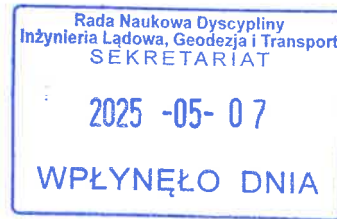


Zatwierdzam pod
względem formalnym
17.05.2025
(signature)

dr hab. inż. Sławomir Mikrut, Prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Fotogrametrii, Teledetekcji Środowiska
i Inżynierii Przestrzennej
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
smikrut@agh.edu.pl

Kraków, 19 kwietnia 2025 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Kamila Barbara Kalinowska

na temat :

„Opracowanie metodyki wykorzystania uczenia głębokiego i automatycznego modelowania 3D w badaniu obrazów ciała na podstawie obrazów post-mortem”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport - Pani dr hab. inż. Katarzyny Osińskiej-Skotak, profesora uczelni z dnia 20 lutego 2025 roku na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej nr 65/2025 z dnia 11 lutego 2025 r., z prośbą o wykonanie recenzji.

Promotorem rozprawy doktorskiej była Pani dr hab. inż. Dorota Zawieska, profesor uczelni, a promotorem pomocniczym – dr n. med. Marcin Fudalej.

2. Ocena istotności i aktualności tematu

Tematyka rozprawy podjęta przez Panią mgr inż. Kamilę Barbarę Kalinowską ma charakter interdyscyplinarny i łączy zaawansowane metody fotogrametrii i teledetekcji, uczenia maszynowego oraz medycyny sądowej. Praca ma charakter bardzo praktyczny i ważny społecznie aspekt: dotyczy automatyzacji detekcji oraz klasyfikacji obrażeń ciała u ofiar zgonów przy użyciu nowoczesnych technologii cyfrowych. Już sam pomysł jak i podjęcie takiego tematu świadczy o dużej samoświadomości badawczej Doktorantki, ale też dużym doświadczeniu obu Promotorów. Tematyka obejmuje bowiem skomplikowane zagadnienie automatyzacji opracowania dokumentowania sekcji zwłok, która ma ogromne znaczenie dla medycyny sądowej i wymiaru sprawiedliwości. Taka dokumentacja stanowi kluczowy element dowodowy, szczególnie w przypadkach podejrzenia przestępstwa. Podczas sekcji szczególną uwagę zwraca się na typowe obrażenia, takie jak np. wylewy krwi do tkanek oraz otarcia naskórka, które często wskazują na działanie przemocy. Tradycyjnie ich ocena opiera się na doświadczeniu lekarza i wzrokowej analizie, co niesie ryzyko błędów i subiektywnej interpretacji. W odpowiedzi na te ograniczenia, Doktorantka zaproponowała wykorzystanie zaawansowanych narzędzi cyfrowych – w szczególności algorytmów głębokiego uczenia maszynowego do automatycznego wykrywania i klasyfikacji obrażeń na podstawie obrazów *post-mortem* oraz tworzenia modeli 3D ciał z zaznaczonymi obrażeniami. Pozwala to nie tylko na bardziej precyzyjne określenie cech urazów (kształtu, głębokości, kierunku działania siły), ale także na ich wielokrotną analizę bez konieczności ponownego dostępu do ciała. Podobne rozwiązania są coraz częściej rozwijane na świecie – w krajach takich jak Niemcy, Szwajcaria czy Japonia wprowadza się wirtualne autopsje („*virtopsy*”) z wykorzystaniem tomografii komputerowej i skanowania 3D. Umożliwiają one nieinwazyjne badanie zwłok, a także lepsze archiwizowanie materiału dowodowego. Szwajcarski Instytut Medycyny Sądowej w Zurychu stworzył jeden z pierwszych kompleksowych systemów do cyfrowych autopsji, które dziś wykorzystywane są także w międzynarodowych badaniach katastrof czy konfliktów zbrojnych. Rozwiązania zaproponowane w tej pracy wpisują się zatem w ten światowy trend digitalizacji medycyny sądowej, oferując dodatkowo analizę morfologiczną w 2D i morfometryczną w 3D. Dzięki temu możliwe jest nie tylko szybsze i bardziej obiektywne

