

**KARTA PRZEDMIOTU OFEROWANEGO W SZKOLE DOKTORSKIEJ**

Kod przedmiotu	4606-PS-00ADFGH-0231	Nazwa przedmiotu	w j. polskim	Nowoczesne metody specyfikacji geometrii wyrobów		
			w j. angielskim	Modern methods for geometrical product specifications		
Przynależność do grupy przedmiotów	przedmioty specjalnościowe					
Koordinator przedmiotu	dr hab. inż. Zbigniew Humienny					
Jednostka realizująca	Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych	Dyscyplina/y naukowa*	Inżynieria mechaniczna; Inżynieria materiałowa; Inżynieria biomedyczna; Inżynieria lądowa, geodezja i transport; Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne			
Poziom kształcenia	Kształcenie doktorantów	Semestr	zimowy/ <del>letni</del>			
Język zajęć	polski					
Forma zaliczenia:	zaliczenie na ocenę	Sumaryczna liczba godzin w semestrze	30	Sumaryczna liczba ECTS	2	
Minimalna liczba uczestników	12	Maksymalna liczba uczestników	15	Dostępność dla studentów	Tak/ <del>Nie</del>	
Typ zajęć		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia projektowe	Laboratorium	Seminarium
Liczba godzin zajęć	tygodniowo	2				
	łącznie w semestrze	30				

\* nie dotyczy warsztatu badacza

**1. Wymagania wstępne**

Studia ukończone na kierunku mechanika i budowa maszyn, mechatronika lub równoważne (Inżynieria materiałowa; Inżynieria biomedyczna; Inżynieria lądowa i transport; Automatyka, elektronika i elektrotechnika).

**2. Cele przedmiotu**

Celem przedmiotu jest zdobycie wiedzy, umiejętności i kompetencji niezbędnych do:

- specyfikacji na rysunkach konstrukcyjnych wyrobów oznaczeń tolerancji geometrycznych i wymiarowych pozwalających określić na ile geometria wykonanego wyrobu może odbiegać od geometrii nominalnej, aby wyrób działał zgodnie z oczekiwaniami konstruktora;
- analizy semantycznej typowych i złożonych wymagań geometryczno-wymiarowych podanych w dokumentacji technicznej wyrobów co jest konieczne do właściwego projektowania, wytwarzania i weryfikacji geometrii wyrobów;
- zdefiniowania potrzeb i kierunków rozwoju metod specyfikacji geometrii wyrobów, w szczególności redagowania propozycji zmian i uzupełnień w normach międzynarodowych, w których zdefiniowano system specyfikacji geometrii wyrobów ISO GPS;
- zrozumienia, że normy systemu ISO GPS powinny być pisane i użytkowane jako zbiory reguł;
- systematycznego podejścia do oceny poprawności i jednoznaczności tolerancji geometryczno-wymiarowych wyspecyfikowanych na rysunkach konstrukcyjnych otrzymanych od partnerów biznesowych;
- projektowania sprawdzianów funkcjonalnych;
- określenia koncepcji weryfikacji wymagań geometryczno-wymiarowych podanych w dokumentacji technicznej wyrobów.

**3. Treści programowe (dla każdego typu zajęć oddzielnie)**

**Wykład**

1. Rola tolerancji geometrycznych w zapewnieniu spełnienia wymagań funkcjonalnych określonych dla wyrobu. Wymaganie funkcjonalne -> specyfikacja funkcjonalna -> specyfikacja geometryczna. Niejednoznaczność specyfikacji geometrii wyrobów za pomocą wymiarów nominalnych z odchyłkami granicznymi. Aktualna koncepcja opracowania nowych norm systemu specyfikacji geometrii wyrobów ISO GPS – norma jako zbiór uniwersalnych reguł nie zbiór przykładowych rysunków z oznaczeniami tolerancji, które konstruktor ekstrapoluje/interpoluje na potrzeby własnego rysunku. Normy międzynarodowe systemu ISO GPS (ISO

