**Nazwa przedmiotu:**

Zaawansowane techniki pomiarowe topografii powierzchni

**Koordynator przedmiotu:**

prof. nzw. dr hab.inż. Sabina Żebrowska-Łucyk; prof. dr hab. inż. Zygmunt Rymuza; prof. nzw. dr hab. inż. Robert Sitnik; dr inż. Olga Iwasińska-Kowalska

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Mechatronika

**Grupa przedmiotów:**

Obowiązkowe

**Kod przedmiotu:**

ZTPm

**Semestr nominalny:**

1 / rok ak. 2019/2020

**Liczba punktów ECTS:**

4

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

1) Liczba godzin bezpośrednich 64, w tym:
a) wykład - 30
b) laboratorium - 30
c) egzamin - 2
d) konsultacje - 2
2) Praca własna studenta 40, w tym:
a) zapoznanie z literaturą i przygotowanie do egzaminu: 15
b) przygotowanie do zajęć laboratoryjnych: 10
c) opracowanie sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych: 15
Razem: 104 (4 ECTS)

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

1) Liczba godzin bezpośrednich 64, w tym:
a) wykład - 30
b) laboratorium - 30
c) egzamin - 2
d) konsultacje - 2
suma: 64 (2,5 ECTS)

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

O charakterze praktycznym:
a) zajęcia w laboratorium - 30
b) przygotowanie do zajęć laboratoryjnych - 10
c) pracowanie sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych - 20
Razem: 60 (2 ECTS)

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

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

**Wymagania wstępne:**

Wymagana jest znajomość treści zawartych w przedmiotach Podstawy techniki współrzędnościowej oraz Mikro- i makrogeometria powierzchni prowadzonych na studiach I stopnia na kierunku Mechatronika

**Limit liczby studentów:**

30

**Cel przedmiotu:**

Pogłębienie wiedzy na temat metod pomiaru odchyłek geometrycznych elementów w szerokim zakresie wymiarów i tolerancji oraz metod badania mikrostruktury i nanostruktury powierzchni, zwłaszcza elementów konstrukcyjnych wytwarzanych w przemyśle. Nabycie wiedzy i umiejętności związanych ze sprawdzaniem dokładności maszyn do pomiaru odchyłek kształtu oraz profilometrów. Umiejętność doboru metod i projektowania procedur pomiaru powierzchni wyrobów mechatronicznych. Umiejętność tworzenia algorytmów przetwarzania sygnałów reprezentujących odwzorowania powierzchni.

**Treści kształcenia:**

Wykłady

Techniki skanowania powierzchni i strategie pomiarowe. Elementy odniesienia Gaussa i Czebyszewa dla powierzchni nieciągłych i swobodnych. Dokładność obliczeń. Regresja wielomianami trygonometrycznymi i algebraicznymi. Funkcja korelacji wzajemnej.
Najnowsze rozwiązania stosowane w maszynach do pomiarów bezodniesie¬niowych (FMM). Błędy pomiaru i ich numeryczna kompensacja. Nieliniowość przetworników pomiarowych. Wpływ temperatury, nacisku mierniczego, geometrii końcówki pomiarowej i strategii pomiaru. Niepewność pomiarów odchyłek geometrycznych: źródła niepewności pomiarów wykonywanych za pomocą FMM, przykłady tworzenia bilansu niepewności. Metody i procedury sprawdzania dokładności FMM. Sprawdzanie właściwości statycznych i dynamicznych głowicy pomiarowej. Sprawdzanie dokładności obrotu osi. Metody odseparowania błędów wrzeciona i wzorca: metoda Donaldsona, metoda rewersyjna, metoda dwóch ustawień wzorca, metoda rozetowa. Sprawdzanie prostoliniowości i równoległości prowadnic. Sprawdzanie płaskości stołu. Pomiary odchyłek geometrycznych elementów o najwyższej precyzji (elementy toczne łożysk, wzorce kulistości i walcowości, elementy miniaturowe). Procedury i algorytmy dokładnego wyznaczania odchyłek kierunku i położenia. Badania geometrii powierzchni o zmiennej krzywiźnie. Sprawdzanie tolerancji zarysu i tolerancji powierzchni. Kompleksowe pomiary wymiarów i odchyłek geometrycznych za pomocą FMM. Porównanie z pomiarami za pomocą CMM.
Zaawansowane metody pomiarów odniesieniowych z wykorzystaniem prostego i odwrotnego przekształcenia Fouriera. Algorytmy obliczeniowe i realizacja sprzętowa.
Parametryczna ocena mi¬krogeometrii i falistości powierzchni. Parametry związane z krzywą udziału materiałowego, parametry do oceny topografii powierzchni metodą 3D, parametry statystyczne.
Metody analizy i modelowania mikrogeometrii powierzchni. Analiza korelacyjna i widmowa profilu chropowatości i ich praktyczne zastosowanie do diagnozowania procesów wytwarzania. Aparatura do pomiaru topografii powierzchni metodą 3D. Charakterystyki metrologiczne, zasady działania i możliwości pomiarowe przyrządów do pomiarów stykowych i bezstykowych metodą 3D. Kierunki rozwoju. Wykorzystanie stereometrycznych pomiarów chropowatości do oceny cech użytkowych powierzchni.
Filtracja sygnałów w pomiarach topografii powierzchni. Filtry mechaniczne (ostrze odwzorowujące, ślizgacz), filtry analogowe i cyfrowe. Wpływ filtrów na odtworzenie profilu nierówności powierzchni. Charakterystyki przenoszenia filtrów cyfrowych. Źródła błędów w pomiarach mikrogeometrii powierzchni. Wpływ ostrza odwzorowującego, ślizgacza, filtrów cyfrowych i warunków pomiaru na wiarygodność pomiarów chropowatości i falistości powierzchni. Zawartość protokółu pomiaru i interpretacja wyników. Zasada 16%. Sprawdzanie przyrządów do pomiaru mikrogeometrii powierzchni.
Wykorzystanie oświetlenia strukturalnego do wyznaczania kształtu obiektów o złożonej geometrii. Projekcja rastrów binarnych i modulowanych funkcjami ciągłymi, projekcja rastrów barwnych i szaro-odcieniowych. Metody korelacyjne. Przykłady działających systemów. Przetwarzanie danych uzyskanych ze skanera: filtracja, łączenie kierunków pomiarowych (z wykorzystaniem cech geometrycznych, barwy powierzchni i rozkładu wektorów normalnych), upraszczanie i tworzenie modeli geometrycznych.

Wybrane zagadnienia nanogeometrii powierzchni. Mikroskopia sił atomowych. Identyfikacja topografii i właściwości adhezyjnych powierzchni w skali nanometrowej. Skaningowy mikroskop tunelowy (STM) i mikroskop sił atomowych (AFM). Zastosowanie AFM do badania nanotopografii i właściwości adhezyjnych powierzchni. Identyfikacja właściwości nanotrybologicznych (z wykorzystaniem AFM) i nanomechanicznych powierzchni. Zastosowanie nanoindentacji do badania twardości i modułu sprężystości w warstwach ultracienkich.

Laboratorium

1. Badanie statycznych i dynamicznych właściwości czujników stosowanych w maszynach pomiarowych FMM przy wykorzystaniu specjalnego stanowiska oraz wzorców walcowych z płaskim ścięciem i wzorców eliptycznych.
2. Badania prostoliniowości i położenia prowadnic maszyn FMM przy wykorzystaniu wzorców walcowych i płaskich. Zastosowanie metody rewersyjnej.
3. Badanie dokładności precyzyjnych układów obrotowych metodą rewersyjną i metodą Donaldsona.
4. Badania wpływu mimośrodowowści, pochylenia osi elementu, wysokości pomiarowej oraz konfiguracji elementów czujnika na wyniki pomiaru wskazanych odchyłek kształtu, kierunku i położenia. Opracowanie bilansu niepewności pomiaru wskazanej odchyłki.
5. Programowanie automatycznych cykli pomiarowych na maszynie Talyrond 365. Opracowanie programu pomiarowego w środowisku Ultra do wyznaczania odchyłek kształtu, kierunku i położenia dla wskazanego elementu, zgodnie z wymaganiami dokumentacji konstrukcyjnej.
6. Badania topografii powierzchni profilometrem stykowym Form Talysurf PGI
7. Badania topografii powierzchni mikrointerferometrem Taylor Hobson Talysurf CCI
8. Pomiary elementów o złożonej geometrii na konturografie PCV–Mahr
9. Opracowanie procedury sprawdzania przyrządów profilometrycznych i sprawdzenie wybranych parametrów metrologicznych profilometrów
10. Specyfikacje geometrii powierzchni (GPS) zgodnie z wymaganiami ISO i ANSI
– ćwiczenia w interpretacji i przedstawianiu wymagań technicznych
11. Kalibracja i pomiar skanerem 3D wykorzystującym metodę z oświetleniem strukturalnym.
12. Analiza danych ze skanera 3D: filtracja, łączenie kierunków, triangulacja i teksturowanie.
13. Identyfikacja nanotopografii i właściwości adhezyjnych powierzchni w skali nanometrowej.
14. Identyfikacja właściwości nanotrybologicznych i nanomechanicznych powierzchni.

**Metody oceny:**

Egzamin pisemny.
Sprawdziany pisemne lub ustne przed rozpoczęciem zajęć laboratoryjnych.
Ocena poziomu wykonania ćwiczeń laboratoryjnych i jakości sprawozdań.

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

Adamczak S.: Pomiary geometryczne powierzchni. WNT, 2008.
Arendarski J.: Niepewność pomiarów. Oficyna Wydawnicza PW, 2013.
Arendarski J., Gliwa-Gliwiński J., Jabłoński Z., Ratajczyk E., Tomasik J.(redakcja), Żebrowska-Łucyk S.: Sprawdzanie przyrządów do pomiaru długości i kąta. Oficyna Wydawnicza PW, 2009.
Dietrich E.: Metody statystyczne w kwalifikacji środków pomiarowych, maszyn i procesów produkcyjnych. 2005
Geng J.: Structured-light 3D surface imaging: a tutorial, Advances in Optics and Photonics 3, 128-160, 2011.
Humienny Z. i in.: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Podręcznik europejski. WNT, 2004
Liubimov V., Oczoś K.: Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2003
Malinowski J., Jakubiec W.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, 2007
Piotrowski J., Kostyrko K.: Wzorcowanie aparatury pomiarowej. PWN, 2000
Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2005
Sitnik R.: Odwzorowanie kształtu obiektów trójwymiarowych z wykorzystaniem oświetlenia strukturalnego, Oficyna Wydawnicza PW, Prace Naukowe – Mechanika, z. 231, Warszawa, 2010
Wieczorowski M., Cellary A., Chajda J.: Przewodnik po pomiarach nierówności powierzchni czyli o chropowatości i nie tylko. Politechnika Poznańska. Poznań, 2003
Żebrowska-Łucyk S.: Bezodniesieniowa metoda badania makrogeometrii powierzchni obrotowych. Oficyna Wydawnicza PW, 2001
Normy PN-EN ISO: 1101, 3274, 8015, 12180-1, 12180-2, 12181-1, 12181-2, 12780-1, 12780-2, 12781-1, 12781-2, 14253-1, 14253-2, 14253-3, 14405-1,14405-2, 14406, 14660-2, 17450-1, 17450-2, 2692, 4287, 5436-1, 5436-2, 5458, 12179, 13565
Inne normy ISO objęte modelem macierzowym GPS

**Witryna www przedmiotu:**

brak

**Uwagi:**

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka ZTPTP\_W01:**

Ma pogłębioną wiedzę z zakresu metod i urządzeń do badania makro- i mikrostruktury powierzchni

Weryfikacja:

Egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W10, K\_W13, K\_W07, K\_W08

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

**Charakterystyka ZTPTP\_W02 :**

Ma wiedzę na temat wykorzystania metod optycznych do badania kształtu i wymiarów powierzchni elementów o złożonej geometrii.

Weryfikacja:

Egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W08, K\_W10

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

**Charakterystyka ZTPTP\_W03 :**

Ma wiedzę na temat podstawowych zagadnień dotyczących nanostruktury powierzchni oraz metod i urządzeń do ich badania.

Weryfikacja:

Egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W08, K\_W10, K\_W14

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

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka ZTPTP\_U01:**

Potrafi dobrać metody, procedury i wzorce do sprawdzania dokładności urządzeń do pomiarów odchyłek geometrycznych, a także przeprowadzić kalibrację i dokonać pogłębionej analizy wyników.

Weryfikacja:

Ocena poprawności wykonania zadań w laboratorium i jakości sprawozdań z ćwiczeń.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U08, K\_U13

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

**Charakterystyka ZTPTP\_U02:**

Potrafi zaplanować i wykonać pomiary za pomocą nowoczesnych oraz konturografów i profilometrów oraz zanalizować uzyskane wyniki w aspekcie technologicznym i eksploatacyjnym

Weryfikacja:

Ocena poprawności wykonania zadań w laboratorium i jakości sprawozdań z ćwiczeń.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U17, K\_U07, K\_U08

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

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka ZTPTP\_K01:**

Potrafi pracować w zespole podczas planowania zadań, przeprowadzania eksperymentu fizycznego i wnioskowania

Weryfikacja:

Ocena przebiegu zajęć laboratoryjnych i uzyskanych wyników

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_K04

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_K, I.P7S\_KO, I.P7S\_KR