

Prof. dr hab. inż. Zygmunt Wróbel
Instytut Inżynierii Biomedycznej
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytet Śląski w Katowicach
zygmunt.wrobel@us.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

przygotowana dla Akademii Górniczo-Hutniczej, WEAlIB, KBIIB

Tytuł rozprawy:

**Pozyskiwanie i analiza sygnałów akustycznych
stawów zuchwowo-skroniowych jako technika
wspierająca diagnostykę narządu żucia**

Dyscyplina naukowa: Inżynieria biomedyczna

Autor rozprawy doktorskiej:

Mgr inż. Marcin Kajor

Promotor pracy doktorskiej:

dr hab. inż. Eliaz Kańtoch

WPROWADZENIE:

Mgr inż. Marcin Kajor w 2021 roku przedstawił rozprawę doktorską na temat: „**Pozyskiwanie i analiza sygnałów akustycznych pochodzenia biologicznego jako technika komplementarna na potrzeby detekcji wybranych patologii układu ruchu i krążenia**”, która nie uzyskała pozytywnych recenzji.

Komisja Doktorska na swoim posiedzeniu w dniu 5 października 2021 roku, na podstawie 2 negatywnych recenzji, zdecydowała o skierowaniu rozprawy mgr inż. Marcina Kajora do poprawy.

1. Problematyka naukowa oraz przedmiot rozprawy

Przedmiotem recenzji jest poprawiona wersja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marina Kajora. W recenzji skupię się przede wszystkim na ocenie nowych elementów w przysłanej pracy w stosunku do poprzedniej wersji recenzji z 09.09.2021r.

Praca składa się z sześciu podstawowych rozdziałów.

W rozdziale 1. Wstęp, przedstawiono: motywację podjęcia tematu, cel rozprawy oraz układ pracy.

Motywacja podjęcia tematu wynika z faktu, że badania osłuchowe stanowią nieodzowny element podstawowej diagnostyki medycznej i od lat są powszechnie stosowane w kardiologii, pulmonologii, lecz także w przypadku stawów. Badania osłuchowe stawów żuchwowo-skroniowych są we wstępnej fazie badań medycznych

Autor współpracuje z Uniwersytecką Kliniką Stomatologiczną CMUJ w Krakowie w ramach projektu: „Utworzenie biblioteki objawów akustycznych powstających w stawach skroniowo-żuchwowych poprzez zastosowania stetoskopu elektronicznego – kliniczne badania pilotażowe” (Dodatek A)

Cel rozprawy Autor sformułował jako zbadanie hipotezy, że możliwe jest opracowanie i udoskonalenie metod wspierających diagnostykę opartą na badaniu osłuchowym aktywności pracy stawów żuchwowo-skroniowych.

Autor sformułował następującą tezę pracy doktorskiej:

„Uwzględnienie sygnałów akustycznych towarzyszących aktywności pracy stawów żuchwowo-skroniowych umożliwi poprawę warunków i rezultatów rozpoznania patologii narządu żucia”

W punkcie „Układ pracy” już w pierwszym zdaniu ciekawe stwierdzenie - „w drugim przedstawiono wstęp teoretyczny oraz aparat pojęciowy związany z tematyką pozyskiwania i przetwarzania sygnałów akustycznych narządu żucia, a także **serca**”

Praca to 124 stron tekstu. Zawiera spis treści sześć rozdziałów, 97 pozycji bibliografii i cztery dodatki. W pracy brakuje spisu rysunków i tabel oraz spisu stosowanych oznaczeń.

W rozdziale 2. Wprowadzenie, przedstawiono: 2.1. Auskultacja jako metoda diagnostyczna, 2.2 Wybrane sygnały akustyczne pochodzenia biologicznego 2.3 Diagnostyka stawów żuchwowo-skroniowych.

Jest to prawie dokładna kopia rozdziału drugiego pracy z 2021. Jak pisałem w poprzedniej recenzji z dnia 09.09.2021r. ten rozdział niewiele wnosi do celu i zakresu pracy i mogłyby być wyraźnie skrócony

Dodatkowe uwagi.

