

Prof. Dr.-Ing. habil. Marcin Grzegorzek
Institut für Medizinische Informatik
Universität zu Lübeck
marcin.grzegorzek@uni-luebeck.de



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK
INSTITUT FÜR MEDIZINISCHE INFORMATIK

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Czerwa pt. "Autonomiczny, mobilny system nadzorowania rehabilitacji kardiologicznej w oparciu o rejestrację EKG oraz parametry oddechowe przy wykorzystaniu nowatorskiej koszulki tekstronicznej"

Lubeka, dnia 23 czerwca 2025 roku

Spis treści

1 Ocena układu i treści rozprawy doktorskiej	2
2 Ocena zastosowanego piśmiennictwa	3
3 Wskazanie oraz ocena celu pracy	3
4 Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych	3
5 Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań	4
6 Praktyczne zastosowanie uzyskanych wyników badań	5
7 Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach	5
8 Oryginalność naukowa rozprawy doktorskiej	5
9 Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej	6

ROLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna

wpłynęło dnia 23.06.2025

nr 139 zat.

1 Ocena układu i treści rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska została podzielona na dziesięć rozdziałów:

- **Rozdział 1 ("Wprowadzenie")** przedstawia tematykę pracy na tle współczesnych wyzwań cywilizacyjnych, w tym rosnącej zachorowalności na choroby układu sercowo-naczyniowego. Określono w nim cele i zakres rozprawy oraz sformułowano główne tezy badawcze.
- **Rozdział 2 ("Geneza tematyki rozprawy")** omawia znaczenie rehabilitacji kardiologicznej, rozwój telemedycyny oraz rolę rehabilitacji hybrydowej, stanowiąc kontekst dla proponowanego rozwiązania.
- **Rozdział 3 ("Warunki prowadzenia rehabilitacji kardiologicznej")** szczegółowo opisuje istniejące modele i zasady prowadzenia rehabilitacji, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów innowacyjnych i zastosowania podejścia hybrydowego.
- **Rozdział 4 ("Porównanie metod pomiarowych wyznaczania parametrów oddechowych")** analizuje wybrane nieinwazyjne techniki pomiarowe – rezystancyjną, piezoelektryczną, indukcyjną i bioimpedancyjną – pod kątem ich przydatności w projektowanym systemie.
- **Rozdział 5 ("Badanie opracowanych czujników pomiarowych oddechu")** prezentuje procedury badawcze i wyniki testów przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych, prowadzące do wyboru najbardziej efektywnych rozwiązań czujnikowych.
- **Rozdział 6 ("Koncepcja autonomicznego systemu rejestracji EKG")** zawiera projekt koszulki tekstronicznej wyposażonej w suche elektrody, a także omawia ewolucję prototypów i techniczne uwarunkowania dotyczące elektrod EKG.
- **Rozdział 7 ("Opracowanie konstrukcji rejestratora sygnałów biomedycznych")** koncentruje się na wymaganiach funkcjonalnych i technicznych rejestratora CardioGuard, opisując jego architekturę oraz integrację z aplikacją mobilną.
- **Rozdział 8 ("Protokół komunikacyjny systemu")** szczegółowo opisuje zastosowany protokół transmisji danych, ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa, szyfrowania oraz obsługi błędów.
- **Rozdział 9 ("Walidacja systemu")** przedstawia metodologię i wyniki testów walidacyjnych prototypu, przeprowadzonych zgodnie z normami dotyczącymi wyrobów medycznych, w tym ocenę jakości rejestrowanego sygnału EKG.
- **Rozdział 10 ("Podsumowanie i wnioski")** syntetyzuje uzyskane wyniki, podkreśla innowacyjność zaproponowanego rozwiązania oraz wskazuje kierunki dalszego rozwoju i możliwe zastosowania praktyczne.

Rozprawa doktorska ma uporządkowaną i logiczną strukturę. W pierwszym rozdziale brakuje jednak podrozdziału, który w sposób jednoznaczny przedstawiłby wkład naukowy kandydata na tle dostępnych na rynku rozwiązań oraz w odniesieniu do literatury światowej.

2 Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Piśmiennictwo rozprawy obejmuje 89 różnorodnych źródeł, w tym raporty organizacji międzynarodowych (WHO, NFZ), artykuły z recenzowanych czasopism naukowych, patenty oraz monografie. Bibliografia charakteryzuje się aktualnością – zawiera publikacje aż do roku 2024. Tematyczny zakres źródeł, obejmujący zagadnienia rehabilitacji kardiologicznej, telemedycyny, inżynierii biomedycznej oraz regulacji dotyczących wyrobów medycznych, stanowi solidne podstawy teoretyczne dla proponowanych w pracy rozwiązań. Na szczególnie pozytywną uwagę zasługuje fakt, że kandydat przytoczył aż 17 publikacji, których jest współautorem, co świadczy o jego dużej aktywności naukowej. Brakuje jednak wyraźnego wskazania luki badawczej wynikającej z przeanalizowanego piśmiennictwa.

