

Uchwała nr 1/XXIII/2023

**Rady Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej
z dnia 24 stycznia 2023 roku**

**w sprawie przypisania punktów ECTS przedmiotom obieralnym realizowanym
na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa**

Na podstawie § 58 ust. 2 pkt. 2 i 5 Statutu Politechniki Warszawskiej uchwala się,
co następuje:

§ 1

1. Rada Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, pozytywnie opiniuje przypisanie punktów ECTS następującym przedmiotom obieralnym realizowanym wprowadzanym na do oferty programowej Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa od roku akademickiego 2022/2023:
 - 1) *Energetyka wiatrowa 1* - **3 ECTS**;
 - 2) *Energetyka wiatrowa 2* - **3 ECTS**;
 - 3) *Morska energetyka wiatrowa* - **2 ECTS**;
 - 4) *Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym* - **4 ECTS**;
 - 5) *Technologie magazynowania energii elektrycznej w skali systemowej* - **2 ECTS**;
2. Karty przedmiotów stanowią załącznik do uchwały nr 1-5.

§ 2

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Dziekan Wydziału



prof. dr hab. inż. Janusz Frączek

KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu:	Energetyka wiatrowa 1		
Stopień studiów:	II		
Kierunek studiów, specjalność:	wszystkie specjalności		
Kod przedmiotu:	Semestr studiów: 1	Liczba punktów ECTS: 3	
Poziom przedmiotu: zaawansowany	Typ przedmiotu: obieralny		
	Wykłady:	30 h	
	Ćwiczenia:	15 h	
Wymiar przedmiotu: 70 h	Laboratoria:	0 h	Praca własna: 20 h
	Konsultacje:	5 h	
	Projekt:	0 h	
Odpowiedzialny za przedmiot: dr hab. inż. Krzysztof Rogowski			

Cele przedmiotu

- C1. Nabycie podstawowej wiedzy dotyczącej energii wiatru.
- C2. Zapoznanie z podstawowymi typami siłowni wiatrowych oraz z kryteriami ich podziału.
- C3. Zapoznanie z najczęściej wykorzystywanymi metodami wyznaczania osiągnięć aerodynamicznych siłowni wiatrowych – podejścia CFD oraz BEM.
- C4. Uzyskanie wiedzy na temat krzywej mocy wirnika.

Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i innych kompetencji

1. Znajomość mechaniki płynów na poziomie studiów 1-ego stopnia uczelni technicznych
2. Znajomość analizy matematycznej i algebry liniowej na poziomie typowym dla 1-ego stopnia uczelni technicznych
3. Znajomość podstawowych komend w programie Excel

Efekty uczenia się (wiedza)

- EW1 – Student zna podstawowe sposoby pomiaru prędkości wiatru oraz matematyczne metody opisu prędkości i energii wiatru.
- EW2 – Student rozumie różnice między wirnikiem „pracującym oporem” i „pracującym siłą nośną” a także różnice między wirnikiem o osi pionowej i poziomej.
- EW3 – Student zna podstawowe założenia teorii elementu łopaty, czyli podstawowego narzędzia do wyznaczania osiągnięć aerodynamicznych siłowni wiatrowych
- EW4 – Student zna zalety i ograniczenia metod CFD w modelowaniu siłowni wiatrowych

Efekty uczenia się (umiejętności)

- EU1 – Student potrafi oszacować energię wiatru brutto w zadanej lokalizacji na podstawie danych pomiarowych prędkości wiatru.
- EU2 – Student potrafi wyznaczyć profil prędkości wiatru, określić klasę terenu a także wyznaczyć prędkość wiatru na wysokość osi wirnika siłowni wiatrowej.
- EU3 – Student potrafi obliczyć charakterystykę aerodynamiczną typowych profili wykorzystywanych w projektowaniu siłowni wiatrowych.
- EU4 – Student potrafi zastosować metodę elementu łopaty do wyznaczenia charakterystyk aerodynamicznych wirnika.
- EU5 – Student potrafi obliczyć charakterystyki aerodynamiczne siłowni wiatrowych różnego typu wykorzystując program ANSYS Fluent

Efekty kształcenia (kompetencje społeczne)

ES1 – Student potrafi pracować w zespole, ma świadomość odpowiedzialności za poprawne i terminowe wykonanie powierzonych mu zadań

Treści merytoryczne przedmiotu

Wykłady	Liczba godzin
Wprowadzenie: historia rozwoju siłowni wiatrowych oraz stan energetyki wiatrowej w Polsce	2
Omówienie metod prognozowania pogody w zadanej lokalizacji oraz wyznaczanie rozkładów prawdopodobieństwa prędkości i energii wiatru	6
Technologia typowych siłowni wiatrowych o poziomej i pionowej osi obrotu	4
Aerodynamika siłowni wiatrowych o poziomej osi obrotu	6
Aerodynamika siłowni wiatrowych o pionowej osi obrotu	4
Wprowadzenie do teorii elementu łopaty	4
Podejście CFD w projektowaniu siłowni i farm wiatrowych	4
Ćwiczenia	Liczba godzin
Wyznaczenie energii wiatru brutto w zadanej lokalizacji na podstawie danych pomiarowych prędkości wiatru	2
Wyznaczenie parametrów rozkładu Weibulla	2
Wyznaczenie klasy terenu na podstawie profilu prędkości wiatru	2
Wyznaczenie charakterystyki aerodynamicznej wirnika siłowni wiatrowej metodą BEM	2
Wyznaczenie charakterystyk aerodynamicznych profilu DU 91 W2 250 w programie ANSYS Fluent oraz za pomocą podejścia XFOIL	2
Wyznaczenie charakterystyk aerodynamicznych wirnika małej siłowni wiatrowej	2
Wyznaczenie osiągnięć aerodynamicznych siłowni wiatrowej Savoniusa	3