dokumentowanie obrażeń, ale również ich dokładniejsze interpretowanie, co może być nieocenione w sprawach dotyczących przemocy, zwłaszcza powtarzającej się. Stworzona cyfrowa baza danych i modele 3D stanowią trwały zapis stanu ciała, możliwy do analizy nawet po wielu latach – bez potrzeby ekshumacji.

3. Teza, cel i zadania badawcze rozprawy doktorskiej

Teza pracy została podana przez Doktorantkę w punkcie 1.1 pracy na stronie 19 i brzmi następująco: *“wykorzystanie wybranych algorytmów uczenia głębokiego umożliwia automatyczną detekcję i klasyfikację obrażeń ciała na podstawie zdjęć post-mortem a opracowana metodyka ich zapisu na wirtualnych modelach 3D ciał zautomatyzuje proces badania obrażeń w diagnostyce sądowej”*.

Cel pracy został podany na tej samej stronie jako: *“zbadanie możliwości automatycznej interpretacji obrażeń znajdujących się na powłokach ciała człowieka, powstałych na krótko przed zgonem”*.

Osiągnięcie celu pracy Doktoranta zaplanowała poprzez realizację poniższych szczegółowych zadań badawczych:

1. Utworzenie zintegrowanej bazy danych 2D-TIP i 3D-TIP, obejmującej obrazy post mortem przedstawiające ofiary przestępstw lub zdarzeń o charakterze kryminalnym.
2. Określenie parametrów ekspozycji, geometrii zdjęć i procesu modelowania 3D sylwetki człowieka z wykorzystaniem sieci zdjęć post-mortem, w celu stworzenia cyfrowej dokumentacji medycznej.
3. Implementacja i walidacja metod głębokiego uczenia do segmentacji semantycznej z wykorzystaniem zdjęć post-mortem (2D) dwóch kategorii zmian pourazowych (tj. podbiegnięć krwawych i otarć naskórka) powstałych na ciele człowieka na krótko przed jego zgonem.
4. Integracja wykrytych obrażeń z opracowanym cyfrowym modelem 3D, która stanowić będzie pilotażowy system wizyjny.

5. Przeprowadzenie kompleksowych analiz morfometrycznych i morfologicznych obrazów w celu uzyskania ich pełnej charakterystyki ilościowej i jakościowej.
6. Identyfikacja krytycznych obszarów zaproponowanego podejścia oraz wskazanie priorytetów wymagających optymalizacji w kontekście dalszego rozwoju systemu.
7. Analiza wpływu zaproponowanych rozwiązań na efektywność i standaryzację procesu przeprowadzania sądowo-lekarskich zewnętrznych oględzin zwłok.

Zdefiniowane tezy, głównego celu oraz problematyki badawczej stanowi w mojej opinii spójną całość potwierdzoną badaniami opisanymi w rozprawie. Celem potwierdzenia tezy badawczej Doktorantka zebrała trudnodostępne materiały, prawidłowo przeprowadził eksperymenty oraz bardzo szczegółowo je opisała w rozprawie. Założony początkowo cel badawczy miał zostać udowodniony poprzez przeprowadzone eksperymenty na podstawie odpowiednio zebranych materiałów oraz prawidłowo zdefiniowanej - w mojej opinii - metodyce badawczej.

W mojej opinii postawiona w pracy teza jest prawidłowa. Cel badawczy pozwala na jej udowodnienie, a wykazanie jego słuszności ma zarówno aspekt poznawczy jak i duże znaczenie praktyczne.

