

Łódź, dn. 20 sierpnia 2018 r.

dr hab. inż. **Anna Fabijańska**, prof. PŁ  
Instytut Informatyki Stosowanej  
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,  
Informatyki i Automatyki  
Politechnika Łódzka  
Ul. Stefanowskiego 18/22  
90-924 Łódź

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej **mgr inż. Tomasza Kubika** na temat:  
Metoda trójwymiarowej segmentacji mięśnia lewej komory serca  
w obrazowych danych medycznych

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Kałużyński

Promotor pomocniczy: Krzysztof Mikołajczyk

### 1. Podstawa sporządzenia recenzji

Niniejsza recenzja została sporządzona na prośbę Pani prof. dr hab. inż. Natalii Golnik - Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, wyrażoną w piśmie nr WMt.521.20.2018 z dnia 4 lipca 2018 r. Recenzja została sporządzona na podstawie przedłożonego tekstu rozprawy.

### 2. Cel i zakres tematyczny rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. **Tomasza Kubika** w szerokim ujęciu poświęcona jest problemowi opracowania metod **komputerowego wspomaganie medycznej diagnostyki obrazowej** (CAD). Jest to istotny i współcześnie bardzo dynamicznie rozwijający się obszar nauki, obejmujący szeroko pojęte techniki komputerowe i informacyjne wspomagające lekarzy w zakresie identyfikacji, analizy i oceny zmian patologicznych widocznych w obrazach klinicznych. Kluczowym etapem w większości technik CAD jest **segmentacja obrazu**, czyli wyodrębnienie obiektu zainteresowania (np. organu lub jego części) z całości informacji obrazowej. Obiekt taki w kolejnych etapach poddawany jest opisowi ilościowemu (zależnemu od rozważanego problemu) mającemu na celu dostarczenie obiektywnej informacji istotnej z punktu widzenia diagnozy.

Pomimo rosnącej popularności i dostępności systemów CAD, w praktyce klinicznej segmentacja obrazów medycznych w dalszym ciągu często dokonywana jest pół-manualnie tj. w drodze mniej lub bardziej dokładnego zaznaczania obszaru zainteresowania. Często jest to proces żmudny i czasochłonny, zwłaszcza w przypadku obrazów 3D, w których obszar zainteresowania niejednokrotnie pokryty jest przez kilkadziesiąt przekrojów. Z tego też powodu, opracowanie metod automatycznej segmentacji obrazów jest współcześnie **istotnym i nie w pełni rozwiązany problemem**. Wprawdzie istnieje wiele metod segmentacji obrazów,

jednakże ich zastosowanie jest często ograniczone do konkretnego problemu oraz modalności obrazowania.

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Tomasz Kubik skoncentrował uwagę na **opracowaniu metody trójwymiarowej segmentacji mięśnia lewej komory serca w danych zmiennych w czasie oraz z uwzględnieniem jego wewnętrznej (endokardium) oraz zewnętrznej (epikardium) ściany**. Wynik segmentacji w tym przypadku wspomaga wyznaczenie hemodynamicznych parametrów pracy oraz perfuzji mięśnia sercowego. Ten proces diagnostyczny nie został jeszcze w pełni zautomatyzowany, dlatego **tematykę rozprawy uważam za uzasadnioną, interesującą oraz aktualną**. Warto również zauważyć, że (w przeciwieństwie do wielu innych metod segmentacji obrazów) Doktorant **nie ograniczył swoich rozważań do jednej modalności obrazowania medycznego**, podejmując wyzwanie opracowania metody uniwersalnej, tj. pozwalającej (po łatwej adaptacji) na segmentację mięśnia lewej komory serca z obrazów uzyskanych w trzech różnych modalnościach i pięciu protokołach obrazowania; w szczególności są to: ultrasonografia (echokardiografia), tomografia rezonansu magnetycznego (dane perfuzyjne i czynnościowe) oraz pozytronowa tomografia emisyjna (dane dynamiczne i bramkowe). **Fakt ten dodatkowo podnosi istotność zagadnień rozważanych w pracy**. W celu rozwiązania ww. problemu Doktorant zaproponował metodę należącą do grupy aktywnych modeli, wykorzystującą deformowalny model poszukiwanego obiektu, tj. mięśnia lewej komory serca.

Zakres tematyczny rozprawy, w szczególności fakt, że dotyczy ona przetwarzania i analizy obrazów biomedycznych, pozwala w mojej ocenie zakwalifikować ją do **dyscypliny biocybernetyka i inżynieria biomedyczna**.

