

Mgr inż. Anna Grzeczka  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Gdańska, Gdańsk

## PRÓBA WYKONANIA ANALIZY MODALNEJ DESEK KITESURFINGOWYCH

### STRESZCZENIE

*Kitesurfing, jako młoda dyscyplina sportu, wciąż wymaga wielu badań. Polscy sportowcy, w szczególności kobiety, prezentują światowy poziom w kategorii freestyle i regularnie zdobywają najwyższe laury. Ze sportem ekstremalnym wiążą się również kontuzje. By poznać schemat ich powstawania, należy najpierw poznać rozkład sił działających na zawodnika. Pływając korzystamy z deski, latawca oraz dysponujemy barem - elementem łączącym zawodnika z latawcem. W artykule autor skupił się wyłącznie na impulsach przekazywanych z deski. Przy wymuszeniach generowanych przez zafalowanie wody oraz podczas lądowania po skoku, deska oddziałuje na człowieka z pewną częstotliwością. W artykule zaprezentowano analizę modalną drgań własnych deski, przeprowadzoną w celu określenia zakresu możliwych częstotliwości oddziałujących na zawodnika.*

**Słowa kluczowe:** kitesurfing, drgania własne deski, analiza modalna.

## ATTEMPT TO IMPLEMENTATION MODAL ANALYSIS TO THE KITESURFING BOARDS

### SUMMARY

*Kitesurfing as a young sport discipline still requires a lot of research. Polish sportsmen, particularly women, presents the world level in a freestyle and regularly win top competitions. Extreme sports are also linked to injuries. To know the scheme of their formation, first must understand the distribution of forces effects on the kitesurfers. In this type of sailing is necessary: board, kite and bar - special element which is connecting human body with the kite. In this article, the author research is focus on pulses transmitted from the board. During sailing on the waves and landing after a jump, board acts on the man with a certain frequency. The article presents a modal analysis of the kiteboard, carried out to determine the extent of possible frequencies affecting the human body.*

**Keywords:** kitesurfing, kiteboard vibrations, modal analysis.

### 1. WSTĘP

Próbując zamodelować siły działające na człowieka pływającego na kitesurfingu musimy wziąć pod uwagę wiele aspektów. Na zawodnika działa zarówno siła pochodząca z trzymanego latawca jak i oporu hydrodynamicznego deski. Samo utrzymanie równowagi oraz dobrej postawy wymaga użycia wielu mięśni. Zawodnik opiera się stopami o deskę, trzyma w dłoniach drążek (bar) przy pomocy którego steruje latawcem oraz jest przypięty do latawca poprzez ten drążek przy pomocy uprząży nazwanej trapezem. Stąd opisanie jego ruchu, modelowanie oraz próba modyfikacji są złożonymi zagadnieniami. By modelowanie było realne autor osobno bada siły działające na obręcz barkową oraz osobno wymuszenia docierające z deski.

### 2. ZASADY PORUSZANIA SIĘ NA KITESURFINGU

By rozpocząć przygodę z kitesurfingiem człowiek musi skoordynować pracę trzech głównych elementów składających się na jego podstawowe wyposażenie. Są to: deska, którą charakteryzuje bardzo mała wyporność i nie utrzymuje zawodnika na wodzie, bar (drążek służący do sterowania latawcem poprzez linki biegnące do latawca) oraz sam latawiec. Latawiec w powietrzu jest stateczny. Poruszając czaszą generujemy siłę nośną. Najwięcej problemów podczas nauki pływania na kitesurfingu sprawia opanowanie zmiennej siły generowanej przez czaszę latawca. Standardowo latawiec jest oddalony od sterującego o 25 metrów. Linki biegną od czaszy do drążka trzymanego przez zawodnika. W zależności od modelu i specyfikacji latawca są 4 i 5 linkowe. Środkowe dwie linki (dla latawca 4 linkowego) lub trzy linki (dla latawca 5 linkowego), przymocowane są do tuby głównej, która jest zawsze skierowana na wiatr. Pozostałe dwie linki przymocowane są na końcach tuby głównej. Regulują one siłę latawca przez zwiększenie lub zmniejszenie powierzchni czynnej.



