



Karta przedmiotu

Nazwa i kod przedmiotu	Pasywne systemy chłodzenia urządzeń elektrowni jądrowych, PG_00065901						
Kierunek studiów	Energetyka jądrowa						
Data rozpoczęcia studiów	luty 2025 r.	Rok akademicki realizacji przedmiotu			2025/2026		
Poziom kształcenia	II stopnia	Grupa zajęć			Grupa zajęć specjalnościowych Grupa zajęć powiązanych z prowadzonymi badaniami naukowymi w dziedzinie nauki związanej z kierunkiem - profil ogólnoakademicki		
Forma studiów	stacjonarne	Sposób realizacji			na uczelni		
Rok studiów	1	Język wykładowy			polski		
Semestr studiów	2	Liczba punktów ECTS			3.0		
Profil kształcenia	ogólnoakademicki	Forma zaliczenia			zaliczenie		
Jednostka prowadząca	Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa -> Instytut Energii -> Zakład Systemów i Urządzeń Energetyki Ciepłej						
Imię i nazwisko wykładowcy (wykładowców)	Odpowiedzialny za przedmiot	dr inż. Paweł Szymański					
	Prowadzący zajęcia z przedmiotu						
Formy zajęć i metody nauczania	Forma zajęć	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium	RAZEM
	Liczba godzin zajęć	15.0	0.0	0.0	15.0	0.0	30
W tym liczba godzin zajęć na odległość: 0.0							
Aktywność studenta i liczba godzin pracy	Aktywność studenta	Udział w zajęciach dydaktycznych, objętych planem studiów	Udział w konsultacjach	Praca własna studenta	RAZEM		
	Liczba godzin pracy studenta	30	8.0	37.0	75		
Cel przedmiotu	Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z zasadami działania, projektowania oraz eksploatacji pasywnych systemów chłodzenia w elektrowniach jądrowych. Studenci poznają mechanizmy pasywnego transportu ciepła i masy w warunkach normalnych oraz awaryjnych, uczą się identyfikować, dobrać i projektować odpowiednie technologie pasywne (rurki ciepła, termosyfony, materiały zmiennofazowe itp.), a także analizować ich efektywność i bezpieczeństwo eksploatacyjne. Dzięki temu zdobywają kompetencje niezbędne do pracy przy projektach związanych z bezpieczeństwem reaktorów jądrowych i rozwojem nowoczesnych rozwiązań chłodzenia.						

Efekty uczenia się przedmiotu	Efekt kierunkowy	Efekt z przedmiotu	Sposób weryfikacji i oceny efektu
	<p>[K7_U15] ocenia przydatność zaawansowanych metod i narzędzi do rozwiązania złożonego zadania inżynierskiego o charakterze praktycznym, charakterystycznym dla kierunku studiów oraz wybiera i stosuje w tym celu właściwe metody i narzędzia</p>	<p>Wiedza Potrafi wskazać, w jakich warunkach i dla jakiego typu zagadnień (różne konfiguracje rurek ciepła, termosyfonów czy układów z materiałami zmiennofazowymi) poszczególne narzędzia obliczeniowe mają największą wartość poznawczą i praktyczną. Umiejętności</p> <p>Student potrafi właściwie dobrać zaawansowane narzędzia projektowania i symulacji (np. oprogramowanie inżynierskie) do rozwiązywania konkretnych problemów związanych z pasywnymi systemami chłodzenia w elektrowniach jądrowych, uwzględniając złożoność zjawisk (transport ciepła i masy, zmiana fazy, konwekcja naturalna). Umie zinterpretować i krytycznie ocenić wyniki uzyskane z zastosowanych metod (np. numerycznych, eksperymentalnych), porównując je z dostępnymi danymi literaturowymi lub normami branżowymi. Potrafi przygotować odpowiednie założenia i uproszczenia modelu (zachowując istotne aspekty fizyczne zjawisk) oraz uzasadnić ich wpływ na końcową ocenę skuteczności pasywnego systemu chłodzenia.</p> <p>Kompetencje społeczne Student wykazuje dojrzałość w dokonywaniu wyboru narzędzi i metod badawczych, uwzględniając nie tylko kryteria techniczne i efektywność obliczeniową, ale także koszty, czasochłonność oraz dostępność zasobów i infrastruktury. Uświadamia sobie konieczność ciągłego doskonalenia w zakresie nowoczesnych technologii i narzędzi do analizy systemów jądrowych oraz ich aplikacji w praktyce inżynierskiej. Dzięki tym efektom kształcenia student nabywa umiejętność krytycznej oceny przydatności różnych metod i narzędzi (zarówno oprogramowania obliczeniowego, jak i metod eksperymentalnych) w rozwiązywaniu złożonych zadań inżynierskich związanych z projektowaniem i oceną pasywnych systemów chłodzenia w energetyce jądrowej, a następnie potrafi wybrać i zastosować najodpowiedniejsze z nich do danego projektu.</p>	<p>[SU1] Ocena realizacji zadania [SU2] Ocena umiejętności analizy informacji [SU3] Ocena umiejętności wykorzystania wiedzy uzyskanej w ramach przedmiotu [SU4] Ocena umiejętności korzystania z metod i narzędzi</p>

