

dr hab. inż. Krzysztof Zatwarnicki, prof. uczelni  
Wydział Informatyki  
Politechnika Opolska

Opole, 26.03.2026  
POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Biuro Rady Dyscypliny  
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja  
wpłynęło dnia ..... 7.04.2026  
nr ..... zał. ....

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Daniela Feige

*pt. „Metody automatycznej analizy asymetrii grzbietu oraz krzywizn przednio-tylnych kręgosłupa do wczesnego wykrywania skolioz w ramach systemu do przesiewowych badań wad postawy dzieci i młodzieży”*

opracowana na zlecenie

Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja  
Politechniki Śląskiej

### 1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy opracowania metod automatycznej analizy asymetrii grzbietu oraz krzywizn przednio-tylnych kręgosłupa, przeznaczonych do wczesnego wykrywania skolioz u dzieci i młodzieży. Skolioza idiopatyczna stanowi jedno z najczęstszych schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego w wieku rozwojowym, a jej wczesne wykrycie ma kluczowe znaczenie dla skuteczności leczenia. Problem ten jest istotny zarówno z punktu widzenia medycznego, jak i technicznego – automatyzacja procesów diagnostycznych może znacząco wspierać personel medyczny w prowadzeniu badań przesiewowych na dużą skalę. Realizacja tak postawionego zadania wymaga rozwiązania szeregu problemów badawczych mieszczących się w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, w tym przetwarzania sygnałów z czujników inercyjnych, opracowania algorytmów filtracji i kalibracji danych pomiarowych, komunikacji bezprzewodowej oraz projektowania architektury systemu informatycznego.

Rozprawa ma charakter wdrożeniowy, co oznacza, że jej głównym celem było nie tylko przeprowadzenie badań naukowych, ale również opracowanie i wdrożenie konkretnego rozwiązania technicznego – systemu ORT-100, składającego się z urządzenia pomiarowego (optometru) oraz aplikacji programowej. Należy podkreślić, że tematyka pracy wpisuje się w aktualne potrzeby służby zdrowia, zwłaszcza w kontekście rosnącego zapotrzebowania na nieinwazyjne, powszechnie dostępne metody diagnostyki wad postawy u dzieci.

Wybór tematu oceniam jako trafny i uzasadniony praktycznie.

### 2. Teza i cele szczegółowe rozprawy

Praca Pana mgra inż. Daniela Feige jest wynikiem prac prowadzonych w ramach doktoratu wdrożeniowego, realizowanego we współpracy z Centrum Inżynierii Biomedycznej Sieci Badawczej Łukasiewicz – Krakowskim Instytutem Technologicznym oraz Ośrodkiem Rehabilitacji Leczniczej „Troniny”. Przedmiotem pracy było opracowanie systemu do przesiewowych badań wad postawy dzieci i młodzieży, składającego się z aplikacji ORT oraz rozwiązania sprzętowego ORT-100.

Teza pracy została sformułowana na stronie 7 w następujący sposób: „Metoda automatycznej analizy asymetrii grzbietu oraz krzywizn przednio-tylnych kręgosłupa stanowi efektywne narzędzie do wczesnego wykrywania skolioz u dzieci i młodzieży”.

Analiza sposobu sformułowania celów i tezy budzi istotne zastrzeżenia. Przedstawiona teza pracy nie wskazuje na rozwiązywanie problemu badawczego związanego z dyscypliną informatyka techniczna i telekomunikacja. W pracy brak jest jednoznacznie sformułowanego nadrzędnego celu badawczego – przedstawiono jedynie cele szczegółowe, które mają charakter głównie inżyniersko-implementacyjny (opracowanie ortometru, architektury bazy danych, metody filtracji i kalibracji, komunikacji Bluetooth LE). Brak wskazania rozwiązywanego problemu badawczego utrudnia ocenę pracy.

Po drugie, sformułowana teza sprawia wrażenie dostosowanej do uzyskanych wyników, a nie będącej punktem wyjścia dla prowadzonych badań. W metodologii naukowej teza powinna być postawiona przed rozpoczęciem badań i weryfikowana w ich toku, a nie formułowana post factum na podstawie osiągniętych rezultatów.

