Politechnika Łódzka

Reaktory heterofazowe

Karta przedmiotu

Informacje podstawowe

Kierunek studiów Inżynieria procesów przemysłowych **Specjalność/ścieżka** - **Jednostka organizacyjna** Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska **Poziom studiów** studia drugiego stopnia (magister inżynier) **Forma studiów** studia stacjonarne **Profil studiów** ogólnoakademicki	**Cykl dydaktyczny** 2026/27 **Kod przedmiotu** **Język wykładowy** polski **Obligatoryjność** Przedmioty do wyboru **Blok zajęciowy** Przedmioty kierunkowe **Przedmiot powiązany z badaniami naukowymi** Tak

Kierownik przedmiotu	Mariola Błaszczyk
Prowadzący zajęcia	Mariola Błaszczyk, Radosław Ślęzak

Okres Semestr 2	**Forma weryfikacji efektów uczenia się** Zaliczenie na ocenę **Rodzaj i godziny zajęć** • Wykład: 30 • Ćwiczenia: 20 • Zajęcia projektowe: 20	**Liczba punktów ECTS** 5

Wymagania wstępne

Znajomość podstaw z zagadnień: Mechanika Płynów, Ruch ciepła, Ruch masy oraz Termodynamika, Chemia i kinetyka reakcji chemicznych

Efekty uczenia się

Kod	Efekty uczenia się	Szczegółowe wskaźniki osiągnięcia efektów
2IPP2	Posiada zaawansowaną wiedzę, w tym wiedzę szczegółową, w zakresie bilansów materiałowych i energetycznych, mechaniki płynów, wymiany pędu, transportu ciepła i masy, kinetyki reakcji, procesów rozdzielania, dynamiki procesów i ich kontroli, projektowania aparatury oraz technologii wytwarzania produktów; analizuje i ocenia główne tendencje rozwojowe w inżynierii chemicznej i biochemicznej.	2IPP2.1 Opracowuje i analizuje bilanse materiałowe i energetyczne dla różnorodnych procesów inżynierii chemicznej i biochemicznej, wykorzystując zaawansowaną wiedzę z zakresu mechaniki płynów, wymiany pędu oraz transportu ciepła i masy. 2IPP2.2 Projektuje i optymalizuje reaktory oraz aparaturę procesową, z uwzględnieniem dynamiki procesów i skutecznej kontroli reakcji chemicznych i biochemicznych.
2IPP4	Formułuje i testuje zadania badawcze związane z modelowaniem i projektowaniem; integruje wiedzę z różnych działów inżynierii chemicznej i pokrewnych; dokonuje krytycznej analizy i oceny wyników.	2IPP4.1 Definiuje problem badawczy w obszarze inżynierii chemicznej, stosując interdyscyplinarne podejście.

Treści programowe

Projektowanie i analiza reaktorów heterogenicznych, klasyfikacja i zasady działania, reaktory gaz–ciecz i gaz–ciało stałe, kinetyka i bilanse procesów wielofazowych, projektowanie i ocena efektywności reaktorów w nowoczesnych technologiach przemysłowych.