- 8015, ISO 1101, ISO 1660, ISO 5458, ISO 2692, ISO 5459, ...) i normy amerykańskie ASME Y14.5 oraz ASME Y14.5.1.
2. Element wymiarowalny. Domyślna dwupunktowa interpretacja wymiaru wg ISO i modyfikator E (wymaganie powłoki) określający dwa warunki, ISO 14405-1, ISO 286. Domyślna interpretacja wymiaru wg ASME Y14.5 i modyfikator Independency. Wykorzystanie modyfikatorów CT (element wymiarowalny o wspólnej tolerancji) oraz UF (element scalony) do definiowania jednego elementu wymiarowanego. Operatory specyfikacji wymiaru liniowego wewnętrznego lub zewnętrznego dla elementów wymiarowanych wg ISO 14405-1 (GG, GN, GX, GC, SA, SM, LP, LS, ...).
  3. Zasady systemu ISO GPS (ISO 8015). Podział tolerancji geometrycznych (ISO 1101). Symbole rysunkowe. Oznaczenie tolerancji, oznaczenie przyległe i oznaczenie płaszczyzny/elementu. Oznaczenie bazy. Modele geometryczne wyrobu – element nominalny, zaobserwowany i skojarzony. Identyfikacja elementu integralnego/pochodnego jako elementu tolerowanego/bazowego.
  4. Tolerancje kształtu: prostoliniowości, płaskości, okrągłości i walcowości. Relacje między tolerancjami kształtu. Parametry i źródła błędów pomiarów techniką współrzędnościową na przykładzie pomiarów odchyłek kształtu. Parametry pomiarów odchyłek kształtu. Filtracja i elementy odniesienia (G, C, N, X). Tolerancje kształtu ze polem tolerancji łączonym – CZ. Tolerancje kształtu w obszarze cząstkowym. Tolerancja prostoliniowości osi z wymaganiami maksimum materiału.
  5. Baza, element bazowy, odwzorowanie bazy. Baza pojedyncza (prosta, płaszczyzna), bazy cząstkowe, układy baz, baza wspólna (ISO 5459). Skutki ustalenia kolejności baz. Funkcjonalny wybór więzów dla bazy drugorzędnej względem bazy głównej. Funkcjonalny wybór więzów dla bazy trzeciorzędnej względem bazy głównej i drugorzędnej. Wyznaczanie elementów bazowych w pomiarach na współrzędnościowej maszynie pomiarowej.
  6. Tolerancje kierunku: prostopadłości, równoległości i nachylenia elementu pochodnego (osi/płaszczyzny) oraz elementu integralnego (płaszczyzny). Tolerancje elementu skojarzonego oznaczonego modyfikatorami T, X, N, G, C. Tolerancje kierunku ze polem tolerancji łączonym – CZ. Wielowierszowe oznaczenie tolerancji (kierunek i kształt). Dodatkowe więzy dla pola tolerancji kierunku wprowadzone przez bazę drugorzędną. Wymiary kątowe teoretycznie dokładne.
  7. Tolerancje pozycji elementów pochodnych (punktów, osi, płaszczyzn symetrii) oraz elementu integralnego płaszczyzny. Tolerancje pozycji szyku prostokątnego/kołowego otworów: bez bazy, z jedną bazą, z układem dwóch baz i układem trzech baz (ISO 5458). Wymiary teoretycznie dokładne. Tolerancja pozycji z wieloma oznaczeniami tolerancji. Modyfikatory CZ (pole łączone), SZ (pola oddzielne) oraz >< (więzy tylko dla kierunku) dla tolerancji pozycji szyku otworów. Oznaczenie pojedyncze wieloszczelbowe (wydzielone podszyki w szyku otworów). Modyfikator SIM (wymaganie równoczesne). Tolerancje współosiowości względem pojedynczej osi, osi wspólnej oraz układu baz. Tolerancje symetrii względem pojedynczej bazy i układu baz. Ograniczenie odchyłek kierunku i kształtu przez tolerancje położenia.
  8. Tolerancje profilu linii/powierzchni z bazą / bez bazy (ISO 1660). Tolerancje profilu linii/powierzchni jako tolerancje ograniczające wymiary oraz odchyłki kształtu, kierunku i położenia. Analogie między tolerowaniem podstawowych prymitywów geometrycznych (płaszczyzna, walec), a tolerowaniem powierzchni o złożonej geometrii. Element teoretycznie dokładny. Modyfikator UF – element scalony. Tolerowanie stożków. Modyfikator dookoła. Modyfikator UZ – asymetrycznie usytuowane pole tolerancji. Modyfikator OZ – niewyspecyfikowane liniowe przesunięcie pola tolerancji. Tolerancje profilu linii/powierzchni dla szyku elementów. Symbol pomiędzy. Modyfikator ><. Tolerancja profilu linii 2D i tolerancja profilu linii 3D.
  9. Wymagania: maksimum materiału (MMR), minimum materiału (LMR) i wzajemności (RPR) – ISO 2692. Tolerancje prostopadłości, pozycji, współosiowości i symetrii z MMR. Tolerancje pozycji pojedynczych otworów i szyku otworów prostokątnego/współosiowego/kołowego z MMR. Przyrost tolerancji pozycji, gdy element tolerowany nie jest w stanie maksimum materiału (MMC); w stanie minimum materiału (LMC) dla LMR. Wpływ odchyłki wymiaru elementu bazowego na rozszerzenie wartości tolerancji dla elementu tolerowanego. Tolerancja pozycji dla dwóch grup elementów rozpatrywanych niezależnie jako dwa szyki oraz połączonych w jeden szyk (wymaganie równoczesne – modyfikator SIM). Cele funkcjonalne stosowania modyfikatorów M i L. Zerowa wartość tolerancji dla MMR i LMR, a modyfikator wzajemności RPR. Obliczanie wymiarów sprawdzianów funkcjonalnych dla wymagania maksimum materiału.
  10. Tolerancje bicia obwodowego promieniowego, osiowego, normalnego. Funkcjonalny wybór układu baz dla tolerancji bicia obwodowego promieniowego. Tolerancje bicia całkowitego promieniowego i całkowitego osiowego. Tolerancja bicia promieniowego jako tolerancja ograniczająca odchyłki kształtu i położenia.
  11. Pole tolerancji zewnętrzne – zastosowanie: montaż z wykorzystaniem elementów złącznych. Tolerowanie przecinania się osi. Przesunięte zewnętrzne pole tolerancji.