Powyższe uwagi wskazują na istotne niedostatki w zakresie metodologicznego przygotowania części wstępnej rozprawy, co obniża jej walor naukowy.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

Rozprawa składa się z dwunastu rozdziałów, uzupełnionych o wykaz literatury, spis rysunków oraz spis tabel, i liczy ogółem 121 stron. Recenzowaną rozprawę zaliczam do grupy prac konstrukcyjno-wdrożeniowych. Doktorant wykazał się kompetencjami w zakresie projektowania systemów pomiarowych, programowania aplikacji medycznych oraz znajomością problematyki diagnostyki skoliozy.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do rozprawy, w którym przedstawiono zakres pracy, sformułowano tezę badawczą oraz cele szczegółowe.

Rozdział drugi zawiera przegląd metod i technologii stosowanych w diagnostyce skoliozy. Autor omówił tradycyjne metody pomiaru skrzywienia kręgosłupa, metody obrazowania topografii powierzchni, radiografię, rezonans magnetyczny, tomografię komputerową oraz zastosowania sztucznej inteligencji w wykrywaniu skoliozy. Przedstawiono również przegląd dostępnych baz danych zawierających obrazy kręgosłupa.

Rozdział trzeci poświęcony jest roli badań przesiewowych dzieci i młodzieży we wczesnej detekcji skoliozy. Omówiono zasady i cele badań przesiewowych, programy realizowane w Polsce i na świecie, korzyści wynikające z wczesnej diagnozy oraz wyzwania związane z ich implementacją.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił skoliometr Bunnella oraz jego elektroniczne wersje, stanowiące punkt wyjścia dla opracowanego w ramach rozprawy rozwiązania.

Rozdział piąty opisuje model badania postawy ciała AFAB z wykorzystaniem ortometru. Przedstawiono w nim procedury pomiaru kąta rotacji tułowia (ATR) w teście Adamsa, pomiary kątowe obręczy kończyn dolnych, ocenę krzywizn przednio-tylnych kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej oraz skalę Beightona wiotkości stawowej.

Rozdział szósty zawiera założenia projektowe systemu. Autor przedstawił schemat architektury oprogramowania aplikacji ORT, moduły programowe wraz z ich klasyfikacją bezpieczeństwa według normy IEC 62304 oraz wymagania normatywne, których spełnienie jest niezbędne dla wdrożenia wyrobu medycznego na rynek.

Rozdział siódmy stanowi opis metodyki przyjętej w pracy. Autor szczegółowo omówił konstrukcję i zasadę działania ortometru elektronicznego, architekturę bazy danych służącej do przechowywania danych diagnostycznych i pomiarowych, funkcjonalności aplikacji ORT

oraz scenariusze badań obejmujące test Adamsa, pomiary kątowe obręczy kończyn dolnych i ocenę krzywizn przednio-tylnych kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej.

Rozdział ósmy przedstawia materiał badawczy zgromadzony w toku prac. Opisano dane zebrane podczas badań w ośrodku rehabilitacji „Troniny” oraz dane uzyskane na dwóch stanowiskach badawczych – stanowisku do badania wychyleń ortometru i stanowisku testowym pomiaru drogi.

Rozdział dziewiąty zawiera opis przeprowadzonych eksperymentów i uzyskanych wyników. Przedstawiono wyniki badań w ośrodku rehabilitacji, wyniki badań na stanowisku testowego pomiaru kąta wychylenia oraz wyniki uzyskane na stanowisku testowym pomiaru drogi.

Rozdział dziesiąty poświęcony jest procesowi wdrożenia systemu ORT-100 jako wyrobu medycznego. Autor opisał dokumentację wymaganą do przeprowadzenia oceny zgodności, obejmującą m.in. instrukcję używania, kartę klasyfikacji wyrobu, plan zarządzania ryzykiem oraz specyfikację wymagań dla oprogramowania.

Rozdział jedenasty wskazuje kierunki dalszych badań, w tym planowane prace nad integracją z elektroniczną dokumentacją medyczną (EDM) oraz zastosowaniem metod sztucznej inteligencji w automatycznej klasyfikacji wad postawy.

Rozdział dwunasty stanowi podsumowanie rozprawy.

