**Nazwa przedmiotu:**

Skaningowe metody pomiarów współrzędnościowych

**Koordynator przedmiotu:**

dr hab. inż. Adam Woźniak, prof. nzw. PW

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Mechatronika

**Grupa przedmiotów:**

Obowiązkowe

**Kod przedmiotu:**

SMPW

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2016/2017

**Liczba punktów ECTS:**

5

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

1) Liczba godzin bezpośrednich 50, w tym:
a) wykład - 15
b) ćwiczenia w laboratorium - 30
c) konsultacje - 3
d) egzamin - 2
2) Praca własna studenta 80, w tym:
a) przygotowanie do zajęć laboratoryjnych - 30
b) zapoznanie zliteraturą - 10
c) opracowanie sprawozdań - 30
d) przygotowanie do egzaminu - 10
RAZEM 130 (5 ECTS)

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

1) Liczba godzin bezpośrednich 50, w tym:
a) wykład - 15
b) ćwiczenia w laboratorium - 30
c) konsultacje - 3
d) egzamin - 2
suma 50 (2 ECTS)

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

O charakterze praktycznym:
a) ćwiczenia w laboratorium- 30
b) przygotowanie do zajęć laboratoryjnych 30
c) opracowanie sprawozdań 30
suma: 90 (3 ECTS)

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

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład: | 225h |
| Ćwiczenia: | 0h |
| Laboratorium: | 450h |
| Projekt: | 0h |
| Lekcje komputerowe: | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Wymagana jest znajomość podstaw z: matematyki, fizyki, konstrukcji zespołów i urządzeń mechatroniki oraz metrologii ogólnej i technicznej, podstaw technik wytwarzania oraz podstaw automatyki, robotyki i informatyki.

**Limit liczby studentów:**

25

**Cel przedmiotu:**

Opanowanie wiedzy rozszerzonej w obszarze współrzędnościowej techniki pomiarowej. W szczególności znajomość zagadnień związanych z skaningowymi technikami pomiarowymi stosowanymi w przemyśle maszynowym, precyzyjnym, motoryzacyjnym i lotniczym. Znajomość parametrów metrologicznych głowic skaningowych, oraz procedur obliczeniowych stosowanych w programach komputerowych stosowanych do sterowania pomiarem oraz akwizycji i wizualizacji wyników pomiaru. Umiejętność analizy oraz minimalizacji głównych błędów pomiaru skaningowego.

