

PW WEiTI Kancelaria

wpłynęło dnia ... 4.08.2022

numer .....

Kraków 25.07.2022

Prof. dr hab. Tadeusz PISARKIEWICZ  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY  
NAUKOWEJ DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA i ELEKTROTECHNIKA  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

**Tytuł rozprawy:**

*System pomiarowy do analizy ruchu kamienia curlingowego*

**Autor rozprawy:**

*mgr inż. Bartosz Dzikowski*

**1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?**

Curling jest dyscypliną sportu, znaną od średniowiecza, obecnie również dyscypliną zimowych igrzysk olimpijskich. Mecz curlingowy polega na rywalizacji dwu czteroosobowych drużyn rozgrywających 8 lub 10 partii, zwanych endami. Na koniec każdej partii przyznawane są punkty poprzez ocenę położenia granitowych kamieni względem środka okręgu, zwanego domem, z uwzględnieniem położenia kamieni przeciwnika.

Wynik rywalizacji między dwiema drużynami zależy nie tylko od umiejętności zawodników, ale również od stanu tafli lodowej, na której prowadzone są rozgrywki. Aby przygotować taflę do gry konieczne jest naniesienie na powierzchnię lodu kropel wody, które po zamrożeniu tworzą tzw. *peble*. Peble te muszą być jeszcze odpowiednio przycięte i w rezultacie powierzchnia kontaktu między kamieniem i lodem ulega zmniejszeniu, umożliwiając uzyskanie odpowiedniego zasięgu ślizgającego się kamienia.

Przydatność powierzchni lodu do gry w curling jest trudna do oceny zarówno przez osoby przygotowujące lód jak i przez zawodników. Celem autora rozprawy było opracowanie narzędzia i metody pomiarowej pozwalającej na określenie przydatności warunków lodowych do gry w curling. W rezultacie sformułowana została następująca teza pracy: *analiza sygnału uzyskiwanego z akcelerometru zamocowanego na kamieniu curlingowym pozwala na określanie warunków lodowych dla zawodów curlingowych*. Przedstawione przez autora zagadnienie badawcze zostało sformułowane we *Wstępie* i jego zrozumienie nie nastręcza trudności. Pewnym mankamentem jest brak we wstępnej części rozprawy spisu skrótów i oznaczeń, co utrudnia miejscami pełną analizę treści.

## **2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?**

Źródła wykorzystane w rozprawie (49 pozycji) zebrane są w osobnym rozdziale *Bibliografia* i składają się na nie pozycje książkowe, czasopisma, raporty konferencyjne, materiały zamieszczone w internecie, w tym w Wikipedii. Do najczęściej cytowanych należą czasopisma: *Tribology Letters* – 5 odwołań, *Canadian J. of Phys.* – 5 odwołań, *Wear* – 2 odwołania, *Surface Science* – 2 odwołania, *Scientific Reports* – 2 odwołania. Wymienione czasopisma często poruszają tematykę typową dla ruchu kamienia curlingowego a więc zagadnienia związane z mechanizmem tarcia, z ruchem postępowym i obrotowym bryły sztywnej oraz jego opisem. Z innych cytowanych czasopism, w których pojawia się tematyka curlingu można wymienić *Sports Engineering*, *Regular and Chaotic Dynamics*, *Cold Regions Science and Technology*, *J. of Sports Engineering and Technology*. Należy dodać, iż autor w istniejących odwołaniach czasami pomyłkowo pomija nazwę źródła (pozycje [14], [18], [29]), co utrudnia do nich dostęp.

W spisie literatury autor umieścił dwie pozycje, których jest współautorem: raport z konferencji *Optoelectronic and Electronic Sensors 2018* oraz publikację w czasopiśmie *Sensors, 2022*. Rozprawa doktorska jest rozwinięciem tematyki opublikowanej wcześniej w wymienionych dwu pozycjach.

Podsumowując należy stwierdzić, że cytowane źródła obejmują aktualny stan wiedzy związanej z curlingiem i mają związek z tematyką rozprawy.