12. Tolerowanie elementów nieszytywnych, gdy podczas pomiarów konieczne jest mocowanie wyrobów (ISO 10579).
13. Ogólne specyfikacje geometryczne i ogólne specyfikacje wymiarów zewnętrznych lub wewnętrznych (ISO 22081).
14. Wyzwania stojące przed opracowującymi nowe normy. Niejednoznaczności i niespójności w normach systemu ISO GPS. Procedura opracowania nowej normy międzynarodowej NPWI/WD/CD/DIS/FDIS.
Laboratorium

4. Efekty uczenia się			
Rodzaj efektu	Opis efektu uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się w SD PW	Sposób weryfikacji efektów uczenia*
Wiedza			
W01	Doktorant zdobędzie i usystematyzuje wiedzę o tym, iż w wyniku wytwarzania otrzymuje się wyroby z odchyłkami wymiaru, kształtu, kierunku, położenia oraz bicia zaś zadaniem konstruktora jest określenie tolerancji, tj. maksymalnych dopuszczalnych odchyłek, przy których wyrób spełnia założone wymagania funkcjonalne. Uświadomienie różnic w opisie wymagań zgodnie z systemem norm międzynarodowych ISO GPS oraz normą amerykańską ASME Y14.5.	SD_W2 SD_W3	ocena aktywności w trakcie zajęć kolokwium pisemne
W02	Doktorant pozyska wiedzę konieczną do zidentyfikowania oraz zdefiniowania potrzeb i kierunków rozwoju metod specyfikacji geometrii wyrobów, w szczególności redagowania propozycji zmian i uzupełnień w normach międzynarodowych, w których zdefiniowano system specyfikacji geometrii wyrobów ISO GPS,	SD_W2 SD_W3	ocena aktywności w trakcie zajęć kolokwium pisemne ocena prezentacji
W03	Doktorant pozna i zrozumie istotę wymagań definiowanych przez symbole tolerancji geometrycznych przyjęte w skali międzynarodowej oraz wybrane modyfikatory. Doktorant uzyska wiedzę, iż cyfryzacja i globalizacja wytwarzania wymaga kreowania norm międzynarodowych będących zbiorem jednoznacznych formalnie zdefiniowanych reguł określających zasady specyfikacji tolerancji geometrycznych.	SD_W2 SD_W3	ocena aktywności w trakcie zajęć
Umiejętności			
U01	Kompetencje do oceny poprawności dokumentacji technicznej wyrobu w zakresie tolerancji geometryczno-wymiarowych oraz stosowania (specyfikowania) w dokumentacji technicznej wyrobu tolerancji geometrycznych z modyfikatorem wymaganie maksimum materiału lub innymi modyfikatorami.	SD_U1 SD_U2 SD_U4	ocena aktywności w trakcie zajęć kolokwium pisemne
U02	Umiejętność właściwego dobrania i zaproponowania metody oraz przyrządów pomiarowych do weryfikacji wymagań geometryczno-wymiarowych.	SD_U1 SD_U4	ocena aktywności w trakcie zajęć kolokwium pisemne