Literatura podstawowa i uzupełniająca

1. Materiały przygotowane przez prowadzącego zajęcia.
2. Hansen O.L.M.: Aerodynamics of Wind Turbines, Routledge, 2015.
3. Burton T., Jenkins N., Bossanyi E., Sharpe D., Graham M.: Wind Energy Handbook, Willey, 2021.
4. Podane przez prowadzącego publikacje naukowe.
5. Rogowski K., Maroński R.: CFD Computation of the Savonius Rotor. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 53, No. 1., pp. 37-45, 2015.
6. Maroński R.: Siłownie wiatrowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016.

Obciążenie studenta pracą

Forma aktywności	Średnia liczba godzin
Godziny kontaktowe z nauczycielem (zajęcia)	30
Godziny kontaktowe z nauczycielem (konsultacje)	5
Ćwiczenia (zajęcia)	15
Praca własna, prace domowe	20
SUMA	30

Narzędzia dydaktyczne

1. Wykłady w formie prezentacji w formacie PDF.
2. Instrukcje do prac domowych.
3. prace domowe

Metody oceny (F – formująca, P – podsumowująca)

Ocenie podlega aktywność z realizacji ćwiczeń oraz znajomości zagadnień przedstawianych na wykładzie.

Realizacja efektów uczenia się

Efekt uczenia się	Odniesienie do efektów zdefiniowanych dla całego programu	Cele przedmiotu	Narzędzia dydaktyczne	Sposób oceny
EW1		C1	Wykład, ćwiczenia	Ocena w skali ocen 2-5
EW2		C2, C4	Wykład, ćwiczenia	Jak wyżej
EW3		C3	Wykład, ćwiczenia	Jak wyżej
EW4		C3	Wykład, ćwiczenia	Jak wyżej

KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu:	Energetyka wiatrowa II		
Stopień studiów:	II (magisterski), studia doktorskie		
Kierunek studiów, specjalność:	wszystkie specjalności		
Kod przedmiotu:	Semestr studiów: 2	Liczba punktów ECTS: 3	
Poziom przedmiotu: zaawansowany	Typ przedmiotu: obieralny		
Wymiar przedmiotu: 70 h	Wykłady:	30 h	
	Ćwiczenia:	0 h	
	Laboratoria:	0 h	Praca własna: 20 h
	Konsultacje:	5 h	
	Projekt:	15 h	
Odpowiedzialny za przedmiot: prof. dr hab. inż. Jacek Szumbariski			

Cele przedmiotu

Celem ogólnym przedmiotu jest zapoznanie studentów z nowoczesnymi metodami modelowania aerodynamicznego turbin wiatrowych, metodami optymalizacji ich osiągnięć aerodynamicznych oraz stosowanymi metodami komputerowymi.

Cele szczegółowe przedmiotu obejmują:

- C1. Przypomnienie i podsumowanie klasycznych modeli turbin wiatrowych (znanych z kursu Energetyka Wiatrowa I), ze szczególnym uwzględnieniem ich ograniczeń.
- C2. Przedstawienie modeli wirowych i ich zastosowania do wyznaczania opływu i obciążenia aerodynamicznego wirników turbin wiatrowych.
- C3. Omówienie zastosowania modeli wirowych do wyznaczania pola prędkości powietrza w śladach aerodynamicznych za wirnikami, szczególnie w kontekście oddziaływania turbin w farmach wiatrowych.
- C4. Przedstawienie metod obliczeniowych powiązanych w modelami wirowymi
- C5. Wprowadzenie do metod optymalizacji aerodynamicznej wirników (metody genetyczne, metody gradientowe oparte na parametryzacji geometrycznej kształtu łopaty).
- C6. Wprowadzenie do koncepcji modelowania i optymalizacji w oparciu o modele zredukowane i zastępcze.
- C7. Rozwinięcie zaawansowanych umiejętności posługiwania się narzędziami do symulacji komputerowych (środowisko ANSYS/Fluent) i organizacji pracy zespołowej.

Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i innych kompetencji

1. Znajomość mechaniki płynów na poziomie studiów 1-ego stopnia uczelni technicznych
2. Ogólna znajomość metod numerycznych stosowanych do zagadnień granicznych formułowanych dla RRCz (metody różnic skończonych, MES)
3. Znajomość analizy matematycznej i algebry liniowej na poziomie typowym dla 1-ego stopnia uczelni technicznych

Efekty uczenia się (wiedza)

- EW1 – Student zna klasyczne modele pracy turbiny wiatrowej i rozumie ich ograniczenia
- EW2 – Student rozumie koncepcję i ma podstawową wiedzę na temat założeń, sformułowania i zakresu stosowalności modeli wirowych w aerodynamice turbin wiatrowych
- EW3 – Student ma podstawową wiedzę na temat oddziaływania aerodynamicznego turbin w farmie wiatrowej
- EW4 – Student ma ogólną wiedzę na temat metod optymalizacji stosowanych w projektowaniu aerodynamicznym wirników turbin wiatrowych, oraz wykorzystania modeli zredukowanych i zastępczych w procesie optymalizacji.

