

Dr hab. n. farm. Sławomir Wilczyński, prof. SUM  
Katedra i Zakład Podstawowych Nauk Biomedycznych  
tel.: +48 507 169 625  
e-mail: swilczynski@sum.edu.pl

Sosnowiec, 06.11.2024

**Recenzja Rozprawy Doktorskiej mgr inż. Michała Tomasza Walczaka pt.  
*„Wykorzystanie metod analizy i przetwarzania obrazów mikrotomograficznych  
w pomiarach szerokości kanałów muszli ślimaków z praktyczną weryfikacją ze  
wzorcem”.***

Recenzję rozprawy doktorskiej sporządzono na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Roberta Michnika.

Praca wykonana została w pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Roberta Koprowskiego.

**I. Ocena doboru tematu rozprawy**

Doktorant podjął się interesującego i aktualnego tematu dotyczącego opracowania metody analizy obrazów mikrotomograficznych do pomiaru szerokości kanałów muszli ślimaków. Jest to zagadnienie istotne z punktu widzenia badań ewolucyjnych i morfologicznych tych organizmów. Dotychczasowe metody pomiaru były ograniczone głównie do analiz dwuwymiarowych lub wymagały znacznych uproszczeń. Zaproponowanie nowej, zautomatyzowanej metody trójwymiarowej analizy z wykorzystaniem mikrotomografii komputerowej jest więc cennym wkładem w rozwój tej dziedziny badań. Doktorant słusznie zauważa, że istniejące metody pomiarowe nie pozwalają na precyzyjne określenie drożności kanału muszli ślimaka, szczególnie w kontekście możliwości przemieszczania się przez niego embrionu. Podjęcie się opracowania dedykowanego algorytmu do tego celu jest w pełni uzasadnione. Uważam, że sformułowanie tematu rozprawy jest właściwe i dobrze oddaje zakres przeprowadzonych badań. Podjęcie przez Pana mgr inż. Michała Tomasza Walczaka tej problematyki uważam za w pełni uzasadnione, a wybór tematu za trafny i aktualny.

## II. Struktura rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje 91 stron maszynopisu formatu A4, 34 ponumerowanych rycin, 10 ponumerowane tabele oraz bibliografię liczącą 40 pozycje.

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 1-6. Układ pracy jest przejrzysty, a podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały nie budzi zastrzeżeń. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy są poprawnie zdefiniowane. Materiały ilustracyjne oraz tabele zamieszczone w pracy w sposób właściwy przedstawiają rozważania Doktoranta. Praca została napisana poprawnym językiem i spełnia standardy edytorskie stawiane rozprawom doktorskim.

## III. Cel pracy i teza rozprawy

Głównym celem pracy było opracowanie i weryfikacja skuteczności algorytmu do pomiaru drożności kanału muszli ślimaków lądowych z rodziny *Clausiliidae*. Jak wskazuje autor: *"Pomiary drożności kanału muszli ślimaka wymagają wykorzystania niestandardowych metod pomiarowych, pozwalających na pomiar drożności kanału, nie tyle pod względem jego przekroju poprzecznego, ale możliwości przemieszczania przez jego światło obiektu zbliżonego do sfery."*

Autor podkreśla, że w przypadku złożonej struktury kanału muszli ślimaka: *"algorytm powinien mieć możliwość takiego sterowania przebiegiem pomiaru, by pomiarami objąć tę część kanału, która najbardziej odpowiada naturalnej drodze rodnej ślimaka, tak, by w przypadku prowadzenia pomiarów w muszli o złożonej strukturze zminimalizować potrzebę ręcznej modyfikacji przebiegu pomiaru"*.

Doktorant prawidłowo sformułowała cel pracy, który brzmi: *"profilowany algorytm do pomiaru drożności kanału ślimaka jest skuteczną metodą pomiarową pozwalającą na wnioskowanie co do wpływu rozwoju aparatu zamykającego muszlę na rozwój ewolucyjny ślimaka lądowego"*.

Podsumowując, celem pracy było stworzenie nowej metody pomiarowej dostosowanej do specyfiki badań muszli ślimaków, która pozwoliłaby na analizę wpływu budowy aparatu zamykającego muszlę na ewolucję tych organizmów. Teza zakłada, że opracowany algorytm stanowi skuteczne narzędzie badawcze w tym zakresie.