Na podstawie przedstawionego omówienia treści rozprawy należy odnotować, że Doktorant opracował i wdrożył złożony system pomiarowo-diagnostyczny, obejmujący zarówno komponent sprzętowy, jak i programowy. Do osiągnięć prezentowanych w rozprawie można zaliczyć:

- opracowanie elektronicznego ortometru ORT-100 do pomiaru asymetrii grzbietu i krzywizn kręgosłupa,
- opracowanie aplikacji ORT wraz z architekturą bazy danych i scenariuszami badań medycznych,
- opracowanie metod filtracji i kalibracji danych pomiarowych z ortometru,
- opracowanie algorytmu do automatycznego wyznaczania krzywizn przednio-tylnych kręgosłupa oraz algorytmu wyznaczania drogi w poszczególnych odcinkach tułowia,
- wdrożenie systemu w praktyce klinicznej w ośrodku rehabilitacji jako certyfikowanego wyrobu medycznego klasy IIA.

#### **4. Uwagi ogólne i szczegółowe**

W trakcie lektury rozprawy odnotowano liczne uwagi, które świadczą o problemach natury metodologicznej oraz o niedostatecznej staranności redakcyjnej. Poniżej przedstawiam najistotniejsze spostrzeżenia.

**Uwaga 1:** Rozdziały 1.1 i 1.2 napisane zostały w czasie przeszłym, co nadaje im charakter relacji z wykonanych prac, a nie założeń badawczych. W rozprawie doktorskiej oczekuje się przedstawienia celu i zakresu badań w formie planowania i projektowania, nie zaś opisu tego, co już zrealizowano.

**Uwaga 2:** Sposób sformułowania tezy budzi zastrzeżenia metodologiczne. W rozdziale 1.2 Autor wprost pisze, że „przeprowadzone badania pozwoliły autorowi na sformułowanie następującej tezy pracy”, co jednoznacznie wskazuje, że teza została sformułowana po uzyskaniu wyników, a nie przed rozpoczęciem badań. W metodologii naukowej teza powinna

stanowić punkt wyjścia dla badań i być weryfikowana w ich toku, a nie być dopasowywana do osiągniętych rezultatów.

**Uwaga 3:** W pracy brak jest jednoznacznie sformułowanego nadrzędnego celu badawczego. Przedstawione cele szczegółowe mają charakter przede wszystkim inżyniersko-implémentacyjny i nie identyfikują w sposób wyraźny problemu naukowego do rozwiązania. W rozprawie doktorskiej, nawet o charakterze wdrożeniowym, oczekuje się jasnego wskazania wkładu naukowego odróżnionego od wkładu technicznego.

**Uwaga 4:** Rozdział 2 łączy w sposób mało spójny zagadnienia medyczne dotyczące skoliozy z tematyką sztucznej inteligencji. Zestawienie tych dwóch obszarów w jednym rozdziale przeglądowym, bez jasnego powiązania z celami pracy, sprawia wrażenie przypadkowego połączenia różnych wątków tematycznych.

**Uwaga 5:** Rozprawa posiada zachwiany układ strukturalny. Część wprowadzająca (rozdziały 2–5) zajmuje blisko połowę objętości pracy, podczas gdy część badawcza i autorska jest nieproporcjonalnie krótka. W kontekście pracy doktorskiej taka proporcja jest niewłaściwa – część przeglądowa powinna stanowić tło dla badań własnych, a nie dominować nad nimi.

**Uwaga 6:** Rozprawa zawiera liczne uchybienia redakcyjne i edytorskie, które powtarzają się w wielu miejscach tekstu i świadczą o niedostatecznej staranności w przygotowaniu końcowej wersji pracy. Wśród najczęstszych problemów należy wskazać brakujące źródła odwołań (np. rozdział 7.1), niezgodności w numeracji rysunków pomiędzy odwołaniami w tekście a podpisami, a także zamieszczenie rysunków bez jakiegokolwiek odwołania w tekście głównym (np. rys. 16, 17, 18). Tego rodzaju błędy, choć nie mają charakteru merytorycznego, obniżają jakość odbioru całej rozprawy i sugerują, że praca nie została poddana wystarczającej korekcie przed złożeniem.

