

## KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu: **Materiały nanoporowate (WTCCXCSM-MN)**

Nazwa w języku polskim:

Nazwa w jęz. angielskim: **Nanoporous materials**

### Dane dotyczące przedmiotu:

Jednostka oferująca przedmiot: Wydział Nowych Technologii i Chemii

Przedmiot dla jednostki: Wydział Nowych Technologii i Chemii

Cykl dydaktyczny: Semestr zimowy 2025/2026

Koordynator przedmiotu cyklu: prof. dr hab. inż. Jerzy Choma

### Domyślny typ protokołu dla przedmiotu:

Zaliczenie ZAL/NZAL

### Język wykładowy:

polski

### Strona WWW:

<https://www.wtc.wat.edu.pl/>

### Skrócony opis:

1. Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie nanostruktur.
2. Przegląd technik badania struktury, morfologii, składu chemicznego oraz powierzchniowych i termicznych właściwości nanomateriałów.
3. Adsorpcja azotu i argonu jako kompletna metoda wyznaczania powierzchni właściwej i porowatości materiałów nanoporowatych.
4. Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie otrzymywania nanoporowatych materiałów krzemionkowych.
5. Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie otrzymywania nanoporowatych materiałów węglowych.
6. Właściwości i zastosowanie węgla aktywnych otrzymanych z polimerów.
7. Sieci metaloorganiczne (MOF).
8. Otrzymywanie i badanie adsorpcyjnych właściwości grafenowych materiałów kompozytowych.
9. Badanie fizykochemicznych właściwości porowatych materiałów otrzymywanych metodą mechanochemiczną.
10. Laboratorium
11. Zaliczenie przedmiotu.

### Opis:

Zajęcia prowadzone są w formie wykładów i obejmują 10 godzin spotkań:

1. NAJNOWSZE OSIĄGNIĘCIA W DZIEDZINIE NANOSTRUKTUR (1 godz.).

Klasyfikacja i właściwości nanomateriałów. Historia uporządkowanych nanoporowatych materiałów. Otrzymywanie i właściwości materiałów nanoporowatych. Zastosowanie nanomateriałów. Podsumowanie. (Prezentacja NM0 i NM1).

2. PRZEGLĄD TECHNIK BADANIA STRUKTURY, MORFOLOGII, SKŁADU CHEMICZNEGO ORAZ POWIERZCHNIOWYCH I TERMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI NANOMATERIAŁÓW (1 godz.).

Rozpraszanie promieniowania rentgenowskiego (XRD). Zastosowanie metody XRD do badania fizykochemicznych właściwości materiałów nanoporowatych. Rentgenowska spektroskopia fotoelektronów (XPS) i jej zastosowanie do charakterystyki materiałów nanoporowatych. Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM). Zastosowanie SEM do badania fizykochemicznych właściwości materiałów nanoporowatych. Transmisyjna mikroskopia elektronowa (TEM). Zastosowanie TEM do badania fizykochemicznych właściwości materiałów nanoporowatych. Zastosowanie spektrometrii rozpraszania promieniowania rentgenowskiego (EDS lub EDX) do badania nanoporowatych materiałów. Spektroskopia elektromagnetyczna: UV-VIS oraz IR w charakteryzacji materiałów nanoporowatych. Spektroskopia jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR) w badaniach materiałów nanoporowatych. Spektroskopia Ramana i widma nanoporowatych materiałów. Mikroskopia sił atomowych (AFM) w badaniach materiałów nanoporowatych.

Analiza termogravimetryczna (TGA). Zastosowanie termogravimetrii do badania fizykochemicznych właściwości materiałów nanoporowatych. Adsorpcja gazów. Zastosowanie adsorpcji do badania fizykochemicznych właściwości materiałów nanoporowatych. (Prezentacja NM2).

3. ADSORPCJA AZOTU I ARGONU JAKO KOMPLETNA METODA WYZNACZANIA POWIERZCHNI WŁAŚCIWEJ I POROWATOŚCI MATERIAŁÓW NANOPOROWATYCH (1 godz.).