Rys. 1 Budowa latawca oraz rozmieszczenie linek [9]

Drugim istotnym elementem jest bar. Jak już wspomniano, jest to element łączący człowieka z linkami latawca. Wpięcie ucha kończącego linki latawca (element baru) do haka trapezu wiąże się z pewnym ryzykiem. W momencie, gdy nie opanujemy siły ciągu latawca zostaniemy przez niego porwani. Producenci przewidzieli procedury bezpieczeństwa. Każdy zawodnik ma dodatkową grubą linę (leash) przyczepioną do trapezu oraz do jednej z linek latawca. W momencie utraty kontroli możemy wypiąć element baru z trapezu co uwolni nas przed porwaniem przez latawiec. Od tego momentu utrzymujemy kontakt z latawcem jedynie poprzez jedną linkę, co nie pozwala by latawiec w 100% wypełnił się wiatrem. Nie mamy sterowności. Gdy nadal nie jesteśmy w stanie zapanować nad czaszą mamy do dyspozycji również możliwość „zerwania” leasha czyli definitywne uniezależnienie się od latawca.

Dodatkowo dzięki różnemu mocowaniu oraz wybieraniu linek na barze, możemy regulować siłę ciągu latawca.

### 3. BADANIA MODALNE DESKI KITESURFINGOWEJ

Istnieją różne typy desek, ponieważ mamy różne style uprawiania kitesurfingu. Poniżej przedstawiono charakterystykę dyscyplin regatowych [8].

*Race* – dyscyplina olimpijska polegająca na jak najszybszym pokonaniu znacznych odległości. W tym celu używany jest duży, stabilny latawiec, długie linki oraz szeroka, deska o dużym wyporze oraz długich statecznikach.

*Freestyle* – dyscyplina najpopularniejsza w Polsce, stosowane są w niej mniejsze, stabilne latawce. Jest to najbardziej efektowna dyscyplina wymagająca płaskiej wody oraz silnego wiatru. Zawody polegają na wykonywaniu wysokich skoków i trików w powietrzu.

*Slalom* – mało popularna dyscyplina wymagająca silnych warunków wiatrowych. Dotychczas w Polsce rozegrana tylko raz. Polega na jak najszybszym przepłynięciu wyznaczonej trasy i poprawnym opłynięciu wszystkich boji.

*Vave* – pokonywanie fali na wąskiej desce, najczęściej bez footstrapów (mocowania pozwalające na utrzymanie stopy w kontakcie z deską). Wymaga szybkiego latawca. W Polsce zdobywa coraz większą popularność. Bardzo wymagająca dyscyplina sportu.

Takie zróżnicowanie charakteru zawodów spowodowało powstanie desek różniących się zarówno kształtem jak i wypornością (Rys. 2). Optymalizacja kształtu raczej już się dokonała, natomiast poprawa właściwości wytrzymałościowych będzie wymagała zastosowania zaawansowanych technologicznie materiałów.

