

**Zespół Autorski:**

*dr hab. inż. Marcin Kaczkan*

*dr hab. inż. Mateusz Śmietana*

**Fotowoltaika (PV)  
(Photovoltaics)**

**Poziom kształcenia:** *II stopień*

**Forma i tryb prowadzenia przedmiotu:** *stacjonarna*

**Kierunek studiów:** *Elektronika*

**Specjalność:** *Systemy Zintegrowanej Elektroniki i Fotoniki*

**Klasy programowe:**

**Poziom przedmiotu:** *zaawansowany*

**Status przedmiotu:** *obieralny*

**Język przedmiotu:** *polski*

**Semestr nominalny :** -

**Minimalny numer semestru:** *2*

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** *Wstęp do fotoniki (WDF),  
Elementy Fotoniczne (ELFO)*

**Limit liczby studentów:** *50*

**Powód zgłoszenia przedmiotu:** *nowy program studiów II stopnia na kierunku Elektronika*

**Cel przedmiotu:**

*Kształcenie studentów w zakresie funkcjonowania systemów oraz zasady działania, konstrukcji i technologii elementów fotowoltaicznych generujących energię elektryczną i stanowiących istotną część współczesnych systemów pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych.*

**Treść kształcenia:**

*Przedmiot składa się z 30 godzin wykładów w wymiarze 2 godziny tygodniowo, projektu (4 godz.) oraz 4 zajęć laboratoryjnych (4 godziny każde) realizowanych w drugiej części semestru. Po wstępie dotyczącym podstawowych zagadnień z zakresu fotowoltaiki, omówione zostaną elementy niezbędne do prawidłowej pracy systemów fotowoltaicznych. Przedstawione zostaną mechanizmy działania różnych typów ogniw fotowoltaicznych oraz typowe konstrukcje, materiały i technologie stosowane do ich produkcji. Jednym z ważniejszych poruszanych zagadnień będzie określenie podstawowych zasad konfiguracji systemu pod względem optymalnej produkcji energii przez taki system. Zaliczenie przedmiotu odbywać się będzie na podstawie oceny z kolokwium wykładowego oraz wyników uzyskanych z projektu i zajęć laboratoryjnych.*

**Opis wykładu**

*Wykłady poświęcone są poznaniu: fizycznych zjawisk wykorzystywanych w realizacji elementów fotowoltaicznych, technologii stosowanych do ich wytwarzania oraz podstawowych konstrukcji systemów fotowoltaicznych. Zakres tematyczny wykładu obejmuje zagadnienia:*

- 1. Fotowoltaika - wiadomości ogólne. Problemy rozwoju zrównoważonego: zużycie energii a środowisko i rozwój gospodarczy; konwersja energii promieniowania*

