**Nazwa przedmiotu:**

Drgania mechaniczne

**Koordynator przedmiotu:**

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Kurnik

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia I stopnia

**Program:**

Inżynieria Pojazdów Elektrycznych i Hybrydowych

**Grupa przedmiotów:**

Obowiązkowe

**Kod przedmiotu:**

1150-PE000-ISP-0213

**Semestr nominalny:**

4 / rok ak. 2020/2021

**Liczba punktów ECTS:**

3

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

1) Liczba godzin kontaktowych – 50, w tym:
a) wykład – 30 godz.;
b) ćwiczenia audytoryjne - 15 godz.;
c) konsultacje - 3 godz.;
d) egzamin – 2 godz.

2) Praca własna studenta – 25 godz., w tym:
a) 10 godz. – bieżące przygotowywanie się do ćwiczeń, prace domowe,
b) 5 godz. - studia literaturowe i przygotowanie się do kolokwiów,
c) 10 godz. – przygotowywanie się studenta do egzaminu.

3) RAZEM–75 godz.

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

2 punkty ECTS – liczba godzin kontaktowych - 50, w tym:
a) wykład - 30 godz.;
b) ćwiczenia audytoryjne - 15 godz.;
c) konsultacje - 3 godz.;
d) egzamin 2 godz.

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

1,2 punktów ECTS – 30 godz., w tym:
a) uczestnictwo w ćwiczeniach audytoryjnych - 15 godz.;
b) samodzielne rozwiązywanie zadań w domu - 5 godz.;
c) przygotowanie się do kolokwiów- 5 godz.;
d) przygotowanie się do części zadaniowej egzaminu - 5 godz.

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 15h |
| Laboratorium:  | 0h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

1. Wiedza i umiejętności z matematyki, obejmujące:
• macierze i ich podstawowe właściwości,
• rachunek różniczkowy i całkowy,
• szeregi Fouriera,
• liczby i funkcje zespolone,
• przekształcenie Laplace’a,
• podstawy równań różniczkowych zwyczajnych,
• wiadomości z trygonometrii z zakresu szkoły średniej.
2. Wiedza i umiejętności z Mechaniki ogólnej I i II dotyczące budowy równań ruchu oraz z Wytrzymałości materiałów I w zakresie stanu naprężenia i wyznaczania przemieszczeń prętów, belek i wałów.

**Limit liczby studentów:**

-

**Cel przedmiotu:**

Przekazanie studentom podstawowej wiedzy i umiejętności, umożliwiających:
• budowanie modeli fizycznych układów drgających adekwatnych do badanych zjawisk drganiowych oraz równań ruchu układów o skończonej liczbie stopni swobody i jednowymiarowych układów ciągłych.
• poznanie podstawowych właściwości drgań i wielkości charakteryzujących drgania, ich jednostek fizycznych oraz wzajemnych zależności,
• rozumienie przyczyn drgań i zjawisk związanych z drganiami (drgania swobodne, wymuszone, parametryczne, samowzbudne, rezonans, amortyzacja, tłumienie),
• poznanie metod rozwiązywania równań ruchu układów o wielu stopniach swobody i układów ciągłych,
• obliczanie podstawowych parametrów charakteryzujących drgania w zadaniach o znaczeniu praktycznym.

**Treści kształcenia:**

Wykład:

1. Wiadomości wstępne (2 godz.)
Znaczenie drgań w budowie maszyn i pojazdów. Modele układów drgających i procesów drgań. Ruch harmoniczny. Składanie drgań harmonicznych. Elementy analizy harmonicznej funkcji. Siły w ruchu drgającym. Klasyfikacja drgań. Metody układania równań ruchu. Linearyzacja lokalna równań nieliniowych.

2. Drgania układów liniowych o jednym stopniu swobody (6 godz.).
Drgania swobodne. Częstość i okres drgań tłumionych. Drgania nietłumione, z tłumieniem podkrytycznym, krytycznym i nadkrytycznym. Logarytmiczny dekrement tłumienia. Drgania wymuszone siłą harmoniczną. Rezonans. Przypadek wymuszenia siła bezwładności niewyrównoważonego wirnika. Rezonans przy wymuszeniu kinematycznym. Amortyzacja drgań. Sejsmiczny rejestrator drgań. Zasada superpozycji. Drgania przy wymuszeniu siłą okresową nieharmoniczną i nieokresową. Impulsowa funkcja przejścia. Zastosowanie zmiennej zespolonej do badania drgań przy wymuszeniu harmonicznym.

