

Recenzja

pracy 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”.

Promotor: dr hab. inż. Paweł Kostka, prof. PŚ

Opiekun pomocniczy: dr hab. inż. Janusz Wróbel, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Krakowski
Instytut Technologiczny

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Pana prof. dr. hab. inż. Roberta Michnika, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna, Politechniki Śląskiej (RDIB.002.11.2025 z dnia 29 04 2025 r.) z prośbą o wykonanie recenzji rozprawy mgr. inż. Marka Czerwa.

1. Tematyka, cele i tezy rozprawy

Tematyka pracy dotyczy problemu „braku jednoznacznych dowodów potwierdzających dostępność medycznego systemu autonomicznego nadzoru kardiologicznego, który nie wymaga wsparcia personelu medycznego”. Doktorant wskazuje, że obszar zastosowania dotyczy w szczególności pacjentów po ciężkich incydentach kardiologicznych.

Pan mgr inż. Marek Czerw sformułował dwie tezy w rozprawie:

1. „Przy wykorzystaniu tekstronicznej koszulki z nadrukowaną siecią połączeń i biosensorami wraz z miniaturowym rejestratorem sygnałów biomedycznych, możliwe będzie opracowanie oraz walidacja autonomicznego systemu skutecznie wspomagającego hybrydową rehabilitację kardiologiczną”.
2. „Opracowanie skutecznego systemu do nadzoru hybrydowej rehabilitacji kardiologicznej umożliwi także aplikacyjność rozwiązana do potrzeb diagnostyki kardiologicznej oraz monitorowania w oparciu o telemedycynę”.

Tezy są interesujące i dotyczą ważnych aspektów praktycznych. Niemniej, powinny być rozszerzone (w szczególności też druga) o aspekty oryginalnego problemu badawczego, w którym istnieje ryzyko niepowodzenia ze względu na brak określonego stanu wiedzy, a w wyniku badań eksperymentalnych uzyskano statystycznie istotne rezultaty, będącymi argumentami za pozytywnym lub negatywnym rozwiązaniem problemu.

2. Zawartość rozprawy

Rozprawa napisana jest w języku polskim i składa się z dziesięciu rozdziałów, spisu literatury oraz wykazu dorobku naukowego Doktoranta. Praca zawiera również dobrze przygotowany wykaz skrótów i oznaczeń.

W rozdziale pierwszym Autor właściwie przedstawia motywację podjęcia tematu oraz przedstawia cel, tezy jak i przegląd pracy.

Rozdziały drugi i trzeci pogłębiają aspekty związane z wprowadzeniem do tematyki rozprawy, w szczególności w zakresie rehabilitacji kardiologicznej, rehabilitacji hybrydowej i telemedycyny.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawia porównanie metod pomiarowych wyznaczania parametrów oddychania. Po krótkiej analizie skupia się na wybranych metodach: rezystancyjnej, piezoelektrycznej, indukcyjnej i bioimpedancyjnej. Nie jest jasne, dlaczego numeruje je od M2, a nie od M1. Rozdział kończy się wykresem porównującym krzywe aktywności oddechowej pomierzone opracowanymi przez Doktoranta czujnikami.

Rozdział piąty poszerza wyniki badań opracowanych czujników pokazując zmienność parametrów oraz przykładowe krzywe aktywności oddechowej w przypadku oddechu normalnego, głębokiego, przyspieszonego, z epizodem kaszlu oraz uzyskanej w trakcie marszu i innych aktywnościach fizycznych (np. podczas gry w tenisa stołowego). Wskazano, że przeprowadzono badania kliniczne, zgodnie z uzyskano zgodą Komisji Etyki.

W rozdziale szóstym Pan mgr inż. Marek Czerw przedstawił koncepcję autonomicznego systemu rejestracji EKG. Rozdział na początku ma charakter bardzo ogólny i przeglądowy. Zawiera m.in. podrozdział „Podstawy elektrokardiografii”. W drugiej części rozdziału Doktorant przedstawił prototyp koszulki ze zintegrowanymi, nadrukowanymi ścieżkami, które można podłączyć do rejestratora EKG. Przedstawił również przykładowe zapisy sygnałów EKG dla umiarkowanego i intensywnego ruchu oraz w przypadku drugiego prototypu pomiary EKG dla testu spoczynkowego i testu wysiłkowego.

Rozdział siódmy koncentruje się na konstrukcji rejestratora sygnałów biomedycznych. Wskazano wymagania funkcjonalne, architekturę systemu, przykładową aplikację mobilną i interfejsy.

W rozdziale ósmym przedstawiono protokół komunikacyjny wraz z organizacją transmisji, budową komunikatów i szyfrowaniem komunikatów.

Rozdział dziewiąty zawiera informacje dotyczące walidacji systemu. Doktorant przedstawił podstawowe informacje o klasyfikacji wyrobu, ilustracje demonstrujące podłączenie symulatora sygnałów EKG do opracowanego modułu pomiarowego, przykładowe przebiegi EKG dla trzech wariantów eksperymentów: faza spoczynkowa z głębokim oddechem, faza wzrostu aktywności fizycznej oraz faza uspokojenia po intensywnym wysiłku.

