

**Karta (sylabus) przedmiotu**  
**Mechanika i Budowa Maszyn**  
 Studia II stopnia

<b>Przedmiot:</b>	<i>Drgania śmigłowców</i>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<i>Podstawowy</i>
<b>Kod przedmiotu:</b>	<i>MBM 2 S 1 3 25-0_1</i>
<b>Rok:</b>	<i>2</i>
<b>Semestr:</b>	<i>3</i>
<b>Forma studiów:</b>	<i>Studia stacjonarne</i>
<b>Rodzaj zajęć i liczba godzin w semestrze:</b>	<i>30</i>
Wykład	<i>15</i>
Ćwiczenia	<i>15</i>
Laboratorium	
Projekt	
<b>Liczba punktów ECTS:</b>	<i>2</i>
<b>Sposób zaliczenia:</b>	<i>Zaliczenie wykładu i ćwiczeń</i>
<b>Język wykładowy:</b>	<i>Język polski</i>

<b>Cel przedmiotu</b>	
<b>C1</b>	Przekazanie poszerzonej wiedzy z zakresu drgań śmigłowców z uwzględnieniem drgań własnych i wymuszonych.
<b>C2</b>	Przekazanie poszerzonej wiedzy dotyczącej niestabilności aeroelastycznych i aeromechanicznych śmigłowca.
<b>C3</b>	Przekazanie wiedzy z zakresu badań eksperymentalnych drgań śmigłowca.

<b>Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i innych kompetencji</b>	
	Wiedza
<b>1</b>	Aerodynamika – wiedza w zakresie obciążeń aerodynamicznych śmigłowca i jego podzespołów.
<b>2</b>	Mechanika ogólna – wiedza w zakresie drgań bryły sztywnej
<b>3</b>	Dynamika lotu śmigłowca – wiedza w zakresie zjawisk dynamicznych związanych z lotem śmigłowca.
<b>4</b>	Budowa śmigłowców – wiedza w zakresie budowy i konstrukcji głównych podzespołów śmigłowców
	Umiejętności
<b>5</b>	Potrafi wykorzystać nabytą wiedzę
<b>6</b>	Potrafi pozyskiwać informację z literatury

<b>Efekty kształcenia</b>	
	W zakresie wiedzy:
<b>EK 1</b>	Student posiada poszerzoną wiedzę w zakresie drgań śmigłowców z uwzględnieniem drgań własnych i wymuszonych.
<b>EK 2</b>	Student posiada poszerzoną wiedzę w zakresie niestabilności aeroelastycznych i aeromechanicznych śmigłowca.
<b>EK 3</b>	Student posiada wiedzę z zakresu badań eksperymentalnych drgań śmigłowca.
	W zakresie umiejętności:
<b>EK 4</b>	Student potrafi przeprowadzić analizę i opisać drgania własne i wymuszone śmigłowca oraz określić wymuszenia tych drgań.
<b>EK 5</b>	Student potrafi przeprowadzić analizę i opisać niestabilności aeroelastyczne i aeromechaniczne śmigłowca.
<b>EK 6</b>	Student potrafi opracować koncepcję badań eksperymentalnych drgań śmigłowca.
	W zakresie kompetencji społecznych:
<b>EK 7</b>	Student posiada i rozumie potrzebę ciągłego kształcenia.
<b>EK 8</b>	Student wykazuje krytycyzm w wyrażaniu opinii, ale jednocześnie w trakcie dyskusji potrafi bronić swoich racji.
<b>EK 9</b>	Student potrafi pracować w zespole, w tym w zespole badawczym i wykazuje obowiązkowość w realizacji zadań.