### **3. Układ rozprawy i zawartość poszczególnych rozdziałów**

Recenzowana rozprawa obejmuje 126 stron maszynopisu podzielonego na osiem numerowanych rozdziałów (sekcji) poprzedzonych wykazem skrótów i oznaczeń wykorzystanych w pracy. Struktura i podział treści kolejnych rozdziałów tworzą logiczną i spójną całość. Rozdziały 1-3 stanowią wprowadzenie do rozważanego w rozprawie problemu segmentacji mięśnia lewej komory serca. Natomiast zasadnicza część rozprawy zawarta została w Rozdziałach 4-5, w których Doktorant opisał autorskie rozwiązanie oraz przedstawił i przeanalizował wyniki jego działania. Szczegółowa zawartość poszczególnych rozdziałów kształtuje się następująco:

**Rozdział 1** stanowi krótkie wprowadzenie do rozważanych w pracy zagadnień oraz przedstawia motywację do podjęcia badań. Definiuje także w sposób jednoznaczny cel rozprawy oraz krótko streszcza zawartość treści jej kolejnych rozdziałów.

**Rozdział 2** charakteryzuje metody obrazowania mięśnia sercowego, koncentrując się na modalnościach obrazowania rozważonych w rozprawie, tj. ultrasonografii, tomografii rezonansu magnetycznego oraz pozytronowej tomografii emisyjnej. Dla każdej z ww. modalności przybliża sposób pozyskiwania obrazów oraz przedstawia przykładowy obraz serca, wskazując jednocześnie lokalizację mięśnia lewej komory. Wyjaśnia wartość diagnostyczną i sposób wykorzystania informacji obrazowej w danej modalności w diagnostyce kardiologicznej oraz wskazuje na zalety i wady każdego z rozważanych sposobów obrazowania.

W **Rozdziale 3** Autor przybliżył pojęcie segmentacji obrazów oraz wskazał problemy z nią związane. Przedstawił również krótki przegląd (klasyfikację) i charakterystykę istniejących metod segmentacji, bardziej szczegółowo skupiając się na metodach z grupy aktywnych modeli. W szczególności, omówił aktywne modele gradientowe, aktywne modele obszarowe oraz



algorytm BEAS (ang. *B-Spline Explicit Active Segmentation*), którego rozwinięcie stanowi metoda zaproponowana w pracy.

**Rozdział 4** rozpoczyna zasadniczą część rozprawy przedstawiając szczegóły autorskiego algorytmu segmentacji 3D mięśnia lewej komory serca. W szczególności, pierwsza część rozdziału definiuje od strony formalnej model deformowalny stanowiący podstawę zaproponowanej metody, ze szczególnym uwzględnieniem rozwinięć (ulepszeń) zaproponowanych przez Doktoranta. Z kolei druga część rozdziału poświęcona jest opisowi algorytmu segmentacji bazującego na zaproponowanym modelu oraz iteracyjnego sposobu jego wykonania.

W **Rozdziale 5** przedstawiona została obszerna weryfikacja poprawności działania metody segmentacji zaproponowanej w pracy. W szczególności, dla każdej z rozważanych modalności oraz protokołów obrazowania serca Doktorant omówił procedury zastosowane w celu oceny poprawności działania autorskiej metody oraz przedstawił uzyskane wyniki (w bezpośrednim lub pośrednim) odniesieniu do wyników wzorcowych. Rozdział kończy dyskusja uzyskanych rezultatów oraz analiza słabych i mocnych stron zaproponowanej w rozprawie metody segmentacji mięśnia sercowego lewej komory serca oraz zastosowanych metod jej weryfikacji.

Zasadniczą część rozprawy zamyka podsumowanie zawarte w **Rozdziale 6**. Do pracy dołączony został również wykaz literatury obejmujący 89 pozycji literaturowych z lat 1945-2017 (w tym trzy pozycje autorstwa Doktoranta – Jego pracę magisterską oraz dwa współautorskie artykuły) oraz cztery dodatki zawierające dane uzupełniające do przeprowadzonych eksperymentów (Dodatki A-C) i definicje miar tekstury wykorzystanych w pracy (Dodatek D).