3 Wskazanie oraz ocena celu pracy

Celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie autonomicznego, mobilnego systemu nadzorowania rehabilitacji kardiologicznej, opartego na rejestracji sygnału EKG oraz parametrów oddechowych, z wykorzystaniem nowatorskiej koszulki tekstylniczej. Praca odpowiada na pilne zapotrzebowanie na dostępne, bezobsługowe i niedrogie rozwiązania umożliwiające skuteczny nadzór kardiologiczny, szczególnie w kontekście hybrydowej rehabilitacji.

Autor dąży do stworzenia narzędzia o charakterze zarówno diagnostycznym, jak i terapeutycznym, spełniającego oczekiwania pacjentów oraz środowiska kardiologicznego. Kluczową innowacją jest zastosowanie koszulki z suchymi elektrodami wielokrotnego użytku, umożliwiającej jednocześnie monitorowanie aktywności serca i parametrów oddechowych. System zaprojektowano jako uniwersalny, skalowalny i intuicyjny w obsłudze. Jego potencjał wykracza poza samą rehabilitację, obejmując również zastosowania w diagnostyce, telemedycynie oraz w sporcie – zarówno amatorskim, jak i zawodowym. Dążenie do certyfikacji jako wyrobu medycznego podkreśla praktyczną orientację projektu.

Tezy pracy mają charakter ogólny i aplikacyjny, a nie ściśle naukowy. Nie zawierają jasno sformułowanej hipotezy badawczej ani odniesienia do luki poznawczej. Ich treść wskazuje raczej na cele wdrożeniowo-projektowe niż na oryginalny wkład w rozwój wiedzy naukowej.

4 Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Metodyka pracy doktorskiej została zaprojektowana i przeprowadzona w sposób kompleksowy oraz systematyczny. Pierwszym etapem były badania laboratoryjne ekonomicznych czujników oddechu, takich jak rezystancyjne i piezoelektryczne, które poddano testom w warunkach kontrolowanych, umożliwiającym wstępną ocenę ich parametrów i funkcjonalności. Kolejne badania przeniesiono do warunków

rzeczywistych, angażując także pacjentów, gdzie zweryfikowano skuteczność bardziej zaawansowanych metod pomiaru oddechu, m.in. czujników indukcyjnych (RIP) oraz bioimpedancyjnych.

Równolegle rozwijano i iteracyjnie doskonalono prototypy innowacyjnej koszulki tekstronicznej wyposażonej w suche elektrody EKG. Testy tych prototypów obejmowały ocenę przewodności zastosowanych materiałów oraz jakość sygnału EKG, zarówno w spoczynku, jak i podczas aktywności fizycznej, co zapewniło wieloaspektową weryfikację ich funkcjonalności. W celu oceny precyzji pomiarów wykorzystano zadajnik sygnałów biomedycznych, co pozwoliło na kontrolę wiarygodności rejestracji sygnałów.

Ponadto metodyka uwzględniała rygorystyczne badania spełniania normatywnych wymagań dotyczących wyrobów medycznych, w szczególności w zakresie biogodności materiałów oraz bezpieczeństwa elektrycznego urządzenia. Takie kompleksowe podejście gwarantuje, że opracowany system nie tylko spełnia wymogi techniczne, lecz także normy regulacyjne obowiązujące w medycynie.

Metodyka pracy została zaplanowana rzetelnie i zrealizowana z dużą starannością. Badania obejmują zarówno testy laboratoryjne, jak i próby z udziałem pacjentów, a także spełnienie norm medycznych. Podejście to dobrze odpowiada celom inżyniersko-projektowym pracy. Należy jednak zauważyć, że brak jasno sformułowanych hipotez naukowych oraz ograniczony charakter eksploracji poznawczej sprawiają, że metodyka nie w pełni realizuje standardy typowe dla rozpraw naukowych o charakterze eksploracyjnym lub teoriiotwórczym.

5 Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Omówienie wyników badań w rozprawie jest kompleksowe i dobrze udokumentowane. Rozdział 5 szczegółowo przedstawia testy różnych czujników oddechu (rezystancyjnych, piezoelektrycznych, indukcyjnych oraz reograficznych), wskazując metody indukcyjną i reograficzną jako najbardziej niezawodne w warunkach rzeczywistych, pomimo początkowych problemów z artefaktami ruchowymi. Rozdział 6 opisuje iteracyjne projektowanie koszulki tekstronicznej do rejestracji EKG, podkreślając znaczną poprawę jakości sygnału dzięki udoskonaleniom materiałowym oraz eliminacji zakłóceń. Walidacja systemu, przedstawiona w rozdziale 9, potwierdza jego funkcjonalność i jakość rejestracji sygnałów EKG i oddechu podczas różnych poziomów aktywności fizycznej, spełniając wymogi norm wyrobów medycznych. Praca konsekwentnie ocenia praktyczne zastosowania opracowanych rozwiązań.