Informacje rozszerzone

Szczegółowe treści przedmiotowe

Lp.	Szczegółowe treści przedmiotowe	Rodzaj zajęć
1.	W racham części wykładowej omawiane są następujące treści: 1. Reaktory heterofazowe – wprowadzenie: definicja procesów heterofazowych, klasyfikacja reaktorów ze względu na liczbę i stan skupienia faz oraz sposób ich kontaktowania. Znaczenie reaktorów heterofazowych w inżynierii chemicznej i procesowej. 2. Reaktory homofazowe (powtórzenie i usystematyzowanie wiedzy): przypomnienie podstawowych modeli reaktorów idealnych, równań bilansowych masy i energii oraz ich znaczenie jako punktu odniesienia w analizie reaktorów heterofazowych. 3. Rodzaje reaktorów heterofazowych: systematyka reaktorów heterofazowych gaz–ciecz, gaz–ciało stałe, ciecz–ciało stałe oraz układów wielofazowych. Charakterystyka zasad działania i obszarów zastosowań poszczególnych typów reaktorów. 4. Reaktory katalityczne: podstawy reakcji katalitycznych, rola katalizatora w procesach heterofazowych, klasyfikacja reaktorów katalitycznych oraz ich zastosowanie przemysłowe. 5. Katalizatory w procesach heterofazowych: idea katalizy heterogenicznej, mechanizm działania katalizatora, rodzaje katalizatorów stosowanych w procesach heterofazowych, metody preparacji katalizatorów, podstawowe parametry charakteryzujące katalizatory (aktywność, selektywność, trwałość) oraz metody badań i charakteryzacji katalizatorów. 6. Adsorpcja i kinetyka reakcji katalitycznych: zjawiska adsorpcji i desorpcji reagentów, modele kinetyczne reakcji katalitycznych oraz wpływ parametrów procesu na szybkość reakcji. 7. Dyfuzja wewnętrzna w procesach katalitycznych: transport masy w porowatej strukturze katalizatora, opory dyfuzyjne oraz ich wpływ na szybkość reakcji i efektywność katalizatora. 8. Dyfuzja zewnętrzna w procesach katalitycznych: transport masy pomiędzy fazą płynną lub gazową a powierzchnią katalizatora, opory przejmowania masy oraz ich wpływ na przebieg procesu reakcyjnego. 9. Bilansowanie reaktorów katalitycznych: równania bilansowe masy i energii dla reaktorów katalitycznych, modele matematyczne pracy reaktorów oraz podstawy ich projektowania i skalowania. 10. Dezaktywacja katalizatorów: mechanizmy dezaktywacji katalizatorów, wpływ dezaktywacji na pracę reaktora oraz podstawowe metody ograniczania i regeneracji katalizatorów. 11. Reakcje niekatalityczne: charakterystyka heterofazowych reakcji niekatalitycznych, kinetyka reakcji oraz modele opisujące przebieg procesów. 12. Reaktory heterofazowe płyn–płyn: zasady kontaktowania faz ciekłych, kinetyka reakcji w układach płyn–płyn, równania bilansowe oraz podstawy projektowania reaktorów płyn–płyn. 13. Reaktory fluidyzacyjne: podstawy fluidyzacji, charakterystyka reaktorów ze złożem fluidalnym, hydrodynamika złoża oraz zastosowania przemysłowe. 14. Reaktory trójfazowe oraz inne typy reaktorów heterofazowych: charakterystyka reaktorów gaz–ciecz–ciało stałe, reaktorów membranowych, biochemicznych oraz mikroreaktorów. 15. Bezpieczeństwo procesów reaktorowych: identyfikacja zagrożeń w procesach heterofazowych oraz podstawowe zasady bezpiecznego projektowania i eksploatacji reaktorów chemicznych.	Wykład
2.	Ćwiczenia mają charakter rachunkowy i problemowy oraz polegają na samodzielnym i zespołowym rozwiązywaniu zadań obliczeniowych związanych z analizą procesów zachodzących w reaktorach heterofazowych. Obejmują one zagadnienia dotyczące sprzężenia kinetyki reakcji chemicznej z transportem masy w układach heterofazowych, w szczególności w procesach katalitycznych. Rozwiązywane problemy dotyczą oceny wpływu oporów dyfuzji wewnętrznej i zewnętrznej na szybkość reakcji, interpretacji kryteriów bezwymiarowych stosowanych w analizie procesów heterofazowych oraz wyznaczania parametrów charakteryzujących efektywność pracy katalizatora. W ramach ćwiczeń analizowane są także zagadnienia związane z transportem masy w porowatej strukturze katalizatora, doborem parametrów geometrycznych ziaren katalizatora oraz oceną ich wpływu na przebieg procesu reakcyjnego i warunki hydrodynamiczne złoża. Szczególny nacisk kładziony jest na inżynierską interpretację wyników obliczeń, identyfikację dominujących oporów procesu oraz ich znaczenie w projektowaniu i eksploatacji reaktorów heterofazowych.	Ćwiczenia
3.	Wykonanie projektu reaktora heterofazowego do adsorpcji CO2 z reakcją chemiczną. Dobór aparatury oraz urządzeń kontrolno-pomiarowych do prowadzenia procesu	Zajęcia projektowe

Metody i techniki prowadzenia zajęć, warunki zaliczenia

Rodzaj zajęć	Metody i techniki prowadzenia zajęć	Warunki zaliczenia
Wykład	Wykład	Pozytywna ocena z kolokwium zaliczeniowego Uzyskanie 60% punktów z kolokwium.
Ćwiczenia	Metoda ćwiczebna (np. wykonanie zadań przy tablicy)	Warunkiem zaliczenia ćwiczeń jest samodzielne rozwiązanie problemu rachunkowo-projektowego z zakresu inżynierii reaktorów heterofazowych, obejmujące analizę ilościową oraz inżynierską ocenę uzyskanych wyników w kontekście projektowania i eksploatacji reaktorów heterofazowych.
Zajęcia projektowe	Wykonanie projektu	Poprawne przygotowanie i obrona projektu (prezentacja).

