

Prof. dr hab. inż. Józef Borkowski
Katedra Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów
Politechnika Wrocławska
ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław
email: jozef.borkowski@pwr.edu.pl

Wrocław, 6 listopada 2024 r.

Recenzja pracy doktorskiej
mgr inż. Mirosława Chylińskiego
pt. „Metoda przetwarzania linii izoelektrycznej z wykorzystaniem filtracji Savitzky’ego-Golaya oraz wybranych metod modulacji amplitudowej oraz częstotliwościowej przebiegu EKG do wyznaczenia częstości oddechowej”

Promotor: dr hab. inż. Mirosław Szmajda, prof. Politechniki Opolskiej
Promotor pomocniczy: dr hab. n. med. Jerzy Sacha, prof. Politechniki Opolskiej

Niniejsza recenzja została przygotowana na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne* Politechniki Opolskiej, dr hab. inż. Andrzeja Waindoka, prof. Politechniki Opolskiej (pismo z dn. 26.09.2024r.) .

Przedłożona rozprawa doktorska pt. „*Metoda przetwarzania linii izoelektrycznej z wykorzystaniem filtracji Savitzky’ego-Golaya oraz wybranych metod modulacji amplitudowej oraz częstotliwościowej przebiegu EKG do wyznaczenia częstości oddechowej*” (Opole, 2024 r.) mgr inż. Mirosława Chylińskiego liczy 173 strony, w tym 129 stron tekstu zasadniczego podzielonego na 11 rozdziałów, z których dwa pierwsze (tj. *1. Wstęp* oraz *2. Cel, zakres i teza pracy*) zawierają uzasadnienie wyboru tematyki, cel, zakres i tezę rozprawy, a dwa ostatnie (tj. *10. Podsumowanie* oraz *11. Bibliografia*) zawiera podsumowanie uzyskanych wyników i spis bibliografii wykorzystanej w pracy. Ponadto rozprawa zawiera w części wstępnej streszczenie w języku polskim i angielskim, spis skrótów użytych w pracy oraz spis treści. W części końcowej pracy znajduje się 18 dodatków (oznaczonych jako rozdz. *12. Dodatek A – 29. Dodatek S*, łącznie 44 strony) zawierających kod źródłowy oprogramowania i dane tabelaryczne związane z treścią pracy. Wykaz bibliografii (oznaczony jako rozdz. 11) zawiera 147 pozycji, w tym 4 współautorstwa mgr inż. Mirosława Chylińskiego, w których to pracach jest on pierwszym (publikacje w materiałach konferencji [129], [130]) lub drugim (artykuły w czasopiśmie [68], [128]) współautorem. W bazie *Scopus* (Author ID: 57200701380) wykazano 5 publikacji współautorstwa mgr inż. Mirosława Chylińskiego (w tym 4 wykazane w bibliografii pracy i jedna publikacja w materiałach konferencyjnych z 2018 r.) z 9 cytowaniami (3 bez autocytowań) i indeksem *Hirscha* Autora równym $h = 2$.

Dobór cytowanych prac w bibliografii rozprawy doktorskiej uważam za odpowiedni. Bibliografia zawiera publikacje z lat 1983-2024 i sześć prac z lat 1938-1978. Ponad 80% pozycji bibliografii to prace z lat 2000-2024, a ponad połowa to prace z ostatniej dekady. Spośród wszystkich pozycji dominują artykuły z czasopism (ponad 2/3), a ponadto spis zawiera również prace z materiałów konferencyjnych (ok. 10%), książki i rozdziały w książkach (ok. 13%) i 6 odnośników do źródeł internetowych. Ponad 100 wszystkich cytowanych prac stanowią artykuły z międzynarodowych czasopism, w większości o wysokim współczynniku *IF*, w tym m.in. (w kolejności liczby cytowanych prac): *Sensors* (11

prac), *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* (6 prac), *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* (4 prace), *Physiological measurement* (4 prace), *IEEE Access* (3 prace), *Medical and Biological Engineering and Computing* (3 prace), *Metrology and Measurement Systems*, *Annals of Biomedical Engineering*, *Psychophysiology*, *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, *Medical Engineering and Physics* (po 2 prace), *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, *Chemical Reviews*, *Journal of the American College of Cardiology*, *Circulation*, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *Scientific Reports*, *Biomedical Signal Processing and Control*, *Signal Processing*, *Machine Learning*, *Analytical Chemistry*, *Cardiovascular Research*, *Chest*, *Biochemia Medica*, *Materials* (po jednej pracy oraz z punktacją ministerialną 140 lub 200 pkt.) i szereg innych tytułów.