**Uwaga 7:** Całkowity brak oceny systemu ze strony lekarzy i personelu medycznego stanowi jeden z najistotniejszych mankamentów pracy. W rozprawie poświęconej systemowi diagnostycznemu przeznaczonemu do użytku klinicznego brak walidacji klinicznej – czyli porównania wyników automatycznej analizy z oceną ekspercką lekarzy – zasadniczo obniża wiarygodność prezentowanych wyników i ogranicza możliwość pełnej weryfikacji postawionej tezy.

**Uwaga 8:** Podrozdziały 9.2 i 9.3, dotyczące badań na stanowiskach badawczych, są opisane w sposób niewystarczający. Brak jest schematu lub projektu stanowiska badawczego, co uniemożliwia zrozumienie, co dokładnie było badane. Wyniki przedstawione na rysunkach nie są odpowiednio skomentowane. Ponadto treści te merytorycznie odpowiadają fazie projektowania i planowania wdrożenia, a nie fazie prezentacji wyników pomiarowych, co dodatkowo potwierdza zachwianą strukturę pracy.

**Uwaga 9:** Rozprawa w wielu miejscach przypomina bardziej dokumentację techniczną systemu informatycznego niż pracę naukową. Dotyczy to zarówno stylu narracji (opisy procedur krok po kroku, struktury ramek danych, listy modułów programowych), jak i ogólnego podejścia, które koncentruje się na aspektach implementacyjnych, a nie na analizie naukowej problemu. W rozprawie doktorskiej oczekuje się jasnego wyodrębnienia wkładu naukowego od dokumentacji technicznej.

Przedstawione powyżej uwagi wskazują na liczne mankamenty rozprawy, zarówno o charakterze merytorycznym, jak i redakcyjnym. Praca nie w pełni spełnia standardy oczekiwane od publikacji naukowej i w wielu aspektach zbliża się do granicy pozytywnej oceny.

W trakcie zapoznawania się z treścią pracy nasunęło mi się kilka pytań, do których prosiłbym o komentarz ze strony Doktoranta:

1. Jaka jest ocena systemu ORT-100 ze strony personelu medycznego, który korzystał z niego w praktyce klinicznej? Czy zostały zebrane opinie lekarzy odnośnie użyteczności i wiarygodności diagnostycznej systemu?
2. W jaki sposób została przeprowadzona walidacja wyników automatycznej analizy asymetrii grzbietu w porównaniu z metodami referencyjnymi stosowanymi w praktyce klinicznej? Jakie są wskaźniki czułości i swoistości opracowanej metody?
3. W rozprawie przedstawiono cztery warianty postępowania oparte na wartościach progowych kąta ATR (3–5°, 5–6°, 7° i powyżej), na podstawie których system automatycznie kwalifikuje pacjenta do odpowiedniej grupy ryzyka. Na jakiej podstawie dobrano te konkretne wartości progowe – czy wynikają one z wytycznych towarzystw naukowych (SOSORT/SRS), z danych literaturowych, czy zostały ustalone w inny sposób? Czy progi te zostały zweryfikowane na rzeczywistej populacji pacjentów, tj. czy dzieci zakwalifikowane do poszczególnych grup ryzyka faktycznie odpowiadały przypisanemu stopniowi zagrożenia skoliozą?
4. W rozdziale 9.2 opisano stanowisko testowe z ruchomym ramieniem napędzanym silnikiem krokowym, na którym zamontowano układ elektroniczny zawierający akcelerometr oraz żyroskop MEMS zastosowane w ortometrze. Opis tego stanowiska i przeprowadzonych na nim badań jest bardzo lakoniczny i nie zawiera czytelnego schematu badawczego. Prosiłbym o wyjaśnienie, w jaki sposób wyniki uzyskane na takim uproszczonym stanowisku – badającym jedynie zachowanie czujników w ruchu obrotowym ramienia – przekładają się na warunki rzeczywistego badania pacjenta, gdzie ortometr jako całość jest przesuwany po powierzchni ciała o złożonej geometrii?

## 5. Ocena dorobku publikacyjnego

Dorobek publikacyjny Doktoranta obejmuje 18 publikacji naukowych oraz udział w licznych projektach badawczo-wdrożeniowych. Wśród publikacji znajdują się artykuły w czasopiśmie z listy JCR (Sensors), publikacje w konferencjach międzynarodowych (MIXDES, IiBE) oraz artykuły w czasopiśmie krajowym (The Polish Journal of Aviation Medicine, Bioengineering and Psychology).

