podziału obrazów sekwencji zdań na obrazy sekwencji słów.*

Przeprowadzone badania umożliwiły realizację wszystkich założonych celów oraz potwierdzenie trafności postawionych tez.

3. Struktura pracy

Ad. 3. Niniejsza rozprawa doktorska obejmuje **100** stron, wliczając stronę tytułową, podziękowania, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, bibliografię oraz dwa załączniki. Praca została podzielona na **12** rozdziałów, przy czym bibliografia stanowi

rozdział nieponumerowany. W treści zawarto **26** tabel (nie wliczając tych w załącznikach), **64** rysunki oraz **15** wzorów. Bibliografia obejmuje **113** pozycji, z czego **4** stanowią publikacje Autorki powstałe w ramach realizowanych badań.

W rozdziale pierwszym zawarto wprowadzenie do tematyki choroby Parkinsona, zawarto cel i tezy rozprawy oraz opisano jej strukturę. **Rozdział drugi** zawiera przegląd literatury dotyczącej rozpoznawania choroby Parkinsona na podstawie pisma odręcznego, ze szczególnym uwzględnieniem stosowanych narzędzi, stanu klinicznego pacjentów oraz rodzaju wzorców pisma. Omówiono również bazę danych PaHaW oraz wyniki badań z wykorzystaniem konwolucyjnych sieci neuronowych. **Rozdział trzeci** stanowi teoretyczne wprowadzenie do konwolucyjnych sieci neuronowych, ze szczególnym naciskiem na ich budowę, terminologię i zastosowanie w zadaniach klasyfikacyjnych. **Rozdział czwarty** opisuje grupę badawczą oraz stanowisko do rejestracji próbek pisma, w tym parametry techniczne zastosowanego tabletu graficznego i przebieg eksperymentu. **Rozdział piąty** prezentuje metodykę przekształcania sygnału pisma na obrazy dostosowane do analizy za pomocą sieci konwolucyjnych. **Rozdział szósty** wprowadza miary oceny jakości klasyfikacji zastosowane w dalszych badaniach eksperymentalnych. **Rozdział siódmy** prezentuje wyniki klasyfikacji binarnej (chorzy na chorobę Parkinsona vs. osoby zdrowe) na podstawie pisma przedstawiającego pojedyncze zdanie. Badanie przeprowadzono z użyciem technik transfer learningu, odnosząc je do wyników z literatury. Przeanalizowano także wpływ czasu trwania wysiłku grafomotorycznego na skuteczność klasyfikacji. **Rozdział ósmy** dotyczy klasyfikacji na podstawie sekwencyjnych zapisów zdań oraz integracji decyzji uzyskiwanych z pojedynczych segmentów. Porównano efekty tej metody ze standardową augmentacją danych. **Rozdział dziewiąty** obejmuje eksperymenty z danymi w postaci pojedynczych słów wydzielonych z dłuższych tekstów. Przeanalizowano wpływ metody prezentacji pisma oraz segmentacji zdań na wynik rozpoznawania choroby. **Rozdział dziesiąty** zawiera analizę wpływu architektury sieci neuronowej (w tym głębokości AlexNet i innych sieci konwolucyjnych) na dokładność klasyfikacji. **Rozdział jedenasty** stanowi podsumowanie pracy. Zawarto w nim najważniejsze wnioski, krytyczną ocenę uzyskanych rezultatów oraz propozycje dalszych kierunków badań w zakresie analizy pisma odręcznego z wykorzystaniem metod głębokiego uczenia. **Rozdział dwunasty (nieponumerowany)** zawiera spis literatury składający się ze **113** pozycji. Dodatkowo praca zawiera **dwa** załączniki. W **załączniku pierwszym** przedstawiono szczegółowe informacje kliniczne i demograficzne dotyczące uczestników badania, obejmujące m.in. wiek, płeć, stan neurologiczny oraz status kliniczny w odniesieniu do choroby Parkinsona; natomiast w **drugim załączniku** opisano autorski program doktorantki.

3. Uwagi redakcyjne, krytyczne oraz pytania do pracy.

Ad. 4.

- W całej rozprawie można zauważyć, że Autorka często przechodzi bezpośrednio od rozdziału lub podrozdziału do kolejnych podpunktów, pomijając teksty wprowadzające. Choć taka struktura nie wpływa negatywnie na merytoryczną wartość pracy, warto byłoby rozważyć uzupełnienie poszczególnych części o krótkie komentarze wprowadzające, które ułatwiłyby czytelnikowi orientację w toku prezentowanych treści.