U03	Umiejętność projektowania sprawdzianów funkcjonalnych dla tolerancji z wymaganiem maksimum materiału.	SD_U1 SD_U4	ocena aktywności w trakcie zajęć kolokwium pisemne
Kompetencje społeczne			
K01	Absolwent powinien być świadomy, iż system specyfikacji geometrii wyrobów ISO GPS jest przyjętym w skali międzynarodowej językiem zasad, reguł i symboli graficznych umożliwiającym komunikację i wymianę informacji między konstruktorami, technologami oraz metrologami pracującym wspólnie dla producentów wyrobów finalnych oraz ich dostawców w różnych lokalizacjach na całym świecie.	SD_K2 SD_K4	ocena aktywności w trakcie zajęć

\* dozwolone sposoby weryfikacji efektów uczenia się: egzamin; egzamin ustny; kolokwium pisemne; kolokwium ustne; ocena projektu; ocena sprawozdania; ocena raportu; ocena prezentacji; ocena aktywności w trakcie zajęć; prace domowe; test

## 5. Kryteria oceny

Wiedza i umiejętności słuchaczy oceniane są poprzez dwa kolokwia w 7 oraz 14 tygodniu zajęć. Każde z kolokwium oceniane jest w skali 2 do 5. Do zaliczenia przedmiotu wymagane jest zaliczenie obydwu kolokwium, tj. uzyskanie z każdego oceny minimum 3,0. Na ostatnich 15 zajęciach w razie potrzeby przewidziano możliwość poprawy jednego z kolokwium. Ocena końcowa jest średnią arytmetyczną. Ocena końcowa może być podwyższona o 0,5 na podstawie aktywności w czasie zajęć.

## 6. Literatura

### Literatura podstawowa:

- [1] Henzold G.: Geometrical dimensioning and tolerancing for design, manufacturing and inspection. A handbook for geometrical product specification using ISO and ASME standards. Butterworth-Heinemann, 2020.
- [2] Tornincasa S.: Technical drawing for product design. Mastering ISO GPS and ASME GD&T. Springer, 2020.
- [3] Paul J. Drake, Jr.: Dimensioning and Tolerancing Handbook. McGraw-Hill. New York 1999.
- [4] Humienny Z.: State of art in standardization in the geometrical product specification area a decade later CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v.33, p.42-51 (2021). DOI:10.1016/j.cirpj.2021.02.009.
- [5] Humienny Z.: Can ISO GPS and ASME Tolerancing Systems Define the Same Functional Requirements? Applied Sciences-Basel, 2021, vol. 11, nr 8269, s.1-21. DOI:10.3390/app11178269
- [6] Język specyfikacji geometrii wyrobów – tajemniczy i nieznan czy drugi język ojczysty każdego inżyniera? Humienny Zbigniew, Mechanik, 2020, vol. 93, nr 7, s.18-23. DOI:10.17814/mechanik.2020.7.14
- [7] Welcome to ISO/TC 213 <https://committee.iso.org/home/tc213>
- [8] Morse E. P., Shakarji C. M., Srinivasan V.: A brief analysis of recent ISO tolerancing standards and their potential impact on digitization of manufacturing. Procedia CIRP 75 (2018) p.11–18.
- [9] 16th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing (CIRP CAT 2020) Ed. by Edward Morse Volume 92, Pages 1-236 (2020)
- [10] ISO 1101:2017 Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out.
- [11] ISO 5458:2018 Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Pattern and combined geometrical specification.
- [12] ISO 1660:2017 Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Profile tolerancing.
- [13] ASME Y14.5-2018 Dimensioning and tolerancing. Engineering product definition and related documentation practices.

### Literatura uzupełniająca:

- [1] Białas S., Humienny Z., Kiszka K.: Metrologia z podstawami specyfikacji geometrii wyrobów (GPS). Ofic. Wyd. PW, 2021.

## 7. Nakład pracy doktoranta niezbędny do osiągnięcia efektów uczenia się\*\*

Lp.	Opis	Liczba godzin
-----	------	---------------

1	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim wynikające z planu.	30
2	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim w ramach konsultacji, egzaminów, sprawdzianów itp.	10
3	Godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do zajęć oraz opracowania sprawozdań, projektów, prezentacji, raportów, prac domowych.	10
4	Godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do egzaminu, sprawdzianu, zaliczenia.	10
<b>Sumaryczny nakład pracy doktoranta</b>		<b>60</b>
<b>Liczba punktów ECTS</b>		<b>2</b>

\*\* 1 ECTS pracy = 25-30 godzin nakładu pracy doktoranta (np. 2 ECTS = 60 godzin; 4 ECTS = 110 godzin)