Ostatni rozdział rozprawy to podsumowanie, w którym Doktorant przedstawia bardzo ciekawą tabelę 10.1 z zestawieniem parametrów różnych podobnych systemów oraz opracowanego rozwiązania CardioGuard.

Autor cytuje 89 pozycji literatury. Część cytowanych prac, to recenzowane publikacje w czasopismach lub materiałach konferencyjnych. Znaczna część spisu to prace relatywnie nowe, opublikowane po 2020 roku.

Na końcu rozprawy Doktorant załączył wykaz dorobku naukowego złożony z 17 pozycji. Szkoda, że nie wszystkie pozycje posiadają pełny opis bibliograficzny (np. brak roku dla pozycji 2).

3. Oryginalne osiągnięcia i ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant zrealizował oryginalne opracowanie konstrukcyjne związane z czujnikami i koszulką tekstroniczną. Praktyczny wymiar pracy jest bardzo ciekawy, nowoczesny i istotny w dobie zapotrzebowania na monitoring i rehabilitację kardiologiczną. Jest to niewątpliwie duża wartość związana z efektami pracy nad realizacją doktoratu wdrożeniowego.

Niemniej przedmiotem rozprawy doktorskiej powinno być przede wszystkim oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej. W każdym przypadku istotne jest wykazanie oryginalności badań naukowych w wymiarze podstawowym lub aplikacyjnym. Doktorant przedstawił bardzo obszerne opisy rozwiązań konstrukcyjnych i inżynierskich (np. nazwa rozdziału „Rozdział 4.5 Budowa systemu czujników i badania inżynierskie”) oraz szereg wyników jakościowych z przeprowadzonych badań. Wspomniał również w grupach badawczych, badaniach klinicznych i zgodach komisji etycznych. Niemniej brak jest ilościowej analizy wyników wraz z argumentami wynikającymi z analizy np. statystycznej o rozwiązaniu problemu badawczego. Dlatego, chciałbym szczegółowo wskazać, co w mojej ocenie brakuje w rozprawie w zakresie spełnienia ww. wymagania i może być ewentualnie podstawą poprawy rozprawy doktorskiej.

W zakresie czujników pomiaru oddechu:

- W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił konstrukcję oryginalnego układu do pomiaru aktywności oddechowej równocześnie za pomocą czterech czujników, ilustrując przykładowe wyniki jakościowe na rysunku 4.5.7. Niewystarczająco przedstawiono argumenty ilościowe. Właściwa forma umożliwiająca ocenę rozwiązania oryginalnego osiągnięcia naukowego wymagałaby poprawy tej części rozprawy, wskazując wyniki ilościowe z serii wielu wykonanych pomiarów wraz ze stosowną analizą statystyczną i odniesieniem do stanu wiedzy demonstrując oryginalność rezultatów.

- W rozdziale piątym Pan mgr inż. Marek Czerw pokazał serię ciekawych pomiarów z wykorzystaniem opracowanych czujników oddechu. Bardzo cenne jest również wskazanie, że odbyły się badania kliniczne. Niewystarczająco przedstawiono informacje o próbie. Właściwa forma umożliwiająca ocenę rozwiązania oryginalnego osiągnięcia naukowego wymagałaby wskazania: charakterystyki grup osób biorących w badaniu (liczba, płeć, wiek, itd.), uzyskane wyniki jakościowe i ilościowe wraz ze stosowną analizą uogólniającą (np. statystyczną) i odniesieniem do stanu wiedzy demonstrując oryginalność rezultatów.

- W tym samym piątym rozdziale Doktorant przedstawia, że „dokonano również weryfikacji stabilności oraz odporności na zakłócenia i typowe artefakty ruchowe. Zebrane wyniki przedstawiono w Tabeli 5.2.1”. Niewystarczająco przedstawiono informacje o próbie oraz o tym, kto dokonał weryfikacji. Właściwa forma umożliwiająca ocenę rozwiązania oryginalnego osiągnięcia naukowego wymagałaby wskazania: kto dokonał tej weryfikacji, wielkość próby, statystykę wyników, itd. z odniesieniem do stanu wiedzy demonstrując oryginalność rezultatów. Ta sama uwaga dotyczy wyników prezentowanych w rozdziale 5.3.2. Należałoby doprecyzować dane o grupie badawczej (np. płeć, wiek dla każdej osoby – to tylko sześć osób). Uzyskane wyniki jakościowe i ilościowe należy odnieść do stanu wiedzy demonstrując oryginalność rezultatów.

