

Gliwice, 20.05.2025

Prof. dr hab. inż. Katarzyna Stapor
Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Katedra Informatyki Stosowanej

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr **Michała Bukowskiego**

p.t. *„Zastosowanie zaawansowanych metod sztucznej inteligencji
do klasyfikacji stanu zużycia narzędzia na podstawie danych
obrazowych i sygnałowych pozyskanych
podczas obróbki płyty wiórowej”*

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie BON/58/2025, zawarte w piśmie z dnia 24.03.2025 r, które otrzymałam od Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie Pana Profesora Krzysztofa Gajowniczka na podstawie uchwały tejże Rady, podjętej 10.03.2025 r.

W myśl zapisów **ustawy** z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2020r. poz. 85 z późn. zm.): „**Rozprawa doktorska** prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie (...) oraz umiejętność **samodzielnego prowadzenia pracy naukowej** lub artystycznej” (art. 187 ust. 1); „Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (...)” (art. 187 ust. 2); „Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, **zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów** naukowych (...)” (art. 187 ust. 3).

Przedłożona do recenzji dysertacja doktorska ma formę **bardzo krótkiego opracowania**, którego podstawę stanowi cykl 6 publikacji. Opracowanie to zawiera: (1) Streszczenie w języku polskim i języku angielskim, (2) jednostronicowe wprowadzenie i dwustronicowy przegląd aktualnego stanu wiedzy, (3) Hipotezy badawcze i cel pracy, (4) 6-cio stronicowe omówienie wyników pracy wraz z krótkim podsumowaniem (5) bibliografię liczącą 20 pozycji (6) opis sylwetki doktoranta (8) Kopie publikacji naukowych wchodzących w zakres rozprawy doktorskiej, (9) Pisemne oświadczenia współautorów publikacji naukowych stanowiących rozprawę doktorską.

Dodatkowo - sporządzony, trochę bardziej uszczegółowiony wykaz indywidualnego wkładu doktoranta mgra Michała Bukowskiego w publikacjach składających się na rozprawę doktorską. Warto jednak doprecyzować, za które fragmenty każdej z nich odpowiada doktorant, by lepiej ocenić jego samodzielną pracę.

Załączone publikacje stanowiące rozprawę są następujące:

1. Kurek, J., Antoniuk, I., Świdorski, B. Jegorowa, A. Bukowski, M. Application of Siamese Networks to the Recognition of the Drill Wear State Based on Images of Drilled Holes. *Sensors* 2020, 20, 6978.
2. Bukowski M, Kurek J, Antoniuk I, Jegorowa A. Decision Confidence Assessment in Multi-Class Classification. *Sensors* 2021 Jun 1;21(11):3834.
3. Bukowski M, Antoniuk I, Kurek J. Improved Efficient Capsule Network for Kuzushiji-MNIST Benchmark Dataset Classification. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences* 2023, 71, 1 – 10.
4. Bukowski M., Antoniuk I., Szymanowski K., Krupa A., i Kurek J., Multiple input CNN architecture for tool state recognition in the milling process based on time series signals, *Operations Research and Decisions*, 2024, t.34, s. 41–60.
5. Bukowski M., Jegorowa A., i Kurek J., A Novel Approach using Vision Transformers (VIT) for Classification of Holes Drilled in Melamine Faced Chipboard, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2024, t.100, s. 273–276
6. Bukowski M., Kurek J., Świdorski B., and Jegorowa A., Custom Loss Functions in XGBoost Algorithm for Enhanced Critical Error Mitigation in Drill-Wear Analysis of Melamine-Faced Chipboard, *Sensors*, 2024, t.24, pp. 1–29.

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy **zastosowania metod sztucznej inteligencji, a konkretnie głębokich sieci neuronowych do klasyfikacji stanu zużycia narzędzi** - wiertel podczas wiercenia oraz ostrza tnącego w procesie frezowania, na podstawie danych obrazowych i sygnałowych uzyskanych podczas obróbki materiałów.

Głównym celem pracy było opracowanie skutecznych modeli i algorytmów, które pozwolą na dokładną i wiarygodną ocenę stanu zużycia narzędzi (wiertła i ostrza tnącego frezarki) wykorzystywanych w procesach produkcyjnych bazując na danych obrazowych uzyskiwanych podczas wiercenia w płycie wiórowej oraz danych sygnałowych pozyskanych podczas frezowania tejże płyty.

