

Dr hab. inż. Rafał Zdunek, prof. uczelni  
Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych  
i Optoelektroniki. (K35W12ND02)  
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów (W12N)  
Politechnika Wroclawska  
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław, dn. 9.01.2023r.

S E K R E T A R I A T  
Rady Dyscypliny AEETK

Wpłynęło dnia.....25. 01. 2023.....  
Zarejestrowano pod nr .....  
Podpis .....

## Recenzja Rozprawy Doktorskiej

(Podstawa formalna recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dn. 4.11.2022 r.)

Tytuł rozprawy: „System zdalnej diagnostyki bezdechu sennego w warunkach domowych”

Autor rozprawy: mgr inż. Jakub Bogdan Drzazga

Dyscyplina: Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika

Promotor: prof. dr hab. inż. Bogusław Cyganek

### 1. Zagadnienie naukowe i cele rozprawy

Diagnostyka medyczna, prowadzona zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i domowych, jest coraz częściej wspomagana zaawansowanymi rozwiązaniami technologicznymi. Już od wielu lat rozwijane są nie tylko wyspecjalizowane urządzenia elektroniczne do pozyskiwania wyników badań medycznych, ale także zaawansowane metody ich przetwarzania i interpretacji, częstokroć bazujące na złożonych algorytmach sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Niniejsza praca doktorska bardzo dobrze wpisuje się w ten nurt technologiczny, zarówno pod względem rozwoju aparatury pomiarowej, jak i odpowiedniej algorytmiki do obróbki pozyskanych wyników obserwacji.

Zasadniczym celem pracy było zaprojektowanie, wykonanie i przetestowanie w warunkach rzeczywistych prototypu kompleksowego systemu do zdalnej diagnostyki bezdechu sennego. Jest to zatem praca mająca cechy doktoratu wdrożeniowego. Jest ukierunkowana na rozwiązanie konkretnego problemu technologicznego, który ma potencjał wdrożeniowy. Produktem końcowym jest bowiem prototyp systemu diagnostycznego, składający się z urządzenia pomiarowego i innych akcesoriów, np. czujników, oraz specjalistycznego oprogramowania. Powstał on na podstawie wyników badań naukowych zrealizowanych w ramach doktoratu Pana mgr. Drzazgi i przy współpracy z firmą Comarch S.A. Wybrane podzespoły tego systemu są objęte ochroną patentową, np. urządzenie do monitorowania oddechu (nr pat. 239483). Opracowany system został porównany z komercyjnym systemem Alice NightOne, na podstawie eksperymentów medycznych przeprowadzonych na stosunkowo dużej liczbie pacjentów (ok. 100) w przychodni iMed24, należącej do GK Comarch.

Praca ma charakter eksperymentalno-syntetyczny, w której zasadniczy produkt powstał na podstawie syntezy istniejących rozwiązań, a jego użyteczność praktyczna została zweryfikowana na podstawie badań eksperymentalnych. Należy jednak zauważyć, że

wspomniane rozwiązanie technologiczne nie powstałoby bez rozwiązania istotnych problemów badawczych z różnych obszarów badań naukowych, co czyni tę pracę w znacznej mierze interdyscyplinarną. Część zadań badawczych była prowadzona w obszarze klasycznej elektroniki, zwłaszcza elektronicznych układów analogowych i związana była z opracowaniem aparatury pomiarowej. Najistotniejszy problem badawczy w tym obszarze dotyczył opracowania efektywnego rezystancyjnego czujnika wysiłku oddechowego z kompensacją składowej stałej od pasa rezystancyjnego. Z kolei, w części związanej z opracowaniem oprogramowaniem badania miały na celu znalezienie efektywnego algorytmu automatycznej detekcji i klasyfikacji epizodów bezdechu sennego. Analizowano różne podejścia algorytmiczne, a testy numeryczne przeprowadzono zarówno na znanych i dobrze oznaczonych zbiorach danych, jak i na danych pozyskanych przy pomocy zaprojektowanego urządzenia pomiarowego. Tę część badań należy ulokować na pograniczu technik informatycznych, pomiarowych i cyfrowego przetwarzania sygnałów, co niewątpliwie istotnie wchodzi w zakres dyscypliny Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki. W opinii recenzenta wszystkie problemy badawcze podejmowane w niniejszej pracy były zasadne i efektywnie przyczyniły się do opracowania wspomnianego produktu końcowego.