Praca nie dotyczy patologii serca, po co więc jest „Rys. 2.3. Przekrój serca obrazujący zachowanie zastawek w momencie fazy skurczu (ang. systole) i rozkurczu (ang. diastole). Krew uderzająca w zastawki powoduje specyficzne tony serca [19]”

W poprzedniej recenzji zacytowałem 4 publikacje, które szczegółowo omawiają sygnały generowane przez stawy żuchwowo-skroniowe. Są to:

Kondrat W., Sierpińska T., Gołębiowska M.: „Analiza wibracyjna stawów skroniowo-żuchwowych – opis urządzenia BioJVA i jego kliniczne zastosowanie w diagnostyce układu stomatognatycznego – przegląd piśmiennictwa” J Stoma 2012; 65, 2: 207-215

Radke J.C.: Stawy skroniowo-żuchwowe podstawą funkcjonowania narządu żucia., Protet. Stomatol., 2012, LXII, 5, ss. 382-389.

Radke J. C., Velasco G. R.: “Joint Vibration Analysis (JVA) Bridges the Gap between Clinical Procedures and Sophisticated TMJ Imaging”, Advanced Dental Technologies & Techniques, September 2020 Vol. 3 No. 1.

Zadler A., Zienkiewicz J., Dijakiewicz M., Szycik V., Kiewlicz W.: Zjawiska akustyczne stawów skroniowo-żuchwowych u dzieci występujące w różnych wadach rozwojowych., Ann. Acad. Med. Gedan. 2005, 35, ss. 109-117.

Nie są jasne powody pominięcia przez Autora ww. prac.

W rozdziale 3. Pozyskiwanie i przetwarzanie sygnałów bioakustycznych, przedstawiono: 3.1. Stetoskop elektroniczny – przegląd dostępnych rozwiązań, 3.2. Metody przetwarzania sygnałów akustycznych pochodzenia biologicznego.

Podpunkt 3.1. Stetoskop elektroniczny – przegląd dostępnych rozwiązań to prawie dokładna kopia rozważań z pracy 2021 r. W recenzji z 2021 roku sugerowałem aby podane w tabeli 2.1 techniczne parametry znanych stetoskopów skonfrontowano z parametrami opracowanego rozwiązania co potwierdziłoby jeden

z celów pracy, a mianowicie, że opracowano lepsze rozwiązania stetoskopu. Trudno stwierdzić co ten punkt wnosi do naukowej części pracy.

W podpunkcie 3.2. Metody przetwarzania sygnałów akustycznych pochodzenia biologicznego są dwa punkty. W punkcie „Segmentacja sygnałów bioakustycznych” dużo miejsca poświęcono metodom segmentacji sygnałów akustycznych serca, które zestawiono w tabeli 3.2.

W punkcie 3.3. Sygnały akustyczne pracy stawu żuchwowo-skroniowego oraz metody ich analizy przedstawiono opisowo pracę stawu żuchwowo-skroniowego oraz przegląd literatury dotyczący metod analizy tych danych. Nie przytoczono, żadnych wykresów ilustrujących pracę stawu żuchwowo-skroniowego, które można znaleźć między innymi w niecytowanych pracach: Kondrat W., Sierpińska T., Gołębiwska M.: „Analiza wibracyjna stawów skroniowo-żuchwowych – opis urządzenia BioJVA i jego kliniczne zastosowanie w diagnostyce układu stomatognatycznego – przegląd piśmiennictwa” J Stoma 2012; 65, 2: 207-215 Zadler A., Zienkiewicz J., Dijakiewicz M., Szyk V., Kiewlicz W.: Zjawiska akustyczne stawów skroniowo-żuchwowych u dzieci występujące w różnych wadach rozwojowych., Ann. Acad. Med. Gedan. 2005, 35, ss. 109-117.

Przedstawione w tych pracach wykresy były by bardzo użyteczne jako odnośnik do opracowanego rozwiązania prezentowanego w rozdziale 4.4 niniejszej pracy.