3. Badanie i interpretacja drgań na płaszczyźnie fazowej (4 godz.)
Płaszczyzna fazowa. Trajektorie fazowe. Obraz fazowy. Punkty osobliwe. Typy punktów osobliwych w układach liniowych i ich stateczność. Obrazy fazowe nieliniowych układów zachowawczych. Związek energii potencjalnej z obrazem fazowym. Krzywe separujące. Izokliny. Szkicowanie obrazów fazowych.

4. Drgania układów liniowych o wielu stopniach swobody (4 godz.)
Drgania swobodne nietłumione. Częstości własne. Postacie drgań własnych. Rozwiązanie ogólne równań ruchu. Drgania swobodne tłumione. Drgania wymuszone siłami harmonicznymi. Krzywe rezonansowe. Dynamiczny eliminator drgań. Drgania przy wymuszeniu poliharmonicznym, okresowym i nieokresowym. Macierz impulsowych funkcji przejścia.

5. Drgania poprzeczne strun, podłużne prętów i skrętne wałów (4 godz.)
Równania drgań struny, pręta, wału. Zagadnienie początkowo-brzegowe. Wartości własne, częstości własne, funkcje własne. Warunki brzegowe i warunki początkowe. Warunki ortogonalności funkcji własnych. Tłumienie wewnętrzne – model Kelvina-Voigta. Drgania wymuszone harmoniczną siłą rozłożoną. Drgania wymuszone kinematycznie.

6. Drgania poprzeczne belek (6 godz.)
Równanie drgań belki. Zagadnienie początkowo-brzegowe belki. Warunki brzegowe i warunki początkowe belki. Wartości własne, funkcje własne, częstości własne belki. Postacie drgań swobodnych. Tłumieni w ośrodku i tłumienie wewnętrzne. Drgania wymuszone siłą rozłożoną. Rozwiązanie równania ruchu metodą szeregu według funkcji własnych. Drgania belki przy wymuszeniu siłą skupioną. Drgania belki wymuszone kinematycznie. Metody dyskretyzacji ciągłego zagadnienia drgań belek – metoda Rayleigha i metoda Galerkina.

7. Drgania układów nieliniowych o jednym stopniu swobody (2 godz.)
Pochodzenie i rodzaje nieliniowości. Metody linearyzacji. Metoda Galerkina analizy drgań nieliniowych Właściwości nieliniowych drgań swobodnych. Tłumienie drgań tarciem suchym. Nieliniowe drgania przy wymuszeniu harmonicznym. Stateczne i niestateczne drgania wymuszone. Rezonans ultra-sub-harmoniczny.

8. Drgania parametryczne i drgania samowzbudne (2 godz.)
Istota i znaczenie drgań parametrycznych. Równanie Hilla i równanie Mathieu. Zjawisko rezonansu parametrycznego. Występowanie, znaczenie, przyczyny i właściwości drgań samowzbudnych. Równania Van der Pola i Rayleigha. Bifurkacyjne drgania samowzbudne. Zagadnienia flatteru w technice.

Ćwiczenia audytoryjne:

1. Analiza i synteza harmoniczna drgań. Widma amplitudowo-częstościowe i fazowo-częstościowe drgań. Dudnienie.
2. Drgania swobodne układów liniowych o jednym stopniu swobody. Drgania poprzeczne belki modelowanej jako układ o jednym stopniu swobody.
3. Drgania układów liniowych o jednym stopniu swobody przy wymuszeniu harmonicznym – siłowym i kinematycznym.
4. Badanie i interpretacja drgań na płaszczyźnie fazowej. Trajektorie fazowe. Punkty osobliwe układu liniowego i ich stateczność. Obrazy fazowe wybranych układów nieliniowych.
5. Drgania swobodne układów liniowych o dwóch stopniach swobody. Częstości własne, postacie drgań własnych.
6. Drgania wymuszone układów o dwóch stopniach swobody. Modelowanie i analiza teoretyczna dynamicznego eliminatora drgań.
7. Analiza drgań swobodnych i wymuszonych belki wspornikowej. Drgania wymuszone i rezonanse pierwszej i wyższych postaci drgań. Przygotowanie do badań eksperymentalnych drgań belki wspornikowej przy wymuszeniu kinematycznym.