4. Ocena pracy wraz z uzasadnieniem

4.1 Struktura rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z 13 rozdziałów oraz wykazu ilustracji i tabel. Rozdział 1 definiuje tezę, cele oraz strukturę pracy. Rozdziały 2-5 stanowią część teoretyczną wraz z pogłębionym przeglądem literatury przedmiotu. Na uwagę zasługuje zastosowanie „interdyscyplinarnego pomostu” (*nazwa użyta w rozprawie przez Doktorantkę*) łączącego część inżynierską z częścią medyczną. Oryginalne prace badawcze Doktorantki, stanowiące wg niej zasadniczy wkład naukowy rozprawy, zostały przedstawione w rozdziałach 6-12. Całość rozprawy

zamyka rozdział 13 obejmujący bibliografię (180 pozycji na 19 stronach). Cała rozprawa składa się z 229 stron, 80 ilustracji i 15 tabel.

W mojej opinii struktura pracy stanowi ciągły i logiczny układ. Zebrana literatura obejmuje najważniejsze pozycje w kilku dyscyplinach w tym zakresie. Wszystkie używane pojęcia są jasno zdefiniowane, a rysunki i tabele (np. anatomiczne oznaczenia obrażeń, algorytmy sieci FCN, etapy rekonstrukcji 3D) pełnią funkcję wspomagającą i edukacyjną. W pracy nie doszukałam się cytowań do prac, których Doktorantka jest autorem lub współautorem.

4.2 Ocena merytoryczna

Rozprawa Pani mgr inż. Kamili Barbary Kalinowskiej ma charakter interdyscyplinarny (fotogrametria i teledetekcja, głębokie uczenie maszynowe oraz praktyki medycyny sądowej).

Rozprawa wyróżnia się skomplikowaną strukturą badawczą, głęboką analizą teoretyczną oraz mocnym osadzeniem w praktyce – zwłaszcza w kontekście procedur sądowo-lekarskich, które często są ograniczone przez subiektywność interpretacyjną i brak standaryzacji.

Dużym atutem pracy jest oryginalny charakter badań własnych – Doktorantka nie ogranicza się do zastosowania istniejących rozwiązań, lecz tworzy własne zasoby (bazy danych 2D-TIP i 3D-TIP), rozwija nowe procesy i implementuje procedury, które mogą realnie zmienić standardy dokumentowania obrażeń w medycynie sądowej. Świadczy to o bardzo wysokich kompetencjach autorki w zakresie badań naukowych: posiada ona zdolność do samodzielnego formułowania problemów badawczych, projektowania eksperymentów, analizy wyników oraz krytycznej oceny ich znaczenia. Całość pracy wskazuje na pełną dojrzałość naukową i zdolność do prowadzenia niezależnej działalności badawczej w przyszłości. Zarówno cel, jak i teza mają **charakter innowacyjny i aplikacyjny**, odpowiadając na pilną potrzebę unowocześnienia procedur stosowanych w praktyce sądowo-lekarskiej. Autorka udowadnia, że współczesne narzędzia z zakresu sztucznej inteligencji, fotogrametrii i teledetekcji mają potencjał praktycznego zastosowania w kontekście wspomagania ekspertyz sądowych, a nie są wyłącznie domeną środowisk inżynierskich. Doktorantka zadbała również o **kontekst medyczno-prawny** formułowanego celu – w rozprawie odwołuje się do aktów prawnych (w tym Kodeksu

postępowania karnego) oraz procedur stosowanych podczas sądowo-lekarskich oględzin zwłok, co znacząco zwiększa wiarygodność oraz praktyczną wartość rozprawy.