Lista cytowanych czasopism wskazuje, że praca dotyczy zagadnień interdyscyplinarnych, co jest związane z naturą samego obiektu badań, tj. sygnału EKG jako sygnału typowo biomedycznego, jak i stosowaniem metod cyfrowego przetwarzania sygnału do rozwiązania postawionego zadania w sposób typowy dla dyscypliny *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*. Można zatem stwierdzić, że przynależność tematyki recenzowanej rozprawy doktorskiej do dyscypliny naukowej *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne* jest dominująca w głównym aspekcie rozprawy – rozwiązania postawionego zadania, tj. przetwarzania sygnału metodami cyfrowego przetwarzania sygnałów w celu wyznaczenia jego wybranych cech.

Tematyka pracy podejmuje zagadnienie ważne dla współczesnych zagadnień diagnostyki chorób układu oddechowego. Autor cytuje dane WHO, że „... główne globalne przyczyny śmierci dotyczą trzech obszarów – układ krążenia (...), układ oddechowy (...) i choroby noworodków”. Jednocześnie wskazuje On na coraz większe znaczenie pozyskiwania informacji o aktywności oddechowej z zapisu sygnału EKG, podając szereg uwarunkowań szczegółowych tak zdefiniowanej tematyki pracy. Oprócz wskazania jednostek chorobowych wpływających na proces oddychania, Autor stwierdza, że „... metody szacowania częstości oddechowej oraz fali oddechowej z sygnału EKG mogą być wyznaczone na podstawie sygnału uzyskanego z najbardziej popularnego i niedrogiego urządzenia do monitorowania holterowskiego”. Szczególnie obecnie można zauważyć coraz większą dostępność tanich urządzeń do pomiaru sygnału EKG (autonomicznych lub w formie np. przystawki do smartfonu, obsługiwanej przez pacjenta bez udziału personelu lekarskiego), uważam więc, że Autor rozprawy trafnie dostrzegł potrzebę rozwoju metod diagnostycznych wykorzystujących sygnał EKG w kontekście szerokiej dostępności urządzeń rejestrujących taki sygnał i dalszych perspektyw ich rozwoju, jednocześnie koncentrując się na tej klasie metod diagnostycznych, które dotyczą oceny stanu układu oddechowego na podstawie sygnału EKG. W kontekście tak zaprezentowanego w rozdz. 1 wyboru tematyki pracy Autor rozprawy formułuje w rozdz. 2 zasadnicze cele pracy w sposób ogólny jako: zaproponowanie metody lub grupy metod umożliwiających rejestrację fali oddechowej oraz obliczenie częstości oddechowej; dobór parametrów poszczególnych metod; zbudowanie stanowiska do badań eksperymentalnych i określenie wpływu parametrów fizjologicznych z uwzględnieniem ich zróżnicowania dla różnych grup pacjentów. Na podstawie tak postawionych celów pracy Autor formułuje następującą **tezę rozprawy**:

Zastosowanie metod cyfrowego przetwarzania sygnałów w przetwarzaniu przebiegu EKG, wykorzystujące algorytmy z grup: wyodrębnienia izolinii, modulacji amplitudowej, oraz modulacji częstotliwościowej, pozwolą na wyznaczenie fali oddechowej oraz jej częstości z uwzględnieniem wybranych parametrów fizjologicznych pacjenta.

Na tej podstawie Autor formułuje zakres pracy konieczny do wykazania prawdziwości postawionej tezy.

Jako Recenzent zwracam szczególną uwagę na **zasadność wyboru tematyki** przez Autora i wynikającą stąd przydatność sformułowanych tez w rozprawie. W przypadku przedłożonej rozprawy przedstawione uzasadnienie uważam za w pełni przekonywujące, a postawione cele za ważne dla współczesnych metod diagnostycznych w medycynie, szczególnie w kontekście dynamicznego rozwoju urządzeń rejestrujących sygnał EKG i wynikającej stąd potrzeby intensywnego rozwoju metod przetwarzania i interpretacji rejestrowanego sygnału.