<b>Treści programowe przedmiotu</b>	
<b>Forma zajęć – wykłady</b>	
Treści programowe	
<b>W1-2</b>	Wiedomości podstawowe z teorii drgań mechanicznych z ukierunkowaniem na technikę śmigłowcową. Trójkąt Collara. Element Voighta – Kelvina. Wahadło w polu sił odśrodkowych. Źródła drgań na śmigłowcu. Granice odporności człowieka na drgania. Budowa modeli obliczeniowych drgań struktur śmigłowcowych. Rozwiązanie analityczne i numeryczne drgań. Metoda Rungego-Kutty. Podstawy dyskretyzacji struktur śmigłowca.
<b>W3-4</b>	Metody rozwiązywania drgań własnych łopat wirnika śmigłowca. Metoda Holzera. Metoda Myklestada. MES. Obciążenia masowe elementów łopaty wirującej. Warunki brzegowe mocowania łopat dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych wirników. Sprężenia masowe kinematyczne i sprężyste drgań łopaty wirującej. Widmo drgań niesprężonych i sprężonych. Wykres Campbella. Drgania własne kadłuba.
<b>W5-6</b>	Drgania wymuszone. Metody obliczeniowe wyznaczania drgań wymuszonych belek wirujących. Metoda Galerkin. Obciążenia aerodynamiczne, masowe, od układu sterowania, od dodatkowych

	elementów zamocowanych na łopacie, od zaburzeń własnym śladem i turbulencji atmosfery oraz od tarcia w przegubie osiowym łopaty.
<b>W7-8</b>	Przypadki wymiarujące i graniczne dla drgań wymuszonych wirnika śmigłowca. Wyrwania, podmuchy, brutalne sterowanie, uszkodzenia łopat. Przetwarzanie wyników badań symulacyjnych obciążeń wirnika – analiza harmoniczna i widmowa. Przenoszenie zmiennych obciążeń z wirnika na kadłub.
<b>W9-10</b>	Modele zjawisk aeroelastycznych pojawiających się na wirniku śmigłowca. Flutter klasyczny, dywergencja, flutter oderwania, flutter ściśliwości, whirl flutter, weaving („przeplotka” charakterystyczna dla wirników 2 łopatowych) i wagging (dla sprzężeń śmigło ogonowe- belka ogonowa). Dynamika ruchu łopaty przy wolnych prędkościach obrotowych i podmuchach – żeglowanie łopaty (sailing).
<b>W11-12</b>	Rezonans naziemny. Modele rezonansu naziemnego. Rozwiązanie analityczne i symulacyjne. Wykres Colemana. Metody redukcji drgań stosowane na śmigłowcach. Zmniejszanie poziomu wzbudzeń źródeł drgań. Stosowanie specjalnych urządzeń.
<b>W13-14</b>	Modele i rozwiązania konstrukcyjne. System DAVI i NODAMATIC. Aktywna i bierna redukcja drgań. Eliminatory drgań. Wibroizolatory. Rozstrajanie drgań śmigłowca. Badania i próby dotyczące drgań śmigłowca. Naziemne próby rezonansowe. Pomiary drgań w locie. Badania naziemne flutteru i w locie. Próby rezonansu naziemnego.
<b>W15</b>	Kolokwium
<b>Treści programowe przedmiotu</b>	
<b>Forma zajęć – ćwiczenia</b>	
	Treści programowe
<b>ĆW1-3</b>	Obliczenia drgań własnych łopaty z wykorzystaniem programu obliczeniowego. Ocena postaci i częstości własnych. Sporządzenie widma drgań Campbella. Wpływ parametrów łopaty na zmianę częstości drgań . Wpływ uszkodzeń łopaty na widmo drgań.
<b>ĆW4-6</b>	Obliczenia drgań wymuszonych z wykorzystaniem oprogramowania. Analiza przebiegów czasowych obciążeń i odkształceń łopat wirnika w funkcji czasu dla wybranych stanów lotu oraz przetwarzanie wyników obliczeń.
<b>ĆW7-9</b>	Analiza symulacyjna zjawisk aeroelastycznych oraz animacja 3D ruchu łopaty. Badanie przypadków: flutteru klasycznego, dywergencji i flutteru oderwania. Symulacja próby naziemnej flutteru klasycznego. Symulacja dynamiki ruchu odkształcalnej łopaty w wybranych przypadkach wywołania uszkodzeń w jej strukturze. Przypadki żeglowania łopaty.
<b>ĆW10-12</b>	Badanie symulacyjne rezonansu naziemnego. Analiza przebiegów czasowych i animacja rezonansu. Badanie uszkodzeń wirnika na zmiany dynamiczne rezonansu naziemnego
<b>ĆW13-15</b>	Sprawdziany wiedzy z zakresu prowadzonych ćwiczeń. Powtórka i pogłębienie wybranych zagadnień materiału . Zajęcia zaliczeniowe: wystawienie ocen końcowych, wpisy do indeksu.