EW5 – Student zna podstawowe modele i metody obliczeniowe stosowane w projektowaniu turbin wiatrowych.

Efekty uczenia się (umiejętności)

EU1 – Student potrafi omówić mocne i słabe strony (ograniczenia) klasycznych modeli turbin wiatrowych.

EU2 – Student potrafi przedstawić koncepcję, założenia i podstawy formalizmu matematycznego modeli wirowych pracy turbin wiatrowych

EU3 – Student potrafi omówić zalety i słabe strony wybranych metod optymalizacyjnych w kontekście ich wykorzystania w procesie projektowania turbiny wiatrowej

EU4 – Student potrafi omówić koncepcję modelowania i optymalizacji na bazie modeli zredukowanych i zastępczych.

EU5 – Student potrafi – samodzielnie lub w zespole – przygotować i przeprowadzić symulację komputerową pracy turbiny według wybranego modelu, a następnie przygotować i przedstawić raport z przeprowadzonych badań.

Efekty kształcenia (kompetencje społeczne)

ES1 – Student potrafi pracować w zespole, ma świadomość odpowiedzialności za poprawne i terminowe wykonanie powierzonych mu zadań

Treści merytoryczne przedmiotu

Wykłady	Liczba godzin
Cechy fizyczne i kinematyczne przepływu powietrza w otoczeniu wirnika turbiny wiatrowej typu HAVT i VAWT, podsumowanie klasycznych modeli pracy turbiny (model, formalizm, ograniczenia).	2
Model matematyczny przepływu nieściśliwego płynu idealnego i rzeczywistego (założenia, podstawowe równania, warunki brzegowe), pole wirowości, podstawowe twierdzenia, prawo Biota-Savarta, równanie transportu wirowości, dynamika wybranych struktur wirowych, sformułowanie zagadnienia przepływowego w zmiennych prędkość-wirowość i funkcja prądu/wirowość.	4
Klasyczne modele wirowe powierzchni nośnych (model linii wirowej, model powierzchni wirowej), realizacja numeryczna.	4
Metoda BEM – wariant podstawowy (przypomnienie) i jego ulepszenia (metoda z korekcją pędu, metoda niestacjonarna).	3
Dynamika śladu aerodynamicznego za wirnikiem turbiny (teoria Teodorsena i jej rozwinięcia)	3
Podstawy optymalizacji – zagadnienie optymalizacji z ograniczeniami, zagadnienie sprzężone, warunki konieczne rozwiązania optymalnego, realizacja numeryczna (metody gradientowe i bezgradientowe).	6
Wprowadzenie do rachunku kształtu, przykład zastosowania (studium przypadku)	4
Koncepcja i konstrukcja modelu zastępczego, zastosowania w optymalizacji aerodynamicznej wirnika turbiny.	4
Projekt zespołowy	
Rozwiązanie zagadnienia projektowego z elementami optymalizacji z wykorzystaniem poznanych algorytmów i środowiska symulacyjnego (ANSYS/Fluent lub inne), przygotowanie raportu.	15

Literatura podstawowa i uzupełniająca

1. Materiały wykładowe i instrukcje przygotowane przez prowadzącego zajęcia.
2. Podane przez prowadzącego publikacje naukowe
3. Martin O.L. Hansen: Aerodynamics of Wind Turbines, 3rd ed. Routledge, 2015.
4. A.P. Schaffarczyk: Introduction to Wind Turbine Aerodynamics, Springer, 2014.
5. Gijs van Kujk:

Obciążenie studenta pracą

Forma aktywności	Średnia liczba godzin
Godziny kontaktowe z nauczycielem (zajęcia)	30
Godziny kontaktowe z nauczycielem (konsultacje)	5
Praca własna (studiowanie literatury), prace domowe - projekty	35
SUMA	70

Narzędzia dydaktyczne

1. Wykłady w formie prezentacji w formacie PDF.
2. Instrukcje do projektów
4. strony internetowe narzędzi/środowisk programistycznych do wykorzystania w projektach

Metody oceny (F – formująca, P – podsumowująca)

Dwa kolokwia z części teoretycznej, ocena realizacji i raporty końcowego z projektu.

Realizacja efektów uczenia się

Efekt uczenia się	Odniesienie do efektów zdefiniowanych dla całego programu	Cele przedmiotu	Narzędzia dydaktyczne	Sposób oceny
EW1	E2_W01, E2_W03, E2_W05, E2_W09	C1	Wykład, praca samodzielna	Kolokwium - ocena w skali ocen 2-5
EW2	E2_W01, E2_W03, E2_W05, E2_W09	C2, C3	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej
EW3	E2_W01, E2_W03, E2_W05, E2_W09	C2,C3,C4	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej
EW4	E2_W17	C4,C5,C6	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej
EW5	E2_W03, E2_W16, E2_W17	C5,C6,C7	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej
EU1	E2_U08, E2_U09	C1	Praca samodzielna, praca nad projektem	Kolokwium (ocena w skali 2-5)

EU2	E2_U08, E2_U09	C2,C3	Praca samodzielna praca nad projektem	Jak wyżej
EU3	E2_U22	C4,C5,C6	Praca samodzielna prace domowe, praca nad projektem	Jak wyżej
EU4	E2_U09, E2_U22, E2_U24	C5,C6	Praca samodzielna, praca nad projektem	Kolokwium, Realizacja projektu
EU5	E2_U03, E2_U04, E2_U08, E2_U09, E2_U18, E2_U22, E2_U24	C6,C7	Praca samodzielna, praca nad projektem	Realizacja projektu
ES1	E2_U27, E2_K06	C6	Praca nad projektem	Realizacja projektu

KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu:	Morska energetyka wiatrowa		
Stopień studiów:	II		
Kierunek studiów, specjalność:	wszystkie specjalności		
Kod przedmiotu:		Semestr studiów: 2	Liczba punktów ECTS: 2
Poziom przedmiotu:	zaawansowany	Typ przedmiotu:	obieralny
	Wykłady:	30 h	
	Ćwiczenia:	0 h	
	Laboratoria:	0 h	Praca własna: 15 h
	Konsultacje:	5 h	
	Projekt:	0 h	
Wymiar przedmiotu:	50 h		
Odpowiedzialny za przedmiot: dr inż. Michalina Kurkus-Gruszecka			

Cele przedmiotu

- C1. Nabycie podstawowej wiedzy dotyczącej morskiej energetyki wiatrowej.
- C2. Zapoznanie z podstawowymi typami morskich siłowni wiatrowych.
- C3. Nabycie podstawowej wiedzy z zakresu modelowania, eksploatacji, konserwacji i remontów morskich siłowni wiatrowych.
- C4. Zapoznanie się z technologiami przesyłu energii elektrycznej na morzu.

Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i innych kompetencji

1. Znajomość podstaw funkcjonowania technologii z zakresu odnawialnych źródeł energii w szczególności farm fotowoltaicznych, turbin wiatrowych,
2. Znajomość podstaw funkcjonowania systemu elektroenergetycznego;
3. Znajomość podstaw funkcjonowania sterowalnych technologii wytwarzania energii elektrycznej.
4. Znajomość podstaw elektrotechniki.

Efekty uczenia się (wiedza)

- EW1 – Student zna podstawy działania morskich siłowni wiatrowych.
- EW2 – Student wie jakie są poszczególne komponenty morskiej siłowni wiatrowej.
- EW3 – Student zna podstawowe typy topologii siłowni wiatrowych oraz klastrów siłowni wiatrowych.
- EW4 – Student zna podstawowe parametry warunkujące sterowanie morską siłownią wiatrową oraz połączenie siłowni z systemem elektroenergetycznym.

Efekty uczenia się (umiejętności)

- EU1 – Student potrafi dokonać doboru technologii morskiej siłowni wiatrowej do lokalnych uwarunkowań środowiskowych oraz uwarunkowań systemu elektroenergetycznego.
- EU2 – Student potrafi określić opłacalność funkcjonowania danego typu morskiej siłowni wiatrowej w określonych warunkach środowiskowych.
- EU3 – Student potrafi ocenić wpływ poszczególnych parametrów operacyjnych lub środowiskowych na pracę morskiej siłowni wiatrowej.
- EU4 – Student potrafi ocenić zasadność stosowania wybranych technologii przesyłu energii elektrycznej w morskiej siłowni wiatrowej.

Efekty kształcenia (kompetencje społeczne)

- ES1 – Student potrafi pracować w zespole, ma świadomość odpowiedzialności za poprawne i terminowe wykonanie powierzonych mu zadań.

Treści merytoryczne przedmiotu

Wykłady	Liczba godzin
Przegląd obecnej technologii morskiej energetyki wiatrowej. Wprowadzenie. • Dotychczasowy przebieg rozwoju energetyki wiatrowej; • Zasada działania morskiej energetyki wiatrowej; • Uśredniony koszt generacji energii elektrycznej w morskiej siłowni wiatrowej; • Perspektywy rozwoju morskiej energetyki wiatrowej.	4
Systemy konwersji energii dla morskich turbin wiatrowych. • Moce znamionowe morskich turbin wiatrowych; • Generatory stosowane w morskich turbinach wiatrowych; • Przekształtniki energoelektroniczne (falowniki) stosowane w morskich turbinach wiatrowych; • Układy napędowe morskich turbin wiatrowych; • Układy sterowania morskimi turbinami wiatrowymi.	6
Stałe i pływające konstrukcje wsporcze morskich turbin wiatrowych. • Omówienie dostępnych technologii stałych konstrukcji wsporczych; • Omówienie technologii pływających konstrukcji wsporczych; • Kwestie projektowe związane z wyborem konstrukcji wsporczej; • Siły działające na turbinę wiatrową w środowisku morskim.	4
Technologia budowy morskich siłowni wiatrowych. • Charakterystyki różnych topologii siłowni wiatrowej dla kolektorów prądu stałego; • Charakterystyki różnych topologii siłowni wiatrowej dla kolektorów prądu zmiennego; • Połączenia klastrów siłowni wiatrowych.	4
Modelowanie eksploatacji, konserwacji i remontów morskich siłowni wiatrowych. • Omówienie modeli zarządzania siłownią wiatrową; • Planowanie remontów krótko- i długookresowych turbin wiatrowych; • Zarządzanie flotą statków obsługujących morskie siłownie wiatrowe.	3
Technologie przesyłu energii elektrycznej na morzu. • Przesył poprzez linie wysokiego napięcia prądu zmiennego; • Przesył z wykorzystaniem przetwornicy napięcia poprzez linie wysokiego napięcia prądu stałego; • Morskie systemy sieciowe; • Urządzenia do kompensacji mocy biernej stosowane w morskich siłowniach wiatrowych; • Podwodne przewody elektryczne.	4