W **rozdziale 3** (3 strony) Autor opisał pokrótce czym jest fala oddechowa, będąca głównym obiektem badań w rozprawie, podał ich przykładowe przebiegi czasowe wskazując na poszczególne fazy pracy układu oddechowego. Falę oddechową Autor definiuje jako „*zależność zmian objętości klatki piersiowej, związanej z wymianą gazu w płucach (pobranego lub wypuszczonego) w funkcji czasu t*”. Przebiegi czasowe zaprezentowane na rys. 1 przedstawiają falę oddechową jako zależność amplitudy wychylenia klatki piersiowej w funkcji numeru próbki. Przydatna byłaby tu informacja w jaki sposób zmiana objętości klatki piersiowej, związana z wymianą gazów w płucach, zależy od amplitudy wychylenia klatki piersiowej (np. czy jest to zależność liniowa, czy o innym charakterze). Również oś czasu powinna być tu chyba wyskalowana w bezwzględnych jednostkach czasu (s lub ms) zamiast numeru próbki, aby bardziej uniezależnić informację pokazaną na rysunku od szczegółowych aspektów technicznych samego pomiaru, takich jak częstotliwość próbkowania użytego przetwornika A/C. Poza tymi drobnymi uwagami, rysunki są przejrzyste i są adekwatnie dobrane pod kątem treści tej części pracy. Po wymienieniu parametru o nazwie częstość oddechowa (w skrócie RR lub częściej BR), Autor podaje też, że „*częstość oddechowa określana jest, jako liczba oddechów wykonana w ciągu 1 minuty*”. Następnie w rozdz. 3.3 podane są typowe zakresy zmienności tego parametru w zależności od wieku pacjenta oraz wymienione są podstawowe właściwości i typy oddechów prawidłowych i patologicznych. W **rozdziale 4** (18 stron) podano najpierw w części wstępnej tego rozdziału (str. 16) wykaz metod kontaktowych (rys. 2) oraz metod bezkontaktowych (tab. 2). Zgodnie z zamieszczonym rysunkiem jest 7 różnych typów metod kontaktowych (kolejne kolumny opisów zawartych na rys. 2) lub klasyfikując wg nieco innego kryterium – 10 różnych rodzajów (bloki zaznaczone na niebiesko na rys. 2) lub też jeszcze wg innego kryterium – 25 różnych metod (bloki zaznaczone na biało na rys. 2). Zabrakło mi, jako czytelnikowi rozprawy, w tekście rozprawy, odpowiedniego komentarza do rys. 2 (poza istniejącym jednym zdaniem wskazującym na pochodzenie rysunku). Zgodnie z zamieszczoną tabelą (tab. 2) Autor rozprawy wymienia 3 metody bezkontaktowe, z których pierwszą szerzej opisuje w rozdz. 4.1, a dwie kolejne w rozdz. 4.2. pt. *Metody bezkontaktowe*. Brakuje tu pewnej precyzji w nazewnictwie podrozdziałów, gdyż zarówno metoda opisana w rozdz. 4.1, jak i metody opisane w rozdz. 4.2 są traktowane przez Autora rozprawy jako metody bezkontaktowe (tab. 2). W rozdz. 4.3 pt. *Metody kontaktowe* opisanych jest 9 rodzajów metod kontaktowych (rozdz. 4.3.1–4.3.9), z których najszerzej omówione są metody wykorzystujące pomiary EKG (rozdz. 4.3.9), co jest uzasadnione faktem, że ten typ pomiarów został wykorzystany przez Autora rozprawy do sformułowania tezy rozprawy i wykazania jej prawdziwości. W podsumowaniu przedstawionych metod (rozdz. 4.4) Autor zestawia je w tab. 3 pod kątem możliwości pomiaru częstości oddechowej BR podczas ruchu oraz podczas zabiegu. Po przeanalizowaniu właściwości wskazanych metod Autor uzasadnia następnie swój wybór trzech metod (grup metod) wykorzystujących zapis EKG do wykazania prawdziwości tezy rozprawy, a mianowicie:

- metoda BW (ang. *Baseline Wander*) – metoda ekstrakcji oraz przetwarzania izolacji (rozdz. 4.3.9.1),

- metoda EDR (ang. *Ecg-Derived Respiration*) – metoda modulacji amplitudowej (rozd. 4.3.9.2),
- metoda RSA (ang. *Respiratory Sinus Arrhythmia*) – metoda modulacji częstotliwościowej (rozd. 4.3.9.3).