## **3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Szczegółowe zagadnienia jakie musiał rozwiązać autor obejmowały: wybór metody pomiaru ruchu kamienia curlingowego i opracowanie sposobu rejestracji sygnału, montaż jednostki inercjalnej wyposażonej w 3-osiowe akcelerometry i 3-osiowe żyroskopy, wyznaczenie obszarów rejestrowanego widma drgań kamienia, wybranie parametru charakteryzującego stan lodu, końcową analizę statystyczną zarejestrowanych serii danych.

Wymienione zagadnienia stały się podstawą do przyjęcia przez autora określonego programu badań. Analiza zarejestrowanych sygnałów w dziedzinie częstotliwości pokazała, że uzyskane widmo zależy od charakteru powierzchni lodowej, po której porusza się kamień. Zaproponowany parametr  $R$  pozwalał określić, czy badana tafla lodowa nadaje się do zawodów curlingowych. Szczegółowe testy statystyczne umożliwiły wybór częstotliwości w celu optymalnego określenia tego parametru. W efekcie należy potwierdzić zasadność przyjętych założeń i przeprowadzonych eksperymentów.

## **4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Do obserwacji ruchu kamienia curlingowego stosowano do tej pory kilka metod badawczych. Jedną z nich jest metoda optyczna. Wzdłuż toru instalowane są kamery cyfrowe a na rączkę kamienia naklejane są markery umożliwiające określenie położenia i orientacji ruchomego obiektu. Wymagane jest również zastosowanie algorytmów przetwarzania obrazów. W efekcie nie istnieje ingerencja w ruch kamienia, ale wadą metody jest konieczność użycia i rozstawienia na lodowisku odpowiednio skalibrowanych kamer w liczbie tym większej, im większą część toru chcemy obserwować. Metoda optyczna nie daje też informacji na temat oddziaływania kamienia z peblami.

Inna z metod jest oparta na lokalizacji ultradźwiękowej. Metodę tę z użyciem systemu Malvermind zastosował również autor rozprawy w celu określenia przydatności tego systemu do pomiarów ruchu kamienia curlingowego. Na lodowisku rozstawionych zostało 8 stacji bazowych odbierających sygnały z węzła mobilnego umieszczonego na ręczce kamienia. Na podstawie porównania czasów dotarcia sygnałów z węzła do różnych stacji możliwe było wyznaczenie położenia obiektu. Uzyskane trajektorie ruchu kamienia charakteryzowały się jednak znacznymi fluktuacjami. W metodzie tej również niemożliwe było uzyskanie informacji o oddziaływaniu kamienia z peblami.

Ruchowi kamienia curlingowego po popeblowanej tafli towarzyszy charakterystyczny dźwięk. Akwizycja i analiza tego dźwięku stały się podstawą tzw. metody akustycznej. W metodzie tej istnieje możliwość zebrania informacji o oddziaływaniu kamienia z peblami. Autor ocenił użyteczność metody akustycznej instalując mikrofon podążający za ruchem kamienia. Uzyskane widmo dźwięku kamienia zostało porównane z widmem zakłóceń dźwiękowych zebranych podczas meczu. Okazało się, że zakłócenia akustyczne są silniejsze niż użyteczny sygnał dźwiękowy, co stanowi istotne ograniczenie metody akustycznej.

Drgania generowane podczas ruchu kamienia po peblach stwarzają możliwość zastosowania metody akcelerometrycznej. Wady i zalety metod omówionych powyżej w zestawieniu z metodą akcelerometryczną skłoniły autora rozprawy do wybrania tej ostatniej jako najbardziej optymalnej z punktu widzenia badania ruchu kamienia curlingowego. W rezultacie zostało wytworzone urządzenie wyposażone w jednostkę inercjalną (Analog Devices ADIS16467), mikrokontroler oraz kartę pamięci. Złącze micro USB umożliwiło komunikację z komputerem i dalszą obróbkę zbieranych danych.

Podsumowując należy uznać rozprawę za oryginalną na tle badań światowych.