**Treści kształcenia:**

Wykład:
1. Wprowadzenie do skaningowej techniki współrzędnościowej Krótkie przypomnienie budowy i zasady działania współrzędnościowych maszyn pomiarowych z ukierunkowaniem na maszyny pracujące w trybie skaningowym. Główne zespoły i ich funkcje. Układy kinematyczne maszyn i ich rodzaje. Cyfrowe układy pomiarowe (rodzaje i dokładności). Procedury pomiarowe. Dokładność współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Potrzeba pomiarów skaningowych. Cechy pomiarów skaningowych.
2. Skaningowe głowice pomiarowe Podział skaningowych głowic pomiarowych na aktywne i pasywne. Porównanie budowy i parametrów metrologicznych. Metody sterowania. Przetworniki stosowane w skaningowych głowicach pomiarowych. Rodzaje konstrukcji. Parametry funkcyjne i dokładnościowe. Zabezpieczenia przed kolizją. Przykłady zastosowań głowic skaningowych. Przegląd budowy oraz parametrów metrologicznych różnych typów głowic skaningowych, np.: VAST Gold (Zeiss), VAST XXT (Zeiss), MPP-300 (Miutoyo), SP25 (Renishaw), SP80 (Renishaw).
3. Konfiguracja głowic skaningowych i optymalizacja parametrów skanowania Konfiguracja głowic skaningowych: mocowanie w pinoli, współpraca z przegubami obrotowo-uchylnymi, konfiguracja trzpieni pomiarowych. Magazynki i systemy automatycznej wymiany trzpieni, głowic pomiarowych lub ich modułów.
4. Zaawansowane techniki skaningowe Wpływ dynamiki pomiaru na proces skanowania. Drgania. Właściwości błędów dynamicznych. Korekcja błędu dynamicznego skaningowej głowicy pomiarowej. Zaawansowane techniki skaningowe na przykładzie Renscan DC firmy Renishaw oraz Calypso Vast Navigator firmy Zeiss: zasada działania, przykładowe wyniki. Skanowanie adaptacyjne. Filtrowanie harmoniczne. Filtrowanie dla zredukowania liczby danych pomiarowych uzyskanych podczas digitalizacji. Integrator dynamiczny dla szybkiego i precyzyjnego pozycjonowania. REVO Renscan 5 – zasada działania i kalibracji.
5. Kalibracja skaningowej głowicy pomiarowej Procedury kalibracyjne dla skaningowych głowic pomiarowych pasywnych i aktywnych. Wzorce stosowane do kalibracji skaningowych głowic pomiarowych.
6. Procedury korekcji promienia końcówki pomiarowej Istota wyznaczania punktów pomiarowych skorygowanych na podstawie punktów pomiarowych zaobserwowanych. Metody obliczania wektora korekcji: na podstawie informacji z przetworników siły głowic aktywnych, na podstawie modelu CAD elementu mierzonego, na podstawie kierunku pomiaru punktu, na podstawie wzajemnego położenia punktów pomiarowych zaobserwowanych (metody punktów sąsiednich, zastosowanie krzywych B-Spline) i inne. Problemy związane z korekcją promienia końcówki pomiarowej. Przykłady złej korekcji.
7. Badanie dokładności skaningowych głowic pomiarowych Zalecenia norm: ISO 10360, VDI/VDE oraz ANSI/ASME. Inne metody badania dokładności głowic skaningowych z zastosowaniem wzorców kształtowych. Badanie charakterystyk statycznych przy pomocy czujników wzorcowych. Badanie charakterystyk dynamicznych przy pomocy piezoelektrycznego symulatora powierzchni. Parametry opisujące dokładność głowic skaningowych: błąd głowicy pomiarowej skaningowej Tij. Maksymalny dopuszczalny błąd głowicy pomiarowej skaningowej MPETij
8. Strategia pomiarów skaningowych Rodzaje strategii pomiaru skaningowego typowych elementów oraz powierzchni o nieznanym kształcie. Optymalizacja: nacisku pomiarowego, prędkości pomiarowej, kroku próbkowania oraz innych parametrów skanowania. Układy bazowe. Inne metody skanowania.
Laboratorium:
1. Projektowanie procesu pomiaru skaningowego Studenci opracowują projekt procesu pomiarowego wybranego elementu przy zastosowaniu oprogramowania CALYPSO w trybie off-line oraz na maszynie współrzędnościowej.
2. Pomiary skaningowe znanej i nieznanej powierzchni Studenci przeprowadzają pomiary skaningowe wybranej powierzchni w dwóch trybach 1) jako powierzchnia zdefiniowana modelem, 2) jako powierzchnia nieznana. Zmieniane są przy tym parametry skaningu tj.: prędkość pomiarowa i krok próbkowania. Analizują i porównują otrzymane wyniki.
3. Badanie wpływu metody korekcji promienia końcówki na wynik pomiaru Studenci mierzą wybrane powierzchnie w trybie skaningowym przy pomocy głowicy aktywnej. Następnie przeprowadzają korekcję promienia końcówki pomiarowej stosując różne metody, tj.: korekcja na podstawie informacji z przetworników siły, korekcja na podstawie modelu CAD elementu mierzonego, korekcja na podstawie wzajemnego położenia punktów pomiarowych zaobserwowanych (metody punktów sąsiednich, zastosowanie krzywych B-Spline) i inne. Wyniki są porównywane.
4. Badanie dokładności głowic skaningowych wg wytycznych ISO 10360 Studenci przeprowadzają badania dokładności dwóch głowic skaningowych Vast Gold oraz Vast XXT wg wytycznych ISO 10360. Wyznaczany jest błąd głowicy pomiarowej skaningowej Tij. I następnie porównywany z maksymalnym dopuszczalnym błędem głowicy pomiarowej skaningowej MPETij.
5. Pomiary skaningowe w konfiguracji z głowicą obrotowo-uchylną oraz z ustalonym zespołem wielotrzpieniowym Studenci badają dokładność pomiaru skaningowego przy pomocy dwóch głowic: Vast XXT w konfiguracji z głowicą obrotowo-uchylną RDS oraz z Vast Gold z ustalonym zespołem wielotrzpieniowym. Studenci analizują wyniki pomiarów i porównują z wynikami wg wytycznych ISO 10360.
6. Pomiary bezstykowe Studenci opracowują projekt procesu pomiarowego oraz wykonują pomiar wybranego elementu na maszynie współrzędnościowej wyposażonej w bezstykową głowicę pomiarową Viscan. Zmieniane są przy tym parametry pomiaru. Następnie studenci analizują i porównują otrzymane wyniki.
7. Zaawansowane techniki skaningowe Studenci przeprowadzają pomiary skaningowe wybranych powierzchni w dwóch trybach 1) z zastosowaniem zaawansowanej techniki skaningowej Calypso VAST Navigator oraz, 2) w trybie normalnego skaningu. Pomiary są powtarzane dla kilku poziomów prędkości pomiarowej. Studenci analizują i porównują otrzymane wyniki.