Narzędzia weryfikacji, udział w ocenie końcowej

Rodzaj zajęć	Narzędzia weryfikacji i udział w ocenie końcowej
Wykład	Zaliczenie pisemne: 45%
Ćwiczenia	Kolokwium praktyczne: 25%
Zajęcia projektowe	Projekt: 30%

Weryfikacja efektów

Szczegółowe wskaźniki osiągnięcia efektów	Kryteria weryfikacji	Narzędzie weryfikacji (rodzaj zajęć)
2IPP2.1	1) Zaliczenie pisemne - część wykładowa (kolokwium / egzamin) Ocena pozytywna, gdy student: • poprawnie formułuje i analizuje bilanse materiałowe i energetyczne dla reaktorów heterofazowych, z uwzględnieniem reakcji chemicznych oraz zjawisk transportu masy i ciepła; • identyfikuje i interpretuje wpływ parametrów procesowych na przebieg i efektywność procesów heterofazowych; • stosuje i interpretuje wielkości oraz kryteria bezwymiarowe wykorzystywane w analizie procesów reaktorowych. 2) Ćwiczenia rachunkowe Ocena pozytywna, gdy student: • wykonuje poprawne obliczenia ilościowe związane z analizą procesów zachodzących w reaktorach heterofazowych, w szczególności w zakresie sprzężenia kinetyki reakcji z transportem masy; • analizuje wpływ oporów dyfuzji wewnętrznej i zewnętrznej na szybkość reakcji i bilanse procesu; • interpretuje uzyskane wyniki w kontekście ograniczeń transportowych i ich znaczenia dla pracy reaktora 3) Projekt i prezentacja projektu Ocena pozytywna, gdy student: • opracował koncepcję reaktora heterofazowego lub procesu heterofazowego, opartą na analizie bilansów materiałowych i energetycznych; • dobrał i uzasadnił parametry procesu z uwzględnieniem zjawisk transportu masy i ciepła; • przedstawił i obronił przyjęte rozwiązania projektowe, wykazując umiejętność inżynierskiej interpretacji wyników obliczeń.	Zaliczenie pisemne (Wykład), Projekt (Zajęcia projektowe), Kolokwium praktyczne (Ćwiczenia)

Szczegółowe wskaźniki osiągnięcia efektów	Kryteria weryfikacji	Narzędzie weryfikacji (rodzaj zajęć)
2IPP2.2	1) Zaliczenie pisemne (kolokwium / egzamin) Ocena pozytywna, gdy student: • zna podstawowe zasady projektowania i doboru reaktorów heterofazowych oraz aparatury procesowej; • identyfikuje parametry wpływające na przebieg, stabilność i dynamikę procesów reakcyjnych; rozumie rolę kontroli i regulacji w zapewnieniu prawidłowego przebiegu reakcji chemicznych i biochemicznych. 2) Ćwiczenia rachunkowe Ocena pozytywna, gdy student: • analizuje wpływ zmian parametrów procesowych na pracę reaktorów heterofazowych; • interpretuje wyniki obliczeń w kontekście efektywności i stabilności procesu; • formułuje ogólne wnioski dotyczące optymalizacji warunków prowadzenia reakcji. 3) Projekt i prezentacja projektu Ocena pozytywna, gdy student: • opracował koncepcję reaktora heterofazowego lub aparatury procesowej odpowiednią do danego procesu; • zaproponował i uzasadnił ogólne założenia projektowe, w tym dobór typu reaktora i podstawowych parametrów pracy; • odniósł przyjęte rozwiązania do wymagań stabilnego prowadzenia procesu oraz możliwości jego kontroli; • zaprezentował i obronił projekt, wykazując zrozumienie inżynierskich aspektów projektowania reaktorów heterofazowych.	Zaliczenie pisemne (Wykład), Projekt (Zajęcia projektowe), Kolokwium praktyczne (Ćwiczenia)
2IPP4.1	1) Zaliczenie pisemne (kolokwium / egzamin) Ocena pozytywna, gdy student: • identyfikuje i formułuje problemy badawcze związane z procesami zachodzącymi w reaktorach heterofazowych; • wskazuje kluczowe zjawiska chemiczne, transportowe i hydrodynamiczne istotne dla ich opisu i analizy. 2) Ćwiczenia rachunkowe / problemowe Ocena pozytywna, gdy student: • analizuje problemy inżynierskie i badawcze dotyczące reaktorów heterofazowych, identyfikując zmienne, parametry i ograniczenia procesu; • interpretuje wyniki analiz w celu określenia kierunków dalszych badań. 3) Projekt i prezentacja projektu Ocena pozytywna, gdy student: • definiuje problem badawczy związany z analizą lub projektowaniem reaktora heterofazowego; • określa cel i zakres zagadnienia, integrując aspekty chemiczne, fizyczne i inżynierskie; • uzasadnia sformułowany problem badawczy w sposób interdyscyplinarny.	Zaliczenie pisemne (Wykład), Projekt (Zajęcia projektowe), Kolokwium praktyczne (Ćwiczenia)

