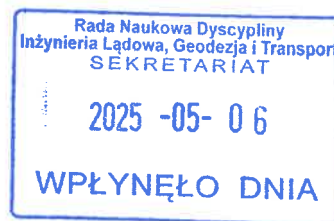


dr hab. inż. Anna Fryškowska-Skibniewska, prof. WAT
Katedra Rozpoznania Obrazowego
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dn. 28.04.2025 r.

*Przyjmuje pod
formalnym* *względem*
06.05.2025

WSD



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamili Barbary Kalinowskiej
na temat:

„OPRACOWANIE METODYKI WYKORZYSTANIA UCZENIA GŁĘBOKIEGO I AUTOMATYCZNEGO MODELOWANIA 3D W BADANIU OBRAŻEŃ CIAŁA NA PODSTAWIE OBRAZÓW POST-MORTEM”

1. Podstawa formalna

Formalną podstawą recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej, Pani dr hab. inż., prof. PW Katarzyny Osińskiej-Skotak nr 65/2025 z dnia 11 lutego 2025 r.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska obejmuje łącznie 198 stron (a także bibliografię, wykaz ilustracji i tabel), zawiera 80 rysunków i 15 tabel. Wykaz literatury liczy 180 pozycji i zawiera wszystkie istotne dla przedmiotu rozprawy publikacje, w większości pochodzące z renomowanych wydawnictw.

Rozprawa składa się z dziesięciu głównych, ponumerowanych rozdziałów oraz ze wstępu, podsumowania i wniosków końcowych, a także bibliografii. Rozdziały główne w zwartej i logicznej formie prezentują cel i przedmiot badań oraz tezę, której słuszność Autorka zamierza wykazać, a także podstawy teoretyczne, metody i algorytmy zastosowanych rozwiązań, jak również wyniki i interpretację przeprowadzonych testów praktycznych. Tekst rozprawy kończą poprawne i uzasadnione wnioski. Rozprawa jest dobrze przygotowana pod względem redakcyjnym.

3. Tematyka rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska związana jest z zagadnieniami zastosowania algorytmów uczenia głębokiego do detekcji i klasyfikacji wybranych obrazów ciała na podstawie obrazów post-mortem. Dodatkowo, podjęta tematyka dotyczyła analiz morfologicznych i morfometrycznych w przestrzeniach 2D i 3D. Rozprawa wpisuje się w obszar badawczy analiz teledetekcyjnych i fotogrametrycznych mieszczący się w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Ogół podjętych badań koncentrował się na: budowaniu unikatowej bazy danych dla medycyny sądowej, automatyzacji i obiektywizacji rozpoznania obrazów w stosunku do istniejących klasycznych metod obarczonych dużym wpływem czynników osobowych.

Pośmiertne kryminalistyczne metody obrazowania 3D są zagadnieniem złożonym, z uwagi na specyfikę tematu, skutkującą ograniczoną dostępnością „materiału badawczego”, wrażliwością tego typu danych oraz ograniczonym czasem ich pozyskania.

Autorka zauważa, że w ciągu ostatnich kilku lat znaczącą popularność w dziedzinie patologii sądowej zyskał termin „wirtualna sekcja zwłok”, a sama istota takiej procedury przynosi zysk w postaci bardzo szczegółowych i dokładnych danych obrazowych oraz modeli 3D, które w prosty sposób mogą podlegać archiwizacji. Doktorantka podkreśla także fakt, iż pozyskiwanie tego typu danych do analiz pośmiertnych jest czasochłonne i wymaga znajomości zasad prowadzenia szerokorozumianych analiz fotogrametrycznych.

Reasumując, temat rozprawy jest z pewnością aktualny i rozwiązuje problemy związane z niedoskonałością i subiektywnością tradycyjnych metod analiz obrazów powierzchni ciała poprzez zastosowanie zaawansowanych narzędzi analitycznych - w tym metod uczenia głębokiego. Oprócz wartości naukowych, podjęta tematyka i opracowane metody mogą mieć znaczenie praktyczne, szczególnie dla celów dokumentacyjnych medycyny sądowej.

4. Ocena tezy i procesu badawczego

Istotę problemu badawczego stanowiły dociekania w zakresie przedstawienia możliwości wykorzystania nowoczesnych technologii cyfrowych w procesie interpretacji obrazów znajdujących się na powłokach ciała ofiary, zidentyfikowania krytycznych priorytetów w zakresie zaproponowanych podejść oraz zbadaniu ich wpływu na praktyczny wymiar pracy lekarza medycyny sądowej.