W **Artykule 1** autorzy wskazują na nowatorskie wykorzystanie sieci syjamskich (Siamese CNN) do oceny fizycznego zużycia wiertel, jednak zakres innowacji można uznać za ograniczony. Architektura, oparta na prostej, trzywarstwowej sieci konwolucyjnej z funkcją *contrastive loss*, wymaga dalszego rozwinięcia zarówno pod względem struktury, jak i argumentacji teoretycznej. Nie widzę tutaj pogłębionego wkładu metodologicznego, ani pod względem architektury, ani funkcji celu, ani procedury trenowania. Warto rozważyć rozszerzenie uzasadnienia doboru hiperparametrów, wprowadzenie analiz statystycznych. Autorzy nie prezentują teoretycznego uzasadnienia działania sieci syjamskich przy trójklasowej klasyfikacji zużycia zewnętrznych krawędzi wiertel (red/yellow/green), gdzie podstawowy mechanizm bazuje na założeniu dwóch klas (similar/dissimilar).

W praktyce praca ogranicza się do wdrożenia i uruchomienia gotowego schematu, bez głębszego zrozumienia działania ani uzasadnienia doboru parametrów. Na poziomie pracy doktorskiej jest to poważny brak.

Autorzy deklarują testy na „realnych danych przemysłowych”. Jak wobec tego kształtuje się wariancja wyników (np. różnic między foldami). Jak kształtuje się liczba błędów green-red w odniesieniu do różnych długości okna dla konkurencyjnych metod. Wyniki benchmarków są porównywane jedynie w kontekście ogólnej trafności klasyfikacji, bez pełnej analizy błędów krytycznych (czyli tych, które generują straty dla producenta). Co będzie się działo w przypadkach brzegowych (np. otwory graniczne między klasami).

Moim zdaniem poziom eksperymentalny jest zbliżony do pracy inżynierskiej lub magisterskiej. Praca nie spełnia standardów doktoratu w zakresie rygoru eksperymentalnego i walidacji hipotez.

Zgodnie z deklaracją autorstwa, zarówno w zakresie koncepcji jak i metodologii występuje współpraca, a więc trudno ocenić rzeczywisty wkład i rolę doktoranta, które odróżniają jego

wkład od pozostałych autorów. Brakuje więc jasnego i wyraźnego śladu indywidualnego wkładu naukowego doktoranta, co podważa zasadność uznania tej publikacji jako samodzielnego komponentu doktoratu.

Choć praca jest poprawnie przygotowana pod względem technicznym i redakcyjnym, uznanie jej za pełnoprawny element rozprawy wymaga wyróżnienia indywidualnego wkładu naukowego.

W artykule 2 przedstawiono ciekawe podejście do oceny pewności decyzji w przypadku klasyfikacji z wieloma klasami. Zamiast twardej klasyfikacji, która przypisuje pojedynczą etykietę do każdej klasy, opisane rozwiązanie koncentruje się na ocenie każdego przypadku pod kątem pewności decyzji — sprawdzając, jak pewny jest klasyfikator w przypadku aktualnie przetwarzanego przykładu i decydując, czy należy wykonać ostateczną klasyfikację, czy też próbka powinna zostać ręcznie oceniona przez eksperta. Oceniane są 3 różne funkcje pewności (z wykorzystaniem entropii Shannona, indeksu Giniego oraz opartej na normach). W przypadku tej trzeciej, ponieważ brak powołania, należy uznać, że jest to wspólna propozycja autorów artykułu. Funkcja ta w liczniku ułamka oblicza jak bardzo wejściowy wektor prawdopodobieństw odbiega od sytuacji, w której model jest 100% pewny tej klasy. W mianowniku mamy największą możliwą odległość między dowolnym wektorem jednostkowym a wektorem "równomiernym". Po podzieleniu otrzymujemy wartość z przedziału $[0,1]$, gdzie 1 oznacza "najgorszą pewność", a 0 oznacza, że model jest "absolutnie pewny" tej klasy.

Moja uwaga krytyczna dotyczy statystycznej metodyki oceny jakości klasyfikacji. Autorzy piszą o metodzie pięciokrotnej walidacji krzyżowej, która wymaga losowego podziału. Autorzy stosują jednak deterministyczny podział zbioru na 5 części przedstawiony w tabeli w artykule.

Zgodnie z deklaracją autorstwa, zarówno w zakresie koncepcji, jak i metodologii występuje znów współpraca, a więc trudno ocenić rzeczywisty wkład i rolę doktoranta, jego wyraźny ślad indywidualnego wkładu naukowego.

Publikacja 3 jest nie powiązana tematycznie z tytułem pracy doktorskiej i jej celem gdyż dotyczy **rozpoznawania znaków** – japońskiej hiragany. Należy jednak podkreślić, że Autorzy tej publikacji zastosowali zmodyfikowaną wersję sieci kapsułowej ze zwiększoną liczbą warstw, co pozwoliło im osiągnąć dokładność zbliżoną do najlepszych dostępnych

modeli przy użyciu tylko niewielkiego ułamka parametrów, które są obecne w innych modelach dla wspomnianego problemu.