Rozprawa napisana jest poprawnym językiem, w sposób przystępny i zrozumiały, ale z zachowaniem odpowiedniego poziomu formalizmu. Jej zawartość wskazuje, że **Autor posiada wiedzę teoretyczną** z zakresu rozważanego w pracy problemu segmentacji obrazów 2D oraz 3D z wykorzystaniem modeli deformowalnych, jak również **ogólną wiedzę na odpowiednim poziomie z zakresu nauk technicznych i dyscypliny pracy**.

#### 4. Oryginalny wkład Doktoranta

Do oryginalnych osiągnięć Pana mgr inż. **Tomasza Kubika** przedstawionych w recenzowanej rozprawie doktorskiej zaliczam:

1. Zaproponowanie modelu deformowalnego powierzchni opisanego przy użyciu funkcji sklepanych rozpiętych na siatce węzłów.

Model deformowalny przedstawiony w rozprawie stanowi modyfikację metody BEAS (ang. *B-Spline Explicit Active Segmentation*). Doktorant zaproponował, aby funkcjonal energetyczny zastosowany w metodzie źródłowej (opisujący energię wynikającą z cech obrazu, w którym umieszczony jest kontur) rozszerzyć o dwa dodatkowe składniki opisujące energię wewnętrzną konturu wynikającą z jego właściwości mechanicznych. W szczególności, są to: energia wynikająca z odporności na rozciąganie oraz energia wynikająca z odporności na zginanie. Składniki te pozwalają na lepszą kontrolę deformacji modelu wpływając m.in. na jego kształt oraz gładkość. Kierunek i tempo deformacji modelu określa wypadkowy gradient wszystkich trzech rodzajów energii. Stopień wpływu poszczególnych składników regulują stosowne wagi.

Model opisany został w sferycznym układzie współrzędnych oraz rozpięty na siatce węzłów. Te ostatnie poruszają się wzdłuż półprostych rozchodzących się



promieniście ze środka układu współrzędnych. Pomiędzy węzłami model opisują funkcje B-sklejane. W konsekwencji model może być zastosowany w przestrzeni zarówno dwu- jak i trójwymiarowej.

## **2. Opracowanie algorytmu segmentacji obrazów 3D wykorzystującego ww. model, zaproponowanie iteracyjnego sposobu jego wykonania oraz adaptacji do obrazów 3D lewej komory serca o różnych modalnościach i protokołach obrazowania.**

Doktorant wykorzystał autorski model aktywnego konturu do segmentacji endokardium (wewnętrzna ściana komory serca) oraz epikardium (zewnątrzna ściana komory serca) ewoluując jednocześnie dwa modele umieszczone w tym samym układzie współrzędnych. Wprowadził również ograniczenia wzajemne modeli. W szczególności, po wyznaczeniu położenia wewnętrznej ściany mięśnia sercowego, model ściany zewnętrznej może poruszać się tylko w ograniczonym zakresie, wynikającym z grubości poddanego segmentacji organu. Adaptacja modelu do danych obrazowych o różnych modalnościach dokonywana jest w drodze modyfikacji parametrów opisujących udział poszczególnych rodzajów energii w całkowitej energii modelu. W rozprawie rozważone zostały dane echokardiograficzne (US), dane tomografii rezonansu magnetycznego (MRI) oraz dane pozytronowej tomografii emisyjnej (PET). Metoda została zaimplementowana jako rozszerzenie oprogramowania firmy Pmod Technologies dedykowanego do analizy kardiologicznych danych obrazowych (MRI oraz PET), co pozwoliło w wygodny sposób przetestować działanie autorskiego algorytmu w środowisku docelowym.

Dla każdej z rozważanych modalności i protokołów obrazowania Doktorant zaproponował również sposób inicjalizacji modelu, tj. wskazania konturu początkowego, od którego rozpoczyna się proces minimalizacji energii. W szczególności, w przypadku danych echokardiograficznych inicjalizacja dokonywana jest w drodze wyrysowania elipsy w pobliżu krawędzi mięśnia. Z kolei w przypadku obrazów MRI konieczne jest ustawienie na pierwszej ramce znaczników przybliżających położenie mięśnia sercowego. Do znaczników następnie dopasowywane są elipsy, które przenoszone są w drodze interpolacji na przekroje, na których nie ma znaczników. Segmenty łączone są następnie w trójwymiarowy szkielet, na którym rozpinany jest model oparty na powierzchniach B-sklejanych. Dla protokołu perfuzyjnego zaproponowano również sposób wyboru ramki, w odniesieniu, do której należy wykonać segmentację. Technikę tą adaptowano również do danych dynamicznych PET. W przypadku protokołu bramkowego PET do zdefiniowania konturu początkowego Doktorant wykorzystał metodę zaimplementowaną w oprogramowaniu Pmod.