Sterowanie i integracja z siecią systemu elektroenergetycznego. • Połączenie z systemem elektroenergetycznym; • Kontrola częstotliwości i napięcia; • Bezpieczeństwo systemu elektroenergetycznego.	3
Funkcjonowanie morskich siłowni wiatrowych na rynku energii elektrycznej. • omówienie zasady funkcjonowania morskich siłowni wiatrowych na rynkach energii elektrycznej; • wyzwania dla przyszłej struktury rynku z udziałem morskiej energetyki wiatrowej.	2

Literatura podstawowa i uzupełniająca

1. Materiały przygotowane przez osobę prowadzącą zajęcia.
2. Olimpo AnayaLara, John O. Tande, Kjetil Uhlen, Karl Merz. Offshore Wind Energy Technology, 2018.
3. Report Authors, Christos Kolliatsas ... et Al.. Offshore Renewable Energy. 2012.
4. Joao Cruz, Mairead Atcheson, Floating Offshore Wind Energy. 2016
5. Podane przez osobę prowadzącą publikacje naukowe.

Obciążenie studenta pracą

Forma aktywności	Średnia liczba godzin
Godziny kontaktowe z nauczycielem (zajęcia)	30
Godziny kontaktowe z nauczycielem (konsultacje)	5
Praca własna	15
SUMA	50

Narzędzia dydaktyczne

1. Wykłady w formie prezentacji w formacie PDF.

Metody oceny (F – formująca, P – podsumowująca)

Ocenie podlega aktywność z realizacji ćwiczeń oraz znajomości zagadnień przedstawianych na wykładzie.

Realizacja efektów uczenia się

Efekt uczenia się	Odniesienie do efektów zdefiniowanych dla całego programu	Cele przedmiotu	Narzędzia dydaktyczne	Sposób oceny
EW1		C1	Wykład	Ocena w skali ocen 2-5
EW2		C2	Wykład	Jak wyżej
EW3		C3	Wykład	Jak wyżej
EW4		C4	Wykład	Jak wyżej

KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu:		Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym	
Stopień studiów:		II (magisterski)	
Kierunek studiów, specjalność:		wszystkie specjalności	
Kod przedmiotu:		Semestr studiów: 2	Liczba punktów ECTS: 4
Poziom przedmiotu: zaawansowany		Typ przedmiotu: obieralny	
Wymiar przedmiotu: 94 h	Wykłady:	30 h	Praca własna: 30 h
	Ćwiczenia:	0 h	
	Laboratoria:	15 h	
	Konsultacje:	4 h	
	Projekt:	15 h	
Odpowiedzialny za przedmiot: prof. dr hab. inż. Tadeusz Skoczkowski			
Cele przedmiotu			
C1. Poszerzenie i usystematyzowanie wiedzy w zakresie funkcjonowania systemów elektroenergetycznych			
C2. Uzyskanie wiedzy na temat pracy i modelowania generatorów elektrycznych wykorzystywanych w elektrowniach wiatrowych			
C3. Uzyskanie wiedzy na temat pracy i modelowania układów przekształtnikowych wykorzystywanych w elektrowniach wiatrowych			
C4. Zapoznanie się z metodami sterowania elektrowni wiatrowych			
C5. Zapoznanie z wybranymi zagadnieniami stabilnej pracy elektrowni wiatrowych w systemie elektroenergetycznym			
C6. Poznanie podstawowych wymagań dla pracy elektrowni wiatrowych w systemie elektroenergetycznym			
C7. Uzyskanie podstawowych kompetencji w zakresie samodzielnego modelowania i symulacji układów elektrowni wiatrowych, w tym również we współpracy z systemem elektroenergetycznym			
Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i innych kompetencji			
1. Znajomość podstaw teorii obwodów elektrycznych na poziomie 1-ego stopnia studiów technicznych			
2. Znajomość teorii sterowania na poziomie 1-ego stopnia studiów technicznych			
3. Znajomość podstaw elektroenergetyki na poziomie studiów 1-ego stopnia studiów technicznych			
4. Znajomość podstaw teorii sterowania na poziomie studiów 1-ego stopnia studiów technicznych			
5. Znajomość analizy matematycznej i algebry liniowej na poziomie 1-ego stopnia uczelni technicznych			
6. Ogólna znajomość metod numerycznych stosowanych do zagadnień rozwiązywania problemów elektrycznych			
Pożądana jest elementarna wiedza w zakresie modelowania układów dynamicznych.			
Efekty uczenia się (wiedza)			
EW1 – Student zna budowę i zasady pracy części elektrycznej elektrowni wiatrowej			
EW2 - Student zna ogólne zasady i metody sterowania pracą elektrowni wiatrowych			
EW3 – Student zna zalety i wady pracy elektrowni wiatrowych w różnych konfiguracjach pracujących w systemie elektroenergetycznym			

EW4 – Student rozumie role, wymagania i ograniczenia pracy elektrowni wiatrowej w systemie elektroenergetycznym

EW5 – Student zna metody modelowania generatorów elektrycznych i przekształtników energoelektronicznych pracujących w elektrowniach wiatrowych

Efekty uczenia się (umiejętności)

EU1 – Student potrafi zbudować model symulacyjny pracy elektrowni wiatrowej pracującej samodzielnie i w systemie elektroenergetycznym

EU2 – Student potrafi – samodzielnie lub w zespole – wykonać symulacje elektrowni wiatrowej pracującej samodzielnie i w systemie elektroenergetycznym wykorzystując środowisko Matlaba i Simulinka PowerSim) oraz PowerWorlda.