## **2. Zakres rozprawy**

Praca liczy 111 stron i jest podzielona na sześć rozdziałów głównych oraz bibliografię. Zawiera 16 tabel i aż 52 rysunki.

Rozdział 1 jest krótkim rozdziałem wprowadzającym, w którym podano motywację do podjęcia pracy, 3 tezy rozprawy oraz krótko scharakteryzowano wkład pracy.

Rozdział 2 wprowadza Czytelnika w tematykę bezdechu sennego i standardy jego diagnostyki. W końcowej części tego rozdziału przedstawiono krótki opis architektury opracowanego systemu Comarch PulmoVest, łącznie ze skróconą instrukcją jego użytkowania, a także podstawowym schematem blokowym przepływu danych w tym systemie.

Rozdział 3 przedstawia fundamentalny opis opracowanego urządzenia elektronicznego do akwizycji danych, a także podstawowych akcesoriów, takich jak termiczna kaniula nosowa, pas z elektrodami EKG i rezystancyjnym czujnikiem wysiłku oddechowego oraz sonda pulsoksymetru. Istotną częścią tego rozdziału są również wyniki badań opracowanej aparatury elektronicznej. W rozdz. 3.3 zamieszczono schemat proponowanego analogowego układu elektronicznego do przetwarzania sygnału bezpośrednio z czujnika rezystancyjnego oraz wyniki badań uzasadniające podjęte działania projektowe. Wykonano zarówno badania symulacyjne, z wykorzystaniem programu LTSpice, jak badania bazujące na pomiarach rzeczywistych skonstruowanego układu elektronicznego.

Rozdział 4 skupia się na podejściu algorytmicznym - zawiera bowiem opis proponowanego algorytmu do automatycznej detekcji i klasyfikacji epizodów bezdechu sennego, a także wyniki badań weryfikujące jego efektywność. Zaproponowano oryginalny algorytm bazujący na dwustopniowej architekturze sieci rekurencyjnej, typu LSTM. W pierwszym stopniu wykrywany jest początek spłyceń oddechu, natomiast drugi stopień sieci LSTM znajduje jego lokalizację w czasie. Badania przeprowadzono na sygnałach pochodzących z publicznie dostępnych baz danych. Takie podejście jest uzasadnione i wystarczające do wykazania poprawności działania algorytmu. W tym rozdziale zamieszczono również rozważania nad przydatnością sieci typu Transformer do realizacji wspomnianego celu, poparte wynikami badań porównujących efektywność obu metod.

Rozdział 5 jest najobszerniejszy w pracy i przedstawia wyniki badań uzyskane algorytmami omawianymi w poprzednim rozdziale, które zastosowano do danych zmierzonych opracowanym urządzeniem. Eksperymenty medyczne przeprowadzono na licznej próbie, składającej się ze 100 osób. Do eksperymentów wybrano osoby, u których stwierdzono podwyższone ryzyko występowania bezdechu sennego na podstawie kwalifikacji prowadzonej przez lekarza i danych z kwestionariuszy. Na szczególną uwagę zasługują testy porównawcze, bowiem każdy pacjent był jednocześnie testowany dwoma urządzeniami. Jako urządzenie referencyjne wybrano dostępny na rynku poligraf Alice NightOne firmy Philips. Wyniki z obu urządzeń zostały opisane przez lekarza specjalizującego się w badaniach bezdechu sennego. Wykonano różne analizy porównawcze, zwłaszcza dokładności klasyfikacji uchwyconych epizodów oraz stopnia zaawansowania bezdechu. Sposób prezentacji wyników badań zasługuje na wyróżnienie, ponieważ najważniejsze wyniki klasyfikacji są pokazane przy pomocy kolorowych tablic pomyłek, opisanych również ilościowo, a także dodatkowo przy pomocy tabel wyników walidacji krzyżowej. Opracowany system diagnostyki bezdechu ma możliwość rejestracji sygnału z pulsoksymetru. W badanych omawianych w tym rozdziale badano także wpływ tego sygnału na dokładność klasyfikacji epizodów bezdechu. Sprawdzono również skuteczność sieci typu Transformer.

Ostatni rozdział 6 zawiera krótkie podsumowanie, listę najważniejszych osiągnięć i publikacji, które powstały podczas realizacji tej pracy. Rozdział ten kończą rozważania nad ścieżkami dalszego rozwoju omawianego systemu.