## **5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Pomiary z użyciem skonstruowanego urządzenia pomiarowego zamocowanego do kamienia zostały wykonane na lodowisku w profesjonalnej hali do curlingu. W trakcie ruchu urządzenie pomiarowe wykonywało również obroty i stąd wyznaczenie przyspieszenia równoległego do długości toru curlingowego wymagało także znajomości danych uzyskanych z żyroskopu. Składowe przyspieszenia w układzie lodowiska w funkcji składowych przyspieszenia i kąta obrotu w układzie odniesienia urządzenia pomiarowego autor wyznaczył wprowadzając równania (4.1) – (4.3). Brak jest w tym miejscu objaśniającego rysunku ze wszystkimi oznaczeniami, co ułatwiałoby poprawną interpretację równań.

Widmo przyspieszenia w dziedzinie częstotliwości autor wyznaczał 3 metodami stosując procedurę FFT i korzystając z okna prostokątnego, okna Hamminga oraz konstruując uśredniony periodogram dla kilku fragmentów widma. Pożytecznym byłoby w tym miejscu krótkie objaśnienie jakie są charakterystyczne cechy stosowanych okien.

Widma z użyciem aproksymacji wielomianowej uzyskane tymi trzema metodami dały różne przebiegi w zależności od rodzaju lodu (płaski, popeblowany lub popeblowany i ścięty). W celu obiektywnego porównania otrzymanych widm autor wprowadził liczbowy parametr R podając jego uogólnioną definicję w postaci

$$R_{f_1, f_2}[\text{dB}] = X(f_1)[\text{dB}] - X(f_2)[\text{dB}] \text{ przy } f_1 > f_2$$

gdzie  $X$  jest transformatą Fouriera otrzymanego sygnału a  $f_1$  i  $f_2$  to częstotliwości, dla których ten parametr jest liczony. Przed podaniem powyższej definicji uogólnionej parametr  $R$  był pierwotnie zdefiniowany z podaniem konkretnych częstotliwości  $f_1 = 120$  Hz oraz  $f_2 = 80$  Hz

(równanie (4.4)), przy czym nie zaznaczono wtedy, że będzie podana definicja uogólniona. Przeprowadzenie dodatkowych testów statystycznych pozwoliło ostatecznie określić, jakie pary częstotliwości są optymalne z punktu widzenia oceny jakości danego rodzaju lodu. Należy podkreślić, iż częstotliwości podane w równaniu (4.4) mieszczą się w zakresie obowiązującym dla definicji uogólnionej (Tabela 4.9).

Sugerowane drobne uzupełnienia nie rzutują jednak istotnie na bardzo dobrą jakość redakcyjną rozprawy.

## 6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych?

Rozprawa bardzo dobrze spełnia kryteria przydatności dla nauk inżynieryjno-technicznych. Autor opisał dość szczegółowo urządzenie pomiarowe i podał warunki w jakich muszą być prowadzone testy przydatności tafli lodu do curlingu oraz jaki parametr należy określić aby ostatecznie tę przydatność potwierdzić. Tego typu eksperymenty mogą być prowadzone na innych obiektach gdzie przygotowuje się tafle lodowe zarówno do treningu jak i do zawodów curlingowych.

Wg. oświadczenia autora rozprawy urządzenie wykorzystujące zaproponowaną metodę zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego RP, co jest dodatkowym potwierdzeniem przydatności rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych.

## 7. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) spełniająca wymagania
- d) spełniająca wymagania z wyrażnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Przedstawiona do oceny praca zdaniem recenzenta spełnia wymagania z nadmiarem. Tematyka rozprawy mieści się w zakresie dyscypliny **elektronika**, mając jednocześnie wyraźny związek z dyscypliną **automatyka, elektronika i elektrotechnika** wg. nowej klasyfikacji. Reasumując stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty i recenzowana rozprawa doktorska **spełnia wymagania** wynikające z Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie Sztuki określone w art.13 ust.1 Ustawy z 14 marca 2003 r oraz wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Bartosza Dzikowskiego do publicznej obrony.

Kraków 25.07.2022