EU3 – Student potrafi proponować układ elektroenergetyczny elektrowni wiatrowej pracującej w określonym miejscu

EU4 – Student rozumie wymagania stawiane elektrowniom wiatrowym przez operatorów sieci elektroenergetycznych

Efekty kształcenia (kompetencje społeczne)

ES1 – Student potrafi pracować w zespole, ma świadomość odpowiedzialności za poprawne i terminowe wykonanie powierzonych mu zadań

ES2 Student potrafi dostosować swoje prace projektowe do wymagań wynikających z regulacji systemu elektroenergetycznego

ES3 – Student ma świadomość co do wartości społecznych i ekologicznych rozwoju energetyki wiatrowej

Treści merytoryczne przedmiotu

Wykłady	Liczba godzin
Modelowanie i symulacja pracy elektrowni wiatrowych	
Podstawowe pojęcia i metody analizy obwodów elektrycznych. Zasady pracy systemów elektroenergetycznych. Zmiany strukturalne systemów elektroenergetycznych. Koncepcja i urządzenia Smart Grid.	4
Podstawy konwersji energii w układach elektrowni wiatrowych. Podstawowe pojęcia dotyczące budowy i działania elektrowni wiatrowych.	1
Podstawowe typy i struktury elektrowni wiatrowych. Podstawowe układy generator-przekształtnik stosowane w elektrowniach wiatrowych. Podstawowe elementy elektryczne elektrowni wiatrowych. Generatory i przekształtniki energoelektroniczne stosowane w elektrowniach wiatrowych dla różnych konfiguracji generator-przekształtnik.	2
Inne urządzenia elektroenergetyczne elektrowni wiatrowej	1
Metody sterowania pracą elektrowni wiatrowych.	2
Modelowanie przekształtników energoelektronicznych dla elektrowni wiatrowych.	4
Modelowanie generatorów dla elektrowni wiatrowych.	2
Sterowanie przekształtnikiem od strony sieci.	1
Sterowanie PMSG z back-to-back przekształtnikami.	1
Sterowanie PMSG z przekształtnikiem pasywnym od strony generatora.	1

Sterowane silnika indukcyjnego podwójnie zasilanego z przekształtnika napięciowego.	1
Praca elektrowni wiatrowej w systemie elektroenergetycznym	
Stabilność systemu elektroenergetycznego z farmami wiatrowymi. Minimalizacja wahań mocy czynnej na wyjściu farmy wiatrowej. Wykorzystania farm wiatrowych w procesie regulacji napięcia i mocy biernej. Zjawiska napięciowe w farmie wiatrowej. Obszar dopuszczalnych stanów pracy farmy wiatrowej. Stabilność napięciowa w systemie z farmą wiatrową. Farmy wiatrowe w układach regulacji nadrzędnej. Wykorzystania farm wiatrowych w procesie regulacji częstotliwości i mocy czynnej. Udział farm wiatrowych w ramach regulacji pierwotnej i wtórnej. Sposoby i układy sterowania farm wiatrowych. Wpływ elektrowni wiatrowych na dynamikę systemów elektroenergetycznych.	4
Warunki przyłączenia i pracy w sieci elektroenergetycznej. Ogólne wymagania stawiane farmom wiatrowym. Przyłączenie do sieci oraz integracja z systemem elektroenergetycznym źródeł wiatrowych. Obrona i odbudowa systemu elektroenergetycznego. Lokalizacja elektrowni wiatrowej w systemie elektroenergetycznym. Wymagania operatorów sieci elektroenergetycznych. Niezawodność pracy elektrowni wiatrowych. Wpływ farmy wiatrowej na jakość energii. Automatyka zabezpieczeniowa farm wiatrowych. Układy przyłączania elektrowni wiatrowych na morzu. Ekonomiczne aspekty pracy elektrowni wiatrowych w systemie elektroenergetycznym.	4
Projektowanie części elektroenergetycznej elektrowni wiatrowej.	1
Przykłady dużych ferm wiatrowych.	0,5
Podsumowanie, perspektywy, propozycje ciekawych przypadków optymalizacyjnych.	0,5
Razem	30

Laboratorium	
Przedmiot będzie wspomagany symulacjami pracy elektrowni wiatrowej z wykorzystaniem złożonego modelu elektrowni wiatrowej i systemu elektroenergetycznego. Studenci wykorzystają wstępnie przygotowane programy do symulacji pracy elektrowni wiatrowych przy pracy izolowanej i przy współpracy z systemem elektroenergetycznym: 1. Reakcja elektrowni wiatrowej na gwałtowną zmianę siły wiatru. 2. Reakcja elektrowni wiatrowej na gwałtowny spadek napięcia w sieci elektroenergetycznej. 3. Analiza wpływu różnych stanów pracy elektrowni wiatrowej na system elektroenergetyczny. 4. Praca elektrowni wiatrowej w systemie elektroenergetycznym w czasie rozległej awarii systemu 5. Praca elektrowni wiatrowej w systemie elektroenergetycznym w czasie zmian częstotliwości w systemie. 6. Ocena wydajności energetycznej elektrowni wiatrowej. 7. Porównanie elektrowni wiatrowych dla różnych konfiguracji i metod sterowania. Do modelowania zostaną użyte pakiety Matlab I Simulink (PowerSim) oraz PowerWorld (wersja studencka).	15