- słonecznego na energię elektryczną; podstawy fizyczne działania ogniw fotowoltaicznych i ich parametry. Zastosowania i perspektywy rozwoju fotowoltaiki.*
2. **Promieniowanie słoneczne - podstawowe pojęcia.** Wpływ atmosfery ziemskiej na parametry promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi, promieniowanie bezpośrednie, rozproszone, całkowite, Airmass (AM), itp.; zasoby słoneczne w Polsce i na świecie; sposoby wykorzystania energii słonecznej w Polsce i na świecie.
  3. **Mechanizmy absorpcji promieniowania w półprzewodniku.** Rozkład nośników ładunku; czas życia nośników mniejszościowych; rekombinacja nośników: objętościowa i powierzchniowa.
  4. **Ogniwa fotowoltaiczne.** Konstrukcja ogniwa; zasada działania ogniwa; absorpcja światła i generacja prądu; charakterystyki prądowo-napięciowe; parametry ogniwa: współczynnik wypełnienia, sprawność, itp.; układ zastępczy, zależność od promieniowania i temperatury; sprawność idealnego ogniwa słonecznego.
  5. **Materiały stosowane do budowy ogniw fotowoltaicznych.** Właściwości krzemu, GaAs, CdTe, CIGS; krzemowe ogniwa monokrystaliczne i multikrystaliczne; ogniwa z GaAs i jego związków; ogniwa cienkowarstwowe: Si amorficzny, CIGS, CdTe. Technologie ogniw fotowoltaicznych; otrzymywanie krzemu mono- i polikrystalicznego, otrzymywanie cienkich warstw: Si amorficzny i mikro-krystaliczny, CIGS, CdTe; otrzymywanie ogniw z półprzewodnikowych materiałów złożonych. Nowe materiały: ogniwa organiczne, nanokrystaliczne, DSC (dye-sensitized cells).
  6. **Moduły fotowoltaiczne.** Hermetyzacja modułów, analiza sprawności modułów i odporność na częściowe zacielenie w zależności od technologii, recykling.
  7. **Systemy fotowoltaiczne - generalne koncepcje.** Różne konfiguracje systemów fotowoltaicznych (systemy wolnostojące, systemy dołączone do sieci, elektronika powszechnego użytku, zastosowania kosmiczne), przykładowe systemy fotowoltaiczne i ich zastosowania.
  8. **Akumulatory i kontrolery.** Budowa akumulatora, reakcje zachodzące w akumulatorze podczas ładowania i rozładowywania, rodzaje akumulatorów stosowanych w PV (kwasowo-ołowiowe, NiCd, NiFe, niklowo-metalowo-wodorkowe NiMH, litowo-polimerowe i inne), warunki pracy akumulatorów stosowanych w fotowoltaice, koszty i czas życia akumulatorów PV, Budowa i rodzaje kontrolerów, zadania kontrolera w systemie PV, aktywne systemy zarządzania energią.
  9. **Falowniki.** Budowa falowników PV (falowniki tyrystorowe, falowniki tranzystorowe), wymagania techniczne stawiane falownikom, rodzaje pracy falowników w systemach PV (falownik centralny, falownik podporządkowany, falownik szeregowy), monitorowanie systemu przez falownik.
  10. **Produkcja energii przez system PV.** Wpływ natężenia promieniowania, zacielenia, orientacji systemu oraz kąta nachylenia płaszczyzny modułów na produkcję energii przez system, wpływ jakości elementów systemu na jego pracę, wpływ połączeń modułów na sprawność systemu, analiza kosztów i czasu zwrotu energii.
  11. **Rozproszona generacja energii elektrycznej i systemy hybrydowe.** Systemy hybrydowe, konfiguracje fotowoltaicznych systemów hybrydowych z turbiną wiatrową generatorem spalinowym lub ogniwem paliwowym. Produkcja energii elektrycznej w rozproszeniu - celowość budowy systemów hybrydowych i trendy światowe.
  12. **Integracja fotowoltaiki z budownictwem.** Możliwości integracji fotowoltaiki z istniejącymi budynkami, integracja fotowoltaiki z budynkami w fazie projektowej, rodzaje modułów stosowanych w budownictwie (szkło półtransparentne, dachówki, markizy, itp.), przykłady współczesnych rozwiązań integracji PV z budownictwem.

### **Laboratorium**

*W trakcie laboratoriów studenci mają możliwość ugruntowania i praktycznego wykorzystania wiedzy zdobytej podczas wykładów. W trakcie zajęć laboratoryjnych studenci poznają i kluczowe etapy technologii elementów fotowoltaicznych, a także zbadają wykonane przyrządy i określą ich parametry. Uzyskają także wiedzę z zakresu projektowania systemów fotowoltaicznych oraz ich weryfikacji.*

- 1. Technologia wykonania systemu opartego na ogniwach fotowoltaicznych barwnikowych. Badania i pomiary wykonanego systemu ogniw w układzie zasilającym drobne elementy elektroniczne np. diody LED.*
- 2. Konstrukcja małego system fotowoltaicznego. Testy systemu wraz z analizą możliwości poprawy sprawności.*
- 3. Pomiar charakterystyk i wyznaczenie istotnych parametrów ogniw fotowoltaicznych (wykonanych z różnych materiałów) w standardowych warunkach testowych. Badanie wpływu natężenia promieniowania i temperatury otoczenia na te parametry.*
- 4. Rzeczywiste elementy systemów fotowoltaicznych oraz metody monitorowania ich parametrów pracy. Analiza parametrów pracy wybranych systemów fotowoltaicznych (w tym: performance ratio, sprawność, źródła strat, uzyski energii).*

### **Projekt**

*Studenci zaprojektują prosty system fotowoltaiczny i przeprowadzą symulację jego działania używając wybranej z dedykowanych do tego celu popularnych aplikacji, np. PVsyst. Użyta aplikacja będzie narzędziem umożliwiającym modelowanie i symulację pracy systemów fotowoltaicznych zarówno podłączonych do sieci energetycznej (on-grid) jak i autonomicznych (stand alone). Student otrzymuje indywidualne zadanie, w ramach którego projektuje system pod kątem maksymalizacji uzyskanej energii zgodnie z otrzymanymi wytycznymi (np. system on-grid, dach dwuspadowy o kącie 60 stopni i wymiarach 2x(10x4m), Kraków, itp). Następnie przeprowadza szereg symulacji przy zmianie określonych parametrów i porównuje otrzymane wyniki.*