	Efekt kierunkowy	Efekt z przedmiotu	Sposób weryfikacji i oceny efektu
	<p>[K7_W03] wykazuje się uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzą obejmującą kluczowe zagadnienia z zakresu Energetyki Jądrowej pozwalające na projektowanie procesów i systemów energetycznych</p>	<p>Wiedza: Student zna i rozumie podstawowe zasady funkcjonowania pasywnych systemów chłodzenia w elektrowniach jądrowych, w tym ich rolę w bezpieczeństwie reaktorów oraz wpływ na ogólną efektywność procesów energetycznych. Potrafi scharakteryzować główne technologie pasywne (rurki ciepła, termosyfony, materiały zmiennofazowe itd.) oraz wyjaśnić ich zastosowanie w kontekście różnych typów reaktorów. Zna kluczowe wymagania materiałowe oraz kryteria projektowe niezbędne do doboru i wdrożenia pasywnych systemów chłodzenia.</p> <p>Umiejętności Student potrafi zaprojektować wstępny schemat pasywnego systemu chłodzenia dla wybranego reaktora, biorąc pod uwagę warunki normalnej eksploatacji i scenariusze awaryjne. Potrafi dokonać analizy termodynamicznej i ocenić efektywność zastosowanych rozwiązań poprzez dobór odpowiednich narzędzi obliczeniowych (np. modele numeryczne). Umie zidentyfikować zagrożenia i ograniczenia wynikające z charakterystyki pracy urządzeń pasywnych w zmieniających się warunkach procesowych i środowiskowych.</p> <p>Kompetencje Student rozumie znaczenie bezpieczeństwa jądrowego i potrafi efektywnie współpracować z zespołem projektowym nad rozwiązaniami zwiększającymi niezawodność systemów chłodzenia. Wykazuje postawę ciągłego poszerzania wiedzy o nowych technologiach pasywnych i perspektywach ich rozwoju w energetyce jądrowej, co sprzyja podejmowaniu świadomych decyzji projektowych.</p>	<p>[SW2] Ocena wiedzy zawartej w prezentacji [SW1] Ocena wiedzy faktograficznej</p>

	Efekt kierunkowy	Efekt z przedmiotu	Sposób weryfikacji i oceny efektu
	<p>[K7_U04] twórczo projektuje lub modyfikuje, w całości lub co najmniej w części, systemy Energetyki Jądrowej zgodnie z zadaną specyfikacją, uwzględniając aspekty techniczne i pozatechniczne, szacując koszty i wykorzystując techniki projektowania właściwe dla zadań z zakresu Energetyki Jądrowej</p>	<p>Wiedza Student zna i rozumie zasady włączania pasywnych systemów chłodzenia w istniejące i nowo projektowane układy energetyki jądrowej. Potrafi wskazać, w których obszarach reaktora (rdzeń, układy pomocnicze, obiegi parowe) zastosowanie pasywnych systemów jest najbardziej efektywne i jakie aspekty (techniczne, środowiskowe, ekonomiczne) należy wziąć pod uwagę.</p> <p>Umiejętności Student potrafi twórczo zaprojektować lub zmodyfikować wybrany element pasywnego systemu chłodzenia (np. zestaw rurek ciepła, termosyfonów) z uwzględnieniem zadanej specyfikacji technicznej oraz ograniczeń wynikających z przepisów bezpieczeństwa. Umie przeprowadzić wstępną analizę kosztów wdrożenia pasywnego systemu chłodzenia w elektrowni jądrowej, uwzględniając m.in. dobór materiałów, złożoność instalacji czy koszty eksploatacyjne. Wykorzystuje właściwe techniki projektowania i symulacji (m.in. obliczenia numeryczne) do optymalizacji rozwiązań chłodzenia w kontekście różnych kryteriów (np. efektywności, niezawodności, bezpieczeństwa). Potrafi zaprezentować proponowaną koncepcję wdrożenia lub modyfikacji pasywnego systemu chłodzenia, uwzględniając argumenty natury technicznej oraz pozatechnicznej (ekologicznej, ekonomicznej, społecznej).</p> <p>Kompetencje społeczne Student rozumie konieczność współpracy w interdyscyplinarnym zespole (konstruktorzy, technologowie, specjaliści BHP, ekonomiści) i potrafi uwzględnić różne perspektywy (techniczne, prawne, środowiskowe, społeczne) w trakcie projektowania. Wykazuje odpowiedzialność za podejmowane decyzje inżynierskie, szczególnie w zakresie bezpieczeństwa jądrowego oraz skutków ekonomiczno-środowiskowych.</p>	<p>[SU1] Ocena realizacji zadania [SU2] Ocena umiejętności analizy informacji [SU4] Ocena umiejętności korzystania z metod i narzędzi</p>

