



## IV. Opis programu studiów

### 3. KARTA PRZEDMIOTU

Kod przedmiotu	<b>M#1-S2-MiBM-SiC-109</b>
Nazwa przedmiotu	<b>Dynamika samochodu</b>
Nazwa przedmiotu w języku angielskim	<b>Vehicle Dynamics</b>
Obowiązuje od roku akademickiego	<b>2019/2020</b>

#### USYTUOWANIE MODUŁU W SYSTEMIE STUDIÓW

Kierunek studiów	<b>MECHANIKA I BUDOWA MASZYN</b>
Poziom kształcenia	<b>II stopień</b>
Profil studiów	<b>ogólnoakademicki</b>
Forma i tryb prowadzenia studiów	<b>studia stacjonarne</b>
Zakres	<b>samochody i ciągniki</b>
Jednostka prowadząca przedmiot	<b>Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu</b>
Koordinator przedmiotu	<b>Prof. dr hab. inż. T. L. Stańczyk</b>
Zatwierdził	<b>Prof. dr hab. inż. T. L. Stańczyk</b>

#### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRZEDMIOTU

Przynależność do grupy/bloku przedmiotów	<b>przedmiot specjalnościowy</b>
Status przedmiotu	<b>obowiązkowy</b>
Język prowadzenia zajęć	<b>polski</b>
Usytuowanie modułu w planie studiów - semestr	<b>semestr 1</b>
Wymagania wstępne	
Egzamin (TAK/NIE)	<b>TAK</b>
Liczba punktów ECTS	

Forma prowadzenia zajęć	wykład	ćwiczenia	laboratorium	projekt	seminarium
Liczba godzin w semestrze	<b>30</b>		<b>15</b>		

## EFEKTY UCZENIA SIĘ

Kategoria	Symbol efektu	Efekty kształcenia	Odniesienie do efektów kierunkowych
Wiedza	W01	Ma uporządkowaną wiedzę na temat podstawowych pojęć i problemów dynamiki pionowej samochodu	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W02	Ma uporządkowaną wiedzę na temat modelowania pojazdu i jego zespołów jako układu drgającego	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W03	Ma uporządkowaną wiedzę na temat elementów składowych modeli, ze szczególnym uwzględnieniem elementów podatnych.	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W04	Ma podstawową wiedzę teoretyczną na temat budowy równań drgań samochodu. Zna Równania Lagrange'a II rodzaju.	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W05	Ma podstawową wiedzę teoretyczną na temat wybranych zagadnień klasycznej analizy drgań samochodu (analizy w dziedzinie czasu).	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W06	Ma podstawową wiedzę teoretyczną na temat widmowej analizy drgań samochodu.	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W07	Ma podstawową wiedzę teoretyczną w zakresie elementów teorii procesów stochastycznych.	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W08	Ma podstawową wiedzę teoretyczną na temat analizy losowych drgań pojazdu.	MiBM2_W01 MiBM2_W09
	W09	Ma podstawową wiedzę teoretyczną na temat optymalizacji zawiesznień.	MiBM2_W01 MiBM2_W09
Umiejętności	U01	Potrafi wyznaczać charakterystyki elementów podatnych (liniowych i nieliniowych), wykorzystywanych w modelowaniu dynamiki samochodu	MiBM2_U05 MiBM2_U12
	U02	Potrafi stosować metodę operatorową do wyznaczania charakterystyk liniowych elementów podatnych.	MiBM2_U05 MiBM2_U12
	U03	Potrafi zbudować algorytm i program obliczeniowy do analizy drgań modelu samochodu w dziedzinie czasu (w różnych układach współrzędnych).	MiBM2_U05 MiBM2_U12
	U04	Potrafi zbudować algorytm i program obliczeniowy do analizy drgań modelu samochodu w dziedzinie częstotliwości.	MiBM2_U05 MiBM2_U12
Kompetencje społeczne	K01	Student potrafi pracować samodzielnie i współpracować w zespole nad wyznaczonym zadaniem	MiBM2_K04

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć	Treści programowe
wykład	<p><b>1. Podstawowe pojęcia i problemy dynamiki pionowej samochodu</b> Analiza systemu pojazd – kierowca – otoczenie w ujęciu dynamiki maszyn. Cechy ruchu podstawowego oraz zaburzeń ruchu podstawowego. Założenia przyjmowane w klasycznej teorii drgań samochodu. Modelowanie w dynamice maszyn.</p> <p><b>2. Modelowanie pojazdu i jego zespołów jako układu drgającego</b> Proces budowy modeli dynamicznych: określenie struktury modelu, opis wielkości masowych, współrzędne układu, określenie liczby stopni swobody, określenie danych oraz opis wymuszeń działających na układ. Przykłady tworzenia modeli drgań pionowych samochodu: modele płaskie o 2 i 4 stopniach swobody; model przestrzenny o 7 stopniach swobody.</p>