## **3. Eksperymentalna weryfikacja opracowanej metody segmentacji**

Doktorant dokonał obszernej weryfikacji eksperymentalnej opracowanej metody segmentacji mięśnia lewej komory serca w odniesieniu do danych obrazowych o trzech różnych modalnościach tj. symulowanych danych echokardiograficznych (US), rzeczywistych danych tomografii rezonansu magnetycznego (MRI) oraz rzeczywistych danych pozytronowej tomografii emisyjnej (PET). Dla każdej z ww. modalności oraz ich wybranych protokołów obrazowania, Doktorant zaprojektował i wykonał szereg eksperymentów, pozwalających na potwierdzenie (bezpośrednie lub pośrednie) poprawności działania autorskiej metody.



W przypadku danych echokardiograficznych, działanie autorskiej metody zostało zweryfikowane w oparciu o dane symulowane. W szczególności, wynik segmentacji mięśnia lewej komory serca został porównany bezpośrednio z wzorcowymi maskami przedstawiającymi ten organ, uzyskanymi z syntetycznych siatek, na podstawie których dane echokardiograficzne zostały wygenerowane. Rozważono dane symulujące pacjentów zdrowych oraz z dysfunkcjami serca. Do opisu stopnia zgodności obszarów wykorzystano współczynniki DICE i Jaccarda oraz specyficzność i czułość.

W przypadku danych rezonansu magnetycznego ocena poprawności działania autorskiej metody segmentacji została przeprowadzona w sposób pośredni. W szczególności, dla protokołu czynnościowego Doktorant porównał objętości (skurczową i rozkurczową) lewej komory mięśnia sercowego wyznaczone na podstawie wyniku automatycznej segmentacji z odpowiadającymi wynikami uzyskanymi w programie Qmass (stosowanego w praktyce klinicznej) na podstawie wyników ręcznej segmentacji przeprowadzanej przez eksperta. Podobną procedurę zastosowano do weryfikacji działania metody w protokole bramkowym PET z tą różnicą, że jako dane referencyjne wykorzystano wyniki pomiaru objętości uzyskane z programu QGS (również stosowanego powszechnie w praktyce klinicznej). W obydwu przypadkach uzyskano wysoką korelację wyników autorskich i wzorcowych. W przypadku protokołu bramkowego PET Doktorant przeprowadził dodatkowo badania fantomowe oraz zaproponował metodę znajdowania płaszczyzny, w której znajduje się zastawka, co było konieczne do dopasowania modelu w tym obszarze.

Weryfikacji działania autorskiej metody segmentacji w odniesieniu do protokołów perfuzyjnych MRI oraz PET Doktorant dokonał w sposób pośredni w drodze porównania perfuzji i rezerwy perfuzji uzyskanej za pomocą modelowania krzywych intensywności wokseli uzyskanych z obszarów znalezionych autorską metodą z odpowiadającymi krzywymi uzyskanymi z referencyjnych segmentów. Również w tym przypadku zgodność wyników autorskich i wzorcowych była wysoka.

Dodatkowo, dla każdej z rozważanych modalności i protokołów obrazowania, Doktorant podjął próbę eksperymentalnego wyznaczenia optymalnych wartości parametrów opisujących udział poszczególnych rodzajów energii w całkowitej energii modelu. Dokonał tego stosując algorytm znajdowania minimum funkcji wielu zmiennych Powella. Minimalizacji poddano odwrotność współczynnika DICE pomiędzy wynikami segmentacji autorską metodą a wynikami wzorcowymi wygenerowanymi syntetycznie lub dostarczonymi przez eksperta.

Ww. eksperymenty wykazały w większości dużą zgodność wyników uzyskanych na podstawie obszaru dostarczonego przez autorski algorytm segmentacji z wynikami wzorcowymi. **To w mojej ocenie potwierdza, że cel rozprawy został osiągnięty.**

## 5. Uwagi o charakterze krytycznym i polemicznym

Lektura recenzowanej rozprawy nasuwa także pewne uwagi o charakterze krytycznym oraz polemicznym. Zamieszczam je poniżej. Cześć z nw. uwag stanowi podstawę do dyskusji podczas publicznej obrony.