Adsorpcja azotu – przegląd. Adsorpcyjna charakterystyka materiałów nanoporowatych. Objętość porów. Powierzchnia Brunauera-Emmetta-Tellera (BET). Analiza metodą alfa s. Materiały MCM-41 jako modelowe mezoporowate materiały. Adsorpcyjne metody analizy funkcji rozkładu objętości porów. Metoda Kruka, Jarońca i Sayari. Metoda DFT. (Prezentacja NM3).

4. NAJNOWSZE OSIĄGNIĘCIA W DZIEDZINIE OTRZYMYWANIA NANOPOROWATYCH MATERIAŁÓW KRZEMIONKOWYCH (1 godz.).

Metoda odwzorowania do otrzymywania kanałowych mezoporów. Zastosowanie surfaktantów do otrzymywania nanoporowatych materiałów. Mezoporowate uporządkowane materiały krzemionkowe w porównaniu z konwencjonalną krzemionką. Otrzymywanie mezoporowatych materiałów krzemionkowych poprzez odwzorowanie na polimerach. Synteza nanoporowatych materiałów z wykorzystaniem techniki mikrofalowej. Otrzymywanie mezoporowatych materiałów klatkowych. Analiza porowatości materiałów klatkowych. Struktura mezoporowatych materiałów klatkowych. Uporządkowane mezoporowate materiały krzemionkowe z powierzchniowymi i z mostkowymi grupami funkcyjnymi. (Prezentacja NM4, NM5 i NM6).

5. NAJNOWSZE OSIĄGNIĘCIA W DZIEDZINIE OTRZYMYWANIA NANOPOROWATYCH MATERIAŁÓW WĘGLOWYCH (1 godz.). Synteza materiałów węglowych o jednorodnych porach. Otrzymywanie nanoporowatych materiałów węglowych poprzez odwzorowanie na stałych matrycach. Synteza materiałów nanoporowatych w wyniku koloidalnego odwzorowania. Adsorpcyjne właściwości materiałów węglowych otrzymywanych metodą koloidalnego odwzorowania. Synteza nanoporowatych materiałów węglowych metodą odwzorowania na miękkich matrycach. Właściwości nanoporowatych materiałów węglowych otrzymywanych metodą odwzorowania na miękkich matrycach. (Prezentacja NM7 i NM8).

6. WŁAŚCIWOŚCI I ZASTOSOWANIE WĘGLI AKTYWNYCH OTRZYMANYCH Z POLIMERÓW (1 godz.).

Wprowadzenie. Cel i zakres badań. Wykorzystane techniki pomiarowe. Opis otrzymywania węgla aktywnych z polimerów. Charakterystyka otrzymanych materiałów porowatych. Wnioski i podsumowanie. (Prezentacja NM9 i NM10).

7. SIECI METALOORGANICZNE (MOF) (1 godz.).

Materiały MOF – definicja. Nomenklatura struktur organiczno-nieorganicznych. Budowa materiałów MOF. Struktury IRMOF. Podział materiałów MOF. Otrzymywanie. Modyfikacje MOF. Charakterystyka fizykochemiczna MOF. Właściwości adsorpcyjne. Zastosowanie. Podsumowanie. (Prezentacja NM11).