Należy jednak zaznaczyć, że wyniki i eksperymenty mają charakter przede wszystkim wdrożeniowy i walidacyjny, a nie stricte naukowy, ponieważ nie potwierdzają jasno zdefiniowanych celów badawczych ani nie eksplorują nowych zagadnień poznawczych.

6 Praktyczne zastosowanie uzyskanych wyników badań

Opracowany system monitorujący, oparty na koszulce tekstronicznej, posiada szerokie zastosowanie praktyczne. Stanowi autonomiczne narzędzie do nadzoru hybrydowej rehabilitacji kardiologicznej, wypełniając lukę w dostępnych bezobsługowych rozwiązaniach. Umożliwia ciągłą rejestrację sygnałów EKG oraz parametrów oddechowych, wspierając diagnostykę i terapię chorób układu sercowo-naczyniowego. System cechuje się uniwersalnością, skalowalnością oraz prostotą obsługi, co czyni go użytecznym zarówno w warunkach klinicznych, jak i domowych, w tym w telemedycynie. Potwierdzona walidacja w wymagających warunkach sportowych dowodzi jego niezawodności podczas umiarkowanej aktywności fizycznej. Przewiduje się jego zastosowanie w sporcie, diagnostyce arytmii oraz monitoringu okołoope-racyjnym, z perspektywą uzyskania certyfikacji medycznej. Projekt jest obecnie przedmiotem dalszych badań i działań komercjalizacyjnych.

Potencjał praktycznego zastosowania opracowanego systemu jest znaczący i stanowi istotną zaletę niniejszej pracy doktorskiej. W kontekście wdrożeniowo-projektowego charakteru rozprawy podkreśla to jej wartość użytkową oraz realne możliwości implementacyjne w medycynie i rehabilitacji kardiologicznej.

7 Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach

Brak.

8 Oryginalność naukowa rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska wnosi oryginalne rozwiązanie w obszarze inżynierii biomedycznej, odpowiadając na potrzebę opracowania autonomicznego, bezobsługowego systemu nadzoru kardiologicznego dedykowanego rehabilitacji hybrydowej. Największą wartością pracy są aspekty inżyniersko-projektowe i wdrożeniowe – zwłaszcza opracowanie innowacyjnej koszulki tekstronicznej z wielokrotnego użytku suchymi elektrodami EKG na bazie materiału z nanorurek węglowych, które stanowią istotne ulepszenie w stosunku do tradycyjnych rozwiązań.

Zbudowany system pozwala na kompleksowe monitorowanie dwukanałowego EKG, parametrów oddechowych oraz aktywności fizycznej, co umożliwia praktyczne zastosowanie w rehabilitacji i telemedycynie. Walidacja w warunkach sportowych potwierdza funkcjonalność i niezawodność rozwiązania. Z drugiej strony, wartość naukowa rozprawy jest ograniczona – praca nie wnosi istotnych nowych odkryć teoretycznych czy koncepcyjnych, a jej siła koncentruje się na zastosowaniu i integracji istniejącej wiedzy w formie praktycznego systemu. Dążenie do certyfikacji medycznej i zgłoszenia patentowego świadczy jednak o znaczącym potencjale wdrożeniowym opracowanego rozwiązania.

9 Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej

Rozprawa dowodzi, że kandydat posiada solidne kompetencje w inżynierii biomedycznej i jest zdolny do samodzielnego prowadzenia badań inżynierskich w tym obszarze. Praca obejmuje przegląd literatury z zakresu rehabilitacji kardiologicznej, telemedycyny oraz metod pomiarowych, jednak główną wartością jest praktyczne opracowanie i walidacja innowacyjnego systemu monitorującego, opartego na koszulce tekstronicznej. Skuteczne rozwiązanie wyzwań technicznych oraz dążenie do zgłoszeń patentowych i certyfikacji medycznej potwierdzają praktyczny charakter i oryginalność pracy.

10 Ocena końcowa

Nawiązując do art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.), stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marka Czerwa w sposób dostateczny prezentuje umiejętność samodzielnego prowadzenia badań inżyniersko-projektowych oraz wdrożeniowych w obszarze inżynierii biomedycznej.

Choć wartość naukowa rozprawy w zakresie oryginalnych odkryć teoretycznych jest ograniczona, to jednak praca stanowi istotny wkład praktyczny, wnosząc innowacyjne rozwiązania technologiczne i integracyjne, które mają realny potencjał zastosowania w rehabilitacji kardiologicznej oraz telemedycynie.

Biorąc pod uwagę skalę trudności technicznych, samodzielność kandydata w realizacji projektu oraz jego dążenie do wdrożenia opracowanego systemu (w tym proces certyfikacji i zgłoszenia patentowe), uważam, że rozprawa spełnia wymagania przewidziane ustawą i zasługuje na nadanie stopnia naukowego doktora.

Podpisał prof. Marcin Grzegorzek (podpis odręczny)