W **rozdziałach 5-7** (32 strony), które powinny raczej być połączone w jeden rozdział, aby uniknąć dużej dysproporcji w objętości kolejnych rozdziałów (lub podzielone na rozdziały w inny sposób), Autor przedstawił wykonane prace implementacyjne dla wymienionych trzech metod. Na prace te składają się badania symulacyjne wykonane w środowisku Matlab do badań właściwości realizowanych algorytmów oraz oprogramowanie wykonane w środowisku LabView do analizy zarejestrowanych przebiegów EKG. Przyjęty schemat blokowy analizy zarejestrowanych sygnałów EKG jest przedstawiony na rys. 16 (str. 43), rys. 30 (str. 63) oraz rys. 31 (str. 65) – odpowiednio dla każdej z wymienionych metod. Po wczytaniu pliku, zawierającego 12-odprowadzeniowy zapis EKG i wybraniu konkretnego odprowadzenia (L1–L12) sygnał filtrowany jest z wykorzystaniem filtru S-G (Savitzky-Golay) dla metody BW (w tym przypadku Autor określa cały algorytm jako algorytm S-G), filtru dolnoprzepustowego Butterwortha dla metody EDR (Autor określa wówczas cały algorytm jako AM) i również filtru dolnoprzepustowego Butterwortha dla metody RSA (algorytm FM). Następnie za pomocą analizy falkowej wyznaczane są maksima i minima lokalne reprezentujące charakterystyczne momenty wdechu i wydechu. Przy stosowaniu analizy falkowej konieczne jest odpowiednie dobranie wartości dodatkowych parametrów: wartości progowych (threshold) oraz szerokości analizy, które, jak pisze Autor „*dobierane są doświadczeniowo w zależności od siły sygnału EKG*”. Dodatkowo w metodzie AM wyznaczana jest amplituda załamka Q-R, a w metodzie FM wyznaczane są różnice odstępów załamków QRS. Otrzymane dane w każdej z trzech metod pozwalają na wyznaczenie częstości oddechowej i graficzne wyznaczanie fali oddechowej. Po wprowadzeniu teoretycznym dotyczącym wybranych aspektów filtracji cyfrowej (rozd. 5.1–5.2) Autor opisał przeprowadzone przez siebie badania symulacyjne w rozdz. 5.3, wykonane w środowisku Matlab, mające na celu przebadanie szczegółowych właściwości wybranych rodzajów filtrów, które bądź stosuje później w eksperymencie (filtr Butterwortha, filtr S-G), bądź które pełnią rolę filtrów referencyjnych w stosunku do filtrów zastosowanych w eksperymencie. Ta część rozprawy jest pewnym zestawieniem podstawowej wiedzy dotyczącej wybranych filtrów, które w większości ma charakter podręcznikowy i które pokazuje przede wszystkim drogę pracy badawczej Autora, w której badania symulacyjne pozwoliły mu w pełni zrozumieć proces doboru filtru do danego zastosowania i dobór szczegółowych parametrów filtrów.