Rozdział 4. Opracowane metody pozyskiwania i analizy sygnałów bioakustycznych narządu żucia, zawiera sześć podrozdziałów.

Podrozdziały 4.1. Projekt dedykowanego przetwornika akustycznego oraz 4.2. Projekt stetoskopu elektronicznego, to prawie dokładna kopia analogicznych podrozdziałów pracy z 2021 r. Podpunkt 4.2 kończy stwierdzenie: „Opracowane urządzenie było przedmiotem zgłoszonego do Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego wniosku o dopuszczenie do pilotażowych badań klinicznych stawów żuchwowo-skroniowych w Instytucie Stomatologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego. Niestety z uwagi na brak posiadanego certyfikatu CE podanie zostało odrzucone. w związku z tym podjęto decyzję o przeprowadzeniu wspomnianych badań z wykorzystaniem komercyjnego stetoskopu elektronicznego Littmann 3200. Po wprowadzeniu stosownej poprawki wniosek został przyjęty (Dodatek A). w związku z tym wszelkie sygnały akustyczne stawów żuchwowo-skroniowych analizowane w dalszych rozdziałach w niniejszej rozprawie zostały

zarejestrowane stetoskopem Littmann 3200, którego parametry techniczne opisano w rozdziale 3.1”

Powstaje pytanie po co opisano to rozwiązanie, które nie zostało dopuszczone do pilotażowych badań klinicznych stawów żuchwowo-skroniowych.

Kolejne pytanie, które już postawiłem w poprzedniej wersji recenzji - czy w okresie 2018-2022 poczyniono próby uzyskania takiego certyfikatu. Czy proponowane rozwiązanie ma jakieś innowacyjne elementy aby zgłosić je jako wniosek patentowy do Urzędu Patentowego.

Należy zwrócić uwagę, że celem pracy doktorskiej było: „Skonstruowanie prototypowego rejestratora bioakustycznego, wraz z dedykowaną głowicą pomiarową, pozwalającego na pomiary sygnałów akustycznych o częstotliwościach infradźwiękowych”

Podrozdział 4.3. Aplikacja do automatycznej diagnostyki narządu żucia i baza danych sygnałów akustycznych stawów żuchwowo-skroniowych, to koncepcja bazy sygnałów akustycznych towarzyszących pracy narządu żucia która została przedstawiona w ramach wystąpienia konferencyjnego „Tworzenie bazy dźwięków powstających w stawach skroniowo-żuchwowych” w ramach X Konferencji Doktorantów Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego (17.06.2020). Opracowany system wspierający diagnostykę narządu żucia umożliwia diagnozę w oparciu o formularz BKD/ZCURNŻ opisany w rozdziale 2.3.2.

Podrozdział 4.4. Metoda synchronizacji sygnałów akustycznych stawów żuchwowo-skroniowych rejestrowanych równocześnie z dwóch stawów, którego idee przedstawiono na rys. 4.9. Zaproponowane rozwiązanie zostało opublikowane w artykule: Lemejda, J.; Kajor, M.; Grochala, D.; Iwaniec, M.; Loster, J.E. Synchronous Auscultation of Temporomandibular Joints Using Electronic Stethoscopes. In Proceedings of the 2020 IEEE XVIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH); April 2020; pp. 146–149.

Podrozdział 4.5. Algorytmy segmentacji sygnałów akustycznych stawów żuchwowo-skroniowych to implementacja i porównanie dwóch metod automatycznej segmentacji dźwięków stawów żuchwowo-skroniowych.

Pierwsza metoda wykorzystuje przetwarzanie sygnału cyfrowego, w tym techniki filtracji. Otrzymane wyniki przedstawiono na od rys. 4.13. do rys. 4.21 wraz z ich interpretacją.

Druga metoda to implementacja sieci neuronowych i uczenie głębokie. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. od 4.22. do rys. 4.24 wraz z ich interpretacją.