#### IV. Treść rozprawy

W pierwszym rozdziale (Wprowadzenie) Autor wprowadza czytelnika w tematykę badań nad pomiarami geometrycznymi oraz ich znaczeniem w diagnostyce medycznej. Zwraca uwagę na to, że nowoczesne metody obrazowania, takie jak mikrotomografia komputerowa ( $\mu$ CT), odgrywają kluczową rolę w efektywności diagnozy, umożliwiając uzyskanie precyzyjnych informacji o strukturach biologicznych. Pan mgr inż. Michał Walczak podkreśla, że pomiary geometryczne są nie tylko istotne dla potwierdzania hipotez badawczych, ale także dla rozwoju nowych technologii w medycynie. Autor przedstawia różnorodność kształtów muszli ślimaków oraz ich wpływ na życie i rozwój tych organizmów, co stanowi tło dla dalszych badań. Doktorant w tym rozdziale precyzyjnie formułuje cel pracy, którym jest opracowanie algorytmu do pomiaru szerokości kanałów muszli, oraz przedstawia problem badawczy, tezę i zakres prac. Na koniec zarysowuje strukturę rozprawy, co pozwala czytelnikowi zrozumieć, jak poszczególne części pracy są ze sobą powiązane.

Rozdział drugi (Istniejące rozwiązania) koncentruje się na przeglądzie dotychczasowych badań dotyczących analizy obrazów w dwóch i trzech wymiarach. Autor omawia metody stosowane w analizie 2D i 3D oraz wskazuje na ich ograniczenia oraz możliwości dalszego rozwoju. Wskazuje na potrzebę udoskonalenia istniejących technik pomiarowych, aby uzyskać dokładniejsze wyniki. Przegląd ten stanowi solidną podstawę dla dalszych badań i uzasadnia konieczność opracowania nowych algorytmów pomiarowych. Doktorant słusznie zwraca uwagę na różnorodność podejść do analizy obrazów oraz ich zastosowanie w różnych dziedzinach nauki, co podkreśla znaczenie interdyscyplinarności w badaniach naukowych, szczególnie w zakresie inżynierii biomedycznej.

W trzecim rozdziale (algorytm pomiarowy) Autor szczegółowo opisuje opracowany algorytm pomiarowy. Zawiera on informacje na temat danych wejściowych, środowiska obliczeniowego oraz procesu segmentacji obrazów. Segmentacja jest kluczowym krokiem w analizie danych mikrotomograficznych, pozwalającym na wydobycie istotnych informacji z surowych danych obrazowych. Pan mgr inż. Michał Walczak przedstawia krok po kroku działanie algorytmu, od zbierania danych po obliczenia geometryczne. Kluczowym elementem jest implementacja algorytmu z użyciem skryptu w środowisku Matlab, co pozwala na praktyczne zastosowanie zaproponowanych metod. Autor omawia także wyzwania związane z automatyzacją procesu

pomiarowego oraz proponuje rozwiązania mające na celu zwiększenie dokładności i efektywności algorytmu.

Czwarty rozdział (Praktyczna weryfikacja ze wzorca) koncentruje się na praktycznej weryfikacji algorytmu za pomocą fantomów i modeli cyfrowych. Autor opisuje przygotowanie próbki oraz metody badawcze stosowane do oceny dokładności algorytmu pomiarowego. Wyniki badań są analizowane pod kątem ich zgodności z danymi teoretycznymi, co pozwala ocenić skuteczność opracowanej metody. Doktorant przedstawia także wyniki pomiarów przeprowadzonych na modelach kanałów o różnych kształtach, co ilustruje elastyczność algorytmu w różnych warunkach. W tej części pracy autor zwraca uwagę na znaczenie walidacji wyników oraz ich interpretacji w kontekście biologicznym.

W piątym rozdziale (Pomiar szerokości muszli ślimaków) Autor opisuje proces pozyskiwania próbek muszli ślimaków oraz ich skanowania przy użyciu mikrotomografii. Podkreśla znaczenie precyzyjnego przygotowania próbek dla uzyskania wiarygodnych wyników pomiarów szerokości kanałów muszli. Wyniki pomiarów są następnie omawiane w kontekście biologicznym, co pozwala na lepsze zrozumienie wpływu kształtu muszli na życie i rozwój ślimaków. Doktorant analizuje również różnice między gatunkami oraz ich adaptacje do środowiska, co ma kluczowe znaczenie dla ekologii tych organizmów.

Szczególnie interesujący jest rozdział dyskusji, gdzie doktorant wskazuje na potencjalne zastosowanie zaproponowanego algorytmu w badaniach drożności ludzkich kanałów zębowych oraz ludzkich przewodów słuchowych. Pan mgr inż. Michał Walczak zauważa, że opracowany algorytm może być adaptowany do analizy struktur anatomicznych u ludzi, co otwiera nowe możliwości w diagnostyce medycznej. Zastosowanie mikrotomografii do oceny drożności kanałów zębowych może przyczynić się do lepszego zrozumienia patologii stomatologicznych oraz efektywniejszego planowania leczenia endodontycznego. Z kolei analiza przewodów słuchowych może wspierać diagnostykę schorzeń związanych ze słuchem oraz poprawić procedury chirurgiczne związane z implantami słuchowymi.