Zastosowana metodyka

Rozprawa przedstawia niezwykle szeroko zakrojony i wieloetapowy program badawczy, złożony z pięciu wyodrębnionych części empirycznych. Każda z nich bazuje na samodzielnie opracowanych i zaimplementowanych rozwiązaniach autorki, a także na danych pozyskanych w rzeczywistych warunkach Zakładu Medycyny Sądowej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. W proponowanym podejściu można wyróżnić etapy:

1. **Utworzenie baz danych 2D-TIP i 3D-TIP** - stworzenie unikalnych zbiorów danych – obrazy 2D obrazujące otarcia i podbiegnięcia krwawe oraz zdjęcia do modelowania 3D. Bazy te stanowią oryginalny dorobek naukowy i zostały manualnie opisywane w specjalistycznym narzędziu, co zapewniło wysoką jakość danych do uczenia modeli AI.
2. **Modelowanie 3D sylwetki ciała ludzkiego metodą SfM-MVS** - zastosowanie algorytmów *Structure-from-Motion* oraz *Multi-View Stereo* umożliwiło stworzenie fotorealistycznych modeli 3D ciał *post-mortem*. Proces obejmował szereg etapów: wyrównanie zdjęć, generowanie chmury punktów, siatek trójkątów i teksturowanie, co wymagało dużego doświadczenia od Doktorantki.
3. **Głębokie uczenie maszynowe do segmentacji semantycznej** - w badaniach wykorzystano sześć architektur sieci *Fully Convolutional Networks: U-Net, FPN i LinkNet* z dwoma typami *ResNet50* i *EfficientNetB3*. Modele były trenowane na danych ze zbioru 2D-TIP i osiągnęły wysoką skuteczność w wykrywaniu obrażeń, co potwierdzono wskaźnikami miar (*mIoU, recall, precision*), a co wymagało dobrej wiedzy informatycznej.
4. **Przeniesienie wyników segmentacji na model 3D** - to istotny etap algorytmu – pełna integracja segmentacji semantycznej z teksturowanym modelem ciała. Dzięki temu możliwe było przestrzenne odwzorowanie obrażeń i ich analiza w dowolnym czasie po zakończeniu sekcji.
5. **Analiza morfometryczna i morfologiczna obrażeń** - innowacyjne podejście do ilościowej i jakościowej analizy cech obrażeń (kształt, głębokość, kontury), zarówno w przestrzeni 2D

(z wykorzystaniem macierzy konwolucji), jak i 3D (analiza krzywizn głównych, grafy ważone, interpolacja spline, PCA).

Każdy etap został szczegółowo udokumentowany, poparty odpowiednią liczbą pomiarów i wizualizacją wyników. Autorka w sposób dojrzały zrealizowała pełen cykl naukowy: od pozyskania danych, przez przetwarzanie, testowanie modeli, aż po interpretację i ocenę przydatności zaproponowanego systemu.

Nowatorstwo i oryginalność

Rozprawa wyróżnia się na tle prac doktorskich w tej dyscyplinie wyjątkowym stopniem oryginalności i interdyscyplinarnego podejścia. Innowacyjność pracy ujawnia się zarówno w **koncepcji badawczej**, jak i w **praktycznej realizacji metod naukowych**, co zasługuje na szczególne podkreślenie. Doktorantka stworzyła i wykorzystwała **unikalne zbiory danych 2D-TIP oraz 3D-TIP**, będące zasobami tego typu. Dane zostały pozyskane w warunkach klinicznych, z wykorzystaniem ustandaryzowanego protokołu fotograficznego oraz profesjonalnych narzędzi do etykietowania. Samodzielne stworzenie bazy danych takiej skali świadczy o wysokiej samodzielności

i zaawansowanych kompetencjach badawczych.

Po drugie, na szczególne uznanie zasługuje **zastosowanie metod głębokiego uczenia do segmentacji obrazów** i integracji wyników segmentacji z modelami 3D ciał post-mortem. Opracowane rozwiązanie umożliwia odwzorowanie obrazów w przestrzeni trójwymiarowej w sposób trwały, niezależny od czasu i dostępności ciała. Autorka wprowadza pojęcie „wirtualnej sylwetki ofiary” jako nośnika informacji kryminalistycznej, co ma duży potencjał zastosowania w praktyce sądowej i edukacji medycznej.

