

Wrocław, 05.08.2022 r.

Prof.dr hab. inż. Rafał Walczak
Politechnika Wroclawska
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów
Ul. Janiszewskiego 11/17
50-372 Wrocław

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgra inż. Bartosza Dzikowskiego
pt. „System pomiarowy do analizy ruchu kamienia curlingowego”

1. Wstęp

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, prof. dra hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 04.07.2022 r. Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska mgra inż. Bartosza Dzikowskiego pt. „System pomiarowy do analizy ruchu kamienia curlingowego”, która została przygotowana pod kierunkiem promotora dra hab. inż. Jerzego Weremczuka, prof. PW na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Ocena rozprawy została opracowana zgodnie z wymogami ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595) z późniejszymi zmianami oraz zgodnie z ogólnymi zasadami oceny prac doktorskich przez recenzentów.

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Trwający od ponad czterech dekad rozwój techniki mikrosystemów oraz między innymi systemów pomiarowych wykorzystujących miniaturowe czujniki umożliwia prowadzenie prac badawczych nad zagadnieniami, które bez tych rozwiązań nie mogły być podjęte lub były trudne do zrealizowania. Jest to ogólnoswiatowy trend obejmujący instrumenty badawcze i diagnostyczne stosowane w medycynie i weterynarii oraz w różnych dyscyplinach sportu (rekreacyjnym jak i zawodowym), w tym również w tak niszowym w Polsce curling. Dzięki unikatowym cechom mikrosystemów – w tym wypadku przyspieszeniomierzom i żyroskopom MEMS – możliwa jest rejestracja ruchu obiektów w przestrzeni trójwymiarowej bez wpływu na właściwości tego ruchu.

Dostępność miniaturowych systemów pomiarowych opartych na czujnikach typu MEMS, w wypadku niniejszej rozprawy w formie platformy IMU, jest na tyle powszechna, że problemem nie jest w chwili obecnej zestawienie układu pomiarowego (choć pod uwagę należy brać wymagane parametry metrologiczne i użytkowe niezbędne do rejestracji badanego ruchu), ale przetwarzanie i interpretacja zebranych danych. Są to zwykle dane pomiarowe w domenie czasu, których bezpośrednia interpretacja wymaga wiedzy eksperckiej i zastosowania różnych technik przetwarzania sygnału. To z kolei wymaga od badacza umiejętności implementacji specjalistycznych algorytmów w środowisku programistycznym.

Przedstawiona do recenzji praca mieści się w ogólnoswiatowym nurcie badawczym związanym z wykorzystaniem systemów pomiarowych opartych na mikrosystemach do

badania ruchu w tych obszarach, w których do tej pory tradycyjne narzędzia badawcze nie były stosowane lub nie mogły być zastosowane.

2.1. Ocena ogólna

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska napisana jest w języku polskim, liczy 117 stron, zawiera 5 rozdziałów, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, spis rysunków i tabel oraz trzy załączniki. Praca ma charakter badawczo-doświadczalny. Teza rozprawy jest jasno sformułowana i uzasadniona.

W pierwszym rozdziale Autor wprowadza czytelnika w zagadnienie badawcze poruszane w rozprawie oraz przedstawia motywację do podjęcia tematu. Osobny podrozdział stanowi teza pracy oraz lista zagadnień szczegółowych, które Autor zamierza rozwiązać w celu udowodnienia tezy.

Rozdział drugi zawiera opis zjawiska poślizgu na lodzie i ruchu kamienia curlingowego. Szczególną uwagę Autor poświęcił strukturze lodu do curlingu jako czynnikowi, który decyduje o możliwości uzyskania efektywnego poślizgu kamienia na lodzie zgodnie z założeniami rozgrywki. Rozwój wiedzy na temat charakteru ruchu kamienia został przedstawiony w osobnym podrozdziale odnoszącym się do 21 pozycji literaturowych (od 20 do 40 wg numeracji bibliografii). Pozycje te zostały opublikowane w latach 2000-2021 i są aktualnym odzwierciedleniem wiedzy na temat związany z rozprawą doktorską. Ostatni fragment rozdziału drugiego to podrozdział, w którym Autor jasno zdefiniował problem badawczy, którym jest „obiektywne określenie, czy przygotowany lód spełnia przytoczone kryteria i czy może być uznany za prawidłowo przygotowany do rozgrywek curlingowi”. Zarówno rozdział pierwszy jak i drugi stanowi wystarczające wprowadzenie do tematyki badawczej, umożliwiające zrozumienie wyzwań badawczych jak i problemu jakim jest obiektywna ocena stanu przygotowania lodu.