W **rozdziale 8** (40 stron) opisane są przez Autora główne wyniki badawcze uzyskane w rozprawie. W rozdz. 8.1 opisana jest grupa 12 osób badanych wraz z pomiarami referencyjnymi częstości oddechowej (tab. 8), współczynnika BMI (*Body Mass Index*), trzech parametrów spirometrycznych: FEV1, FVC, TV oraz sygnału EKG. Badania przeprowadzono po uzyskaniu stosownej zgody Komisji Bioetyki Lekarskiej. W rozdz. 8.2 przedstawiono metodologię badań wraz z opisem autorskiego systemu pomiarowego rejestrującego fale oddechowe, którego najważniejsze elementy, to: zaprojektowane szelki z mankietem pomiarowym zakładanym na klatkę piersiową, piezorezystancyjny przetwornik ciśnienia i autorski elektroniczny układ rejestrujący sygnał z czujnika ciśnienia z możliwością transmisji danych do komputera PC z wykorzystaniem portu USB. Istotnym jest, że zaprojektowany system wraz z szelkami umożliwia rejestrację sygnału podczas normalnej aktywności osoby badanej. Natomiast na komputerze PC Autor wykonał oprogramowanie w graficznym środowisku programowym LabVIEW. Przy wyborze środowiska Autor kierował się faktem bardziej intuicyjnej oprawy graficznej wybranego środowiska (np. w stosunku do środowiska Matlab), co jest korzystniejsze przy jego stosowaniu przez lekarzy specjalistów. W rozdz. 8.1-8.5 podano informacje dotyczące szczegółowej metodologii badań dla każdej z trzech

badanych metod (S-G, EDR, RSA), które mają charakter uzupełniający i uszczegółwiający w stosunku do informacji z rozdz. 5-7 (w szczególności przedstawionych na rys. 16, rys. 30 oraz rys. 31). Natomiast w rozdz. 8.6 przedstawiono wyniki badań obejmujące:

- w rozdz. 8.6.1: dane z pomiarów uzyskane dla każdej z trzech metod (tab. 9-11), wyznaczone błędy względne w stosunku do wartości referencyjnych z tab. 8 (tab. 12-14), porównanie podstawowych parametrów statystycznych dla trzech metod (tab. 15) i diagramy pudełkowe (rys. 52-54), na których zaprezentowano w sposób graficzny również najważniejsze parametry statystyczne dotyczące uzyskanego błędu względnego dla każdego odprowadzenia 12-kanalowego rejestratora EKG,
- w rozdz. 8.6.2: analizę skuteczności wyznaczenia częstości oddechowej w zależności od wartości współczynnika BMI i numeru wyprowadzenia EKG dla każdej z trzech metod (rys. 55-57),
- w rozdz. 8.6.3: analizę skuteczności wyznaczenia częstości oddechowej w zależności od wartości parametrów spirometrycznych (FEV1, FVC, TV) i numeru wyprowadzenia EKG dla każdej z trzech metod (rys. 58-66),
- w rozdz. 8.6.4: analizę korelacyjną dla każdej z trzech metod w stosunku do wyników uzyskanych z rejestratora oddechów z wykorzystaniem wykresów Blanda-Altmana (rys. 67-69),
- w rozdz. 8.6.5: analizę spektralną odstępów R-R oraz amplitud Q-R sygnałów EKG z wykorzystaniem programu HolCard (tab. 16-17),
- w rozdz. 8.6.6: dyskusję podsumowującą uzyskane w wyniki.

Nie mam istotnych uwag krytycznych w stosunku do szczegółowej analizy ilościowej przedstawionej przez Autora w rozdz. 8.6.1-8.6.5, a pewne niedoskonałości tekstu dotyczą raczej aspektów edycyjnych, o czym mowa w dalszej części recenzji. W dyskusji poświęconej uzyskanym wynikom (rozd. 8.6.6 i rozdz. 10) do najważniejszych konkluzji należy stwierdzenie zależności pomiędzy wartością częstości oddechowej uzyskiwanej w metodach S-G, EDR i RSA od współczynnika BMI oraz trzech parametrów spirometrycznych: FEV1, FVC, TV, a także stwierdzenie, że wyznaczenie takiej szczegółowej zależności w sposób ilościowy wymaga przeprowadzenia badań przy dużej grupie badawczej.

W **rozdziale 9** (11 stron) zamieszczono opis prac wykonanych przez Autora już po wykonaniu podstawowych badań opisanych w rozdz. 8. Należy do nich m.in. modyfikacja położenia elektrody przedsercowej (w taki sposób, aby niskoczęstotliwościowa linia izoelektryczna serca najlepiej reprezentowała sygnał oddechowy) oraz modyfikacja rejestratora oddechu poprzez wykorzystanie belki tensometrycznej w autorskim układzie pomiarowym wykorzystującym system wbudowany. Autor przedstawił też pierwsze wyniki takiej modyfikacji systemu pomiarowego, prezentując zarejestrowane przebiegi sygnału oddechowego dla różnych form aktywności osoby badanej w czasie wykonywania pomiaru (stan spoczynku, marsz, podskoki). W zakresie analizy danych Autor wskazuje też perspektywy zastosowania algorytmu ekspertowego z wykorzystaniem uczenia maszynowego, sztucznej inteligencji i drzew decyzyjnych.