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

#### **3.1. Analiza źródeł**

Bibliografia zawiera tylko 82 pozycje ale starannie wyselekcjonowane i ściśle powiązane z tematyką rozprawy. Są to głównie artykuły w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Zdarzają się również materiały konferencyjne, a także prace niepublikowane, np. opisy specyfikacji urządzeń pomiarowych. Autor cytuje również trzy swoje prace.

Większość z prac zamieszczonych w wykazie literatury jest z obszaru inżynierii biomedycznej oraz nauk o zdrowiu i dotyczy tematyki diagnozy bezdechu sennego. Prace z dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych stanowią około 25% cytowanych prac. Ta dość ograniczona liczba referencji wynika raczej ze specyfiki tego doktoratu, który ukierunkowany był na opracowanie konkretnego urządzenia z zamiarem jego wdrożenia do diagnostyki medycznej. Autor pracy skupia się na rozwiązywaniu konkretnych technicznych problemów bez prowadzenia dogłębnych analiz literaturowych. W opinii recenzenta takie podejście jest uzasadnione w tego typu doktoracie.

#### **3.2. Metodyka badawcza**

Autor rozprawy przyjął metodykę badawczą, którą można scharakteryzować w następujący sposób:

- w pierwszej kolejności opracowanie elektronicznego urządzenia pomiarowego rejestrującego sygnały z różnego typu czujników, takich jak sensory sygnału EKG, kaniula nosowa z termicznym czujnikiem przepływu powietrza, rezystancyjnym pasem do pomiaru wysiłku oddechowego, a także sondą pulsoksymetru do pomiaru nasycenia krwi tlenem,

- opracowanie algorytmu automatycznej detekcji i klasyfikacji epizodów bezdechu sennego i jego weryfikacja na dobrze oznaczonych danych, pochodzących ze znanych repozytoriów,
- zastosowanie opracowanego algorytmu do sygnałów mierzonych wspomnianym urządzeniem i wykonanie przy pomocy opracowanego systemu i innego urządzenia referencyjnego eksperymentów medycznych w rzeczywistych warunkach diagnostyki medycznej i na dużej liczbie pacjentów.

Łatwo zauważyć, że powyższe zadania badawcze, chociaż prowadzą do jednego nadrzędnego celu jakim jest zbudowanie kompletnego systemu diagnostyki bezdechu sennego, to jednak nie są tematycznie spójne. Ich realizacja wymaga działań na różnych, a nawet dość odległych obszarach badań naukowych. Mgr Drzazga musiał się wykazać dużą wiedzą i doświadczeniem zarówno w projektowaniu urządzeń elektronicznych, czujników pomiarowych, wiedzą z obszaru uczenia maszynowego, przetwarzania sygnałów cyfrowych, ale także częściowo wiedzą z obszaru diagnostyki medycznej.

Niewątpliwie przyjęta metodyka badawcza była właściwa, zwłaszcza w przypadku doktoratu wdrożeniowego i skutecznie doprowadziła do realizacji nadrzędnego celu tej pracy – opracowania urządzenia z potencjałem wdrożeniowym. Są jednak słabe strony takiego podejścia. Jedną z nich jest słaby przegląd literatury z tematyki, co raczej wynika z tego, że Autor pracy już na początku miał klarowną wizję realizacji celu i nie potrzebował prowadzić rozległych studiów literaturowych. W konsekwencji, przyjęta metodyka jest bardzo precyzyjna i prowadząca do pragmatycznych podejść. Stąd brak w niej głębokich analiz teoretycznych, odniesienia się do rozwiązań konkurencyjnych, zarówno w zakresie doboru odpowiedniego rozwiązania projektowanego układu elektronicznego, jak i doboru właściwego rozwiązania algorytmicznego oraz analiz porównawczych (poza rozdz. 5). Takie podejście do metodyki badań, chociaż z jednej strony generuje pewne wątpliwości czy zaproponowane rozwiązania są faktycznie optymalne, to z drugiej strony nie stanowi istotnego uchybienia w tego rodzaju pracy doktorskiej, ponieważ zasadniczy cel pracy został osiągnięty, a końcowy produkt został dogłębnie zbadany podczas eksperymentów odzwierciedlających rzeczywiste warunki pracy opracowanego systemu.