	<p><b>3. Elementy składowe modelu dynamicznego</b>          Elementy masowe: metody wyznaczania eksperymentalnego oraz szacowania przybliżonego momentów bezwładności całego samochodu, nadwozia oraz innych brył modelu. Szacowanie wartości mas nieresorowanych dla różnych rodzajów zawiesznień samochodowych. Elementy odkształcalne – podstawowe modele elementów liniowych. Operatorowa metoda wyznaczania charakterystyk elementów liniowych; sztywność operatorowa. Charakterystyka połączenia równoległego i szeregowego dwóch elementów liniowych. Nieliniowe elementy podatne. Metody wyznaczania charakterystyk elementów nieliniowych. Metoda wyodrębnienia charakterystyk: sprężystej oraz tłumiącej z charakterystyki wyznaczonej w postaci pętli histerezy niesprężystej. Pojęcie elementu słabo nieliniowego – linearyzacja nieliniowych charakterystyk elementów podatnych. Wymuszenia drgań – klasyfikacja sygnałów. Wymuszenia działające na samochód w ruchu prostoliniowym (tzw. pierwszorzędne i drugorzędne wymuszenia drgań samochodu).</p>
	<p><b>4. Budowa równań drgań samochodu</b>          Równania Lagrange’a II rodzaju. Całkowita energia kinetyczna i potencjalna układu. Wykorzystanie równań Lagrange’a do wyprowadzenia równań ruchu przestrzennego modelu samochodu o 3 stopniach swobody. Wykorzystanie metody operatorowej do wprowadzenia do modelu liniowych elementów podatnych o innej charakterystyce. Wprowadzenie postulatu symetrii modelu względem płaszczyzny xOz – rozprężenie drgań w płaszczyźnie wzdłużnej i poprzecznej. Zapis równań drgań w postaci macierzowej.</p>
	<p><b>5. Wybrane zagadnienia klasycznej analizy drgań samochodu (analizy w dziedzinie czasu)</b>          Częstości drgań własnych układów o wielu stopniach swobody – sposób wyznaczania. Przykład: wyznaczenie częstości drgań własnych modelu samochodu o 2 stopniach swobody. Postaci drgań własnych układów dynamicznych – sposób wyznaczania; interpretacja fizyczna. Przykład: wyznaczenie postaci drgań własnych modelu samochodu o 2 stopniach swobody. Zagadnienie rozprężenia drgań podukładów częściowych (warunki Mandelsztama). Przykład 1: rozprężenie pionowych i kątowych drgań nadwozia samochodu - określenie warunków konstrukcyjnych zapewniających to rozprężenie. Przykład 2: rozprężenie drgań przedniej i tylnej części nadwozia samochodu. Iteracyjna metoda analizy drgań układów ze słabym sprzężeniem.</p>
	<p><b>6. Widmowa analiza drgań samochodu</b>          Widmowa analiza drgań okresowych. Szereg Fouriera. Dyskretne (prążkowe) widma: amplitudowo – częstościowe i fazowo – częstościowe. Przekształcenie całkowite Fouriera. Własności przekształcenia Fouriera. Widma drgań nieokresowych (widma ciągłe). Zastosowanie przekształcenia Fouriera do rozwiązywania równania drgań układu o jednym stopniu swobody. Transmitancja widmowa układu. Graficzne przedstawienie transmitancji: część rzeczywista i urojona transmitancji; charakterystyka amplitudowo – częstościowa i fazowo – częstościowa (moduł i argument). Transmitancja wejścia układu z wymuszeniem kinematycznym. Widmowa analiza drgań układów o wielu stopniach swobody. Macierz transmitancji i jej własności.</p>