W **rozdziale 10** (2 strony) dokonano jakościowego podsumowania wyników pracy (rozd. 10.1) ze szczególnym uwzględnieniem elementów autorskich (rozd. 10.2). Dokonane podsumowanie jest adekwatne do sformułowanej tezy pracy, która jest tezą ostrożną, bowiem teza ta stwierdza, że jest możliwe „wyznaczenie fali oddechowej oraz jej częstości z uwzględnieniem wybranych parametrów fizjologicznych pacjenta” dla trzech badanych przez Autora metod przetwarzania przebiegu EKG. Zatem Autor już na etapie formułowania tezy rozprawy miał chyba świadomość, że zbiór zarejestrowanych sygnałów EKG ograniczony do kilkunastu sygnałów może okazać się zbyt mały zarówno do opracowania szeregu szczegółowych aspektów rozwijanych przez siebie algorytmów, jak i do możliwości

wyznaczenia szczegółowych zależności ilościowych pomiędzy parametrami fali oddechowej i analizowanymi parametrami fizjologicznymi.

Podsumowując więc tę część mojej recenzji stwierdzam, że Autor ostrożnie sformułował tezę rozprawy, opracował system pomiarowy, którego wybrane elementy zaprojektował i wykonał oraz opracował autorską metodologię badań. W ramach badań, po rejestracji sygnałów surowych, opracował algorytmy dla trzech przyjętych metod przetwarzania sygnału EKG za pomocą cyfrowego przetwarzania sygnału i poprawnie zinterpretował wyniki wnosząc wkład w dziedzinę metod pomiarowych wykorzystujących nieinwazyjne metody pomiarowe zarówno stosowane przez lekarzy specjalistów (np. przy wykorzystaniu, jak w badaniach w rozprawie, 12-odprowadzeniowy rejestrator EKG), jak i – w dalszej perspektywie – metody wykorzystujące proste mobilne jedno lub dwukanałowe rejestratory EKG obsługiwane samodzielnie przez pacjenta.

Niewątpliwe efekty pracy, aby mogły być wykorzystane w praktyce, wymagają dalszych prac badawczych z większą liczbą zarejestrowanych sygnałów EKG, co Autor wyraźnie stwierdza w swoich wnioskach (ostatni akapit rozdz. 8.6.6). Algorytmy wymagają udoskonalenia, tak aby błędy znacząco zmniejszyć (szczególnie błędy maksymalne), w czym kluczową rolę wydaje się mieć m.in. eliminacja detekcji fałszywych pików w fali oddechowej.

Uwagi krytyczne, dyskusyjne, pytania

Pewien niedosyt budzi w rozprawie ograniczona baza zarejestrowanych sygnałów EKG (tab. 8) i wynikające stąd ograniczenia co do zakresu prac i interpretacji wyników oraz niezawodności samych algorytmów. Ogólnie jednak pozytywnie oceniam całą rozprawę.

W części dyskusyjnej proszę Autora o ustosunkowanie się do dwóch zagadnień, które po lekturze rozprawy formułuję w sposób następujący:

1. Na str. 43 w komentarzu do rys. 16 Autor stwierdza, że „*Wartości progowe (Threshold) oraz szerokość fali oddechowej dobierane są doświadczalnie w zależności od siły sygnału EKG*”. Podobna uwaga znajduje się w opisie do rys. 30 na str. 63. W przypadku schematu przedstawionego na rys. 16 dobór szerokości następuje w dwóch miejscach (65 punktów dla filtracji S_G i 128 punktów przy detekcji lokalnych ekstremów za pomocą analizy falkowej), zaś w przypadku rys. 30 i 31 dotyczy to analizy falkowej. Natomiast wartość progowa dotyczy analizy falkowej. Pewne informacje dotyczące tego doboru są podane również na str. 69 i na str. 76–80, jednak proszę o bardziej szczegółowe wyjaśnienie, w jaki sposób te dwa parametry były dobierane doświadczalnie? Czy sformułowano np. jakieś kryterium ilościowe, które podlegało optymalizacji przy doborze wartości progowej i szerokości fali oddechowej, czy też oparto się tylko na wizualnej ocenie jakościowej sygnału fali oddechowej?
2. Czy można bliżej scharakteryzować jakie cechy mierzonego sygnału powodują wystąpienie detekcji fałszywych ekstremów lokalnych lub brak detekcji rzeczywistych ekstremów, co w konsekwencji powoduje błąd wyznaczenia częstości oddechowej.