Zakres ten podzielony został przez Doktorantkę na serię podzadań badawczych: opracowanie metodyki cyfrowej dokumentacji medycznej (w tym określenie parametrów pozyskiwania danych obrazowych post-mortem przedstawiających ofiary zdarzeń o charakterze kryminalnym i zbudowanie bazy danych); implementacja metod uczenia głębokiego do segmentacji semantycznej; integracja wykrytych obrazów z cyfrowymi modelami 3D, a także finalnie przeprowadzenie analiz morfometrycznych i morfologicznych do kompleksowej charakterystyki wykrytych obrazów. Autorka zaproponowała również podzadanie badawcze związane z rozwojem proponowanej metodyki oraz analizą możliwości wykorzystania autorskich rozwiązań w procesie sądowo-lekarskiego procesu zewnętrznych oględzin zwłok.

Cel pracy jest jednoznacznie sformułowany i dobrze uzasadniony, powiązany bezpośrednio z postawioną w pracy tezą, która brzmi następująco:

Wykorzystanie wybranych algorytmów uczenia głębokiego umożliwi automatyczną detekcję i klasyfikację obrazów ciała na podstawie zdjęć post-mortem a opracowana metodyka ich zapisu na wirtualnych modelach 3D ciała zautomatyzuje proces badania obrazów w diagnostyce sądowej.

Należy uznać, że sformułowanie celu i tezy rozprawy jest zrozumiałe i jednoznaczne. W celu udowodnienia postawionej tezy w rozprawie doktorskiej została przyjęta koncepcja badań podzielona na pięć części. Schemat badań przedstawiono na rysunku 6.1. Metodycznie plan ten jest poprawny i stanowi jednoznaczną realizację określonych uprzednio zadań

badawczych. Jednak zdaniem recenzenta wyróżnienie niniejszych zadań badawczych, późniejszy ich podział i opis w planie badawczym, następnie w części analitycznej, a także w końcowym *Podsumowaniu i wnioskach* jest dość zagmatwany. Być może jest to kwestia zbyt rozbudowanego opisu i zestawienia tych zagadnień na początku pracy, a w efekcie na jej końcu na potraktowaniu w sposób z jednej strony – podsumowujący, z drugiej jednak rozdzielający na odmiennie niż na początku rozprawy wyodrębnione zakresy badawcze. Widoczne jest to szczególnie w *Podsumowaniu i wnioskach* oraz we *Wnioskach szczegółowych*.

Niemniej realizacja tych badań doprowadziły w efekcie do:

- 1) Zbudowania unikatowego typu zbioru danych 2D i 3D (wg. wiedzy autorki jest to jedyna baza danych o podobnej treści);
- 2) Opracowania metodyki cyfrowej dokumentacji 3D post-mortem ciała;
- 3) Opracowania metodyki implementacji metod uczenia głębokiego do automatycznej i nieinwazyjnej detekcji oraz klasyfikacji dwóch wybranych zmian pourazowych z wykorzystaniem danych ze zbudowanej początkowo bazy;
- 4) Zaproponowania wstępnej integracji wykrytych obrażeń z cyfrowym modelem 3D ciała ludzkiego w celu tworzenia pilotażowego systemu wizyjnego;
- 5) Kompleksowej analizy morfologicznej i morfometrycznej obrażeń w przestrzeniach 2D i 3D;
- 6) Opracowania metodyki integracji algorytmów przetwarzania obrazów i analiz w spójne narzędzie umożliwiające analizę ciała w diagnostyce medyczno-sądowej.

Wyniki powyższych opracowań i badań zostały poddane wnikliwej analizie dokładności oraz weryfikacji, w wyniku której Autorka stwierdziła poprawność swojej metodyki. Doktorantka poddała także rezultaty analizie porównawczej w zestawieniu z metodami tradycyjnymi, wykazując tym samym zasadność wykorzystania pozyskanych danych oraz zastosowania metod uczenia głębokiego do automatyzacji procesów detekcyjnych i klasyfikacyjnych w diagnostyce sądowej.

Zaletą i oryginalnością rozprawy jest zatem zaproponowanie rozwiązań, które umożliwiają automatyzację oraz podniesienie dokładności detekcji i klasyfikacji dość trudnych i unikatowych obszarów zainteresowania jakimi są przedmiotowe obrażenia.

