

**KARTA PRZEDMIOTU OFEROWANEGO W SZKOLE DOKTORSKIEJ**

Kod przedmiotu	4606-PS-000000H-0040	Nazwa przedmiotu	w j. polskim	Modelowanie nieliniowych układów mechanicznych		
			w j. angielskim	Modeling of Nonlinear Mechanical Systems		
Przynależność do grupy przedmiotów	przedmioty specjalnościowe					
Koordinator przedmiotu	Elżbieta Jarzębowska, dr hab. inż., prof. PW					
Jednostka realizująca	MEiL	Dyscyplina/y naukowa*	Inżynieria mechaniczna			
Poziom kształcenia	Kształcenie doktorantów	Semestr	Zimowy			
Język zajęć	polski					
Forma zaliczenia:	zaliczenie na ocenę	Sumaryczna liczba godzin w semestrze	45	Sumaryczna liczba ECTS	3	
Minimalna liczba uczestników	10	Maksymalna liczba uczestników	15	Dostępność dla studentów	Tak	
Typ zajęć		Wykład	Ćwiczenia audytorijne	Ćwiczenia projektowe	Laboratorium	Seminarium
Liczba godzin zajęć	tygodniowo	1	1	1		
	łącznie w semestrze	15	15	15		

\* nie dotyczy warsztatu badacza

**1. Wymagania wstępne**

- Podstawy mechaniki ogólnej i analitycznej,
- Podstawy znajomości rachunku różniczkowego (równania różniczkowe zwyczajne) i całkowego,
- Podstawy rachunku wariacyjnego

**2. Cele przedmiotu**

1. Przekazanie porcji wiedzy z zakresu metod modelowania nieliniowego układów mechanicznych, w zastosowaniach inżynierskich i badawczych. Zakres wiedzy obejmuje modelowanie układów holonomicznych i nieholonomicznych, na poziomie modeli kinematyki i dynamiki.
2. Pokazanie, poprzez strukturę wykładu i dobór przykładów, zakresu zastosowań różnych metod modelowania i sposobu podejścia do budowy i analizy różnych modeli nieliniowych.
3. Pokazanie słuchaczom i nauczenie ich „sposobu podejścia” do modelowania, który będą mogli wykorzystać w praktyce inżynierskiej i pracy naukowej.
4. Wykład nie jest wykładem z mechaniki analitycznej mimo, że metody mechaniki analitycznej będą przypomniane i wykorzystywane w modelowaniu.
5. Pokazanie, że modelowanie jest pewną sztuką opartą jednak na racjonalnych regułach.

**3. Treści programowe (dla każdego typu zajęć oddzielnie)**

**Wykład**

1. Wprowadzenie – czym jest modelowanie, modele liniowe, nieliniowe, zlinearyzowane. Przewodnik po literaturze.
2. Klasyfikacje modeli dla układów mechanicznych.
  - 2.1. Modele nieliniowe holonomiczne - przykłady.
  - 2.2. Modele nieliniowe nieholonomiczne – przykłady.
3. Modele nieliniowe holonomiczne.
  - 3.1. Teoria – zakres zastosowań równań Lagrange’a II rodzaju.
  - 3.2. Teoria – kanoniczne równania Hamiltona.
4. Modele nieliniowe nieholonomiczne.
  - 4.1. Kinematyczne i dynamiczne modele układów nieholonomicznych.
  - 4.2. Więzy – klasyfikacja więzów w mechanice i nie tylko.
  - 4.3. Teoria – zakres zastosowań równań Lagrange’a z mnożnikami.
  - 4.4. Teoria – równania Maggiiego i Kane’a.

<p>4.5. Teoria – równania Boltzmann-Hamela.          5. Reprezentacja równań więzów w analizie numerycznej modeli nieliniowych.          6. Aspekty numeryczne rozwiązywania równań ruchu układów mechanicznych.          7. Podsumowanie kursu.</p>
<b>Ćwiczenia audytoryjne</b>
<p>Manipulator wieloczłonowy – przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki.          Manipulator wieloczłonowy z więzami geometrycznymi – przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki.          Pojazd kołowy - przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki.          Model układu biomechanicznego - przykład audytoryjny – zbudować model kinematyki skoczka z trampoliny i model dynamiki robaka z tuską.          Model pojazdu kosmicznego - przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki.          Model pojazdu podwodnego AUV – przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki</p>
<b>Ćwiczenia projektowe</b>
<p>Projekt ćwiczeniowy nr 1 - samodzielne zbudowanie modelu dynamiki dla zadanego przykładu modelu holonomicznego, wykonanie symulacji numerycznej, animacji ruchu.          Projekt ćwiczeniowy nr 2 - samodzielne zbudowanie modelu dynamiki dla zadanego przykładu modelu nieholonomicznego, wykonanie symulacji numerycznej, animacji ruchu.          Projekt końcowy zaliczeniowy.</p>