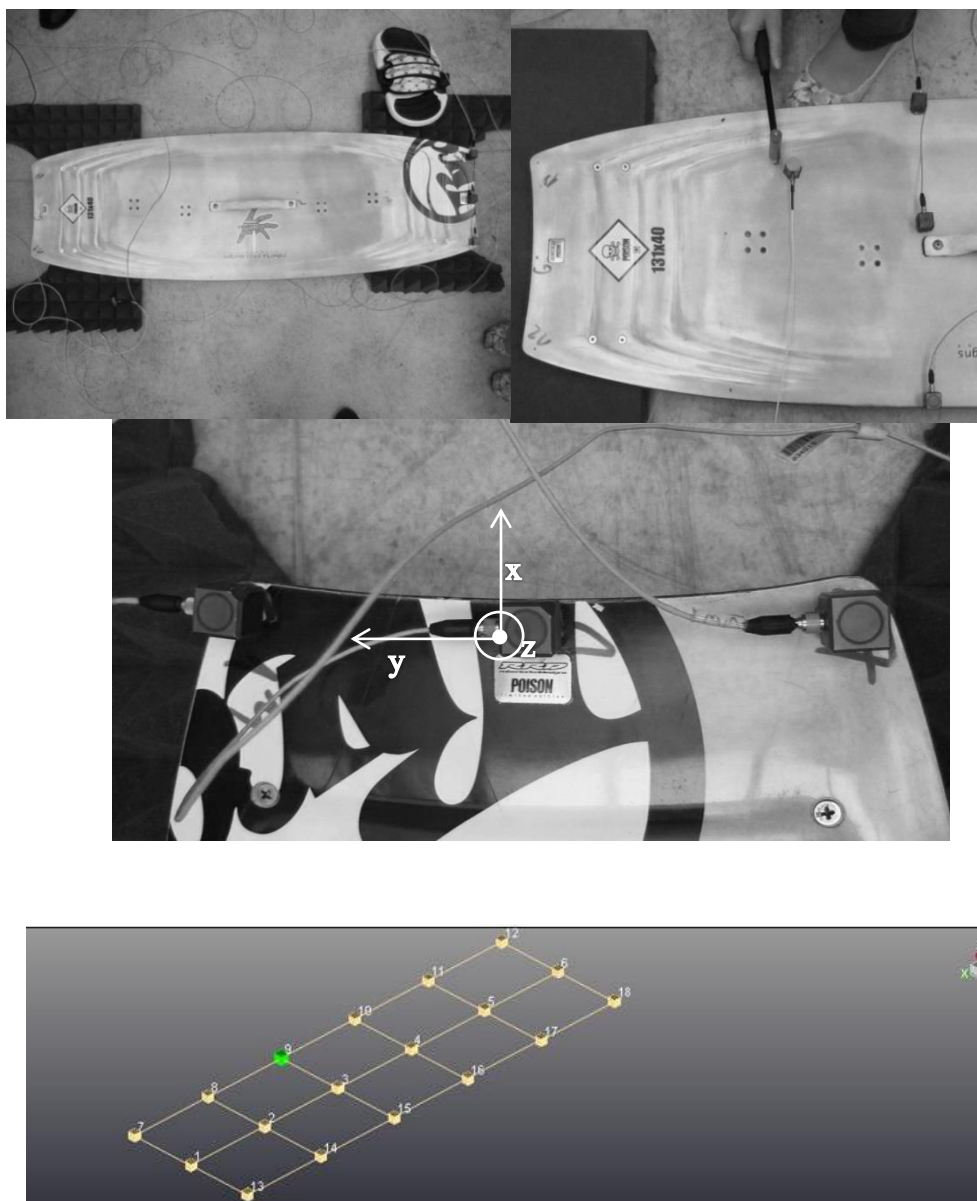
Rys. 2 Deski używane do rozgrywania konkurencji, kolejno: *Race*, *Freestyle*, *Slalom*, *Vave* [10]

By badać oddziaływanie takiej deski na człowieka, należy najpierw zbadać jej częstotliwości drgań własnych [2,3,4,5]. Pomiarów prowadzono na desce RRD Poison o długości 131cm i szerokości 40 cm. Do pomiarów użyto wielokanałowego cyfrowego rejestratora LMS SCADAS Recorder wyposażonego w dwie karty pomiarowe typ VM8-E i VM8. Urządzenie

wyposażono w trzy 3-osiowe przetworniki przyspieszeń drgań (akcelerometry) firmy PCB typ 356B08, jeden 1-osiowy przetwornik przyspieszeń drgań firmy PCB typ 353B32 jako czujnik referencyjny oraz młotek modalny firmy PCB typ 086C02. Do akwizycji sygnałów z przetworników oraz przeprowadzenia obliczeń i analizy modalnej, użyto oprogramowania LMS Test.Lab 14A. Spójność pomiarową zapewniła kalibracja toru pomiarowego wykonana wzorcowym źródłem drgań typu 4294 firmy Bruel&Kjaer o wartości przyspieszeń drgań wynoszącej  $10 \text{ m/s}^2$  dla częstotliwości 159,15 Hz.