### **3.3. Ocena uzyskanych wyników badań**

Badania były prowadzone w trzech dość odległych obszarach tematycznych. W rozdziale 3 przedstawiono wyniki badań układu obsługującego rezystancyjny czujnik wysiłku oddechu. Wykonano analizy symulacyjne programem LTSpice, pomiary zmontowanego układu w warunkach laboratoryjnych, a także pomiary sygnału wyjściowego z urządzenia zamontowanego w systemie Comarch PulmoVest testowanego w warunkach domowych. Uzyskane rezultaty w pełni potwierdzają, że zaprojektowany układ elektroniczny dobrze radzi sobie ze zmieniającą się składową stałą w całym zakresie zmienności rezystancji pasa rezystancyjnego. Ponadto, układ pracuje stabilnie oraz wystarczająco szybko dostosowuje się do nagłych zmian offsetu wynikających ze zmiany odkształcenia pasa na skutek zmian pozycji pacjenta w ciągu nocy. Zatem wyniki badań uzyskane z tej części prac badawczych jednoznacznie potwierdzają, że zaprojektowany układ elektroniczny działa poprawnie.

W kolejnym rozdziale przedstawiono różnorodne wyniki badań opracowanego algorytmu automatycznej detekcji i klasyfikacji epizodów bezdechu sennego zrealizowane na danych pochodzących z bazy SHHS oraz bazy PhysioNet. Do trenowania systemu wykorzystano tylko

sygnały z pierwszej bazy, co jest w pełni uzasadnione ze względu na dużą liczbę próbek treningowych. Pokazano przykładowe sygnały z obu sieci LSTM stanowiących podstawowy człon architektury zaprojektowanego systemu i wykazano dość dużą korelację tych sygnałów z epizodami bezdechu oznaczonymi przez lekarza. Kolejne wyniki badań potwierdziły, że zaproponowany algorytm osiąga większą dokładność klasyfikacji bezdechów niż sploty bezdechów. W dalszej części pracy uzasadniono, że to zachowanie wynika z rodzaju użytego czujnika przepływu powietrza, co wydaje się w pełni przekonujące. Analizowano też możliwość estymacji stopnia zaawansowania bezdechu. W tym przypadku okazało się, że opracowany algorytm dość dobrze rozpoznaje ciężki i umiarkowany przypadek bezdechu, zwłaszcza na zbiorze danych z bazy SHHS, ale ma tendencję do przeestymowania ocen lekkiego i braku bezdechu. Nie są to zatem wyniki badań w pełni satysfakcjonujące ale w pracy pokazano, że można je poprawić różnymi sposobami, np. przez pominięcie okresów wybudzenia lub uwzględnienie w analizach sygnału z sondy pulsoksymetru.

Efektywność opracowanego systemu została również zbadana w warunkach jego rzeczywistej pracy. Wyniki badań zamieszczono w rozdz. 5, które w większości przypadków są zgodne z obserwacjami zamieszczonymi w rozdz. 4. Uzyskano więc potwierdzenie, że system Comarch PulmoVest jest efektywny w klasyfikacji bezdechów o stopniu ciężkim, ale słabo radzi sobie z klasyfikacją splotów oddechu i bezdechu o łagodnym przebiegu. Ponadto, pokazano także korelacje pomiędzy wynikami uzyskanymi z opracowanego systemu i poligrafu Alice NightOne. Z zamieszczonych wykresów i analizy porównawczej wynika, że system Comarch PulmoVest ma tendencje do niedoszacowania liczby epizodów bezdechu obturacyjnego, natomiast przeszacowuje liczbę splotów oddechu i bezdechu ośrodkowego, co uzasadniono rodzajem czujników powietrza w kaniuli nosowej w obu systemach.

Reasumując, w ocenie recenzenta uzyskane wyniki badań są wartościowe i znacząco przyczyniły się do powstania prototypu systemu Comarch PulmoVest, który wydaje się być konkurencyjny do poligrafu Alice NightOne w zakresie jakości wyników diagnostyki medycznej. Niemniej jednak, wskazania obu systemów mogą się różnić w zależności od rodzaju diagnozowanego schorzenia.