**Egzamin:** *nie*

**Literatura:** *(wpisać zestaw literatury do przedmiotu, to pole jest obowiązkowe)*

- 1. Ewa Klugmann-Radziemska, „Fotowoltaika w teorii i praktyce”, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010.*
- 2. Zbysław Pluta, „Słoneczne instalacje energetyczne”, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2007.*
- 3. Jerzy Sanetra, „Efekt fotowoltaiczny w organicznych ogniwach słonecznych – zagadnienia wybrane”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.*
- 4. Mariusz Sarniak, „Podstawy fotowoltaiki”, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2008.*
- 5. Dodatkowe materiały dostępne u prowadzącego wykład.*

### **Oprogramowanie:**

*Oprogramowanie dedykowane do modelowania i symulacji pracy systemów fotowoltaicznych np. PVsyst.*

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P
	30	-	16	6

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):**

1. liczba godzin kontaktowych – 56 godz., w tym

- obecność na wykładach 30 godz.,
- obecność na laboratorium 16 godz.,
- obecność na zajęciach projektowych 6 godz.
- udział w konsultacjach 4 godz.

2. Praca własna studenta - 46 godz., w tym

- przygotowanie do laboratoriów 8 godz.,
- przygotowanie do kolokwium 16 godz.,
- wykonywanie zadań projektowych 10 godz.
- przygotowanie sprawozdań (projekty i laboratoria) 12 godz.

**Łączny nakład pracy studenta wynosi 102 godz., co odpowiada 4 pkt ECTS.**

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:** 2,2 pkt ECTS, co odpowiada 56 godz. kontaktowym.

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:** 2,0 pkt ECTS, co odpowiada 16 godz. ćwiczeń laboratoryjnych, 16 godz. zajęć projektowych, 8 godz. przygotowania do laboratorium oraz 12 godz. przygotowywania sprawozdań z projektu i laboratorium.

**Efekty kształcenia/uczenia się:**

<b>Efekty kształcenia/uczenia się</b>	<b>forma zajęć/ technika kształcenia</b>	<b>sposób weryfikacji (oceny)</b>	<b>odniesienie do efektów uczenia się dla programu</b>
student, który zaliczył przedmiot:			
<b>WIEDZA</b>			
Ma szczegółową wiedzę w zakresie wybranych kierunków rozwijających się w ścisłym związku z elektroniką.	Wykład	Kolokwium	P7U_W02
Ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę ogólną obejmującą kluczowe zagadnienia z zakresu zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki	Wykład Laboratorium	Kolokwium Raport	P7U_W03
Ma podbudowaną teoretycznie szczegółową wiedzę związaną z	Wykład Laboratorium	Kolokwium Raport	P7U_W04

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

wybranymi zagadnieniami z zakresu fotowoltaiki oraz projektowania systemów fotowoltaicznych	Projekt		
Zna podstawowe metody, techniki, narzędzia i materiały stosowane przy rozwiązywaniu złożonych zadań inżynierskich z zakresu analizy i projektowania systemów fotowoltaicznych	Wykład Laboratorium Projekt	Kolokwium Raport	P7U_W06
<b>UMIEJĘTNOŚCI</b>			
Potrafi planować i przeprowadzać eksperymenty, w tym zaawansowane pomiary i symulacje komputerowe w zakresie analizy złożonych systemów fotowoltaicznych oraz opracować i interpretować uzyskane wyniki i wyciągać wnioski:	Laboratorium	Raport	P7U_U07
Potrafi wykorzystać metody analityczne, symulacyjne oraz eksperymentalne do formułowania i rozwiązywania zadań inżynierskich i prostych problemów badawczych w zakresie analizy i projektowania złożonych systemów fotowoltaicznych	Laboratorium Projekt	Raport	P7U_U08
Potrafi formułować i testować hipotezy związane z problemami inżynierskimi i prostymi problemami badawczymi w zakresie analizy i projektowania złożonych systemów fotowoltaicznych	Laboratorium Projekt	Raport	P7U_U10
Potrafi dokonać krytycznej analizy sposobu funkcjonowania i ocenić istniejące rozwiązania techniczne w zakresie lub analizy i projektowania złożonych systemów fotowoltaicznych	Laboratorium Projekt	Raport	P7U_U12
Potrafi rozwiązywać złożone zadania inżynierskie, charakterystyczne dla studiowanej specjalności, w tym zadania nietypowe oraz zadania zawierające komponent badawczy	Wykład Laboratorium Projekt	Kolokwium Raport	P7U_U15
<b>KOMPETENCJE SPOŁECZNE</b>			
Potrafi myśleć i działać w sposób kreatywny i przedsiębiorczy.	Wykład Laboratorium Projekt	Kolokwium Raport	P7U_K01