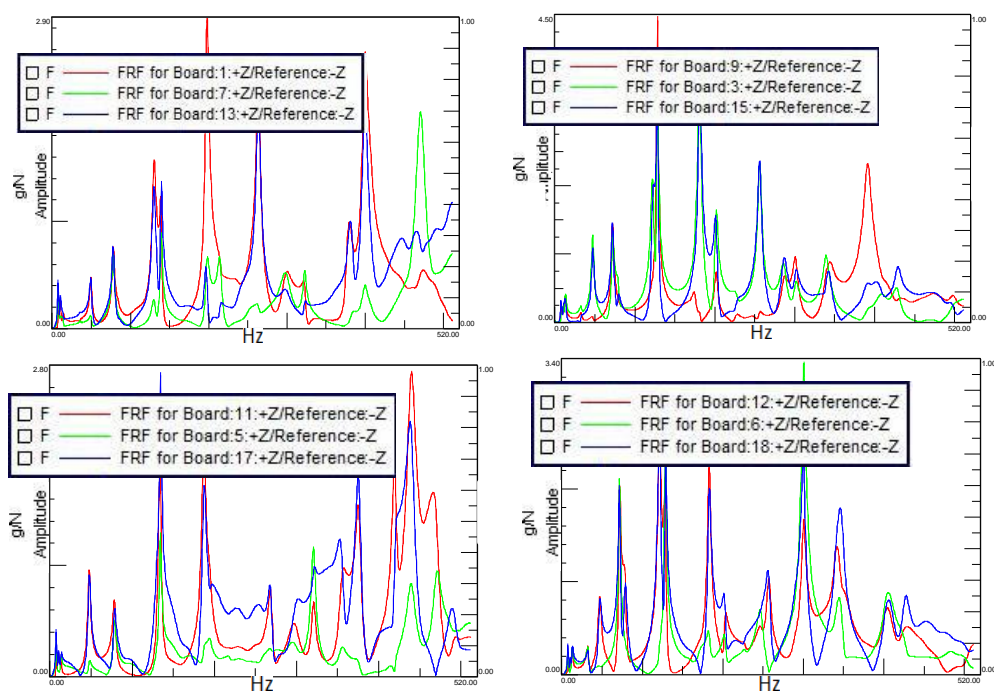
Poniżej przedstawiono rozmieszczenie oraz sposób mocowania czujników wraz z ich numeracją (Rys.3).

Sposób rozmieszczenia czujników dokonano na podstawie doświadczenia pomiarowego zespołu badawczego [3,4,5,6]



Rys.3 Rozmieszczenie czujników na badanej desce kitesurfingowej

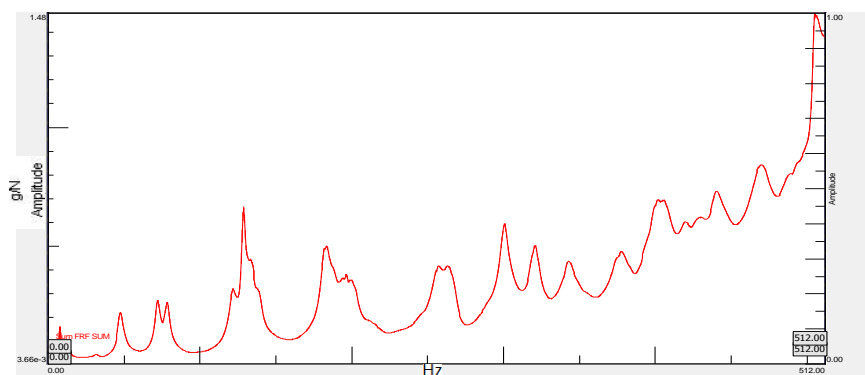
Wykręcono z deski usztywniające materiał footstrapy, deskę podparto na cienkich piankowych „kolcach”, wymuszenie generowano młotkiem o masie 0,16 kg. Na wykresach zaprezentowano postaci drgań w osi prostopadłej do płaszczyzny deski (oś z), czyli potencjalnie działające na układ kostny człowieka. Uzyskane wyniki przedstawiono na Rys.4.



Rys. 4. Widma sygnałów zarejestrowanych na kierunku prostopadłym do płaszczyzny deski (z)

Jednostka amplitudy g/N wynika z użytych przetworników przyspieszeń. Jest to odpowiedź jakie przyspieszenie w danym punkcie jest wynikiem wymuszenia siłą o wartości 1 Newtona. Jak można zauważyć na powyższych wykresach nie wszystkie częstotliwości się pokrywają. Jest to spowodowane zbyt sztywnym podparciem dla tak niewielkiego i na tyle lekkiego sprzętu jak deska kitesurfingowa.

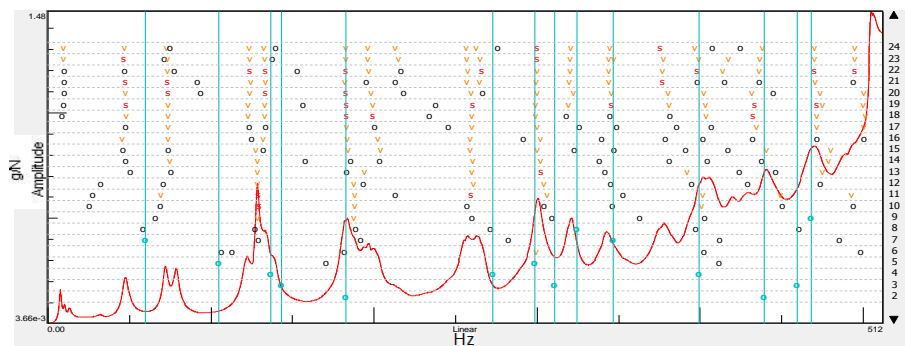
Wektor wypadkowy częstotliwości z kierunków x, y oraz z w danym punkcie zaprezentowano na rysunku 5.