	Efekt kierunkowy	Efekt z przedmiotu	Sposób weryfikacji i oceny efektu
	[K7_U03] identyfikuje i formułuje specyfikację zadań w zakresie projektowania procesów i systemów energetycznych w tym zadań nietypowych, uwzględniając również ich aspekty pozatechniczne	<p>Wiedza Student posiada uporządkowaną wiedzę o wymogach technicznych i regulacyjnych, które należy uwzględnić przy formułowaniu specyfikacji systemów energetycznych opartych na pasywnych układach chłodzenia.</p> <p>Umiejętności Student potrafi zidentyfikować i zdefiniować zadania projektowe, konieczne do stworzenia specyfikacji lub modyfikacji pasywnego systemu chłodzenia w elektrowni jądrowej, uwzględniając zarówno aspekty techniczne (np. parametry termodynamiczne, dobór materiałów), jak i ograniczenia związane z bezpieczeństwem jądrowym. Umie formułować szczegółowe wymagania projektowe dla nowych i nietypowych aplikacji (np. małe reaktory modułowe, hybrydowe układy chłodzenia), wykorzystując wiedzę o specyfice układów pasywnych i ich roli w procesie odprowadzania ciepła w różnych warunkach pracy.</p>	[SU1] Ocena realizacji zadania [SU4] Ocena umiejętności korzystania z metod i narzędzi [SU3] Ocena umiejętności wykorzystania wiedzy uzyskanej w ramach przedmiotu
Treści przedmiotu	<p>1. Wprowadzenie do systemów chłodzenia w elektrowniach jądrowych. Rola systemów chłodzenia w bezpieczeństwie reaktorów jądrowych. Podstawowe wymagania chłodzenia dla różnych typów reaktorów.</p> <p>2. Rodzaje systemów chłodzenia Systemy aktywne i pasywne. Przykłady wdrożonych rozwiązań na świecie.</p> <p>3. Pasywne systemy chłodzenia zasada działania Grawitacyjne systemy chłodzenia. Radiatory i żebra proste Nowoczesne urządzenia chłodzenia z (rurki ciepła, termosyfony, pętlowe rurki ciepła LHP, rury z obiegiem kapilarnym CPL, materiały zmiennofazowe)</p> <p>4. Systemy chłodzenia w warunkach awarii Scenariusze awaryjne i ich wpływ na działanie systemów chłodzenia.</p> <p>5. Analiza i projektowanie pasywnych systemów chłodzenia na przykładzie rurek ciepła Metody projektowania. Kryteria doboru materiałów. Wymagania eksploatacyjne.</p> <p>6. Przyszłość pasywnych systemów chłodzenia Wyzwania technologiczne. Nowe technologie i kierunki rozwoju.</p>		
Wymagania wstępne i dodatkowe	Znajomość podstaw matematyki, fizyki, termodynamiki, materiałoznawstwa, mechaniki płynów.		
Sposoby i kryteria oceniania osiągniętych efektów uczenia się	Sposób oceniania (składowe)	Próg zaliczeniowy	Składowa oceny końcowej
	Projekt	56.0%	50.0%
	Egzamin ustny	56.0%	50.0%
Zalecana lista lektur	Podstawowa lista lektur	Bahman Zohuri "Heat Pipe Applications in Fission Driven Nuclear Power Plants"	
	Uzupełniająca lista lektur	Hussam Jouhara, David Reay, Ryan McGlen, Peter Kew, Jonathan McDonough "Heat Pipes: Theory, Design and Applications"	
	Adresy eZasobów	Adresy na platformie eNauczanie:	