W zakresie czujników pomiaru oddechu:

- W rozdziale 6.3 Doktorant opisuje konstrukcję pierwszego prototypu koszulki z wskazaniem przebiegu nadrukowanych ścieżek. Niewystarczająco przedstawiono informacje o tym, kto jest autorem konfiguracji ścieżek oraz brak szczegółowych wyników ilościowych. Właściwa forma umożliwiająca ocenę rozwiązania oryginalnego osiągnięcia naukowego wymagałaby wskazania: kto jest autorem konfiguracji ścieżek oraz informacji szczegółowej o grupie badawczej („wykonano badania EKG z udziałem zdrowych, dorosłych mężczyzn”, str. 91), uzyskane wyniki jakościowe i ilościowe wraz ze stosowną analizą uogólniającą (np. statystyczną) i odniesieniem do stanu wiedzy demonstrując oryginalność rezultatów.

- W rozdziale 6.4 Doktorant opisuje konstrukcję drugiego prototypu koszulki z wskazaniem przebiegu nadrukowanych ścieżek. Niewystarczająco przedstawiono informacje o tym, kto jest autorem konfiguracji ścieżek oraz brak szczegółowych wyników ilościowych. Właściwa forma umożliwiająca ocenę rozwiązania oryginalnego osiągnięcia naukowego wymagałaby wskazania: kto jest autorem konfiguracji ścieżek, informację szczegółową o przeprowadzonych testach/grupie badawczej („W wyniku przeprowadzonego wielogodzinnego testu akwizycji”, str. 95), uzyskane wyniki jakościowe i ilościowe wraz ze stosowną analizą uogólniającą (np. statystyczną) i odniesieniem do stanu wiedzy demonstrując oryginalność rezultatów.

- Rozdziały 7 i 8 to klasyczne rozdziały opisujące poprawny projekt i realizację rozwiązania inżynierskiego. Rozdział 9 dotyczy walidacji systemu, gdzie pokazano wyniki jakościowe (przebiegi EKG) dla „dwóch zdrowych mężczyzn w przedziale wieku 50-60 lat oraz w wieku 20 lat (...)”. Niewystarczająco przedstawiono informacje o próbie badawczej i brak szczegółowych wyników ilościowych. Właściwa forma umożliwiająca ocenę rozwiązania oryginalnego osiągnięcia naukowego wymagałaby wskazania: ile osób brało udział, ich wiek, uzyskane wyniki jakościowe i ilościowe wraz ze stosowną analizą uogólniającą (np. statystyczną) i odniesieniem do stanu wiedzy demonstrując oryginalność rezultatów. Również w kontekście tabeli 10.1 należałoby podać, które problemy badawcze oryginalnie rozwiązano w rozprawie, co przełożyło się na uzyskanie przewagi w końcowym produkcie (np. aż 128 dni zapisu).

Powyższe szczegółowe braki powinny być również odniesione do tez rozprawy, w szczególności tezy drugiej, która wymaga w mojej ocenie poprawy, w celu podkreślenia oryginalnych aspektów badawczych.

Drobne uwagi edytorskie:

- str. 120: brak nawiasu na końcu tytułu podrozdziału 8.4.1,
- rozdział 9.3: tytuł rozdziału 9.3 kończy się kropką,

- str. 73: nie ma tabeli 5.2.1, jest tabela 5.2,
- str. 72: nie ma rysunku 5.2.5, jest 5.25,
- str. 73: kolejne słowa w zdaniu piszemy małymi literami, np. „Ocena Sumaryczna” (tabela 5.2).

Warto przy okazji poprawy pracy uporządkować zapis numeracji rysunków/tabel i odnieść do nich.

Chciałbym podkreślić, że konstrukcyjnie i aplikacyjnie bardzo wysoko oceniam rezultaty pracy w ramach doktoratu wdrożeniowego. Niemniej, w celu właściwej oceny oryginalnego rozwiązania problemu badawczego lub oryginalnego rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej brakuje szczegółowych informacji ilościowych, a bez ich podania nie mogę pozytywnie ocenić tej części. Zalecam w przyszłości wniesienie stosownych poprawek do rozprawy.

4. Konkluzja recenzji

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawione w rozprawie cele badawcze są ciekawe i wartościowe, praca pod względem tematycznym oraz uzyskanych wyników konstrukcyjnych jest bardzo interesująca i ważna.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej analizy i uzasadnienia stwierdzam, że rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria biomedyczna. Doktorant wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Niestety przedstawiona rozprawa nie prezentuje w sposób wystarczający argumentów ilościowych, aby można było pozytywnie ocenić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej. Ponieważ zgodnie z przedstawionymi przez Radę Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna, Politechniki Śląskiej konkluzja recenzji musi być jednoznaczna (bez możliwości odesłania do poprawy), dlatego stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Marka Czerwa nie spełnia wszystkich wymagań, tj. nie spełnia wymagania w zakresie oryginalnego rozwiązania problemu naukowego lub oryginalnego rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej, zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm). Wobec powyższego ocena rozprawy jest negatywna.


prof. dr hab. inż. Jacek Rumiński, prof. PG
Katedra Inżynierii Biomedycznej, ETI, PG