4. Efekty uczenia się			
Rodzaj efektu	Opis efektu uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się w SD PW	Sposób weryfikacji efektów uczenia*
<b>Wiedza</b>			
W01	Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie podstawowych metod modelowania, dostępnych równań ruchu i zakresu ich zastosowań.	SD_W2	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
W02	Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie wyboru narzędzi/metod do zbudowania modeli matematycznych modeli układów fizycznych.	SD_W2, SD_W3	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
W03	Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie analizy rozwiązania numerycznego modelu matematycznego układu.	SD_W2	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
<b>Umiejętności</b>			
U01	Potrafi klasyfikować modele układów, rodzaje więzów i układać równania ruchu układu	SD_U1, SD_U4	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
U02	Potrafi przeprowadzić analizę modelu matematycznego i dokonać linearyzacji	SD_U1	ocena projektów
U03	Umie zastosować równania Lagrange'a I i II rodzaju, równania Lagrange'a z mnożnikami.	SD_U1	ocena projektów
U04	Umie sformułować równania ruchu w parametryzacji innej, niż we współrzędnych uogólnionych.	SD_U2,	ocena projektów
U05	Potrafi sformułować równania więzów do analizy numerycznej modelu nieliniowego.	SD_U1, SD_U2	ocena projektów
<b>Kompetencje społeczne</b>			
K01	Rozumie znaczenie metod modelowania w rozwiązywaniu problemów naukowych i jako podstawowe narzędzie w badaniach naukowych.	SD_K2	ocena aktywności w trakcie zajęć

K02	Rozumie uniwersalność metod modelowania oraz rozumie ich interdyscyplinarność wykraczającą poza inżynierię mechaniczną.	SD_K1	ocena aktywności w trakcie zajęć
K03	Przestrzega etyki zawodowej pracownika naukowego.	SD_K5	ocena projektów

\* dozwolone sposoby weryfikacji efektów uczenia się: egzamin; egzamin ustny; kolokwium pisemne; kolokwium ustne; ocena projektu; ocena sprawozdania; ocena raportu; ocena prezentacji; ocena aktywności w trakcie zajęć; prace domowe; test

## 5. Kryteria oceny

Zaliczenie na ocenę z projektu końcowego. Ocena wg skali: 3.0 (dostateczny), 3.5 (dość dobry), 4.0 (dobry), 4.5 (bardzo dobry), 5.0 (wyróżniający).

## 6. Literatura

### Literatura podstawowa:

1. Layton, R.A. Principles of analytical system dynamics. New York: Springer-Verlag, 1998.
2. Gutowski, R. *Mechanika analityczna*, PWN, 1971.
3. de Jalon, J.G. and E. Bayo. Kinematic and dynamic simulation of multibody systems. Mech. Eng. Series. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
4. Jarzębowska E. *Mechanika analityczna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
5. Jarzębowska E. *Dynamika i sterowanie układami mechanicznymi*, PWN, 2021.

### Literatura uzupełniająca:

1. Kwatny, H.G. and G.L. Blankenship. Nonlinear control and analytical mechanics, a computational approach. Boston: Birkhauser, 2000.
2. Nejmank, J.I. and N.A. Fufaev. Dynamics of nonholonomic systems. Providence, Rhode Island: Am. Math. Society, 1972.

## 7. Nakład pracy doktoranta niezbędny do osiągnięcia efektów uczenia się\*\*

Lp.	Opis	Liczba godzin
1	godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim wynikające z planu	45
2	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim w ramach konsultacji, egzaminów, sprawdzianów itp.	10
3	Godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do zajęć oraz opracowania sprawozdań, projektów, prezentacji, raportów, prac domowych	25
4	godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do egzaminu, sprawdzianu, zaliczenia	10
<b>Sumaryczny nakład pracy doktoranta</b>		<b>90</b>
<b>Liczba punktów ECTS</b>		<b>3</b>

\*\* 1 ECTS pracy = 25-30 godzin nakładu pracy doktoranta (np. 2 ECTS = 60 godzin; 4 ECTS = 110 godzin)