Rozdział trzeci to krótki opis i porównanie metod badawczych, które mogą być wykorzystane do parametryzacji ruchu kamienia curlingowego. Metody te to metoda optyczna, ultradźwiękowa, akustyczna i akcelerometryczna. Poza metodą optyczną, która opisana została na podstawie prac zespołu Hattoriego (pozycja nr 18 w bibliografii), przydatność pozostałych trzech metod (tzn. ultradźwiękowej, akustycznej i akcelerometrycznej) została eksperymentalnie zweryfikowane przez Autora. Na podstawie badań własnych i porównania właściwości istotnych z punktu widzenia rozwiązania postawionego zagadnienia badawczego przedstawionych metod Doktorant wybrał do dalszych badań metodę akcelerometryczną.

Rozdział czwarty zawiera opis wyników badań własnych Autora, w tym opis metody pomiarowej, urządzenia pomiarowego oraz wyników pomiarów. Najistotniejszą częścią tego rozdziału jest ta związana z zaproponowanym przez Doktoranta parametrem R. Jest to parametr, który ma umożliwić obiektywne porównanie uzyskanych widm dla różnych typów tafli lodowej, a docelowo rozstrzygnięcie dotyczące odpowiedniego przygotowania tafli. Autor proponuje zarówno równanie definiujące parametr R (wstępnie dla dwóch częstotliwości 120 Hz i 80 Hz) jak również metodykę rozstrzygnięcia o różności rozkładów uzyskanych na różnych typach lodu. Przeprowadzona wstępna analiza danych pomiarowych z wykorzystaniem zaproponowanej metodyki pozwalała na rozstrzygnięcie czy powierzchnia lodowiska nadawała się do rozgrywek. Dlatego też w dalszej części dysertacji Autor przeprowadził

optymalizację doboru częstotliwości używanych do wyznaczenia parametru R. Stwierdził on, że największą wartość miary jakości rozróżnienia otrzymano dla częstotliwości 130 Hz i 90 Hz.

W ostatniej części dysertacji (rozdział 5) Autor podsumowuje wyniki swojej pracy, stwierdzając, że teza pracy została udowodniona z czym Recenzent dysertacji w pełni zgadza się. Autor wskazuje również dalsze kierunki badań nad metodą obiektywnej oceny stanu przygotowania lodu do rozgrywek i treningów curlingowych. Przedstawione przez Autora dyskusja wyników działania zaproponowanej metodologii jest wyczerpująca i potwierdza znajomość Autora tematyki badawczej.

Tematyczny układ rozprawy jest prawidłowy, przejrzysty i logiczny. Praca napisana jest zwięzłym technicznym językiem bez istotnych błędów edytorskich. Rysunki przygotowane są prawidłowo, są one czytelne i w większości prawidłowo opisane. Uzupełnieniem treści są również tabele zawarte zarówno w zasadniczej części dysertacji jak i w trzech załącznikach.

2.2. Oryginalne elementy rozprawy

Rozprawa doktorska zawiera rezultaty stanowiące oryginalny wkład Autora do dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika zarówno w obszarze metod badawczych jak i przetwarzania oraz interpretacji wyników badań. Za najważniejsze osiągnięcia Autora uważam opracowanie metody pomiarowej umożliwiającej obiektywne porównanie stanu powierzchni tafli lodowej z wykorzystaniem platformy IMU rejestrującej przyspieszenia w trakcie ruchu kamienia curlingowego oraz metodologii analizy danych pomiarowych z wykorzystaniem metod statystycznych oraz zaproponowanego parametru R.

2.3. Uwagi i komentarze merytoryczne oraz edytorskie

W trakcie lektury rozprawy doktorskiej nie stwierdzono błędów merytorycznych czy wniosków dyskusyjnych natomiast moje komentarze/uwagi są następujące:

1. Platforma IMU wykorzystywana w badaniach dostarcza dane pochodzące z trójosiowego przyspieszoniomierza i żyroskopu. Przedstawiona w rozprawie analiza danych wykorzystuje tylko informacje z przyspieszoniomierza (wspomniano jedynie o wynikach uzyskanych z żyroskopu na stronie 52 i rysunku 4.6). Czy dane z żyroskopu mogą być wykorzystane w podobny sposób i czy są nośnikiem informacji o stanie tafli lodu?
2. Na rysunku 4.4 przedstawiono fotografię urządzenia pomiarowego. Czy jest to opracowanie własne autora czy komercyjnie dostępne urządzenie?
3. Na podstawie przeprowadzonej optymalizacji doboru par częstotliwości używanych do wyznaczenia parametru R, stwierdzono, że częstotliwości te to 130 Hz i 90 Hz. Czy rysunek 4.29 przedstawia wykres pudełkowy parametru R dla różnych typów lodu dla optymalnej pary częstotliwości (jeśli tak to brak jest kompletnego opisu tego rysunku i jego interpretacji)?
4. Tabela 10 zawiera miary jakości rozróżnienia trzech rozkładów zdefiniowanych jako minimalna różnica pomiędzy kwartylami dla rozkładów. Zgodnie z opisem tabeli im większa jest wartość, tym lepiej dana para częstotliwości pozwala na rozróżnienie między rozkładami. Według tej tabeli największa wartość (3,070) występuje dla pary 140Hz/80 Hz, natomiast dla pary 130 Hz/90 Hz, wskazanej na stronie 81 wynosi ona 1,756. Proszę o komentarz, która para częstotliwości jest optymalna.
5. Na rysunku 3.5 brak jest opisu osi rzędnych.

6. Autor stosuje w rozprawie nazwę *peble* (zapisywane czcionką pochyłą) opisującą zamrożone na powierzchni tafli lodu krople. Po raz pierwszy określenie to pojawia się na stronie 23. Zapis pochyłą czcionką nie jest konsekwentny ponieważ w dalszej części tekstu (np. na stronie 27) pochylenia już brak. Ponadto, w języku angielskim prawidłowy zapis to *pebble*. W zasadach curlingu i regułach zawodów *pebble* tłumaczone są jako krople.

3. Podsumowanie

Przedmiotem rozprawy jest system pomiarowy do analizy ruchu kamienia curlingowego, wykorzystujący platformę IMU do rejestracji przyspieszeń kamienia curlingowego oraz zaawansowane techniki statystycznej analizy danych pomiarowych umożliwiające określenie stanu przygotowania tafli lodu. Autor, w oparciu o przegląd literatury przedmiotu i własne badania, dokonał wyboru metody pomiarowej, którą uznał za najbardziej odpowiednią do udowodnienia postawionej tezy badawczej. Przeprowadził serie pomiarów w warunkach rzeczywistej tafli lodu o różnym stopniu strukturyzacji, przeprowadził analizę statystyczną zebranych danych pomiarowych oraz zaproponował parametr R, który umożliwi obiektywną ocenę stanu przygotowania tafli lodu do rozgrywek curlingowych. Teza pracy została zatem w pełni udowodniona a cel pracy osiągnięty.

Należy również podkreślić, że wskazane byłyby dalsze badania nad zaproponowaną metodą oceny stanu przygotowania lodu do curlingu z wykorzystaniem opracowanego systemu. Poza propozycją Doktoranta, tzn. badaniami lodu na innych lodowiskach (torach profesjonalnych i nieprofesjonalnych) lub innych kamieni, warto również rozważyć wpływ czynnika ludzkiego na użyteczność parametru R, np. jakość lodu przygotowywanego przez różnych „ice-masterów” czy specyfikę wprowadzania kamienia w ruch przez różnych oceniających stan lodu (graczy).

Wyniki prac przedstawionych w rozprawie zostały opublikowane w trzech cytowanych w rozprawie publikacjach naukowych, w tym jedna w czasopiśmie z tzw. listy filadelfijskiej (*Sensors*). Doktorant jest pierwszym autorem w dwóch publikacjach (w tym w czasopiśmie) co potwierdza jego znaczący wkład w przeprowadzone badania. Ponadto zgłoszenie do Urzędu Patentowego RP potwierdza użyteczny charakter pracy.

4. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Bartosza Dzikowskiego pt. „System pomiarowy do analizy ruchu kamienia curlingowego” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, opisane w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595) z późniejszymi zmianami.

W oparciu o lekturę ocenianej rozprawy doktorskiej mgra inż. Bartosza Dzikowskiego stwierdzam, że posiada on usystematyzowaną wiedzę ogólną z obszaru dawnej dyscypliny Elektronika wchodzącej w zakres dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika wg nowej klasyfikacji oraz kompetencje do prowadzenia badań naukowych.

Biorąc pod uwagę przedstawione w rozprawie wyniki badań moja końcowa ocena rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Bartosza Dzikowskiego jest pozytywna. Wnioskuje zatem o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