Ostatni rozdział podsumowuje osiągnięcia pracy i wskazuje na praktyczne zastosowanie opracowanego algorytmu w różnych dziedzinach nauki i przemysłu. Autor przedstawia plany dalszych badań oraz możliwości rozwoju technologii pomiarowych związanych z mikrotomografią. Wskazuje również na potencjalne kierunki przyszłych prac badawczych, które mogą przyczynić się do udoskonalenia metod analizy obrazów i ich zastosowania w biologii oraz medycynie.

Cała rozprawa dostarcza nowatorskich informacji na temat wykorzystania mikrotomografii w analizie strukturalnej muszli ślimaków, co może mieć istotne znaczenie dla biologii i medycyny.

Wnioski końcowe rozprawy znajdują uzasadnienie w treści zasadniczej rozprawy. Wyciągnięte są po wnikliwej i przyczynowo-skutkowej interpretacji danych uzyskanych z badań. Pozytywnie świadczy to o kompetencjach i umiejętnościach naukowych Doktoranta.

## V. Uwagi krytyczne

- a) Ograniczona różnorodność próbek. Chociaż badania nad muszlami ślimaków są interesujące, ograniczenie do jednego modelu biologicznego może wpływać na generalizację wyników. Proszę o uzupełnienie informacji, dlaczego Doktorant podjął się analizy zaproponowanych gatunków ślimaków i jakie było pochodzenie próbek do badań.
- b) Niedostateczne omówienie zastosowań klinicznych. W rozdziale dyskusja Autor wskazuje na potencjalne zastosowanie algorytmu w badaniach drożności kanałów zębowych i przewodów słuchowych, jednak brakuje głębszej analizy tego zagadnienia. Szczegółowe omówienie, jak wyniki badań mogą być wykorzystane w praktyce klinicznej, zwiększyłoby wartość pracy i jej znaczenie dla inżynierii biomedycznej. Proszę o uzupełnienie tych informacji.
- c) Brak szerszej analizy porównawczej. W rozprawie brakuje szczegółowej analizy porównawczej zaproponowanego algorytmu z innymi metodami pomiarowymi. Zestawienie wyników uzyskanych przy użyciu różnych technik mogłoby dostarczyć cennych informacji na temat przewag i ograniczeń opracowanej metody, a także pomóc w ocenie jej skuteczności w praktyce. Proszę o wskazanie jakie inne metody analizy i przetwarzania obrazów mogą być zastosowane w ilościowej analizie geometrii podobnych układów biologicznych i jaka jest ich dokładność w odniesieniu do proponowanej metody.
- d) Zaniedbanie ograniczeń badania. Praca zawiera niepełną analizę ograniczeń metodologicznych oraz potencjalnych błędów pomiarowych. Zrozumienie tych

ograniczeń jest kluczowe dla interpretacji wyników i może pomóc w przyszłych badaniach oraz poprawie algorytmu. Proszę o rozszerzenie tych informacji.

## VI. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując recenzję pragnę podkreślić, że uzyskane i opisane przez Doktoranta wyniki badań w ramach niniejszej rozprawy poszerzają wiedzę na temat ilościowej oceny złożonych struktur geometrycznych. Wyniki uzyskane przez Pana mgr inż. Michała Walczaka w jego rozprawie doktorskiej mają znaczący potencjał do dalszego zastosowania w różnych dziedzinach, zwłaszcza w kontekście badań nad drożnością kanałów zębowych oraz przewodów słuchowych. Opracowany algorytm pomiarowy, który został przetestowany na modelach muszli ślimaków, może być zaadaptowany do analizy podobnych struktur anatomicznych u ludzi. W tym kontekście muszle ślimaków mogą pełnić funkcję modelu biologicznego, który umożliwi badanie złożonych struktur co może być użyteczne w diagnostyce medycznej i terapii (stomatologia, otolaryngologia).

Biorąc pod uwagę fakt, że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie stawianego problemu naukowego i udowadnia umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktoranta pracy naukowej stwierdzam, że praca Pana mgr inż. Michała Walczaka pt. *„Wykorzystanie metod analizy i przetwarzania obrazów mikrotomograficznych w pomiarach szerokości kanałów muszli ślimaków z praktyczną weryfikacją ze wzorcem”* spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, które zostały określone w artykule 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.). Zwracam się więc do Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Roberta Michnika z wnioskiem o dopuszczenie Pana mgr inż. Michała Walczaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



---

Dr hab. n. farm. Sławomir Wilczyński, prof. SUM