Po trzecie, wykorzystanie zaawansowanej **analizy morfometrycznej i morfologicznej obrazów w przestrzeni 2D i 3D** z użyciem konwolucji, krzywizn głównych, grafów ważonych, PCA i interpolacji spline to przykład autorskiej, wyskospecjalistycznej inżynierii danych w obszarze medycyny sądowej. Takie podejście pozwala na ilościowe ujęcie zmian urazowych, a przez to ich bardziej precyzyjne sklasyfikowanie i interpretację — co w klasycznej medycynie sądowej pozostaje wyzwaniem.

Analiza wyników

Doktornatka przeprowadziła wieloetapową, metodycznie zaplanowaną weryfikację rezultatów badań, co świadczy o dobrym zrozumieniu zarówno narzędzi, jak i przedmiotu badania. Jakość wyników jest wysoka, a interpretacja rezultatów – adekwatna i logicznie powiązana z założeniami teoretycznymi i celami badawczymi. Po pierwsze, zastosowane **modele segmentacji obrazów (U-Net, FPN, LinkNet z backbone'ami ResNet50 i EfficientNetB3)** zostały porównane między sobą, a wyniki ocenione według obiektywnych miar jakości (accuracy, mIoU, precision, recall). Autorka pokazała, że sieci typu FCN osiągają zadowalające efekty nawet w przypadku obrazów o zmiennym oświetleniu i jakości, co czyni zaproponowane podejście praktycznym.

Doktorantka przeprowadziła również analizę dokładności projekcji wyników segmentacji na modele 3D i uzyskała bardzo dobre wyniki dowodzące skuteczności zastosowanego podejścia nawet w trudnych warunkach (np. zabrudzeń). Ta część pracy – choć technicznie bardzo złożona – została szczegółowo opisana i oceniona z wykorzystaniem kryteriów jakości odwzorowania przestrzennego (np. pokrycie teksturą, zgodność konturów obrazów, ich lokalizacja anatomiczna). Doktorantka w sposób dojrzały przeprowadziła również analizy morfometryczne i morfologiczne obrazów. Uzyskane parametry (kształt, głębokość, objętość, orientacja) zostały porównane z wynikami klasycznych ocen ekspertów. Zidentyfikowano korelacje, które potwierdzają, że modele matematyczne pozwalają skutecznie rozróżniać rodzaje urazów, co może wspomóc ocenę charakteru obrazów (np. przypadkowe vs celowe).

Ważne jest, że Doktornatka nie ograniczyła się do prezentacji pozytywnych rezultatów – wskazała również ograniczenia badawcze (m.in. różnice w strukturze anatomicznej, wpływ cieni i artefaktów, trudności w rekonstrukcji płytkich zmian), co buduje wiarygodność naukową pracy i pokazuje zdolność do krytycznej samooceny. Jest to o tyle istotne, bo rzadko kiedy młodzi naukowcy potrafią być samokrytyczni, a to powinna być cecha dobrego naukowca, bo tylko konstruktywna krytyka pozwala wytyczać dalsze kierunki badań.

4.3 Uwagi krytyczne

Choć rozprawa prezentuje bardzo wysoki poziom merytoryczny i badawczy, autorka uczciwie wskazuje ograniczenia zaproponowanego podejścia, co należy uznać za przejaw dojrzałości naukowej. Po pierwsze – zakres obrażeń. Praca skupia się na dwóch kategoriach urazów: podbiegnięciach krwawych i otarciach naskórka. Choć są to jedne z najczęstszych i najistotniejszych urazów w medycynie sądowej, system nie został jeszcze przetestowany na innych, bardziej złożonych zmianach (rany kłute, cięte, tłuczone, oparzenia itp.). W przyszłości warto rozważyć rozszerzenie klasyfikatora o dodatkowe kategorie urazów, co umożliwi jego pełniejsze zastosowanie w praktyce. Po drugie – jakość i ustandaryzowanie danych. Zbiór danych post-mortem, mimo iż unikalny, opiera się na zdjęciach wykonanych z użyciem jednej konfiguracji sprzętowej (Canon EOS 5D Mark II). Należy zauważyć, że jakość obrazu może się różnić w zależności od warunków oświetleniowych, rodzaju użytej kamery oraz umiejętności fotografa. Istnieje zatem potrzeba stworzenia protokołu fotograficznego opartego na standaryzacji ustawień i pozycji ciała, aby zapewnić powtarzalność i niezależność od środowiska.