- Kod źródłowy oraz opis opracowanej przez Autorkę aplikacji zostały umieszczone wyłącznie w załączniku, bez szczegółowego omówienia w głównej części rozprawy. Z punktu widzenia kompletności i czytelności pracy zasadne byłoby wyjaśnienie, dlaczego tak istotny element, jak autorskie narzędzie badawcze, nie został szczegółowo opisany w zasadniczej części tekstu. Czy decyzja ta wynikała z ograniczeń redakcyjnych, czy też przyjętej koncepcji struktury pracy?
- W rozprawie zauważalna jest niespójność w oznaczeniach elementów graficznych: wiele tabel ma formę rysunków i zostało opisanych jako „rysunki”, podczas gdy niektóre elementy graficzne o charakterze ilustracyjnym zostały oznaczone jako „tabele”. Dodatkowo, kody źródłowe zamieszczone w załączniku drugim zostały opisane jako tabele, co może wprowadzać czytelnika w błąd. Zasadne byłoby wyjaśnienie przyjętego sposobu klasyfikacji tych elementów oraz ewentualne ujednolicenie oznaczeń zgodnie z obowiązującymi standardami redakcyjnymi.
- Pomimo deklarowanego celu weryfikacji postawionych tez, zasadnicza część badań została oparta wyłącznie na jednej architekturze sieci neuronowej — AlexNet. Choć autorka uzasadnia ten wybór szerokim rozpowszechnieniem i dostępnością modelu, oraz przeprowadza analizy związane z dostrojeniem jego głębokości, należy zauważyć, że ograniczenie głównych eksperymentów do jednej sieci może znacząco zawęzić zakres wniosków i utrudniać ich uogólnienie. Co więcej, dodatkowe modele (VGG16, GoogleNet, ResNet18) zostały wykorzystane jedynie w minimalnym zakresie, bez pełnej analizy dostrajania ich warstw ani oceny ich potencjalnych przewag. Zasadne wydaje się zatem pytanie: czy wybór wyłącznie jednej architektury jako podstawy eksperymentów nie ogranicza istotnie wartości porównawczej i ogólnej rzetelności uzyskanych wyników?
- Pomimo dostępności w środowisku Matlab wielu zaawansowanych, pretrenowanych architektur konwolucyjnych (takich jak InceptionV3, MobileNet czy ResNet), praca koncentruje się niemal wyłącznie na douczaniu sieci AlexNet. Pozostałe modele nie zostały szerzej wykorzystane ani odpowiednio dostrojone, co może budzić wątpliwości co do reprezentatywności wyników oraz ich potencjalnej optymalizacji. W konsekwencji ograniczony został zakres analizy porównawczej, a także możliwość weryfikacji, czy osiągnięta dokładność klasyfikacji jest wynikiem rzeczywistej skuteczności zaproponowanej metody, czy też specyficznych właściwości jednej wybranej sieci. Dodatkowo, zastosowanie starszej wersji środowiska Matlab (R2018b) i relatywnie słabej karty graficznej mogło wpłynąć na decyzję o rezygnacji z bardziej złożonych modeli – jednak aspekt ten nie został omówiony ani uzasadniony w treści pracy.
- Czy przeprowadzono wstępną analizę porównawczą różnych architektur przed wyborem AlexNet jako modelu podstawowego? Czy wybór tylko jednej architektury nie ogranicza możliwości generalizacji uzyskanych wyników na inne typy danych lub metody diagnostyczne?
- Czy autor rozważał zastosowanie metod optymalizacji hiperparametrów (np. grid search, Bayesian optimization), a jeśli nie — dlaczego?
- Jakie jest największe osiągnięcie pracy?
- Jakie są plany dalszego rozwoju pracy?

4. Podsumowanie.

Ad. 3. Rozprawa została starannie i estetycznie zredagowana, a jej układ edytorski nie budzi zastrzeżeń. Wszystkie rysunki i tabele są czytelne, przejrzysto sformatowane i wykonane z dużą dbałością o szczegóły. Zastosowana forma graficzna i edytorska znacząco podnosi czytelność oraz pozytywnie wpływa na ogólny odbiór pracy.

Szkoda, że Doktorantka nie zawarła w rozprawie informacji dotyczących swojego dorobku naukowego, nagród ani udziału w projektach badawczych, co z pewnością mogłoby pozytywnie wpłynąć na pełniejszą ocenę jej aktywności naukowej. Niemniej jednak, posiadany przez nią dorobek obejmuje **13** publikacji (Scopus), które były cytowane **21** (Scopus) razy. Choć publikacje te ukazały się głównie w czasopismach o umiarkowanej renomie, dostrzegalna jest konsekwentna aktywność badawcza Doktorantki oraz jej zaangażowanie w rozwój naukowy.

Pomimo pewnych niedociągnięć, rozprawa doktorska mgr inż. Kamili Białek, w mojej ocenie, zawiera istotne i wartościowe wyniki badań o znaczeniu nie tylko naukowym, lecz także praktycznym i wdrożeniowym. Przedstawione rezultaty stanowią oryginalny wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Rozprawa spełnia wszystkie wymagania określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – w zakresie warunków i trybu nadawania stopnia doktora. W związku z powyższym, uznaję ją za pracę spełniającą kryteria dopuszczenia do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki oraz aktywność naukową Doktorantki, wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Kamili Białek do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.



Dr hab. inż. Aleksandra Kawala-Sterniuk, prof. uczelni
Katedra Sztucznej Inteligencji
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Wrocławska
aleksandra.kawala-sterniuk@pwr.edu.pl