W **artykule 4** przedstawiono dostosowanie wielowarstwowej sieci neuronowej splotowej (CNN) do rozpoznawania stanu narzędzi w procesie frezowania. Zaimplementowana metoda stosuje 11-warstwową sieć CNN do klasyfikowania zużycia narzędzi w procesie frezowania płyt wiórowych, wykorzystując obrazy skalogramów pochodzące z sygnałów szeregów czasowych.

Metoda zamienia serie czasowe na skalogramy i dalej traktuje je jako obrazy, które klasyfikuje sieciami CNN.

Trochę zastanawiające jest dlaczego autorzy stosują metodę „na około”. Przecież są gotowe sieci rekurencyjne, jak na przykład LSTM, do klasyfikacji serii czasowych. Po drugie autorzy proponują bardzo złożoną architekturę sieci (Tabela 6 z kolejnymi warstwami zajmuje prawie dwie pełne strony), a w treningu ma tylko 870 obrazów. Moje doświadczenie jest takie, że to jest zdecydowanie za mały zbiór treningowy, ale może doktorant jest sprawniejszy w treningu sieci głębokich.

Dopatrując się plusów, można zauważyć, że doktorant uzyskał, albo przynajmniej raportuje, wysoką skuteczność rozpoznawania. Samo podejście, właśnie dlatego że jest na około, na pewno nie jest standardowe. Co potwierdzają raportowane wyniki, doktorant (wraz z zespołem) potrafił też dobrać odpowiednią architekturę sieci.

Artykuł 5 ten przedstawia szczegółową ocenę wydajności różnych architektur sieci neuronowych do klasyfikacji otworów wiertniczych w płytach wiórowych laminowanych. Zastosowano uczenie transferowe bazując na transformerach wizyjnych wykorzystując szereg wstępnie wyszkolonych, gotowych modeli. Wydajność każdego modelu mierzono i porównywano na podstawie dokładności klasyfikacji. Modele transformerów wizyjnych, szczególnie model B_32 trenowany przez 8000 epok, wykazały wyższą skuteczność, osiągając dokładność 71.14%.

Sposób działania całego systemu rozpoznawania i klasyfikowania obrazów nie jest trywialny, ale jednak jest poskładany z istniejących modułów. Nowatorstwo właściwie sprowadza się do użycia tej konkretnej metody w wybranym zadaniu. Większość pracy nr 5 zajmują szczegóły dotyczące technicznej realizacji eksperymentu, liczby epok etapu uczenia w różnych wariantach, zestawienie wyników (właściwie bez analizy, dlaczego te wyniki mogą się różnić). To jest raczej praca wdrożeniowa.

Rysunek 1 przedstawia tylko 3 obrazy po jednej dla każdej klasy, jakie ma odróżniać system oceny zużycia wiertła. "Na pierwszy rzut oka" to powinno być łatwe zadanie: mamy prawie czarne koło, a wokół niego dołączone mniejsze lub większe nieregularne obszary w jaśniejszym odcieniu. Znalezienie koła nie jest dużym problemem (np.: progowanie jasności, wykrycie krawędzi, transformata Hougha). Po znalezieniu koła sprawdzamy, jakie duże jest pole "szarych" obszarów na zewnątrz koła, porównujemy z dwoma progami i to wszystko. Tymczasem podane w artykule wyniki osiągnięte przez proponowaną (najlepszą) metodę nieco przekraczają 71%. Są więc znacznie niższe niż można byłoby się spodziewać przy tak zaawansowanym systemie. Być może jednak te 3 obrazy nie są reprezentatywne a problem nie jest tak prosty, jak może się wydawać patrząc tylko na te 3 obrazy.

Autorzy **publikacji 6** analizują problem zużycia wiertła w przemyśle meblarskim z wykorzystaniem uczenia maszynowego, koncentrując się na krytycznych błędach klasyfikacji, a nie tylko na dokładności ogólnej. Wskazanie problemu błędów krytycznych w klasyfikacji (np. mylenie klasy "Red" i "Green") jest interesujące i dobrze umotywowane. Praca jest bardzo dobrze napisana, z wyrazistą strukturą, dokładnymi algorytmami i ilustracjami. Jednak tekst zawiera miejscami nadmiarowe opisy (np. szczegółowa analiza architektury ResNet), które mogą odciągać uwagę od głównego wątku. W kilku miejscach styl przypomina raczej raport inżynierski niż rozprawę doktorską. Duży fragment poświęcony szczegółowemu opisowi narzędzi (np. architektura ResNet-18 warstwa po warstwie) mógłby zostać skrócony, aby uwolnić więcej miejsca na refleksję krytyczną. Podobnie opis sprzętu eksperymentalnego można by skrócić do najistotniejszych informacji, co pozwoliłoby skupić się na analizie naukowej.