Metody dydaktyczne	
1	Wykład z wykorzystaniem pomocy multimedialnych.
2	Ćwiczenia z wykorzystaniem komputerowych programów obliczeniowych.

Obciążenie pracą studenta	
Forma aktywności	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności
<b>Godziny kontaktowe z wykładowcą, w tym:</b>	
<i>realizowane w formie zajęć wykładowych</i>	15
<i>realizowane w formie zajęć ćwiczeniowych</i>	15
<i>realizowane w formie konsultacji w odniesieniu do wykładów</i>	2
<i>realizowane w formie konsultacji w odniesieniu do ćwiczeń</i>	2
<b>Praca własna studenta, w tym:</b>	
<i>Przygotowanie się do wykładu</i>	8
<i>Przygotowanie się do ćwiczeń</i>	8
Łączny czas pracy studenta	50
Sumaryczna liczba punktów ECTS dla przedmiotu:	2
Liczba punktów ECTS w ramach zajęć o charakterze praktycznym	

Literatura podstawowa i uzupełniająca	
1	Szabelski K. i inni: Wstęp do konstrukcji śmigłowców. WKiŁ, 1995
2	Szumański K.: Eksploatacja śmigłowców – materiały do wykładów, Lublin 2010
3	Bramwell A.R.S.: Helicopter Dynamics. Edward Arnold Publishers, London 1976
<b>Literatura uzupełniająca</b>	
4	Bielawa R.L.: Rotary Wing Structural Dynamics and Aeroelasticity. AIAA Education Service 1992
5	Mil M.L. i inni: Vertolety, rasczot i projektirowanie c.2 Kolebania i dynamiczeskaja procznost. Izdatielstvo Maszinostrojenie Moskva 1967

Macierz efektów kształcenia					
Efekt kształcenia	Odniesienie danego efektu kształcenia do efektów zdefiniowanych dla całego programu (PEK)	Cele przedmiotu	Treści programowe	Narzędzia dydaktyczne	Metoda oceny
<b>EK 1</b>	MBM2A-W03 ++	[C1]	[W1, W2, W3, W4, W6, W7,	[1, 2]	[O1, O2]

			ĆW1, ĆW2, ĆW3, ĆW4. ĆW6, ĆW7]		
<b>EK 2</b>	MBM2A-W03 ++	[C2]	[W5, ĆW5]	[1, 2]	[O1,O2]
<b>EK 3</b>	MBM2A-W03 ++	[C3]	[W8, ĆW8]	[1, 2]	[O1,O2]
<b>EK 4</b>	MBM21-U12 ++	[C1]	[W1,W2, W3, W4, W6, W7, ĆW1, ĆW2, ĆW3, ĆW4. ĆW6, ĆW7]	[1, 2]	[O1,O2]
<b>EK 5</b>	MBM21-U12 ++	[C2]	[W5, ĆW5]	[1, 2]	[O1,O2]
<b>EK 6</b>	MBM21-U12 ++	[C3]	[W8, ĆW5]	[1, 2]	[O1,O2]
<b>EK 7</b>	MBM2A-K01 ++	[C1, C2, C3]	[W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, ĆW1, ĆW2, ĆW3, ĆW4, ĆW5,]	[1, 2]	[O1,O2]
<b>EK 8</b>	MBM2A-K06 ++	[C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7]	[W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, ĆW1, ĆW2, ĆW3, ĆW4, ĆW5,]	[1, 2]	[O1,O2]
<b>EK 9</b>	MBM2A-K03 ++	[C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7]	[W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, ĆW1, ĆW2, ĆW3, ĆW4, ĆW5,]	[1, 2]	[O1,O2]

<b>Metody i kryteria oceny</b>		
Symbol metody oceny	Opis metody oceny	Próg zaliczeniowy
<b>O1</b>	Zaliczenie pisemne wykładu	60%
<b>O2</b>	Zaliczenie pisemne ćwiczeń – dwa kolokwia z zadań.	60%

<b>Autor programu:</b>	dr inż. Tomasz Łusiak
<b>Adres e-mail:</b>	wm.ktmp@pollub.pl
<b>Jednostka organizacyjna:</b>	Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych