

**AGH**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY

Nazwa modułu zajęć:	Miernictwo wibroakustyczne				
Rok akademicki:	2019/2020	Kod:	RIAK-1-405-s	Punkty ECTS:	3
Wydział:	Inżynierii Mechanicznej i Robotyki				
Kierunek:	Inżynieria Akustyczna	Specjalność:	—		
Poziom studiów:	Studia I stopnia	Forma studiów:	Stacjonarne		
Język wykładowy:	Polski	Profil:	Ogólnoakademicki (A)	Semestr:	4
Strona www:	<a href="http://upel.agh.edu.pl/wimir/course">http://upel.agh.edu.pl/wimir/course</a>				
Prowadzący moduł:	prof. nadzw. dr hab. inż. Wszótek Tadeusz (tadeusz.wszolek@agh.edu.pl)				

### Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć

Parametry mierzalne sygnałów akustycznych i drganiowych, dobór elementów toru pomiarowego i parametrów użytkowych w zakresie pomiarów widma FFT i stałoprocentowego w badaniach wibroakustycznych.

### Opis efektów uczenia się dla modułu zajęć

Kod MEU	Student, który zaliczył moduł zajęć zna i rozumie/potrafi/jest gotów do	Powiązania z KEU	Sposób weryfikacji i oceny efektów uczenia się osiągniętych przez studenta w ramach poszczególnych form zajęć i dla całego modułu zajęć
Wiedza: zna i rozumie			
M_W001	metrologię i metody pomiaru podstawowych wielkości akustycznych i drganiowych.	IAK1A_W08	Wynik testu zaliczeniowego, Kolokwium
M_W002	Najnowsze techniki pomiarowe, aparaturę stosowane w pomiarach sygnałów wibroakustycznych, opracowanie wyników wraz z oceną niepewności.	IAK1A_W03, IAK1A_W05	Kolokwium
Umiejętności: potrafi			
M_U001	jak sparametryzować mierzoną wielkość akustyczną i drganiową oraz dobrać elementy toru pomiarowego, zwłaszcza parametry mikrofonu i przetworników drgań z uwzględnieniem istniejących uwarunkowań metrologicznych oraz skalibrować tor pomiarowy.	IAK1A_U11, IAK1A_U05	Sprawozdanie

M_U002	jak dobrać metodę i wykonać pomiar czasu pogłosu w danych uwarunkowaniach lokalowych	IAK1A_U17	Sprawozdanie
M_U003	jak przeprowadzić pomiary widma sygnałów akustycznych i drganiowych w warunkach terenowych i w pomieszczeniach zamkniętych.	IAK1A_U17	Sprawozdanie
M_U004	Umie przetworzyć, opracować i ocenić otrzymane wyniki pomiarów drgań i hałasu, w tym obliczyć korekcję impulsową i tonalną wraz z oceną niepewności w estymacji wskaźników hałasu	IAK1A_U12, IAK1A_U17	Sprawozdanie
M_U005	znaczenie i sposób korzystania z aktów prawnych w zakresie pomiarów, analizy i oceny hałasu i drgań	IAK1A_U16	Sprawozdanie
Kompetencje społeczne: jest gotów do			
M_K001	efektywnie pracować w zespole, korzystać efektywnie z pracy innych członków zespołu, potrafi wziąć odpowiedzialność za przekazywane wyniki, rozumie potrzebę samokształcenia i podnoszenia swoich kwalifikacji. Skutecznie komunikuje się posługując fachową terminologią z zakresu wibroakustyki.	IAK1A_K01	Sprawozdanie, Kolokwium

### Liczba godzin zajęć w ramach poszczególnych form zajęć

Suma	Forma zajęć dydaktycznych										
	Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia laboratoryjne	Ćwiczenia projektowe	Konwersatorium	Zajęcia seminaryjne	Zajęcia praktyczne	Zajęcia terenowe	Zajęcia warsztatowe	Prace kontrolne i przejściowe	Lektorat
40	14	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0

### Matryca kierunkowych efektów uczenia się w odniesieniu do form zajęć i sposobu zaliczenia, które pozwalają na ich uzyskanie

Kod MEU	Student, który zaliczył moduł zajęć zna i rozumie/potrafi/jest gotów do	Forma zajęć dydaktycznych										
		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia laboratoryjne	Ćwiczenia projektowe	Konwersatorium	Zajęcia seminaryjne	Zajęcia praktyczne	Zajęcia terenowe	Zajęcia warsztatowe	Prace kontrolne i przejściowe	Lektorat
Wiedza: zna i rozumie												

M_W001	metrologię i metody pomiaru podstawowych wielkości akustycznych i drganiowych.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_W002	Najnowsze techniki pomiarowe, aparaturę stosowane w pomiarach sygnałów wibroakustycznych, opracowanie wyników wraz z oceną niepewności.	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiejętności: potrafi												
M_U001	jak sparametryzować mierzoną wielkość akustyczną i drganiową oraz dobrać elementy toru pomiarowego, zwłaszcza parametry mikrofonu i przetworników drgań z uwzględnieniem istniejących uwarunkowań metrologicznych oraz skalibrować tor pomiarowy.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U002	jak dobrać metodę i wykonać pomiar czasu pogłosu w danych uwarunkowaniach lokalowych	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U003	jak przeprowadzić pomiary widma sygnałów akustycznych i drganiowych w warunkach terenowych i w pomieszczeniach zamkniętych.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U004	Umie przetworzyć, opracować i ocenić otrzymane wyniki pomiarów drgań i hałasu, w tym obliczyć korekcję impulsową i tonalną wraz z oceną niepewności w estymacji wskaźników hałasu	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U005	znaczenie i sposób korzystania z aktów prawnych w zakresie pomiarów, analizy i oceny hałasu i drgań	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Kompetencje społeczne: jest gotów do												
M_K001	efektywnie pracować w zespole, korzystać efektywnie z pracy innych członków zespołu, potrafi wziąć odpowiedzialność za przekazywane wyniki, rozumie potrzebę samokształcenia i podnoszenia swoich kwalifikacji. Skutecznie komunikuje się posługując fachową terminologią z zakresu wibroakustyki.	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

**Nakład pracy studenta (bilans punktów ECTS)**

Forma aktywności studenta	Obciążenie studenta
Udział w zajęciach dydaktycznych/praktyka	40 godz
Przygotowanie do zajęć	12 godz
przygotowanie projektu, prezentacji, pracy pisemnej, sprawozdania	15 godz
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	12 godz
Egzamin lub kolokwium zaliczeniowe	2 godz
Dodatkowe godziny kontaktowe	3 godz
Sumaryczne obciążenie pracą studenta	84 godz
Punkty ECTS za moduł	3 ECTS

**Pozostałe informacje****Szczegółowe treści kształcenia w ramach poszczególnych form zajęć (szczegółowy program wykładów i pozostałych zajęć)****Wykład**Charakterystyka wibroakustycznych sygnałów pomiarowych

Charakterystyka i podział sygnałów czasowych, charakterystyczne cechy sygnałów zmiennych w czasie i podstawowe parametry mierzalne sygnałów akustycznych i drganiowych w dziedzinie czasu i częstotliwości.

Filtracja sygnałów w systemie pomiarowym. Filtry stałoprocentowe i o stałej bezwzględnej szerokości.  
Znaczenie i dobór filtrów w systemach pomiarowych. Konstrukcja i znaczenie w technice pomiarowej filtrów pasmowo przepustowych o stałej względnej i bezwzględnej szerokości. Konstrukcja filtrów o szerokości 1/1 i 1/3 oktawy.

Estymacja wielkości mierzalnych sygnałów akustycznych i drganiowych

Estymacja podstawowych wskaźników hałasu (filtry korekcyjne częstotliwości A, C, Z, LIN, wskaźniki poziomów zmiennych w czasie – LEQ, SEL, LMAX, LMIN, LPEAK, LN) i wibracji (parametry przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia drgań), metody ich pomiaru oraz wyznaczania wskaźników użytecznych w diagnostyce i ocenie drgań i hałasu.

Wprowadzenie do analizy częstotliwościowej

Analiza widmowa przy zastosowaniu FFT. Znaczenie i zastosowanie okien czasowych w analizie FFT. Zasada niepewności w doborze czasu analizy w odniesieniu do szerokości pasma.

Tor pomiarowy – przetwornik, droga transmisji sygnału, akwizycja danych. Parametry i wymagania.

Struktura toru pomiarowego sygnałów akustycznych i drganiowych. Znaczenie elementów toru ze szczególnym uwzględnieniem czujników ciśnienia akustycznego (mikrofonów), natężenia dźwięku (sona  $p_p$  i  $p_v$ ) i przetworników drgań (akcelerometrów). Modele teoretyczne przetworników, zasada działania przetworników indukcyjnych, pojemnościowych i piezoelektrycznych. Budowa, parametry, wymagania, parametry użytkowe oraz dobór mikrofonów i akcelerometrów.

#### Niepewność w wibroakustycznych systemach pomiarowych. Przykłady realizacji

Podstawowe pojęcia i definicje z zakresu niepewności pomiarów w obszarze sygnałów wibroakustycznych. Niepewności cząstkowe wnoszone przez system pomiarowy, metodykę, uwarunkowania środowiskowe. Przykłady realizacji budżetów niepewności.

#### Metody pomiaru czasu pogłosu.

Definicje podstawowych pojęć. Metody teoretyczne wyznaczania czasu pogłosu.

Sygnały pobudzające – własności. Metoda szumu przerywanego, metody impulsowe w tym metoda MLS i Swept sine.

Metody aproksymacji krzywej zaaniku.

#### Systemy wielokanałowe, monitoring ciągły. Pomiary mocy akustycznej w warunkach laboratoryjnych i terenowych.

Współczesne systemy do ciągłej akwizycji wielokanałowej sygnałów akustycznych i drganiowych. Dobór parametrów rejestrowanych w stacja monitoringu ciągłego.

Pomiar mocy akustycznej w warunkach pola swobodnego i pogłosowego. Wymagania w powiązaniu z dokładnością metody.

### **Ćwiczenia laboratoryjne**

#### Wprowadzenie. Przetworniki do pomiarów sygnału akustycznego (mikrofony) i drganiowego (akcelerometry). Budowa, parametry, wymagania.

Przetworniki do pomiarów sygnału akustycznego – mikrofony (pojemnościowe z polaryzacją 200 V i 0 V) i drganiowego – akcelerometry piezoelektryczne. Budowa, parametry użytkowe zawarte w metryce – czułość, pasmo przenoszenia, dynamika, odporność na zakłócenia. Producenci, wymagania.

#### Wprowadzenie. Analiza częstotliwościowa podstawowych przebiegów czasowych – sinus, piła, prostokąt

Zapoznanie się z filtrami stosowanymi w analizie widmowej sygnałów ze stałą względną i bezwzględną szerokością pasma – 1/3 i 1/1 oktawy oraz analiza FFT. Widmo sygnału sinusoidalnego w analizie 1/3 oktawy z uwzględnieniem rzeczywistego kształtu filtrów. Analiza zawartości wyższych harmonicznnych w sygnałach czasowych – sinus, piła i prostokąt, z generatora i przetworzonych przez układ generator-wzmacniacz-głośnik-pomieszczenie-mikrofon.

#### Analiza częstotliwościowa sygnałów szumowych - szum biały, różowy, czerwony i czerwono-biały

Analiza rozkładu gęstości widmowej sygnałów szumowych (szum biały, różowy, czerwony i czerwono-biały) z zastosowaniem filtrów stałoprocentowych i FFT. Badanie sygnałów z generatora i przetworzonych przez układ generator-wzmacniacz-głośnik-pomieszczenie-mikrofon.

#### Kalibracja toru akustycznego i drganiowego.

Kalibracja i jej znaczenie w systemie pomiarowym. Kalibracja toru akustycznego w układzie z mikrofonem pola swobodnego i ciśnieniowego. Kalibracja wstępna (z metryki mikrofonu) i za pomocą wzorcowego źródła dźwięku. Kalibracja toru drganiowego z czujnikiem przyspieszeń drgań. Kalibracja napięciowa i za pomocą wzorcowego źródła drgań.

#### Parametry użytkowe przenośnych analizatorów sygnałów wibroakustycznych

Parametry użytkowe przenośnych analizatorów sygnałów wibroakustycznych i ich znaczenie w realizacji pomiaru. Zasady doboru parametrów użytkowych w powiązaniu z własnościami mierzonego obiektu i założonym celem.

#### Zastosowanie poziomów LEQ i SEL w pomiarach sygnału akustycznego zmiennego w czasie. Na przykładzie hałasu drogowego

Pomiary terenowe poziomów LAEQ i LAE (SEL) sygnału akustycznego generowanego przez przejeżdżające pojazdy – drogowe i szynowe. Wyznaczanie poziomów LAEQ na

podstawie pomiarów LAE pojedynczych zdarzeń akustycznych.

Pomiary drgań gruntu. Sposoby mocowania czujnika w gruncie.

Pomiary przyspieszeń drgań gruntu pochodzących od komunikacji szynowej z wykorzystaniem różnych sposobów mocowania przetwornika przyspieszeń drgań.

Pomiar widma FFT sygnału drganiowego. Dobór okna czasowego

Pomiary sygnałów przyspieszeń drgań o charakterze ciągłym i krótkotrwałym z wykorzystaniem okien czasowych – kosinusoidalne, prostokątne i definiowane przez użytkownika.

Pomiar czasu pogłosu metodami klasycznymi – szum przerywany i impuls fizyczny

Zasady wykonywania pomiarów czasu pogłosu przy wykorzystaniu różnych sygnałów pobudzających – szum przerywany, impuls fizyczny. Opracowanie algorytmu aproksymującego krzywą zaniku z automatycznym wyborem granic przedziału aproksymowanej funkcji. Ocena jakości pomiaru w zależności od przyjętej metody.

Pomiar czasu pogłosu metodą odpowiedzi impulsowej – MLS i SweptSine.

Pomiar czasu pogłosu z wykorzystaniem odpowiedzi impulsowej otrzymanej za pomocą techniki MLS i SweptSine. Porównanie efektywności obu technik pomiarowych w odniesieniu do metod klasycznych. Ocena niepewności pomiaru.

Pomiar mocy akustycznej metoda ciśnieniową w komorze pogłosowej

Wykonanie pomiarów mocy akustycznej w komorze pogłosowej. Korekcja wpływu pomieszczenia na wynik pomiaru. Ocena niepewności pomiaru.

Pomiar mocy akustycznej metoda natężeniową.

Zastosowanie metod natężeniowych w pomiarach mocy akustycznej. Wykonanie pomiarów sondą 3D w warunkach in-situ. Ocena skuteczności metody w warunkach podwyższonych zakłóceń.

Pomiar hałasu impulsowego z zastosowaniem korekcji impulsowej

Techniki pomiaru hałasu impulsowego. Wykonanie pomiarów i wyznaczenie korekcji impulsowej w rozumieniu normy PN ISO 1996-1:2006. Ocena niepewności pomiaru.

### **Metody i techniki kształcenia:**

Wykład: Treści prezentowane na wykładzie są przekazywane w formie prezentacji multimedialnej w połączeniu z klasycznym wykładem tablicowym wzbogaconymi o pokazy odnoszące się do prezentowanych zagadnień.

Ćwiczenia laboratoryjne: W trakcie zajęć laboratoryjnych studenci samodzielnie rozwiązują zadany problem praktyczny, dobierając odpowiednie narzędzia. Prowadzący stymuluje grupę do refleksji nad problemem, tak by otrzymane wyniki miały wysoką wartość merytoryczną.

### **Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu:**

Zajęcia zaliczane są poprzez sprawdzenie przygotowania do zajęć laboratoryjnych – krótka kartkówka przed każdym nowym tematem ćwiczenia laboratoryjnego, sprawozdanie z ćwiczeń laboratoryjnych – z możliwymi dwoma poprawkami w razie stwierdzenia nieprawidłowości (na platformie UPEL) oraz dodatkowo zaliczenie ustne. Treści wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dodatkowo zaliczane są w formie testu na platformie UPEL. Test jest jednokrotny, poprawa niezaliczonego testu tylko w formie odpowiedzi ustnej.

### **Zasady udziału w poszczególnych zajęciach, ze wskazaniem, czy obecność studenta na zajęciach jest obowiązkowa:**

Wykład:

- Obecność obowiązkowa: Nie

- Zasady udziału w zajęciach: Studenci uczestniczą w zajęciach poznając kolejne treści nauczania zgodnie z sylabusem przedmiotu. Studenci winni na bieżąco zadawać pytania i wyjaśniać wątpliwości. Rejestracja audiowizualna wykładu wymaga zgody prowadzącego.

Ćwiczenia laboratoryjne:

- Obecność obowiązkowa: Tak

- Zasady udziału w zajęciach: Studenci wykonują ćwiczenia laboratoryjne zgodnie z materiałami udostępnionymi przez prowadzącego. Student jest zobowiązany do przygotowania się w przedmiocie wykonywanego ćwiczenia, co może zostać zweryfikowane kolokwium w formie ustnej lub pisemnej. Zaliczenie zajęć odbywa się na podstawie zaprezentowania rozwiązania postawionego problemu. Zaliczenie modułu jest możliwe po zaliczeniu wszystkich zajęć laboratoryjnych.

### **Sposób obliczania oceny końcowej**

Na podstawie oceny z ćwiczeń laboratoryjnych (sprawozdania -S), oceny z wejściówek (kartkówki sprawdzających przygotowanie do ćwiczenia - K), odpowiedzi ustnej (z zakresu ćwiczeń laboratoryjnych - U) oraz oceny z testu na platformie UPEL - T.Ocena końcowa - OK [%]=0,2S+0,25T+0,25K+0,3U [%] z przeliczeniem na oceny wg skali AGH

### **Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach:**

Nieobecność można odrobić na innej grupie, jednak z zachowaniem maksymalnej liczby studentów w grupie, (nie przekraczającej 15 osób). W przypadku braku takiej możliwości, student powinien wykonać i zaliczyć sprawozdanie na podstawie wyników z dowolnej innej grupy. Nie może to być jednak łącznie więcej niż dwóch przypadków w całym kursie.

### **Wymagania wstępne i dodatkowe, z uwzględnieniem sekwencyjności modułów**

Student powinien znać podstawowe zagadnienia z zakresu podstaw wibroakustyki oraz posługiwania się komputerem, w tym podstaw zasad działania sieci komputerowych.

### **Zalecana literatura i pomoce naukowe**

- 1.B&K – Acoustics Noise Measurements
- 2.B&K – Mechanical Vibration and Shock Measurements
- 3.C.Marven, G.Ewers –Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów
- 4.Instrukcja analizatora Nor 840
- 5.R.G.Lyons – Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów
- 6.R.Hagel, J.Zakrzewski – Miernictwo dynamiczne
- 7.Zb.Engel – Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem
8. J.Krystek, Ochrona środowiska dla inżynierów, T.Wszółek – Rozdział 2. Ochrona przed hałasem, PWN 2018.
- 9.Zb.Żyszkowski – Miernictwo akustyczne
- 10.Danuta Turzeniecka – Analiza dokładności wybranych przybliżonych metod oceny niepewności
- 10.Normy Polskie i międzynarodowe PN ISO 1996-1,2,3
- 11.Tomasz P.Zieliński – Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów
- 12.E.Ozimek – Dźwięk i jego percepcja. Aspekty fizyczne i psychoakustyczne.
13. A.Dobrucki – Przetworniki elektroakustyczne
- 14.Strony internetowe B&K, Norsonic, G.R.A.S, PCB
- 15.Materiały (wykłady i instrukcje do ćwiczeń) dostępne na stronie przedmiotu na platformie UPEL.

### **Publikacje naukowe osób prowadzących zajęcia związane z tematyką modułu**

Wszółek T. , Diagnostic symptoms of corona audible noise in continuous monitoring systems, Archives of Acoustics , 2011 vol. 36 no. 1 s. 151-160.

Wszółek T., Tonal and impulse Adjustment for Noise Source Rating Levels, Progress of Acoustics – Polish Acoustical Society, Wroclaw Poland 2015, pp.413-426.

Wszółek T., Cumulative industrial noise impact on the environment, Archives of Acoustics, 42, 2, pp. 169-174, 2017

Kukulski B., Wszolek T., The Research on Impulsive Events in Railway Noise Generated During Passage Through a Railroad Switch, Archives of Acoustics, 42, 3, pp. 441-447, 2017

Tadeusz WSZOŁEK, Bartłomiej KUKULSKI, Dominik MLECZKO - Analiza przydatności wybranych parametrów akustycznych w klasyfikacji dźwięków wysokoimpulsowych, rozdział w monografii pt. Postępy akustyki 2016, red. Mirosław Meissner, Polskie Towarzystwo Akustyczne. Oddział Warszawski. - Warszawa : PTA. Oddział Warszawski, s.331-342, 2016.

Kłaczyński M., Identification of Aircraft Noise During Acoustic Monitoring by Using 3D Sound Probes, Acta Physica Polonica A, vol. 125, issue 4A, pp. 144-148, 2014

Kłaczyński M., Wszolek T., Acoustic study of REpower MM92 wind turbines during exploitation, Archives of Acoustics ; ISSN 0137-5075. — 2014 vol. 39 no. 1, pp. 3-10

### **Informacje dodatkowe**

Przedmiot prowadzony jest na platformie UPEL, na której dostępne są wszystkie wykłady i instrukcje ćwiczeń w wersji pdf. Wszystkie sprawozdania przesyłane są na platformę i tam są oceniane. Na platformie przeprowadzony jest także test zaliczeniowy z całości przedmiotu.