Problem jest uzasadniony praktycznie, a wybór narzędzia XGBoost z niestandardowymi funkcjami straty ciekawy. Aplikacyjna tematyka artykułu jest więc istotna z punktu widzenia zastosowań przemysłowych. Dane są dobrze zorganizowane (5 wiertła, 8526 próbek). Zebrano realne dane z pięciu wiertła, co czyni analizę bardziej wiarygodną. Wykorzystano pięć różnych metod ekstrakcji cech, w tym klasyczne (HOG) i głębokie (ResNet), co daje szerokie pokrycie przestrzeni cech. Brano też pod uwagę falki Morleta, oraz cechy ręcznie definiowane, co świadczy o dużym nakładzie pracy eksperymentalnej.

Autorski wkład doktoranta obejmuje zaprojektowanie pięciu niestandardowych funkcji straty (Weighted Softmax Loss Variants 1–5), wprowadzenie funkcji strat z karą dla klas brzegowych (Edge Penalty), zaimplementowanie funkcji strat z mechanizmem ogniskowania

(focal loss) i dynamiczną wagą klas (Adaptive Weighted Softmax Loss). Adaptacyjna wersja funkcji straty to znaczący wkład, rzadko spotykany w literaturze XGBoost.

Warianty funkcji strat różnią się jednak jedynie arbitralną modyfikacją wag, bez formalnego uzasadnienia matematycznego czy optymalizacyjnego. Nie przedstawiono żadnych dowodów, że proponowane warianty są lepsze niż inne znane metody wagowania klas. Implementacja opiera się wyłącznie na heurystyce bez uzasadnienia teoretycznego, analizy zbieżności czy oszacowania ryzyka nadmiernego dopasowania. Brak selekcji cech i jakiegokolwiek oceny ważności tak dużej liczby cech.

Praca zawiera użyteczne obserwacje i elementy inżynierskie, ale brakuje jej solidnego wkładu metodologicznego i statystycznej walidacji, które byłyby wymagane na poziomie rozprawy doktorskiej. Autor powinien rozbudować część teoretyczną, przeprowadzić pogłębioną analizę literatury i wykazać, że jego rozwiązanie przewyższa istniejące metody. Brakuje porównania z innymi metodami detekcji zużycia (np. CNN, SVM, RF) – testowane są tylko warianty tej samej metody.

Podsumowując recenzję i uwzględniając wymagania stawiane rozprawom doktorskim należy stwierdzić następujące kwestie.

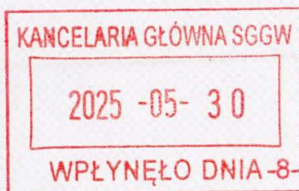
- Doktorant mgr inż. Michał Bukowski posiada ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną z zakresu budowania architektur sieci głębokich i potrafi korzystać z gotowych bibliotek oprogramowania.
- W większości publikacji cyklu mgr inż. Michał Bukowski jest pierwszym autorem, więc można założyć, że jest w stanie zaprojektować proces badawczy, pozyskać i opracować materiał, dobrać odpowiednie metody i w prawidłowy sposób z nich korzystać, **choć współautorstwo we wszystkich publikacjach trochę te opinie podważa.**
- Przedstawiony cykl publikacji mgr inż. Michała Bukowskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu zdefiniowanego w tytule pracy, jak i celu.

- W przedstawionych publikacjach autorzy głównie wykorzystują gotowe architektury, nie wgłębiając się w ich działanie i dobór parametrów, czego można byłoby oczekiwać od pracy na poziomie doktorskim. Przedstawionym publikacjom brakuje też solidnego wkładu metodologicznego i statystycznej walidacji, które byłyby wymagane na poziomie rozprawy doktorskiej.
- Na pokreślenie zasługuje dużą aktywność publikacyjną doktoranta. Według bazy WoS posiada 13 publikacji, indeks H wynosi 6 (to dużo, jak na doktoranta), zaś liczba cytowań - 64. Szkoda, że aż 5 z 13-tu publikacji doktoranta jest opublikowane w komercyjnym czasopiśmie Sensors.MDPI.

Uwzględniając powyższe uwagi, należy uznać, że przedstawiona rozprawa doktorska w postaci cyklu 6-ciu publikacji spełnia w stopniu minimalnym kryteria stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2020r. poz. 85 z późn. zm.). Dlatego, też **wnioskuję** do Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie **o dopuszczenie mgr inż. Michała Bukowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**



Kataryna Stępa
wydruki Automatyki
Elektronika i Informatyka
Politechnika Śląska
Akademicka 16
44-100 GLIWICE



RPW/14429/2025 N
Data: 2025-05-30



R

(00)459007734342330745



(00)459007734342330745



Poczta Polska

Oplata pobrana

M

zł

00

gr

PRIORITET
PRIORITAIRE

2023

Biurowo Obsługi Nauki
SGGW
Nowoursynowskie 166
02-787 WARSZAWA