**Nazwa przedmiotu:**

Dynamika układów wieloczłonowych II

**Koordynator przedmiotu:**

dr hab. inż. Marek Wojtyra, prof. PW

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Robotyka i Automatyka

**Grupa przedmiotów:**

Obowiązkowe

**Kod przedmiotu:**

ML.NK492

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2022/2023

**Liczba punktów ECTS:**

5

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

1. Liczba godzin kontaktowych: 70, w tym:
a) wykład – 15 godz.,
b) ćwiczenia – 15 godz.,
c) laboratoria – 30 godz.,
d) konsultacje – 10 godz.
2. Praca własna studenta: 55 godzin, w tym:
a) realizacja pracy domowej w formie samodzielnego projektu obliczeniowego z dziedziny sterowania układami wieloczłonowymi lub analizy dynamicznej odkształcalnego układu wieloczłonowego – 35 godzin,
b) przygotowywanie się do testu zaliczeniowego – 10 godzin,
c) przygotowywanie się do zajęć, studia literaturowe – 10 godzin.
Razem: 125 godzin – 5 punktów ECTS.

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

2,8 punktu ECTS – 70 godzin kontaktowych, w tym:
a) wykład – 15 godz.,
b) ćwiczenia – 15 godz.,
c) laboratoria – 30 godz.,
d) konsultacje – 10 godz.

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

3,2 punktu ECTS – 80 godzin, w tym:
a) udział w ćwiczeniach – 15 godz.,
b) udział w laboratoriach – 30 godz.,
c) realizacja pracy domowej w formie projektu obliczeniowego z dziedziny sterowania układami wieloczłonowymi lub analizy dynamicznej odkształcalnego układu wieloczłonowego – 35 godzin.

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

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

**Wymagania wstępne:**

Znajomość algebry, analizy matematycznej, mechaniki, drgań i technik komputerowych w zakresie wykładanym na wcześniejszych latach studiów.

**Limit liczby studentów:**

48

**Cel przedmiotu:**

Przygotowanie do samodzielnego formułowania i rozwiązywania zagadnień z dziedziny układów wieloczłonowych sztywnych i odkształcalnych z wykorzystaniem profesjonalnego oprogramowania inżynierskiego.

**Treści kształcenia:**

Wykłady i ćwiczenia:
1. Równania ruchu odkształcalnych UW o wielu stopniach swobody w zakresie liniowym (małe przemieszczenia i małe odkształcenia).
2. Zagadnienia własne, metody modalne, superpozycja modalna, równania ruchu we współrzędnych modalnych (głównych).
3. Całkowanie równań ruchu metodami Wilsona i Newmarka przy dowolnym wymuszeniu. Inne metody niejawne i jawne całkowania równań ruchu.
4. Metody przyrostowe MES analiz układów odkształcalnych. Metody UW i MES analizy układów odkształcalnych. Niezmienniki.
5. Metody redukcji stopni swobody odkształcalnych UW w analizie dynamicznej. Metoda redukcji stopni swobody techniką podstruktur i Craig’a-Bamptona.
6. Całkowanie układu równań UW z członami odkształcalnymi metodami niejawnymi.
7. Współpraca środowisk programowych ANSYS (NASTRAN)-ADAMS. Krótka charakterystyka i porównanie pakietów dużej skali używanych w obliczeniach inżynierskich, np.: MSC.ADAMS/NASTRAN/DYTRAN, ANSYS, LS-DYNA, MADYMO.
Laboratoria:
Ćwiczenia laboratoryjne z wykorzystaniem programu ADAMS w analizie odkształcalnych UW:
1. Przykłady obliczeń inżynierskich z dziedziny lotnictwa, mechaniki i robotyki.
2. Analiza dynamiczna UW z uwzględnieniem sterowania.
3. Integracja pakietów ADAMS, ANSYS, MATLAB. Prototypy wirtualne (virtual prototyping).
4. Samodzielny projekt studencki.

**Metody oceny:**

Ocenie podlega praca domowa - projekt obliczeniowy (40% oceny końcowej) oraz test zaliczeniowy (60% oceny końcowej).
Szczegóły systemu oceniania są opublikowane pod adresem: http://tmr.meil.pw.edu.pl (zakładka Dla Studentów).

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

1. Frączek J., Wojtyra M.: Kinematyka układów wieloczłonowych. Metody obliczeniowe. WNT, 2008.
2. Wojtyra M, Frączek J.: Metoda układów wieloczłonowych w dynamice mechanizmów. Ćwiczenia z zastosowaniem programu ADAMS. OWPW, 2007.
3. Nikravesh P.E.: Computer-Aided Analysis of Mechanical Systems. Prentice Hall, 1988.
4. Haug E.J.: Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems. Volume I: Basic Methods, Allyn and Bacon, 1989.
5. Garcia de Jalon J., Bayo E.: Kinematic and Dynamic Simulation of Multibody Systems. Springer-Verlag, 1994.
Dodatkowa literatura: materiały na stronie http://tmr.meil.pw.edu.pl (zakładka Dla Studentów).

**Witryna www przedmiotu:**

http://tmr.meil.pw.edu.pl/web/Dydaktyka/Prowadzone-przedmioty/Dynamika-ukladow-wieloczlonowych-II/Materialy-DUW-II

**Uwagi:**

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka ML.NK492\_W1:**

 Ma uporządkowaną wiedzę na temat analizy i opisu drgań układów mechanicznych w dziedzinie czasu i częstotliwości.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

**Charakterystyka ML.NK492\_W1:**

 Ma uporządkowaną wiedzę na temat analizy i opisu drgań układów mechanicznych w dziedzinie czasu i częstotliwości.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka ML.NK492\_W1:**

 Ma uporządkowaną wiedzę na temat analizy i opisu drgań układów mechanicznych w dziedzinie czasu i częstotliwości.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka ML.NK492\_W2:**

 Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie formułowania równań ruchu złożonych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka ML.NK492\_W2:**

 Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie formułowania równań ruchu złożonych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

**Charakterystyka ML.NK492\_W2:**

 Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie formułowania równań ruchu złożonych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka ML.NK492\_W3:**

 Zna podstawowe metody całkowania równań ruchu układów sztywnych i odkształcalnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka ML.NK492\_W3:**

 Zna podstawowe metody całkowania równań ruchu układów sztywnych i odkształcalnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

**Charakterystyka ML.NK492\_W3:**

 Zna podstawowe metody całkowania równań ruchu układów sztywnych i odkształcalnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka ML.NK492\_W4:**

 Ma podstawową wiedzę na temat formułowania równań ruchu wieloczłonowych układów odkształcalnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

**Charakterystyka ML.NK492\_W4:**

 Ma podstawową wiedzę na temat formułowania równań ruchu wieloczłonowych układów odkształcalnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka ML.NK492\_W4:**

 Ma podstawową wiedzę na temat formułowania równań ruchu wieloczłonowych układów odkształcalnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_W09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka ML.NK492\_U1:**

 Potrafi przeprowadzić analizę modalną prostych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UK

**Charakterystyka ML.NK492\_U1:**

 Potrafi przeprowadzić analizę modalną prostych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U1:**

 Potrafi przeprowadzić analizę modalną prostych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U1:**

 Potrafi przeprowadzić analizę modalną prostych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P8S\_UW, III.P6S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U1:**

 Potrafi przeprowadzić analizę modalną prostych układów mechanicznych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U2:**

 Potrafi zastosować metody syntezy modalnej do rozwiązania równań ruchu struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U2:**

 Potrafi zastosować metody syntezy modalnej do rozwiązania równań ruchu struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UK

**Charakterystyka ML.NK492\_U2:**

 Potrafi zastosować metody syntezy modalnej do rozwiązania równań ruchu struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U2:**

 Potrafi zastosować metody syntezy modalnej do rozwiązania równań ruchu struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U2:**

 Potrafi zastosować metody syntezy modalnej do rozwiązania równań ruchu struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P8S\_UW, III.P6S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U3:**

 Potrafi zinterpretować wyniki w analizie modalnej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UK

**Charakterystyka ML.NK492\_U3:**

 Potrafi zinterpretować wyniki w analizie modalnej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U3:**

 Potrafi zinterpretować wyniki w analizie modalnej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U3:**

 Potrafi zinterpretować wyniki w analizie modalnej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P8S\_UW, III.P6S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U3:**

 Potrafi zinterpretować wyniki w analizie modalnej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U4:**

 Potrafi dobrać algorytm całkowania równań ruchu w analizie dynamicznej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U4:**

 Potrafi dobrać algorytm całkowania równań ruchu w analizie dynamicznej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UK

**Charakterystyka ML.NK492\_U4:**

 Potrafi dobrać algorytm całkowania równań ruchu w analizie dynamicznej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U4:**

 Potrafi dobrać algorytm całkowania równań ruchu w analizie dynamicznej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U4:**

 Potrafi dobrać algorytm całkowania równań ruchu w analizie dynamicznej struktur.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P8S\_UW, III.P6S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U5:**

 Potrafi zamodelować układ mechatroniczny we współdziałaniu z układem sterowania w zadaniach robotyki z zastosowaniem pakietów komercyjnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UK

**Charakterystyka ML.NK492\_U5:**

 Potrafi zamodelować układ mechatroniczny we współdziałaniu z układem sterowania w zadaniach robotyki z zastosowaniem pakietów komercyjnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U5:**

 Potrafi zamodelować układ mechatroniczny we współdziałaniu z układem sterowania w zadaniach robotyki z zastosowaniem pakietów komercyjnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U5:**

 Potrafi zamodelować układ mechatroniczny we współdziałaniu z układem sterowania w zadaniach robotyki z zastosowaniem pakietów komercyjnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P8S\_UW, III.P6S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U5:**

 Potrafi zamodelować układ mechatroniczny we współdziałaniu z układem sterowania w zadaniach robotyki z zastosowaniem pakietów komercyjnych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U6:**

 Potrafi przeprowadzić analizę dynamiki układu wieloczłonowego z członami sztywnymi i odkształcalnymi z zastosowaniem profesjonalnych pakietów obliczeniowych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U6:**

 Potrafi przeprowadzić analizę dynamiki układu wieloczłonowego z członami sztywnymi i odkształcalnymi z zastosowaniem profesjonalnych pakietów obliczeniowych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UK

**Charakterystyka ML.NK492\_U6:**

 Potrafi przeprowadzić analizę dynamiki układu wieloczłonowego z członami sztywnymi i odkształcalnymi z zastosowaniem profesjonalnych pakietów obliczeniowych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U6:**

 Potrafi przeprowadzić analizę dynamiki układu wieloczłonowego z członami sztywnymi i odkształcalnymi z zastosowaniem profesjonalnych pakietów obliczeniowych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka ML.NK492\_U6:**

 Potrafi przeprowadzić analizę dynamiki układu wieloczłonowego z członami sztywnymi i odkształcalnymi z zastosowaniem profesjonalnych pakietów obliczeniowych.

Weryfikacja:

Sprawdzian końcowy oraz ocena projektu obliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** AiR2\_U14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P8S\_UW, III.P6S\_UW.o