Projekt	
W projekcie studenci, wykorzystując wiedzę i umiejętności nabyte w laboratorium, samodzielnie przygotowują model i wykonują symulację pracy wybranej elektrowni wiatrowej. Wyniki symulacji wykorzystują do zaproponowania projektu części elektroenergetycznej i układu sterowania elektrowni wiatrowej z uwzględnieniem wymagań wynikających z ograniczeń stawianych elektrowniom wiatrowym przez operatorów sieci elektroenergetycznych.	15

Literatura podstawowa i uzupełniająca	
1. Materiały przygotowane przez prowadzącego zajęcia. 2. Ackermann T., Wind Power in Power System, Wiley, 2005. 3. Bin Wu ... [et al.], Power conversion and control of wind energy systems, IEEE, Inc., 2011. 4. Manwell J.F. [et al.], Wind energy explained, Wiley, 2009. 5. Padiyar K.R., Kulkarni Anil M., Dynamics and Control of Electric Transmission and Microgrids, Wiley, 2019. 6. Yamasu V., Wu B., Model predictive control of wind energy conversion systems, Wiley, 2017. 7. Podana przez prowadzącego literatura dodatkowa. 8. Instrukcje obsługi modeli symulacyjnych. 9. Instrukcje obsługi programów Matlab, Simulink, PowerWorld.	

Obciążenie studenta pracą

Forma aktywności	Średnia liczba godzin
Godziny kontaktowe z nauczycielem (zajęcia)	60
Godziny kontaktowe z nauczycielem (konsultacje)	4
Praca własna (studiowanie literatury, przygotowanie do laboratoriów)	30
SUMA	94

Narzędzia dydaktyczne

1. Wykłady w formie prezentacji w formacie PDF.
2. Instrukcje do ćwiczeń wykorzystywanych w laboratorium.
3. Strony internetowe narzędzi/środowisk programistycznych do wykorzystania w laboratorium.

Metody oceny (F – formująca, P – podsumowująca)

Ocenie podlegają wiedza, umiejętności i kompetencje demonstrowane przez studenta w czasie pracy w laboratorium i w projekcie.

Realizacja efektów uczenia się

Efekt uczenia się	Odniesienie do efektów zdefiniowanych dla całego programu	Cele przedmiotu	Narzędzia dydaktyczne	Sposób oceny
EW1		C1	Wykład, praca samodzielna	Ocena w skali ocen 2-5
EW2		C3	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej
EW3		C1, C2, C3, C4, C5, C6	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej
EW4		C6	Wykład, praca samodzielna,	Jak wyżej
EW5		C2, C3, C7	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej
EU1		C2, C3	Praca samodzielna, prace domowe	Jak wyżej
EU2		C7	Praca samodzielna, laboratorium, projekt	Jak wyżej
EU3		C1, C6, C7	Praca samodzielna, laboratorium, projekt	Jak wyżej

EU4		C6	Praca samodzielna, laboratorium, projekt	Jak wyżej
ES1		C7 C6, C7	Laboratorium, projekt	Jak wyżej
ES2		C6, C7	Laboratorium, projekt	Jak wyżej
ES3		C1	Wykład, praca samodzielna	Jak wyżej

KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu:	Technologie magazynowania energii elektrycznej w skali systemowej			
Stopień studiów:	II			
Kierunek studiów, specjalność:	wszystkie specjalności			
Kod przedmiotu:	Semestr studiów: 2		Liczba punktów ECTS: 2	
Poziom przedmiotu: zaawansowany	Typ przedmiotu: obieralny			
	Wykłady:	10 h		
	Ćwiczenia:	10 h		
Wymiar przedmiotu: 50 h	Laboratoria:	0 h	Praca własna:	15 h
	Konsultacje:	5 h		
	Projekt:	10 h		
Odpowiedzialny za przedmiot: dr hab. inż. Piotr Krawczyk, prof. uczelni				

Cele przedmiotu

- C1. Nabycie wiedzy dotyczącej technologii magazynowania energii elektrycznej w skali systemowej.
- C2. Szczegółowe zapoznanie z wybranymi typami magazynów energii elektrycznej oraz z kryteriami ich doboru.
- C3. Zapoznanie z właściwościami dynamicznymi wybranych wielkoskalowych magazynów energii elektrycznej
- C4. Zapoznanie z metodami modelowania pracy magazynów energii również we współpracy z siecią.
- C4. Zapoznanie się z aspektami prawnymi oraz ekonomicznymi budowy i eksploatacji magazynów energii elektrycznej współpracujących z pogodowo zależnymi źródłami energii odnawialnej

Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i innych kompetencji

1. Znajomość podstaw funkcjonowania technologii z zakresu odnawialnych źródeł energii w szczególności farm fotowoltaicznych, turbin wiatrowych,
2. Znajomość podstaw funkcjonowania systemu elektroenergetycznego;
3. Znajomość podstaw funkcjonowania sterowalnych technologii wytwarzania energii elektrycznej
4. Znajomość podstaw technologii magazynowania energii;
5. Znajomość podstaw Aspen Hysys

Efekty uczenia się (wiedza)

- EW1 – Student zna zasadę działania poszczególnych technologii magazynowania energii elektrycznej.
- EW2 – Student zna z jakich komponentów zbudowane są poszczególne technologie magazynowania oraz potrafi opisać ich zasadę działania
- EW3 – Student zna podstawowe parametry charakteryzujące poszczególne typy magazynów energii jak gęstość energii, moc ładowania, moc rozładowania
- EW4 – Student potrafi przeprowadzić analizy modelowe pracy wybranych typów magazynów również we współpracy z siecią