<p>Przykładowe zagadnienia/ przykładowe pytania/ realizowane zadania</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Klasyfikacja i podstawy teoretyczne <ol style="list-style-type: none"> 1. Wyjaśnij różnicę między systemami aktywnymi a pasywnymi w kontekście bezpieczeństwa jądrowego. 2. Na czym polega rola grawitacji w pasywnym odprowadzaniu ciepła w elektrowni jądrowej? 3. Porównaj wymagania chłodzenia w reaktorach PWR i BWR. Jakże aspekty należy uwzględnić, projektując dla nich pasywne systemy chłodzenia? 2. Technologie i zasada działania pasywnych systemów <ol style="list-style-type: none"> 1. Opisz zasadę działania rurki ciepła (Heat Pipe). Jakie procesy zachodzą wewnątrz rurki podczas transportu ciepła? 2. Czym różnią się pętlowe rurki ciepła (LHP) od klasycznych rurek ciepła? 3. Zdefiniuj pojęcie materiału zmiennofazowego (PCM). W jaki sposób zastosowanie PCM może poprawić niezawodność systemu chłodzenia? 4. Przedstaw schemat działania termosyfonu i omów, jakie zjawiska fizyczne umożliwiają jego efektywną pracę. 3. Projektowanie i analiza systemów pasywnych <ol style="list-style-type: none"> 1. Jakże czynniki uwzględnia się przy doborze materiału roboczego do rurki ciepła (np. woda, amoniak, ciekłe metale)? 2. Wymień i omów najważniejsze kryteria projektowe (np. maksymalna temperatura, odporność na korozję, właściwości cieplne) pasywnego systemu chłodzenia. 3. Jakże metody obliczeniowe stosuje się do analizy pracy pasywnych systemów chłodzenia? W jakich sytuacjach dana metoda jest najbardziej uzasadniona? 4. Warunki awaryjne i bezpieczeństwo jądrowe <ol style="list-style-type: none"> 1. Przedstaw scenariusz awaryjny typu LOCA (Loss of Coolant Accident). Jaką rolę odgrywają w nim pasywne systemy chłodzenia? 2. Omów, w jaki sposób pasywne systemy chłodzenia mogą zredukować ryzyko stopienia rdzenia w sytuacji awaryjnej bez dostępu do zewnętrznego zasilania elektrycznego. 3. Jakże parametry systemu chłodzenia należy monitorować w warunkach awaryjnych, aby potwierdzić poprawność działania rozwiązań pasywnych? 5. Przykłady wdrożeń i nowe technologie <ol style="list-style-type: none"> 1. Przedstaw przykłady reaktorów, w których zastosowano zaawansowane rozwiązania pasywne (np. AP1000, ESBWR). Wskaż kluczowe cechy tych systemów. 2. Omów trendy rozwojowe w zakresie pasywnych systemów chłodzenia dla małych reaktorów modułowych (SMR). 3. Jaką rolę mogą odegrać nanociecze (nanofluids) w dalszym usprawnianiu pasywnych systemów chłodzenia? 6. Zadania problemowe / praktyczne <ol style="list-style-type: none"> 1. <p>Zaproponuj koncepcję pasywnego układu chłodzenia dla wybranego fragmentu elektrowni jądrowej (np. wymiennik ciepła, osłona reaktora), uwzględniając:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warunki eksploatacji (ciśnienie, temperatura). • Dobór materiału roboczego i obudowy. • Główne ograniczenia wynikające z bezpieczeństwa. 2. <p>Przeprowadź uproszczony bilans cieplny układu z rurkami ciepła, w którym występuje 100 MW energii cieplnej do odprowadzenia.</p> <p>Oceń zasadność zastosowania materiałów zmiennofazowych w chłodzeniu pasywnym w przypadku potencjalnych wahań obciążenia reaktora:</p> <p>Jakże właściwości PCM są kluczowe przy dynamicznych zmianach temperatury? W jaki sposób dobrać punkt topnienia materiału?</p>
<p>Praktyki zawodowe w ramach przedmiotu</p>	<p>Nie dotyczy</p>

Dokument wygenerowany elektronicznie. Nie wymaga pieczęci ani podpisu.