Tematyka publikacji obejmuje szeroki zakres zagadnień z obszaru inżynierii biomedycznej, w tym metody diagnostyki skoliozy, przetwarzanie sygnałów biomedycznych, kardiografię impedancyjną oraz systemy telemonitoringu. Bezpośrednio z tematyką rozprawy związane są przede wszystkim publikacje dotyczące modelu badania postawy ciała AFAB z wykorzystaniem ortometru (Chorzów 2024), przeglądu metod diagnostyki skoliozy (Sensors 2021) oraz wizualizacji pomiarów kąta rotacji tułowia (IiBE 2020).

Doktorant wykazał się również znaczącym doświadczeniem praktycznym, potwierdzonym udziałem w licznych projektach badawczych i wdrożeniowych finansowanych m.in. przez NCBiR, Centrum Łukasiewicz oraz programy regionalne. Doświadczenie to obejmuje wieloletnią pracę jako konstruktor-programista w projektach z zakresu aparatury medycznej, co potwierdza jego wysokie kompetencje inżynierskie.

Dorobek publikacyjny Doktoranta oceniam jako wystarczający, aczkolwiek należy zauważyć, że większość publikacji to prace współautorskie, w których Doktorant nie zawsze pełni rolę pierwszego autora.

## 6. Konkluzja recenzji

Podsumowując, rozprawa doktorska Pana mgra inż. Daniela Feige posiada liczne mankamenty, które zostały szczegółowo omówione w niniejszej recenzji. Do najistotniejszych należą: zachwiana struktura pracy z dominującą częścią wprowadzającą, brak jednoznacznie sformułowanego nadrzędnego celu badawczego, niedostatki w zakresie walidacji klinicznej opracowanego systemu, liczne błędy redakcyjne oraz ogólne podejście inżyniersko-dokumentacyjne dominujące nad podejściem naukowym. Praca w wielu miejscach przypomina bardziej dokumentację techniczną systemu informatycznego niż rozprawę naukową.

Jednocześnie należy przyjąć z uznaniem fakt, że Doktorant opracował i wdrożył złożony, kompletny system pomiarowo-diagnostyczny, spełniający wymagania regulacyjne stawiane wyrobom medycznym. Opracowanie systemu ORT-100, obejmującego zarówno komponent sprzętowy (ortometr), jak i rozbudowaną aplikację z bazą danych i scenariuszami badań, stanowi znaczące osiągnięcie. System ten został wdrożony w praktyce klinicznej i jest wykorzystywany w badaniach przesiewowych wad postawy u dzieci i młodzieży, co potwierdza jego praktyczną przydatność. Doktorant prawidłowo wykorzystał narzędzia informatyczne oraz metody inżynierii biomedycznej do rozwiązania istotnego problemu praktycznego. Opracowane algorytmy filtracji, kalibracji danych pomiarowych oraz automatycznej analizy krzywizn kręgosłupa, choć nie zostały w pełni zwalidowane klinicznie w samej rozprawie, stanowią autorski wkład do dziedziny. Doktorant wykazał się ponadto długoletnim doświadczeniem w realizacji projektów z zakresu inżynierii biomedycznej, co potwierdza jego dorobek publikacyjny i zawodowy.

Biorąc pod uwagę wdrożeniowy charakter rozprawy, złożoność opracowanego systemu, jego praktyczne zastosowanie w diagnostyce medycznej oraz prawidłowe wykorzystanie narzędzi inżynierskich, pomimo wskazanych zastrzeżeń – oceniam rozprawę pozytywnie.

Stwierdzam, że rozprawa pt. „Metody automatycznej analizy asymetrii grzbietu oraz krzywizn przednio-tylnych kręgosłupa do wczesnego wykrywania skolioz w ramach systemu do przesiewowych badań wad postawy dzieci i młodzieży” autorstwa Pana mgra inż. Daniela Feige spełnia wymagania stawiane pracom doktorskimi określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 poz. 1571, z późn. zm.). W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej pracy, jako rozprawy doktorskiej w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja i dopuszczenie jej autora Pana mgra inż. Daniela Feige do publicznej obrony pracy.