Doktoranta dostrzega także ograniczenia proponowanej metodyki, wykazując przyszłe trudności w budowaniu tego typu baz przez niedoświadczony (w aspekcie fotogrametrycznym) personel dokonujący oględzin ciała.

Kolejnym elementem pracy zasługującym na uwagę jest analiza wpływu zaproponowanych rozwiązań na efektywność i standaryzację procesu przeprowadzania sądowo-lekarskich zewnętrznych oględzin zwłok, co podkreśla użyteczny charakter wykonanych prac.

Rozprawa wykazuje, że Doktorantka umiejętnie wiąże wiedzę z zakresu teledetekcji i fotogrametrii z wiedzą jurystyczną. Oceniając oryginalność naukową zaproponowanego podejścia badawczego uważam, że posiada ono cechy rozwiązania nowego, nie występującego dotychczas w znanej mi literaturze tematu. Stąd uzasadnionym jest twierdzenie, że recenzowana praca, w zakresie wagi problemu badawczego spełnia wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim.

5. Uwagi do pracy

Poniżej przedstawiam kilka kwestii wymagających poruszenia. Związane są one zarówno z samym procesem badawczym jak i aspektami edycyjnymi.

5.1. Uwagi ogólne

- 1) Część teoretyczna jest bardzo obszerna, uwzględniająca zbyt wiele opisów metod i tak nieprzeanalizowanych później w pracy. Poniekąd sama Autorka odniosła się sceptycznie do obszerności części teoretycznej, o czym świadczy zapis na stronie 20, w podrozdziale 1.3 *Struktura rozprawy*.
- 2) Niektóre wnioski cząstkowe są zbyt ogólne bądź niezbyt precyzyjne:
 - Przykładowo, na stronie 118 podrozdział 8.3. *Ocena otrzymanych wyników* zapisano: „Biorąc pod uwagę użycie kamery niemetrycznej oraz trudny obiekt pomiarowy jest to dokładność wystarczająca dla diagnostyki sądowej”, konkluzja ta poprzedzona zestawieniem wartości błędów przetwarzania na etapie SfM nie jest jednak poparta ścisłym, konkretnym wnioskiem w kontekście wymienionych wyników numerycznych.
 - Innymi przykładami niezbyt ścisłych określeń mogą być: na stronie 187: „zwiększenie gęstości próbkowania miało umiarkowany wpływ na dokładność reprezentacji profili”, a także dalej: „wpływ zwiększenia gęstości próbkowania był bardziej wyraźny”, kolejno: „przy zastosowaniu gęstszej siatki uzyskano dokładniejsze odwzorowanie lokalnych zmian głębokości”. Wyrażenia typu: „silniejszego wpływu”, „wystraczającej rozdzielczości”, czy „bardziej wyraźny” są dość lakoniczne, nieścisłe i niepoparte wartościami liczbowymi.

5.2. Uwagi szczegółowe

Praca zredagowana jest bardzo starannie jednak w tak obszernym opracowaniu trudno nie popełnić błędów edytorskich. Wśród nich odnaleźć można między innymi:

- brak objaśniania skrótu detektora BLOB (strona 56) w *Wykazie wykorzystanych skrótów*, jak również (CI) czy też (S.D.) – strona 145 w *Wykazie wykorzystanych skrótów* bądź dalej w tekście;
- sporadyczne literówki (np.: strona 46 przypis 8, strona 103: powtórzenie „sekcynym”, strona 166: „siarki” zamiast „siatki” i kilka innych, które i tak nie są przedmiotem dociekań recenzenta);
- powszechne stosowanie różnego znaku separatora dziesiętnego: raz kropka raz przecinek (tylko dla przykładu: tabela 8.4 vs. tabela 8.2 oraz opis w tekście pracy).

5.3. Pytania

Zaproponowane w rozprawie podejście i opracowana metodyka są poprawne. Praca jest dość złożona pod względem poruszanych kwestii, głównie z uwagi na wielowątkowość. Dlatego nasuwa się kilka pytań, które mogłyby w przyszłości pomóc w ulepszeniu proponowanego rozwiązania:

- 1) Czy zdjęcia wykorzystane do budowy bazy obrazów post-mortem (str. 105-106) wykonane w dniach od 05/07/2021 r. do 29/08/2022 r. były wykorzystane zawsze w tych samych warunkach oświetleniowych? Czy korzystano z dodatkowego oświetlenia sztucznego? Jeśli tak to jakiego i czy powtarzalnego? Czy miało lub mogłoby mieć to znaczenie dla wyników prac?