- A. Przegląd literatury zawarty w rozprawie skupia się głównie na metodach segmentacji ogólnego przeznaczenia, w szczególności na metodach modeli deformowalnych. Jest to właściwe, gdyż metoda z tej grupy stanowi przedmiot recenzowanej rozprawy. W pracy



brakuje jednak odniesienia do metod segmentacji dedykowanych dla mięśnia lewej komory serca z obrazów o różnych modalnościach, na którym to problemie Autor koncentruje swoją uwagę. Takie metody istnieją, więc wskazane byłoby zamieszczenie w rozprawie ich krytycznego przeglądu. Doktorant przybliży jedynie metodę BEAS będącą metodą ogólnego przeznaczenia (przetestowaną m.in. w problemie segmentacji wewnętrznej ściany mięśnia sercowego z obrazów ultrasonograficznych), która stanowiła punkt wyjścia dla autorskiego rozwiązania przedstawionego w rozprawie.

- B. Klasyfikacja metod segmentacji przedstawiona w rozprawie jest też bardzo „tradycyjna”, gdyż wskazuje głównie „klasyczne” podejścia. Warto by jednak dodatkowo odnotować istnienie algorytmów segmentacji bazujących na grafach (dość popularnych kilka lat temu) oraz najnowszych rozwiązań z obszaru szeroko pojętego uczenia głębokiego, które w ostatnim czasie zdają się dominować wśród podejść do segmentacji obrazów (również w obszarze obrazów medycznych).
- C. W kontekście dwóch powyższych uwag, w rozprawie zabrakło również krytycznego odniesienia własnych wyników do wyników dostarczanych przez inne (konkurencyjne wobec przedstawionej w rozprawie) metody. Doktorant oszacował dokładność swojej metody segmentacji poprzez odniesienie (pośrednie lub bezpośrednie) do pewnych danych referencyjnych. Nie wiadomo jednak, o ile (i czy w ogóle) autorska metoda jest lepsza od istniejących rozwiązań – chociażby metody BEAS, którą Autor potraktował jako punkt wyjścia dla rozważań zawartych w rozprawie. Zamieszczenie takiego porównania z pewnością byłoby z korzyścią dla rozprawy i w przypadku porównania na korzyść dla autorskiego algorytmu, podkreśliłoby jego walory.
- D. Segmentacja trójwymiarowych danych medycznych często wiąże się z problemami wynikającymi z ograniczonych zasobów obliczeniowych. Jak zatem wygląda zużycie zasobów komputera (czas, pamięć) w przypadku metody segmentacji mięśnia lewej komory serca zaproponowanej w recenzowanej rozprawie? W pracy wskazano, że testowano metodę na danych obejmujących 40 ramek/cykl pracy serca (CPS) dla echokardiografii, 25 ramek/CPS dla obrazów MRI oraz 8 ramek/CPS dla badania PET. Czy segmentacja wykonywana była w czasie rzeczywistym? Jakie były rozdzielczości (liczba przekrojów przed i po interpolacji, wymiary przekrojów w pikselach) dla każdej z grup rozważanych danych obrazowych?
- E. W Rozdziale 5.2 Doktorant podjął próbę doboru optymalnych wartości parametrów (wag) opisujących udział poszczególnych rodzajów energii w energii całkowitej ewoluującej powierzchni (konturu). Uzyskane wartości parametrów zastosował do ponownej segmentacji wykazując pewien wzrost miar jakości segmentacji w stosunku do wartości przed optymalizacją. Eksperyment wzbudza pewne zastrzeżenia, gdyż (jak rozumiem) powtórna segmentację przeprowadzono wyłącznie na obrazach w oparciu, o które dokonywano optymalizacji. Lepszym rozwiązaniem byłoby w mojej ocenie podzielenie danych na zbiór uczący (wykorzystywany do optymalizacji) oraz zbiór testowy (przeznaczony do sprawdzenia, czy wyznaczone wartości parametrów pozwalają uzyskać poprawę segmentacji również dla danych, które nie były wcześniej widziane). Jakiego było uzasadnienie do wyboru testowanego zakresu zmienności parametrów? Czy testowano działanie modelu z każdym składnikiem energii z osobna oraz ich różnymi kombinacjami?
- F. Poświęcając dużo uwagi parametrom opisującym udział poszczególnych rodzajów energii, Doktorant zupełnie pominął kwestię doboru wartości pozostałych parametrów algorytmu (tj. współczynnika kroku algorytmu i jego mnożników, stopnia powierzchni B-sklejanej, liczby węzłów w siatce modelu oraz rozmiaru analizowanego sąsiedztwa danego węzła, wskazanych



m.in. w Tabelach 5.10, 5.13- 5.15 oraz 5.17) ustawiając je arbitralnie oraz pozostawiając bez komentarza.