Układ treści rozprawy i opracowanie redakcyjne

Układ treści rozprawy i opracowanie redakcyjne odzwierciedlają przyjętą metodologię badań. Zauważyłem pewne mankamenty edycyjne, językowe i stylistyczne. Podaję je w sposób ogólnikowy, ograniczając się w szczegółach do podania konkretnych przykładów:

- tabele z danymi literaturowymi, podobnie jak rysunki (przy których Autor podaje odniesienie do pozycji literaturowej, z której są zaczerpnięte), również powinny zawierać odniesienie do literatury (np. dotyczy to tab. 1);

- w przypadku wykresów wykonanych przez Autora pewne detale techniczne, m.in. wielkość czcionki w obszarze rysunku, powinny być takie same lub zbliżone dla wszystkich rysunków (poza uzasadnionymi wyjątkami), podczas gdy w pracy są one bardzo zróżnicowane (np. wielkość czcionki na rys. 22 vs. rys. 23);
- w przypadku wykresów zaczerpniętych z literatury warto byłoby dokonać pewnej ich korekty technicznej, która wyeliminowałaby konieczność odczytu przez czytelnika bardzo drobnego tekstu (jak np. na rys. 2), jak i uwzględniłaby w miarę możliwość opis i terminologię w języku polskim w przypadku, gdy oryginał rysunku pochodzi z innego języka (np. rys. 2);
- moim zdaniem rysunki i tabele są pewnym wsparciem dla tekstu zasadniczego rozprawy, dlatego każdy rysunek i tabela powinien być opatrzony stosowanym komentarzem w tekście; część rysunków i tabel w rozprawie jest podana bez komentarza (poza jednym zdaniem informującym o takiej tabeli), co dotyczy np. rys. 2 oraz tab. 2;
- moim zdaniem dysproporcja w objętości głównych rozdziałów jest zbyt duża (np. rozdz. 5 vs. rozdz. 6);
- za wyjątkiem ostatniej strony rozdziału nie powinno być stron niezapełnionych w znacznej części (np. ok. 0,5 strony na str. 22);
- Autor stosuje numerację wzorów w zmiennej odległości od prawego marginesu co moim zdaniem jest mniej czytelne od rozwiązania klasycznego, w którym numer wzoru jest wyrównany do prawego marginesu (ewentualnie w niewielkiej stałej odległości od marginesu);
- występują błędy interpunkcyjne (np. niepoprawne użycie w pewnych miejscach znaku przecinka przed wyrazem „jako”);
- przy zapisie danych liczbowych brak jest konsekwencji w sposobie oddzielania części całkowitej i ułamkowej (np. tab. 7 vs. tab. 8);
- brak jest konsekwencji w pisowni nazwisk (raz jest Czebyszew, a raz Chebyshev);
- występuje nadmiarowe powtarzanie opisu tych samych symboli w kolejnych wzorach (np. „parametr falistości” po zależnościach (11)–(15)); sytuację uporządkowałaby lista symboli na początku pracy;
- brak jest stosowania w tekście indeksów dolnych w oznaczeniach zmiennych (szczególnie w sytuacji, gdy we wzorach te same symbole mają indeks dolny oznaczony prawidłowo), pomimo, że obecne edytory bez problemów taką funkcję realizują; przykładowo w ostatnim akapicie na str. 41 tekst:

„... wartości danych $f_i \equiv f(t_i)$, gdzie $t_i \equiv t_0 + i\Delta$ dla pewnego ...”
 powinien być zapisany jako:

„... wartości danych $f_i \equiv f(t_i)$, gdzie $t_i \equiv t_0 + i\Delta$ dla pewnego ...”;
- występują błędy edycyjne w spisie literatury polegające na braku części danych lub błędach w danych, dotyczących m.in.: nazwy czasopisma (np. [4], [25]), autorów (np. [47], [53]), tytułu pracy (np. [47], [48]), numerów tomów lub stron (np. [28], [47]); dwie pozycje się powtarzają ([72] = [74], [98] = [99]) i in.;
- występują błędy fleksyjne, np. kilka z nich są następujące:
 - str. 20, wiersz 9: „To rozwiązaniem najczęściej ...” zamiast „To rozwiązanie najczęściej ...”;
 - str. 20, wiersze 13-14: „... aby podczas badania osoba powinna pozostawać w ...” zamiast „... aby podczas badania osoba pozostawała w ...”;
 - str. 30, wiersz 18: „... która mają ...” zamiast „... która ma ...” (lub „... które mają ...” w przypadku wystąpienia liczby mnogiej);
- występują sformułowania potoczne zamiast sformułowań ścisłych, np.:
 - str. 20: „bardzo niski spadek ciśnienia” zamiast „bardzo mały spadek ciśnienia”;

- str. 37: „najostrzejsze przejście między pasmem przepustowym a zaporowym” – w literaturze raczej mówi się o „stromym paśmie przejściowym” lub „wąskim paśmie przejściowym”;
- str. 43: „szczyty i doliny” zamiast „maksima i minima” lub „ekstrema”;
- przykłady innych błędów:
 - str. 35: „wyjście bądź wymuszenie” zamiast „wyjście bądź odpowiedź”;
 - str. 35: „filtr pasmowo-przepustowy lub filtr pasmowo-przepustowy” zamiast „filtr pasmowo-przepustowy lub filtr pasmowo-zaporowy”;
 - str. 41: błąd w zależności (17): „ $1N$ ” zamiast „ $\frac{1}{N}$ ” lub „ $(1/N)$ ”;
 - str. 43: „odpowiedź impulsowa oraz odpowiedź częstotliwościowa” zamiast „charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa oraz fazowo-częstotliwościowa”;
 - str. 54: podpis pod rys. 24 znajduje się na innej stronie niż rysunek;
 - str. 57: w zdaniu „Jako szumu użyto sygnał Gaussowski o częstotliwości 9 Hz, średniej 0 i odchyleniu standardowym 0.5” fraza „o częstotliwości 9 Hz” jest chyba artefaktem po innym zdaniu (jeśli nie, to proszę o wyjaśnienie);
 - str. 63: w tekście „.... na rysunku 29 ...” zamiast „.... na rysunku 30 ...”;
 - str. 65: w tekście „.... na rysunku 30 ...” zamiast „.... na rysunku 31 ...”;
 - str. 67: w tekście „.... z rysunkiem nr 9” zamiast „.... z rysunkiem 35”;
 - str. 68: „Holetra” zamiast „Holtera”;
 - str. 84: występują błędy w danych w tab. 10.

Przedstawione uwagi krytyczne w zakresie przygotowania tekstu nie mają decydującego wpływu na fakt ogólnej pozytywnej oceny całej rozprawy.

Wnioski końcowe

Moim zdaniem wartościowym elementem pracy jest wykonanie stanowiska badawczego do badań eksperymentalnych i doświadczalna weryfikacja implementowanych koncepcji oraz pewna oryginalność zaproponowanych metod w kontekście diagnostyki układu oddechowego na podstawie jednokanałowego sygnału EKG. Wartościowym jest również podjęcie się trudnej tematyki, którą uważam za ważną dla współczesnej analizy sygnałów biomedycznych, a teza pracy została wykazana w stopniu wynikającym z dostępnej wielkości zbioru sygnałów mierzonych. Autor posiada recenzowane publikacje z prezentowanej tematyki i spełnia ustawowy wymóg w tym zakresie.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. *„Metoda przetwarzania linii izoelektrycznej z wykorzystaniem filtracji Savitzky’ego-Golaya oraz wybranych metod modulacji amplitudowej oraz częstotliwościowej przebiegu EKG do wyznaczenia częstości oddechowej”* spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Wnioskuje więc o przyjęcie przedłożonej rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Mirosława Chylińskiego do publicznej obrony.

Janusz Borowski