### **3.4. Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego**

W pracy przedstawiono kilka nowatorskich rozwiązań zarówno z obszaru elektroniki, jak i technologii informatycznych, zwłaszcza algorytmów uczenia maszynowego. Autor podał, że za największe swoje osiągnięcie w zakresie elektroniki uznaje opracowanie koncepcji urządzenia do domowej diagnostyki bezdechu sennego typu III, zaproponowanie użycia pasa rezystancyjnego do mierzenia wysiłku oddechowego oraz zaprojektowanie, wykonanie i przetestowanie nowatorskiego urządzenia elektronicznego do przetwarzania sygnału z rezystancyjnego czujnika w tym pasie. W opinii recenzenta, niewątpliwie dwa pierwsze osiągnięcia w pełni zasługują na wysoką ocenę, zwłaszcza oryginalność koncepcji użycia pasa rezystancyjnego. Trzecie rozwiązanie spełnia bardzo ważną funkcję w całym zaprojektowanym systemie ale można polemizować w kwestii jego nowatorskości. W opinii recenzenta, zaprojektowane urządzenie stanowi standardowe rozwiązanie kompensacji składowej stałej w układzie różnicowego wzmocnienia z wykorzystaniem dwóch wzmacniaczy operacyjnych. Takie rozwiązanie jest znane od wielu dziesięcioleci i jego nowatorskość można jedynie oceniać w kontekście jego zastosowania.

Według recenzenta najbardziej nowatorskie rozwiązania leżą po stronie technologii informatycznej i są przedstawione w rozdz. 4, ale nie oznacza to, że rozwiązania proponowane

w obszarze elektroniki nie są wystarczająco nowatorskie. Choć samo zastosowanie sieci LSTM do klasyfikacji szeregów czasowych również nie stanowi nowatorskiego rozwiązania, to umiejętne połączenie dwóch takich sieci i innych bloków przetwarzania sygnałów cyfrowych do detekcji i klasyfikacji epizodów bezdechu jest wystarczająco innowacyjnym rozwiązaniem, którego efektywność została potwierdzona licznymi wynikami różnorodnych badań, o czym wspomniano już wcześniej.

#### 4. Słabe strony rozprawy i jej główne wady

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Jakuba Drzazgi napisana jest starannie i na zadawalającym poziomie merytorycznym. Nie licząc kilku drobnych potknięć edytorskich i tzw. literówek (wspomnianych poniżej), praca jest napisana starannie i poprawnym językiem. Nie ma zatem wyraźnie słabych stron, ale niektóre z zaprezentowanych zagadnień wymagają dokładniejszego wyjaśnienia. Poniżej przedstawiam uwagi natury polemicznej, bądź też natury edycyjnej.

1. Autor w tytule i w kilku miejscach swojej pracy wspomina, że praca dotyczy systemu do zdalnej diagnostyki. Jednak zagadnienie zdalnej diagnostyki jest wyjaśnione zbyt lakonicznie. Jedynie w rozdz. 2.3 krótko opisano na czym polega ta zdalna diagnostyka, ale nie rozwinięto tego tematu w dalszej części pracy. Wspomniano, że jedną z głównych zalet proponowanego systemu jest funkcja telemedyczna i z pewnością tę funkcję trzeba było jakoś zaimplementować. Autor nie podaje jednak żadnych szczegółów technicznych w jaki sposób rejestrator komunikuje się serwerem w przychodni czy ośrodku zdrowia. Jakie protokoły komunikacyjne wykorzystano, kanały transmisyjne, aplikacje, itp.? Czy ta funkcja została już zrealizowana czy raczej chodzi o opcję urządzenia, która będzie dopiero rozwijana w przyszłości. Ten aspekt wymaga rozwinięcia.
2. Opracowany system bazuje na wielokanałowym rejestratorze, którego schemat blokowy pokazano na rys. 7. Urządzenie to ma zatem możliwość rejestracji sygnałów EKG oraz z mikrofonu. Na zastosowanym pasie rezystancyjnym umieszczono nawet czujniki do pomiaru sygnału EKG. Niezrozumiałe wydaje się zatem to dlaczego tych sygnałów nie wykorzystano do wspomagania detekcji i klasyfikacji epizodów bezdechu.
3. Teza nr 1 brzmi: „Możliwe jest stworzenie systemu poligraficznego, który umożliwi diagnostykę bezdechu sennego oraz zdalne przesyłanie danych w warunkach domowych”. Tak postawiona teza wydaje się zbyt oczywista. Skoro istnieją konkurencyjne urządzenia poligraficzne do diagnostyki bezdechu sennego w warunkach domowych, o czym wspomniano na str. 22, to pierwsza część tezy została już udowodniona przed rozpoczęciem pracy doktorskiej. Z kolei, druga część, dotycząca diagnostyki zdalnej, jest oczywista, uwzględniając współczesne możliwości przesyłania danych na odległość.
4. W pracy niejako założono, że sieć LSTM będzie najlepszym klasyfikatorem, co być może nie jest błędnym założeniem, ale tematyka klasyfikacji sygnałów jest bardziej obszerna i niewykuczone, że inne, nawet mniej skomplikowane klasyfikatory, oprócz sieci Transformer, mogą być tutaj przydatne. Czy były podejmowane próby zastosowania np. klasyfikatora SVM w połączeniu z różnymi metodami ekstrakcji cech?
5. Nie bardzo wiadomo co to jest instancja algorytmu w kontekście walidacji krzyżowej. W standardowym ujęciu zagadnienia walidacji krzyżowej próba statystyczna dzielona jest na podzbiory, natomiast na str. 43 wspomniano następująco „W każdej instancji,