Rys. 5. Wektor wypadkowy częstotliwości własnych w kierunku x, y oraz z,

Na wykresie przedstawionym na Rys.6 zaznaczono punkty, w których prowadzono pomiar





Rys. 6. Wektor wypadkowy częstotliwości własnych badanej deski kitesurfingowej w rejestrowanych punktach.

Porównano również drgania własne deski z częstotliwościami drgań wybranych struktur i narządów człowieka [1]. W tabeli 1 przedstawiono pasma częstotliwości drgań własnych grup narządów wewnętrznych.

Tab. 1 Pasma częstotliwości drgań własnych grup narządów wewnętrznych [7]

Lp.	Nazwa organu	Częstotliwość [Hz]
1.	Człowiek stojąc	4 – 6
2.	Człowiek siedząc	5 – 12
3.	Głowa	4 - 5 17 – 25
4.	Klatka piersiowa	5 – 9
5.	Żołądek (zależnie od stopnia napełnienia)	2 – 7
6.	Oczy	20 – 25
7.	Układ ręka-przedramię (zależnie od ustawienia)	10 – 30
8.	Receptory dotyku	200 – 300
9.	Szczeka	6 – 8
10.	Krtani, tchawica, oskrzela	12 – 16
11.	Wątroba	3 – 4
12.	Kręgosłup	8
13.	Miednica	5 – 9
14.	Kończyny górne	3
15.	Kończyny dolne	5

#### 4. WNIOSKI

Zakładając, że deski stosowane do różnych kitesurfingowych dyscyplin różnią się nie tylko kształtem i rozmiarami, należy zmierzyć własności desek charakterystycznych dla pozostałych technik. Uzyskane wyniki dla badanej deski wykazały, że częstotliwości w badanych punktach nie są zbieżne. Może to wynikać ze zbyt sztywnego podparcia na stanowisku badawczym. W związku z tym, pomiary zostaną powtórzone na zmodyfikowanym stanowisku dla desek wawe, freeride oraz race.

#### 5. PODZIĘKOWANIA

Autorka składa podziękowania za umożliwienie realizacji pomiarów i badań Panom - Wojciechowi Paluchowi z EC Test Systems oraz Maciejowi Kłaczyńskiemu z AGH w Krakowie.

#### LITERATURA

1. Cempel C.: „Drgania mechaniczne wprowadzenie”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1984
2. Kurowski, Piotr. Badanie modeli modalnych fundamentów dużych maszyn energetycznych. Diagnostyka, 2006, 119-126,
3. Kłaczyński M. i inni, “Vibroacoustic analysis of defect electric motors”, raport techniczny z badań przeprowadzonych na zlecenie ABB sp. z o.o. ul. Żegańska 1, Warszawa, 2011,
4. Kłaczyński M. i inni, „Measurement of vibration on new oscillation system with hydraulic driven in casting platform at Trinecke Zelezarny a.s.”, ”, raport techniczny z badań przeprowadzonych na zlecenie SMS Concast AG, Toedistrasse 9, 8027 Zurich, Switzerland, 2012,
5. Kurowski P., Kłaczyński M., „Analiza modalna prototypu teleskopu SST-1M dla projektu Cherenkov Telescope Array (CTA)”, raport techniczny z badań przeprowadzonych na zlecenie Instytutu Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN, ul. E. Radzikowskiego 152, Kraków, 2014,

6. Martowicz A., Kurowski P., Uhl T., Problems of determining the location of the measuring sensors for use in experimental modal analysis, Selected problems of modal analysis of mechanical systems, Radom 2011,
7. Burdzik R. „Badania drgań płyty podłogowej pojazdu samochodowego”. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej 2010 Seria: transport z.67,
8. A. Grzeczka, „Teoria i technika żeglowania na kitesurfingu”, X ogólnopolska konferencja: Problemy naukowo - techniczne w wyczynowym sporcie żeglarskim. str. 111,
9. <http://www.easy-surfshop.pl/> (16.04.2015),
10. <http://abcsurf.pl/> (16.04.2015).