Po trzecie – ograniczenia techniczne integracji 2D–3D. Choć autorka z powodzeniem zintegrowała segmentację obrażeń z modelami 3D, projekcja wyników może generować artefakty wynikające z niedoskonałości mapowania przestrzennego. W szczególności dla obrazów o niskim kontraście lub silnym zakłóceniu (np. krew, płyny, kurz) możliwe jest przesunięcie maski segmentacyjnej względem anatomicznej lokalizacji obrażeń. Autorka zaznacza potrzebę dalszego rozwijania metod uwzględniających strukturę topologiczną ciała przy transformacjach.

Po czwarte – uwarunkowania prawne i etyczne: Autorka sygnalizuje, że pełne wdrożenie takiego systemu w procedurach sądowych wymaga rozstrzygnięcia kwestii prawnych i standardów dowodowych. Cyfrowa dokumentacja obrażeń (w tym modele 3D) musiałaby zostać prawnie uznana jako dowód równorzędny z klasyczną dokumentacją fotograficzną lub protokołem sekcyjnym.

Po piąte – brak walidacji w warunkach klinicznych: Ze względu na ochronę danych i charakter materiału (postępowania w toku), autorka nie miała możliwości przeprowadzenia szerokiego testu systemu z udziałem zespołów lekarzy medycyny sądowej. Choć zebrane dane

eksperymentalne są imponujące, warto w przyszłości rozważyć testy walidacyjne w rzeczywistych przypadkach sądowych z udziałem biegłych.

Dla mnie również interesujący jest aspekt wykorzystania zobrażeń hiperspektralnych. Czy zwiększenie liczby i zakresu wykorzystanych kanałów może wpłynąć na przeprowadzone analizy. Będę prosił Doktorantkę o rozwinięcie tego zagadnienia podczas obrony.

5. Wniosek końcowy

Praca Pani mgr inż. Kamili Barbary Kalinowskiej jest bardzo wartościowym i oryginalnym dziełem dającym znaczny wkład w dyscyplinę Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. W sposób wyczerpujący odpowiada na postawione cele badawcze, jednocześnie wskazując potencjalne kierunki dalszych badań.

W mojej opinii praca posiada również wysoki stopień innowacyjności przedstawionych rozwiązań, które stanowią argument przemawiający za przyznaniem stopnia doktora. Doktorantka wykazała się odpowiednią wiedzą teoretyczną oraz posiada wysokie umiejętności samodzielnego prowadzenia interdyscyplinarnego eksperymentu naukowego i prawidłowego interpretowania wyników.

Rozprawa mgr inż. Kamili Kalinowskiej spełnia wszystkie wymagania stawiane przed pracą doktorską w zakresie nauk inżynieryjno-technicznych. Jest to praca kompletna, rzetelna, interdyscyplinarna i wnosi nową jakość do praktyki sądowo-lekarskiej, z potencjalnym wpływem na unowocześnienie procedur dowodowych i edukacji medycznej.

Po pierwsze – wkład merytoryczny. Doktorantka wykazała się doskonałą znajomością zagadnień z zakresu przetwarzania obrazów, sieci neuronowych, geometrii obliczeniowej, jak również procedur sądowo-lekarskich. Połączenie tych dziedzin w jedną spójną koncepcję badawczą świadczy o wysokim poziomie interdyscyplinarności i samodzielności naukowej.