**Metody oceny:**

Wykład – egzamin.

Ćwiczenia:
• sprawdziany pisemne na ćwiczeniach audytoryjnych,
• ocena zadanych prac domowych,
• ocena aktywności na ćwiczeniach audytoryjnych.
Zasady zaliczania

Ćwiczenia audytoryjne:
• Podstawą zaliczenia ćwiczeń są sprawdziany pisemne polegające na samodzielnym rozwiązywaniu zadań z części materiału określonych w harmonogramie zajęć:
- drgania układu o jednym stopniu swobody,
- badanie drgań na płaszczyźnie fazowej,
- drgania układów liniowych o dwóch stopniach swobody,
- drgania poprzeczne belki.
• Podczas sprawdzianów student nie korzysta z żadnych materiałów ani urządzeń pomocniczych.
• Oceniana jest poprawność zastosowanych metod, praw i formuł oraz poprawność jednostek fizycznych i uzyskanych wartości liczbowych.
• Ustalając ocenę z ćwiczeń, prowadzący bierze również pod uwagę aktywność studenta na zajęciach oraz poprawność zadanych prac domowych.
• Ćwiczenia audytoryjne oceniane są w skali 2-5, przy czym do zaliczenia wymagana jest ocena co najmniej 3.
• Wstępna niedostateczna ocena z ćwiczeń może być poprawiona w wyniku jednego sprawdzianu zbiorczego, przeprowadzanego w ramach ćwiczeń przez osobę prowadzącą te ćwiczenia.
• Formą ogłoszenia wyników zaliczenia ćwiczeń jest wpis oceny do systemu USOS przez uprawnioną do tego osobę – prowadzącego ćwiczenia lub egzaminatora.
• Zaliczenie ćwiczeń audytoryjnych jest warunkiem koniecznym przystąpienia studenta do egzaminu.
Wykład:
• Na wykładzie w trakcie semestru nie przeprowadza się sprawdzianów nabytej wiedzy.
• Zaliczenie wykładu ma formę egzaminu składającego się z części pisemnej zadaniowej, części pisemnej teoretycznej oraz części ustnej w formie rozmowy oceniającej.
• Podstawą oceny części zadaniowej egzaminu jest samodzielne rozwiązanie przez studenta zadań sformułowanych przez egzaminatora.
• Część pisemna teoretyczna polega na odpowiedziach na pytania, których pełna lista jest jawna i dostępna w podstawowym podręczniku do wykładu oraz w materiałach do pobrania dotyczących przedmiotu, na stronie internetowej Zakładu Mechaniki.
• Uzyskanie oceny średniej co najmniej dobrej (4) zaliczenia ćwiczeń audytoryjnych zwalnia studenta z części zadaniowej egzaminu.
• Obydwie części pisemne egzaminu wymagają oceny co najmniej dostatecznej (3).
• Ostateczną ocenę z przedmiotu ustala egzaminator, biorąc pod uwagę ocenę umiejętności zdobytych na ćwiczeniach oraz ocenę wiedzy zdobytej na wykładach

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

1) Włodzimierz Kurnik – „Drgania mechaniczne – 15 podstawowych wykładów”, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 2019 (podręcznik podstawowy).
2) Sylwester Kaliski (Red.) Drgania i fale, PWN, Warszawa, 1966 (podręcznik uzupełniający).
3) Zbigniew Osiński (Red.) - Zbiór zadań z teorii drgań, PWN, 1989.
4) Materiały do ćwiczeń dostępne na stronie WWW Zakładu Mechaniki.