**Metody oceny:**

Egzamin oraz na podstawie ocen z zaliczenia ćwiczeń laboratoryjnych

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

1. Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa; Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
2. PN-EN ISO 10360: Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS). Badania odbiorcze i okresowe współrzędnościowych maszyn pomiarowych (CMM). 2003.
3. VDI/VDE 2617: Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten; Kenngrößen und deren Prüfung, 1986-1993, VDI-Verlag.
4. ANSI/ASME B89.1.12M: Methods for Performance Evaluation of Coordinate Measuring Machines; American Society for Mechanical Engineering, New York, 1990.
5. Morse EP.: Artifact selection and its role in scanning probes evaluation; The UNC of Carolina at Charlotte, USA, 2002.
6. Woźniak A.: New method for testing the dynamic performance of CMM scanning probes. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vo. 56, No. 6, December, 2007, pp. 2767-2774
7. Woźniak A., Mayer R., Cote M.: Problemy związane z korekcją promienia końcówki pomiarowej podczas skaningowych pomiarów współrzędnościowych. Pomiary Automatyka Kontrola, 9/2007, s. 485-488.
8. Liang S R and Lin A C 2002 Probe-radius compensation for 3D data points in reverse engineering Computers in industry 48 241-51
9. Xiong Z. and Li Z 2003 Probe radius compensation of workpiece localization Journal of Manufacturing Science and Engineering 125 100-104
10. www.renishaw.com
11. www.zeiss.de
12. www.mitutoyo.com

**Witryna www przedmiotu:**

http://zmiij.mchtr.pw.edu.pl/lista\_przed.php?subj=4&page=5

**Uwagi:**

## Efekty przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Efekt SMPW\_W01:**

Ma pogłębioną wiedzę w zakresie analizy, wizualizacji i archiwizacji wyników pomiarów z użyciem współrzędnościowej techniki pomiarowej.

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W05, K\_W06, K\_W07

**Powiązane efekty obszarowe:** T2A\_W03, T2A\_W03, T2A\_W04, T2A\_W03, T2A\_W04

**Efekt SMPW\_W02:**

Ma pogłębioną wiedzę na temat budowy i zasady działania przetworników opto-elektronicznych stosowanych w głowicach pomiarowych maszyn współrzędnościowych.

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_W08

**Powiązane efekty obszarowe:** T2A\_W03, T2A\_W04

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Efekt SMPW\_U01:**

Potrafi zaplanować i przeprowadzić zadania pomiarowe wielkości geometrycznych części maszyn i urządzeń oraz prawidłowo zinterpretować wyniki

Weryfikacja:

zaliczenie ćwiczeń w laboratorium

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U08, K\_U13, K\_U16

**Powiązane efekty obszarowe:** T2A\_U08, T2A\_U11, T2A\_U17, T2A\_U18, T2A\_U17, T2A\_U19

**Efekt SMPW\_U02:**

Zna metody oceny poprawności wyników pomiaru oraz główne źródła błędów związanych z narzędziem pomiarowym.

Weryfikacja:

zaliczenie ćwiczeń w laboratorium

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_U08, K\_U09, K\_U13

**Powiązane efekty obszarowe:** T2A\_U08, T2A\_U11, T2A\_U07, T2A\_U08, T2A\_U17, T2A\_U18

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Efekt SMPW\_K01:**

Rozumie potrzebę ciągłego doskonalenia w zakresie kompetencji związanych z przyrządami pomiarowymi i szeroko rozumianą inżynierią jakości.

Weryfikacja:

zaliczenie ćwiczeń w laboratorium

**Powiązane efekty kierunkowe:** K\_K01

**Powiązane efekty obszarowe:** T2A\_K01