Literatura

Obowiązkowa

1. O. Levenspiel, Chemical Reaction Engineering, Wiley, N.Y., 1999.
2. A. Burghardt, G. Bartelmus, Inżynieria reaktorów chemicznych. Tom II Reaktory dla układów heterogenicznych. PWN, Warszawa, 2001.
3. S. Ledakowicz, Wielofazowe reaktory chemiczne, WPŁ, Łódź, 1994.
4. M. Palica, M. Płaczek, J. Thullie, S. Witczak, Reaktory chemiczne heterogeniczne, OW, Opole, 2012

Dodatkowa

1. L.D. Schmidt, The Engineering of Chemical Reactions, Oxford University Press, 2005.
2. L.K. Doraiswamy, M.M. Sharma, Heterogeneous reactions, vol. I, II, Wiley, N.Y., 1984.
3. A. Chacuk, A. Cieślak, S. Ledakowicz, Zbiór zadań z inżynierii procesów reaktorowych, WPŁ, Łódź, 1988.

Badania i publikacje

M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, Modeling of flow resistance and concentration changes during the pressure transport of emulsion through porous media, Chemical Engineering Research and Design, 127, 10-21, 2017, DOI:10.1016/j.cherd.2017.08.018

M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, Modeling and experimental data of the flow of highly concentrated emulsions in porous media, Engineering Science and Technology, an International Journal, 23, 6, 1444 – 1454, 2020, DOI:10.1016/j.jestch.2020.07.003

M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, The combined diffusion and adsorption concept for prediction of nanoparticles transport through dermal layers based on experiments in membranes, International Journal of Molecular Sciences, 23, 12, 2022 Article number 6419, DOI:10.3390/ijms23126419

M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. The new attempt at modeling of the three-dimensional geometry of the epidermal skin layer and the diffusion processes of nanomolecular drug carriers in such structures, Molecules, 28, 1, 2023 Article number 205, DOI:10.3390/molecules28010205

M. Błaszczyk, Ł. Przybysz, A. Budzyń. The Influence of the Variable Wettability Characteristics of Layers on the Transport of Nanoparticles in the Context of Drug Delivery in Skin Structures. INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES, ISSN: 1422-0067, vol. 25, no. 9, rok 2024, str. 1-15. 10.3390/ijms25094665

Rozliczenie punktów ECTS

Forma aktywności studenta	**Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane aktywności**
Wykład	30
Ćwiczenia	20
Zajęcia projektowe	20
pk: Sesja wymiany informacji zwrotnych	5
pk: Sesja prezentacji projektowych	5
Udział w pisemnych lub praktycznych formach weryfikacji	4
Udział w konsultacjach	4
Analiza literatury	5
Przygotowanie do testu	15

Przygotowanie do ćwiczeń	10
Przygotowanie projektu	10
Łączny nakład pracy studenta	**Liczba godzin** 128
Liczba godzin kontaktowych	**Liczba godzin** 80
Liczba punktów ECTS	**ECTS** 5

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Kierunkowe efekty uczenia się

Kod	Treść
2IPP2.1	Opracowuje i analizuje bilanse materiałowe i energetyczne dla różnorodnych procesów inżynierii chemicznej i biochemicznej, wykorzystując zaawansowaną wiedzę z zakresu mechaniki płynów, wymiany pędu oraz transportu ciepła i masy.
2IPP2.2	Projektuje i optymalizuje reaktory oraz aparaturę procesową, z uwzględnieniem dynamiki procesów i skutecznej kontroli reakcji chemicznych i biochemicznych.
2IPP4.1	Definiuje problem badawczy w obszarze inżynierii chemicznej, stosując interdyscyplinarne podejście.