Uzyskane wyniki zostały przedstawione w pracy: Kajor, M.; Kucharski, D.; Grochala, J.; Loster, J.E. New Methods for the Acoustic-Signal Segmentation of the Temporomandibular Joint. *Journal of Clinical Medicine* 2022, 11, 2706, doi:10.3390/jcm11102706.

Podrozdział 4.6. Detekcja hipermobilności stawu żuchwowo-skroniowego na podstawie sygnałów akustycznych, gdzie przedstawiono analizę porównawczą cyfrowych sygnałów bioakustycznych narządu żucia. Otrzymane doświadczalne wyniki zilustrowano wieloma rysunkami (Rys.4.25 –rys. 4.31). Przeprowadzono analizę otrzymanych wyników, która pozwoliła wskazać charakterystyczne cechy morfologiczne i częstotliwościowe sygnałów, które mogą zostać wykorzystane do opracowania klasyfikatora, pozwalającego na automatyczne rozróżnienie trzasków od hipermobilności SŻS.

Rozdział 5. Weryfikacja opracowanych metod pozyskiwania i analizy sygnałów akustycznych narządu żucia oraz dyskusja wyników, zawiera pięć podrozdziałów. 5.1. Weryfikacja urządzenia osłuchowego i przetwornika bioakustycznego, 5.2. Ewaluacja systemu automatycznej diagnozy narządu żucia i bazy sygnałów akustycznych SŻS, 5.3. Rezultaty metody synchronizacji dźwięków rejestrowanych z obu SŻS jednocześnie, 5.4. Walidacja i porównanie algorytmów segmentacji sygnałów akustycznych stawów żuchwowo-skroniowych, 5.5. Dyskusja sposobu klasyfikacji hipermobilności stawu żuchwowo-skroniowego.

Jak łatwo zauważyć, poszczególne podrozdziały są weryfikacją rozwiązań zaproponowanych w rozdziale 4. Moim zdaniem praca była by o wiele bardziej czytelna gdyby każdy rozdział 4. Opracowane metody pozyskiwania i analizy sygnałów bioakustycznych narządu żucia, zakończyć weryfikacją otrzymanych rezultatów przedstawionych w rozdziale 5.

Rozdział 6. Podsumowanie.

Do głównych osiągnięć rozprawy doktorskiej można zaliczyć:

- Skonstruowanie prototypowego rejestratora bioakustycznego,

- Opracowanie bazy danych sygnałów akustycznych stawu żuchwowo-skroniowego,
- Opracowanie sposobu i prototypu urządzenia do synchronizacji sygnałów akustycznych rejestrowanych z obu stawów żuchwowo-skroniowych jednocześnie,
- Opracowanie i porównanie dwóch metod segmentacji sygnałów akustycznych stawów żuchwowo-skroniowych,
- Opracowanie wstępnej wersji detekcji hipermobilności narządu żucia.

Można uznać, że powyższe cele pracy zostały zrealizowane a teza pracy udowodniona.

Poprawność proponowanych rozwiązań Autor skonsultował w ramach współpracy z Kliniką Stomatologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego.

2. Dorobek publikacyjny

W rozprawie doktorskiej z 2021 r. autor zacytował pięć współautorskich publikacjach. Jedna praca jest z roku 2017, trzy prace z roku 2018 i jedna praca z roku 2020 r.

W rozprawie z 2022 są zaprezentowane dodatkowe trzy współautorskie publikacje:

1. New Methods for the Acoustic-Signal Segmentation of the Temporomandibular Joint / Kajor, M.; Kucharski, D.; Grochala, J.; Loster, J.E. Journal of Clinical Medicine 2022, 11, 2706, doi:10.3390/jcm11102706. IF = 4,24, 140 pkt

2. A Novel Method of Temporomandibular Joint Hypermobility Diagnosis Based on Signal Analysis / Grochala, J.; Grochala, D.; Kajor, M.; Iwaniec, J.; Loster, J.E.; Iwaniec, M., Journal of Clinical Medicine 2021, 10, 5145, doi:10.3390/jcm10215145. IF = 4,24, 140 pkt

3. Evaluation of Geometric Occlusal Conditions Based on the Image Analysis of Dental Plaster Models / Dominik Grochala, Anna Paleczek, Justyna Lemejda,, Marcin Kajor, Marek Iwaniec / 25th Polish-Slovak Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS 2020): MATEC Web Conf. 2022

3. Wnioski końcowe

Podstawą opracowania niniejszej rozprawy doktorskiej była rozprawa przygotowana w roku 2021, którą, zgodnie z decyzją-Komisji Doktorskiej, skierowano do poprawy.