Po drugie – wartość aplikacyjna. Praca nie ogranicza się do czystej teorii – Doktorantka zaprojektowała działający prototyp systemu cyfrowej dokumentacji obrazów, który może być w przyszłości zaimplementowany w instytutach medycyny sądowej. Możliwość wielokrotnej

oceny modeli 3D ofiar oraz automatyczne wspomaganie klasyfikacji obrazów może znacznie podnieść jakość ekspertyz.

Cel główny badawczy został osiągnięty i potwierdzony w eksperymentach.

Doktoranta prawidłowo dobrała materiał badawczy udowadniając cel główny rozprawy. Praca wymagała znacznego poszerzenia wiedzy przez Doktorantkę celem przeprowadzenia interdyscyplinarnego eksperymentu. Moje uwagi krytyczne czy dyskusyjne nie obniżają wartości pracy. Stwierdzam zatem, że na podstawie przeprowadzonych eksperymentów oraz wyników badań zrealizowany został cel badawczy pracy oraz udowodniono postawioną na wstępie tezę że:

„wykorzystanie wybranych algorytmów uczenia głębokiego umożliwia 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”

Doktorantka wykazała się dobrym warsztatem naukowym, potrafiła dobrać odpowiednie metody badawcze, poradziła sobie z interdyscyplinarnością rozwiązywanych problemów. Udowodniła, że potrafi analizować i oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski.

Spełnia zatem oba niezbędne warunki ustawy tj. prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną dziedzinach dyscyplin wraz z posiadaniem umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a także przedmiot rozprawy doktorskiej jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego w sferze gospodarczej.

Stwierdzam zatem, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Kamili Barbary Kalinowskiej pt. *„Opracowanie metodyki wykorzystania uczenia głębokiego i automatycznego modelowania 3D w badaniu obrazów ciała na podstawie obrazów post-mortem”* spełnia wymagania zawarte w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Załącznik z dnia 15 września 2017 r., poz. 1789) w związku z 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.)

Stawiam zatem wniosek o przyjęcie przedłożonej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pani mgr inż. Kamili Barbary Kalinowskiej do następnych etapów przewidzianych w przepisach o przewodach doktorskich.

W mojej opinii przedłożona praca stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe i bardzo dobrze wpisuje się w najnowsze trendy stosowane w przetwarzaniu i analizie obrazów bazujące na metodach głębokiego uczenia maszynowego, a proponowane rozwiązanie ma również bardzo duże znaczenie praktyczne wnoszę zatem o **wyróżnienie pracy**. Doktorantka potwierdziła swoimi badaniami przydatność tych rozwiązań otrzymując jednocześnie bardzo dobre rezultaty.

Oryginalnym atutem rozwiązania jest charakter eksperymentów – autorka nie ogranicza się do zastosowania istniejących rozwiązań, lecz tworzy własne zasoby, rozwija nowe procesy i implementuje procedury, które mogą realnie zmienić standardy dokumentowania obrażeń w medycynie sądowej. Czyli mamy tutaj nową wiedzę w oparciu o najnowsze metody badawcze m.in. sztuczną inteligencję.

Oryginalność pracy nie polega jedynie na wdrożeniu nowej technologii, lecz przede wszystkim na całościowej koncepcji systemu diagnostycznego wspierającego biegłych sądowych, który może zostać wykorzystany zarówno w dokumentacji sekcyjnej, jak i w postępowaniach sądowych.

W mojej opinii Doktorantka wnosi do dyscypliny naukowej - Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport swoje innowacyjne osiągnięcie naukowe w postaci opracowania metodyki wykorzystującej algorytmy głębokiego uczenia maszynowego i automatycznego modelowania 3D w badaniu obrażeń ciała na podstawie obrazów *post-mortem*, co stanowi doskonały łącznik kilku dyscyplin naukowych.



dr hab. inż. Sławomir Mikrut, Prof. AGH

Kraków, 19 kwietnia 2025 r.