rozumianej jako każdy z pięciu algorytmów wytrenowanych w ramach 5-krotnej walidacji krzyżowej, ...". To stwierdzenie wymaga doprecyzowania.

6. Na str. 33 jest zdanie „Obwód ten oferuje większe wzmocnienie sygnału oddechowego niż inne układy analogowe o podobnym stopniu skomplikowania”. Skąd ten wniosek? W pracy nie zamieszczono takich badań.
7. Str. 72: Drugi krok metody skalowania sformułowano następująco: „Wyznaczenie spektrogramu całego sygnału i zsumowanie amplitud widma dla częstotliwości poniżej 0,3 Hz”. Czy faktycznie chodzi tutaj o spektrogram czy o widmo? Jeśli to zdanie jest poprawne, to dlaczego użyto spektrogram i czy dzielono go na okna czasowe?

Uwagi o charakterze edytorskim:

8. Bardzo częstym błędem jest nieodpowiednie użycie sformułowania „w oparciu o ...”, które powinno odnosić się do czynności fizycznej, a nie do zjawisk abstrakcyjnych. Problem ten dotyczy przykładowych sformułowań: „Istnieje wachlarz rozwiązań wypełniających takie zadanie, opartych o rezystory ...” (str. 23), „Zgrubna selekcja następowała w oparciu o amplitudę sygnałów ...” (str. 42), „... w oparciu o porównanie ...” (str. 52), „... klasyfikatory oparte o Transformer ...” (str. 54), „ ... w oparciu o sygnały ...” (str. 56).
9. Str. 34, zdanie: „Taki zestaw danych, opracowany przez oprogramowanie komputerowe, podlega następnie weryfikacji i poprawie przez lekarza ...”. To zdanie wymaga korekty językowej.
10. Str. 34: Zamiast „większej ilości osób” powinno być „większej liczby osób”. Podobne, na str. 44 powinno być „liczbie próbek”, zamiast „ilości próbek”.
11. Str. 41: Literówka w zdaniu „W tym celu wykorzystywana jest ...”.
12. Str. 51: Literówka w zdaniu „Prosta weryfikacja ...”.
13. Str. 56: Zdanie „Porównanie diagnoz pacjentów stawianych na podstawie zapisów ...” wymaga korekty językowej.

Chciałbym jednak zaznaczyć, że powyższe uwagi mają jedynie charakter polemiczny lub edytorski i nie umniejszają wysokiej wartości naukowej niniejszej rozprawy.

#### **Wnioski końcowe:**

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska została przygotowana na wysokim poziomie merytorycznym i dobrym poziomie redakcyjnym, a uzyskane wyniki stanowią oryginalny wkład Autora rozprawy w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika. Moja finalna ocena rozprawy doktorskiej jest zdecydowanie pozytywna. Uważam też, że Autor rozprawy jest wystarczająco przygotowany do samodzielnego prowadzenia dalszych prac naukowych.

**Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Jakuba Drzazgi spełnia zwyczajowe i formalne warunki stawiane rozprawom doktorskim i na podstawie przepisów Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytułach Naukowych wnoszę do Wysokiej Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Autora do publicznej obrony.**

*Rafał Zduńek*