Pytanie odnosi się do punktu 1 – *Zapewnienie właściwego źródła światła (Schemat przedstawiający ustalone warunki fotografowania zapewniając odpowiednie i powtarzalne warunki pomiarowe - Rysunek 7.5.)*

- 2) Uwaga do wniosku szczegółowego nr 2 w podrozdziale 12.2. *Wnioski szczegółowe*, który można rozumieć następująco: szybkość wykrywania obrażenia i jego rejestracja zajmuje nieporównywalnie mniej czasu niż tradycyjna metoda dokumentacji obrażeń. Jednak moje pytanie brzmi: czy w przytoczonym porównaniu wliczony został czas przygotowania obiektu zainteresowania oraz jego otoczenia (tła), a także stanowisk narzędzi pomiarowych tak jak sugeruje się w proponowanej metodyce, jak również czas przygotowania obiektu zainteresowania oraz dokumentacji w metodzie tradycyjnej?

Porównanie to przytoczone zostało także na stronie 145, gdzie Autorka podaje zestawienie statystyczne czasu oceny obrażeń na powłokach ciała wykonanej przez doświadczonego lekarza medycyny sądowej vs. ocena na obrazie (domniemywam że chodzi o automatyczną analizę obrazu). Jednak nie uwzględnia to procesu pozyskiwania i wstępnego przetwarzania danych obrazowych do tejże analizy, a także brakuje informacji czy chodziło o te same dwa typy obrażeń czy ogólnie o wszystkie rodzaje obrażeń. Takie porównanie jest ciekawe, ale nie do końca sprecyzowane zostały jego warunki brzegowe przynajmniej w zestawieniu opisowym w tych dwóch różnych miejscach pracy.

- 3) Wybór operatora detekcji krawędzi (strona 163): czy Doktorantka rozważała wykorzystanie filtrów adaptacyjnych, które zarówno wyostrzają krawędzie jak i niwelują występowanie potencjalnych szumów? Tego typu operacje w konsekwencji dynamicznie dostosowują parametry np. rozmiar maski, kierunek, intensywność filtracji na podstawie lokalnych cech obrazu – takich jak tekstura, kontrast, czy szum?
- 4) Kalibracja kamery. Doktoranta sama zauważa konieczność zastosowania kalibracji kamery w procesie kartometrycznego opracowania fotogrametrycznego (kilkukrotne przytoczenie tejże konkluzji, np. strony: 155, 192, 195). Dlaczego więc nie udało się wykonać tej niezbyt złożonej procedury?

Proszę o syntetyczne ustosunkowanie się do powyższych pytań.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w aktualną problematykę naukową związaną z badaniami nad widzeniem komputerowym, a szczególnie metodami przetwarzania obrazów cyfrowych. Wynikiem wykonanych przez Doktorantkę badań jest opracowana przez nią oryginalna metodyka wykorzystania algorytmów uczenia głębokiego do poprawy dokładności i automatyzacji detekcji oraz klasyfikacji wybranych obrazów ciała.

W swej pracy Doktorantka nie uniknęła uchybień, które dotyczą jednakże wyłącznie formy prezentacji pracy, w niczym nie umniejszając wartości merytorycznej i poznawczej wyników badań jako własnego, oryginalnego i nowatorskiego osiągnięcia naukowego. Wyniki rozprawy mają również istotne znaczenie praktyczne, które rokuje ich szerokie wykorzystanie.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska Pani mgr inż. Kamili Barbary Kalinowskiej pt. *Opracowanie metodyki wykorzystania uczenia głębokiego i automatycznego modelowania 3D w badaniu obrazów ciała na podstawie obrazów post-mortem* stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego i spełnia wymogi zawarte w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.). Po zapoznaniu się z przedłożoną rozprawą stwierdzam również, że jej Autorka ma wystarczający zasób wiedzy teoretycznej, jak i specjalistycznej z zakresu przedmiotowej dyscypliny naukowej oraz posiadała umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej.

W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę przeprowadzone badania, ich obszerność i złożoność przy jednoczesnym uwzględnieniu najnowszych trendów przetwarzania danych obrazowych, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Anna Fyśkowska - Skibniewska