Poniżej zestawiono najistotniejsze zmiany w rozprawie z 2022r. w stosunku do rozprawy doktorskiej z 2021r.

Zmodyfikowano tytuł rozprawy na „Pozyskiwanie i analiza sygnałów akustycznych stawów żuchwowo-skroniowych jako technika wspierająca diagnostykę narządu żucia”, ograniczając swoje rozważania tylko do „niszowej” problematyki dotyczącej analizy sygnałów akustycznych generowanych przez stawy żuchwowo-skroniowe.

Odpowiednio zmodyfikowano również poprzednią tezę pracy, która aktualnie ma postać: „Uwzględnienie sygnałów akustycznych towarzyszących aktywności pracy stawów żuchwowo-skroniowych umożliwi poprawę warunków i rezultatów rozpoznania patologii narządu żucia”.

W związku z brakiem udokumentowanych metod segmentacji dźwięków generowanych przez narząd żucia, Autor wykorzystał techniki segmentacji dźwięków serca. Motywacją do potraktowania metod przetwarzania dźwięków serca jako referencyjnych w stosunku do analizy sygnałów akustycznych narządu żucia jest obszerna literatura z tego zakresu dotycząca patologii serca. Ponadto Autor wcześniej zajmował się fonokardiografią cyfrową i metodami klasyfikacji dźwięków serca [4–6]. W tabeli 3.2 zestawiono rezultaty 10 podstawowych metod referencyjnych serca.

W dodatku B zestawiono słowa kluczowe i nazwy naukowych repozytoriów online, które zostały wykorzystane do wyszukiwania publikacji dotyczących bazy danych sygnałów akustycznych generowanych przez stawy żuchwowo-skroniowe oraz metod ich segmentacji. Z powyższego dodatku wynika, że w ostatnich 10 latach nie pojawiły się publikacje, które mogłyby być podstawą opracowania metod referencyjnych dla stawów żuchwowo-skroniowych.

Autor opracował koncepcję bazy sygnałów akustycznych towarzyszących pracy narządu żucia, którą udostępniono jako wolne oprogramowanie na licencji GPL3 (<https://github.com/marcinkajor/TMJ-RDC-Diagnoser>). Podstawowe założenia opracowanego programu przedstawiono w dodatku C. Aplikację TMJ RDC Diagnoser

wstępnie zastosowano dla zarządzania bazą danych pacjentów zawierającą sygnały akustyczne stawów żuchwowo-skroniowych zarejestrowanych w ramach badań pilotażowych prowadzonych we współpracy z Katedrą Protetyki CMUJ.

W dodatku D zaprezentowano schematy elektroniczne opracowanych analogowych i cyfrowych modułów opracowanego stetoskopu elektronicznego. (Rys. 4.4. Zdjęcie modułu analogowego urządzenia i Rys. 4.5. Zdjęcie modułu cyfrowego urządzenia, nie mają żadnej wartości naukowej)

Na szczególne podkreślenie zasługuje współautorstwo mgr inż. Marina Kajora w dwóch publikacjach w Journal of Clinical Medicine, które posiadają 140 pkt. w klasyfikacji Ministra Edukacji i Nauki z dnia 9 lutego 2021 r.

4. Konkluzja

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Kajora pt. „Pozyskiwanie i analiza sygnałów akustycznych stawów żuchwowo-skroniowych jako technika wspierająca diagnostykę narządu żucia” **spełnia** wymogi stawiane rozprawom na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Biomedyczna i **wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Marcina Kajora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. J. K.', written in a cursive style.