**Witryna www przedmiotu:**

-

**Uwagi:**

-

## Efekty przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_W1:**

Student zna podstawowe wielkości charakteryzujące drgania mechaniczne, takie jak amplituda, częstość i okres drgań, częstość wymuszenia, faza drgań, widmo drgań, współczynniki sprężystości i tłumienia itd. oraz pojęcia, takie jak tłumienie drgań, charakterystyka amplitudowo-częstościowa, rezonans, drgania swobodne, wymuszone, parametryczne i samowzbudna, amortyzacja i rejestracja drgań.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany na ćwiczeniach audytoryjnych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W01, K\_W02, K\_W03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_W01, T1A\_W07, InzA\_W02, T1A\_W03, T1A\_W04, T1A\_W01, T1A\_W02

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_W2:**

Student potrafi budować modele układów drgających na potrzeby sformułowanych zadań

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne na ćwiczeniach, ocena prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W01, K\_W02, K\_W03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_W01, T1A\_W07, InzA\_W02, T1A\_W03, T1A\_W04, T1A\_W01, T1A\_W02

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_W3:**

Student potrafi wyjaśnić zjawiska występujące w drganiach, takie jak rezonans, tłumienie drgań, wzbudzenie siłowe i kinematyczne, wzbudzenie parametryczne i samowzbudzenie oraz rozumie ich znaczenie w technice.

Weryfikacja:

Egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W01, K\_W02, K\_W03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_W01, T1A\_W07, InzA\_W02, T1A\_W03, T1A\_W04, T1A\_W01, T1A\_W02

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_W4:**

Student potrafi rozwiązywać równania drgań liniowych układów o wielu stopniach swobody i jednowymiarowych układów ciągłych oraz interpretować uzyskane rozwiązania.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne na ćwiczeniach, ocena prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W01, K\_W02, K\_W03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_W01, T1A\_W07, InzA\_W02, T1A\_W03, T1A\_W04, T1A\_W01, T1A\_W02

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_W5:**

Student rozumie istotę nieliniowości układów drgających oraz ich pochodzenie, zna podstawowe właściwości drgań nieliniowych i metody ich analizy.

Weryfikacja:

Egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W01, K\_W02, K\_W03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_W01, T1A\_W07, InzA\_W02, T1A\_W03, T1A\_W04, T1A\_W01, T1A\_W02

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_W6:**

Student zna zasadę działania i potrafi dobierać parametry dynamicznego eliminatora drgań.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne, ocena zadanych prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W01, K\_W02, K\_W03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_W01, T1A\_W07, InzA\_W02, T1A\_W03, T1A\_W04, T1A\_W01, T1A\_W02

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_U1:**

Student potrafi wybrać odpowiedni model układu drgającego i zastosować właściwą metodę rozwiązania postawionego zadania.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne, ocena zadanych prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U01, K\_U03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_U01, T1A\_U03

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_U2:**

Student potrafi ocenić prawidłowość uzyskanego wyniku pod względem ilościowym i jakościowym.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne, ocena zadanych prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U01, K\_U03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_U01, T1A\_U03

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_U3:**

Student potrafi obliczać częstości drgań swobodnych układów liniowych o wielu stopniach swobody bez tłumienia, określać postacie drgań własnych i budować rozwiązanie równań ruchu spełniające dowolne warunki początkowe.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne, ocena zadanych prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U01, K\_U03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_U01, T1A\_U03

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_U4:**

Student potrafi wyznaczać amplitudy drgań układów liniowych o wielu stopniach swobody przy wymuszeniach harmonicznych oraz analizować ich krzywe rezonansowe.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne, ocena zadanych prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U01, K\_U03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_U01, T1A\_U03

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_U6:**

Student potrafi obliczać częstości drgań własnych, wyznaczać funkcje własne i budować rozwiązanie równania drgań swobodnych struny, pręta, wału i belki.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne, ocena zadanych prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U01, K\_U03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_U01, T1A\_U03

**Efekt 1150-PE000-ISP-0213\_U7:**

Student potrafi analizować drgania wymuszone strun, prętów, wałów i belek przy wymuszeniu harmonicznym – siłowym i kinematycznym.

Weryfikacja:

Egzamin, sprawdziany pisemne, ocena zadanych prac domowych.

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U01, K\_U03

**Powiązane efekty obszarowe:** T1A\_U01, T1A\_U03