- G. Jak rozumiem, Doktorant dysponował referencyjnymi wynikami segmentacji mięśnia lewej komory serca dla wszystkich rozważanych pacjentów oraz modalności obrazowania (wyniki te zostały wykorzystane przy znajdowaniu optymalnych wartości parametrów opisujących udział składowych energii, por. s. 61). Dlaczego zatem, w przypadku danych MRI oraz PET, wyników działania autorskiej metody nie odniesiono bezpośrednio do referencyjnych wyników segmentacji, tylko stosowano rozwiązania pośrednie? Jak wypada autorska metoda w takim porównaniu?
- H. Dla każdej z rozważanych modalności Doktorant zaproponował sposób wskazania konturu początkowego. Czy badano, jak bardzo autorska metoda jest wrażliwa na inicjalizację?
- I. Dlaczego w histogramach na Rysunkach 5.1-5.3 na osi poziomej reprezentującej jasności wokseli występują liczby posiadające część ułamkową? Czy są one wynikiem kwantyzacji jasności do 256 poziomów, o której wspomina Doktorant w tekście (s. 56)?
- J. Schemat blokowy na Rysunku 4.2 referuje do Rysunku 4.2. Domyślam się, że powinien odsyłać do Rysunku 4.3. Podobna uwaga dotyczy Rysunku 5.30, który odsyła do schematu na Rysunku 5.4, gdzie pokazane są macierze współwystąpień, a prawdopodobnie powinien odsyłać do Rysunku 5.31.

## 6. Strona edytorska rozprawy

Rozprawa jest przygotowana bardzo starannie od strony edytorskiej. Sposób prezentacji danych oraz wyników jest czytelny i nie wzbudza zastrzeżeń. Ilustracja graficzna jest obszerna i właściwie dobrana do treści. Jakość ilustracji jest w zdecydowanej większości odpowiednia.

## 7. Dorobek naukowy Doktoranta

W bazach Web of Science oraz Scopus zaindeksowane zostały łącznie cztery współautorskie publikacje Pana mgr inż. Tomasza Kubika z lat 2014-2016. Wśród nich jest jeden artykuł w czasopiśmie *Biocybernetics and Biomedical Engineering* uwzględnionym w JCR (IF= 1.374, 15 pkt MNiSzW), dwa pokonferencyjne rozdziały wydane w serii *Advances in Intelligent Systems and Computing* wydawnictwa Springer oraz jeden rozdział w książce tego samego wydawnictwa. W dwóch z tych rozdziałów Doktorant jest pierwszym autorem. W wykazie literatury dołączonym do rozprawy dodatkowo wskazany został również abstrakt konferencyjny opublikowany w suplemencie do jednego z numerów czasopisma *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. Oceniam, że jest to dorobek średni - typowy na tym etapie kariery naukowej.

## 8. Podsumowanie

Pomimo uwag krytycznych uważam, że **rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Kubika stanowi interesujący wkład** w rozwój uniwersalnych metod segmentacji trójwymiarowych obrazów medycznych. Zaproponowana w rozprawie metoda segmentacji mięśnia lewej komory serca z obrazów medycznych o różnych modalnościach i protokołach akwizycji **stanowi oryginalne rozwiązanie** zdefiniowanego na wstępie rozprawy **problemu naukowego**. Wyniki eksperymentów potwierdzają poprawność opracowanej metody oraz wskazują na jej potencjał

aplikacyjny. W mojej ocenie, metoda może być z powodzeniem zastosowana również do problemów innych, niż rozważana w rozprawie segmentacja mięśnia lewej komory serca.

W celu rozwiązania problemu będącego przedmiotem rozprawy, jej Autor zastosował właściwe metody badawcze oraz wykazał umiejętność prawidłowego planowania i realizacji badań, analizy uzyskanych wyników eksperymentalnych i formułowania wniosków. **Potwierdził** tym samym **umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych**.

W związku z powyższym oceniam, że **rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Kubika spełnia wymagania** określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 20 czerwca 2016 r., poz. 882). **Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**

Anne Falcjajewsk