	<p><b>7. Elementy teorii procesów stochastycznych</b>  Definicja procesu stochastycznego. Charakterystyki procesu losowego: jedno-, dwu- i wielowymiarowe dystrybuanty procesu; jedno-, dwu- i wielowymiarowe rozkłady gęstości prawdopodobieństwa procesu. Uśrednienia na zbiorze realizacji procesu: wartość oczekiwana, funkcje autokorelacji i autokowariancji, wariancja i wariancja centralna procesu. Związek między funkcjami autokorelacji i autokowariancji procesu. Stacjonarność procesu. Uśrednienia względem drogi (czasu). Ergodyczność procesu. Wzajemne (łączne) charakterystyki dwóch procesów losowych.</p> <p><b>8. Analiza losowych drgań pojazdu</b>  Widmowa gęstość mocy własnej procesu i jej własności. Widmowa gęstość mocy wzajemnej dwóch procesów i jej własności. Funkcja koherencji. Widmowe gęstości mocy nierówności dróg (częstość falowa drogi). Odpowiedź układu liniowego na wymuszenie losowe. Widmowa gęstość mocy pierwszej i drugiej pochodnej sygnału (odpowiedzi). Wyznaczanie odchylenia standardowego odpowiedzi układu (przemieszczeń, przemieszczeń względnych oraz przyspieszeń).</p> <p><b>9. Optymalizacja zawiesznień</b>  Sformułowanie zadania optymalizacji: określenie zmiennych decyzyjnych, funkcji celu oraz warunków ograniczających. Kryteria optymalizacji zawiesznień i ich miary: komfort jazdy (krzywe dopuszczalnych przyspieszeń, bezpieczeństwo jazdy, trwałość elementów konstrukcji podwozia (zawiesznień). Przykładowe algorytmy optymalizacji.</p>
laboratorium	<p>1. Wyznaczanie charakterystyk elementów podatnych wykorzystywanych w modelowaniu  a) elementy liniowe  b) elementy o charakterystykach nieliniowych i złożonych</p> <p>1. Zastosowanie metody operatorowej do wyznaczania charakterystyk liniowych elementów podatnych.  Wyznaczenie charakterystyki równoległego oraz szeregowego połączenia dwóch elementów podatnych.</p> <p>2. Opracowanie programu w programie Mathcad do analizy ruchu modelu we współrzędnych bryłowych:  – określenie energii kinetycznej i potencjalnej układu;  – wyprowadzenie równań ruchu z wykorzystaniem równań Lagrange'a II rodzaju;  – opracowanie programu obliczeniowego;  – analiza ruchu poszczególnych mas dla zmiennych wartości: sprężystości i tłumienia w zawieszeniu oraz wymiarów geometrycznych.</p> <p>3. Opracowanie programu do analizy ruchu modelu we współrzędnych punktowych:  – określenie energii kinetycznej i potencjalnej układu;  – wyprowadzenie równań ruchu z wykorzystaniem równań Lagrange'a II rodzaju;  – wyznaczenie warunku rozprężenia drgań układu;  – opracowanie programu obliczeniowego;  – analiza ruchu poszczególnych mas dla zmiennych wartości: sprężystości i sztywności w zawieszeniu oraz wymiarów geometrycznych.</p> <p>4. Opracowanie programu do wyznaczanie częstości drgań własnych układu. Analiza wpływu zmiennych wartości: sprężystości w zawieszeniu oraz charakterystycznych wymiarów geometrycznych na wielkość częstości drgań własnych.</p>

	5. Opracowanie programu do wyznaczania modułu transmitancji oraz widmowych gęstości mocy odpowiedzi układu: przyspieszenia masy resorowanej (komfort), ugięcia ogumienia (bezpieczeństwo) i ugięcia zawieszenia (trwałość elementów zawieszń).
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### METODY WERYFIKACJI EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Symbol efektu	Metody sprawdzania efektów kształcenia (zaznaczyć X)					
	Egzamin ustny	Egzamin pisemny	Kolokwium	Projekt	Sprawozdanie	Inne
W01-W9		X				
U01- U04			X		X	
K01						X

### FORMA I WARUNKI ZALICZENIA

Forma zajęć*	Forma zaliczenia	Warunki zaliczenia
wykład	wybierz	Pozytywny wynik z egzaminu.
laboratorium	zaliczenie z oceną	Zaliczenie sprawozdań i pozytywne oceny ze sprawdzianów z poszczególnych ćwiczeń laboratoryjnych. Ocena końcowa jest średnią arytmetyczną ocen z poszczególnych ćwiczeń laboratoryjnych.

### NAKŁAD PRACY STUDENTA

Bilans punktów ECTS							
Lp.	Rodzaj aktywności	Obciążenie studenta					Jednostka
		W	C	L	P	S	
1.	Udział w zajęciach zgodnie z planem studiów	30		15			h
2.	Inne (konsultacje, egzamin)	4		2			h
3.	<b>Razem przy bezpośrednim udziale nauczyciela akademickiego</b>	<b>51</b>					h
4.	<b>Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje przy bezpośrednim udziale nauczyciela akademickiego</b>	<b>2,0</b>					ECTS
5.	<b>Liczba godzin samodzielnej pracy studenta</b>	<b>24</b>					h
6.	<b>Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach samodzielnej pracy</b>	<b>1,0</b>					ECTS
7.	<b>Nakład pracy związany z zajęciami o charakterze praktycznym</b>	<b>25</b>					h
8.	<b>Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym</b>	<b>1,0</b>					ECTS
9.	<b>Sumaryczne obciążenie pracą studenta</b>	<b>75</b>					h
10.	<b>Punkty ECTS za moduł</b> <i>1 punkt ECTS=25 godzin obciążenia studenta</i>	<b>3</b>					ECTS

## **LITERATURA**

1. Mitschke M. Dynamika samochodu. Drgania. WKiŁ, Warszawa, 1989.
2. Kasprzyk T., Prochowski L. Obciążenia dynamiczne zawieszzeń. WKiŁ, Warszawa, 1990.
3. Osiecki J., Gromadowski T., Stępiński B., Badania Pojazdów Samochodowych i ich zespołów na symulacyjnych stanowiskach badawczych. Wydawnictwo Instytutu Technologii i Eksploatacji, Radom, 2006.
4. Kamiński E., Pokorski J. Dynamika zawieszzeń i układów napędowych pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa, 1983.
5. Blajer W. Metody dynamiki układów wieloczłonowych. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom, 1998.