Efekty uczenia się (umiejętności)

- EU1 – Student potrafi dokonać doboru technologii magazynowania energii do lokalnych uwarunkowań systemu elektroenergetycznego bądź źródła wytwórczego.
- EU2 – Student potrafi określić opłacalność funkcjonowania danego typu magazynowania energii w określonych warunkach zabudowy.
- EU3 – Student potrafi ocenić uwarunkowania prawne zabudowy magazynu energii w lokalnych uwarunkowaniach

EU4 – Student potrafi dokonać ocenić na podstawie modelowania wpływu wartości wybranych parametrów operacyjnych jak i konfiguracji magazynu na sprawność magazynowania, pojemność i moc magazynu

Efekty kształcenia (kompetencje społeczne)

ES1 – Student potrafi pracować w zespole, ma świadomość odpowiedzialności za poprawne i terminowe wykonanie powierzonych mu zadań

Treści merytoryczne przedmiotu

Wykłady	Liczba godzin
Wprowadzenie, potrzeba magazynowania energii – bilansowanie systemu • analiza zmian w mocy zainstalowanej pogodowo zależnych źródeł odnawialnych w ujęciu historycznym oraz perspektywicznym; • omówienie przykładowych stanów pracy systemów elektroenergetycznych z dużym udziałem OZE, • omówienie ograniczeń źródeł konwencjonalnych w bilansowaniu sieci, • zasygnalizowanie udziałów poszczególnych technologii magazynowania w łącznej pojemności magazynowej.	2
Charakterystyka wybranych technologii magazynowania energii Magazyny szczytowo – pompowe • omówienie danych charakterystycznych eksploatowanych obecnie na świecie magazynów, • przedstawienie pomysłów alternatywnych budowy magazynów szczytowo pompowych, tj. magazynów podziemnych, magazynów morskich i innych; • odniesienie się do uwarunkowań budowy takich jednostek Magazyny typu LAES • omówienie zasady pracy magazynów, • charakterystyka techniczna poszczególnych komponentów technologii: układ sprężania, układ regazyfikacji, układ magazynowania chłodu oraz ciepła, • charakterystyka obecnych doświadczeń w rozwoju technologii wraz z informacją o perspektywach rozwoju; Magazyny typu CAES • omówienie zasady pracy magazynów, • charakterystyka techniczna poszczególnych komponentów technologii: układ sprężania, układ rozprężania, wariacje układów CAES (stałe ciśnienie, stała objętość), • charakterystyka obecnych doświadczeń w rozwoju technologii wraz z informacją o perspektywach rozwoju; Alternatywne technologie magazynowania • CNGES, LNGES, elektromobilność, • zażądanie popytem na energię w systemach rozproszonych Magazyny typu „power to heat” oraz „power to gas”	4
Aspekty prawne budowy magazynów energii	2

Charakterystyka uwarunkowań prawnych w zakresie magazynowania energii, przepisy UE i krajowe;	
Ekonomia magazynowania energii – modele biznesowe Taryfy, handel energią, nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacyjne	2
Ćwiczenia	
Zajęcia prezentujące wykorzystanie wybranych narzędzi obliczeniowych do analizy wpływu parametrów operacyjnych jak i konstrukcyjnych na pojemność, moc oraz sprawność magazynowania energii w odniesieniu do wybranych typów magazynów np. układy szczytowo- pompowe, LAES, CAES, LNGES, CNGES i inne. Zajęcia prowadzone będą z wykorzystaniem oprogramowania Aspen Hysys.	10
Projekt	
Studenci realizowali będą grupowe projekty mające na celu dobór technologii magazynowania oraz jej parametrów do danych uwarunkowań. Przez uwarunkowania te należy rozumieć charakterystykę źródła wytwórczego energii elektrycznej oraz charakterystykę zapotrzebowania na energię.	10

Literatura podstawowa i uzupełniająca

1. Materiały przygotowane przez prowadzącego zajęcia.
2. Paul Breeze.: Power System Energy Storage Technologies, 2018.
3. Ingo Stadler, Michael Sterner Handbook of Energy Storage, 2014.
4. Xiong, Rui, Hailong Li, and Joe Xuan Zhou, eds. Advanced Energy Storage Technologies and Their Applications (AES). MDPI, 2018.
5. Podane przez prowadzącego publikacje naukowe.

Obciążenie studenta pracą

Forma aktywności	Średnia liczba godzin
Godziny kontaktowe z nauczycielem (zajęcia)	30
Praca własna studenta	15
Konsultacje	5
SUMA	50

Narzędzia dydaktyczne

1. Wykłady w formie prezentacji w formacie PDF.
2. Materiały do ćwiczeń i projektu w formie prezentacji PDF.

Metody oceny (F – formująca, P – podsumowująca)

Ocenie podlega aktywność z realizacji ćwiczeń oraz projektu jak również znajomości zagadnień przedstawianych na wykładzie.

Realizacja efektów uczenia się

Efekt uczenia się	Odniesienie do efektów zdefiniowanych dla całego programu	Cele przedmiotu	Narzędzia dydaktyczne	Sposób oceny
EW1		C1	Wykład	Ocena w skali ocen 2-5
EW2		C2, C4	Wykład	Jak wyżej
EW3		C3, C4	Ćwiczenia, projekt	Jak wyżej
EW4		C3, C4	Ćwiczenia, projekt	Jak wyżej