8. OTRZYMYWANIE I BADANIE ADSORPCYJNYCH WŁAŚCIWOŚCI GRAFENOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH (1 godz.).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Omówienie syntezy grafenowych materiałów kompozytowych o bardzo dobrych parametrach struktury porowatej. Charakteryzacja strukturalna oraz analiza składu otrzymanych materiałów z wykorzystaniem wybranych technik: SEM, TEM, SR, XRD, EDS, XRF, XPS. Wyniki badań właściwości adsorpcyjnych otrzymanych materiałów względem N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> i H<sub>2</sub>. Propozycja potencjalnego zastosowania otrzymanych porowatych materiałów kompozytowych do pochłaniania/magazynowania gazów. (Prezentacja NM12).</p> <p>9. BADANIE FIZYKOCHEMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI POROWATYCH MATERIAŁÓW OTRZYMYWANYCH METODĄ MECHANOCHEMICZNĄ (1 godz.)</p> <p>Teza badawcza. Problematyka badawcza. Materiały porowate. Adsorpcja. Zastosowanie materiałów porowatych do adsorpcji gazów. Cel badań. Badania. Mechanochemiczna synteza materiałów węglowych. Mechanochemiczna synteza kompozytów węgiel – tlenek glinu. Mechanochemiczna synteza materiałów grafenowych. Mechanochemiczna synteza struktur metaloorganicznych (MOF). Podsumowanie (Prezentacja NM13).</p> <p>10. LABORATORIUM (6 godz.)</p> <p>Zapoznanie się z laboratorium badań strukturalnych materiałów porowatych znajdującym się w Zakładzie Chemii i wyznaczanie doświadczalnej izotermy adsorpcji azotu na materiale porowatym.</p> <p>11. ZALICZENIE PRZEDMIOTU (1 godz.).</p> <p><b>Literatura:</b></p> <p>Podstawowa:</p> <p>1) J. Choma, M. Jaroniec: "Characterization of nanoporous carbons by using gas adsorption isotherms", in "Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation" (T. Bandosz, Ed.), Academic Press, Oxford, 2006, chapter 3, published in series: Interface Science and Technology, vol. 7, 2006, 107-158.</p> <p>2) J. Choma, M. Jaroniec, M. Kloske: „Właściwości adsorpcyjne uporządkowanych mezoporowatych adsorbentów krzemionkowych”, Biblioteka Wiadomości Chemicznych, 2001, 89-137.</p> <p>3) J. Choma, M. Jaroniec, A. Zawiślak: „Mezoporowate węgle: synteza i właściwości”, Wiadomości Chemiczne, 2008, 62 (nr 5-6), 373-403.</p> <p>4) J. Choma, M. Kloske, M. Jaroniec: „Recent developments in synthesis and characterization of nanoporous carbons”, in "Carbon Materials. Theory and Practice", A.P. Terzyk, P. A. Gauden, P. Kowalczyk, eds., Research Signpost, Kerala, India, 2008, 15-49.</p> <p>5) S. Szeligowska, J. Choma, M. Jaroniec: „Otrzymywanie i właściwości adsorpcyjne sieci metaloorganicznych”, Wiadomości Chemiczne, 2017, 71, Nr 5-6, 299-322.</p> <p>6) B. Szczęśniak, J. Choma, M. Jaroniec: „Materiały kompozytowe MOF-grafen”, Wiadomości Chemiczne, 2017, 71, Nr 9-10, 671-693.</p> <p>Uzupełniająca:</p> <p>1) B.J. Jankiewicz, D. Jamiola, J. Choma, M. Jaroniec: „Silica-metal core-shell nanostructures”, Advances in Colloid and Interface Science, 2012, 170(1-2), 28-47.</p> <p>2) B. Szczęśniak, J. Choma, M. Jaroniec: „Otrzymywanie i właściwości adsorpcyjne materiałów grafenowych”, Wiadomości Chemiczne, 2016, 70 (nr 3-4), 189-217.</p> <p>3) B. Szczęśniak, J. Choma, M. Jaroniec: „Gas adsorption properties of graphene-based materials”, Advances in Colloid and Interface Science, 2017, 243, 46-59.</p> <p>3) B. Szczęśniak, J. Choma, M. Jaroniec: „Gas adsorption properties of hybrid graphene-MOF materials”, Journal of Colloid and Interface Science, 2018, 514, 801-813.</p> <p>4) S. Głowniak, B. Szczęśniak, J. Choma, M. Jaroniec: „Advances in microwave synthesis of nanoporous materials”, Advanced Materials, 2021, 2103477.</p> <p><b>Efekty uczenia się:</b></p> <p>Wiedza</p> <p>W1 Ma ugruntowaną i poszerzoną wiedzę z zakresu wybranej specjalności. K_W02</p> <p>W2 Ma wiedzę o aktualnych kierunkach rozwoju i najnowszych odkryciach z zakresu nauk chemicznych i pokrewnych. K_W16</p> <p>Umiejętności</p> <p>U1 Potrafi planować i wykonywać badania doświadczalne lub obserwacje w laboratorium chemicznym w zgodzie z zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy, bezpiecznego postępowania z chemikaliami oraz selekcji i utylizacji odpadów chemicznych. K_U03</p> <p>U2 Potrafi określić strukturę materiałów oraz ich właściwości fizykochemiczne w oparciu o badania rentgenograficzne, adsorpcyjne, termofizyczne, optyczne i inne. K_U07</p> <p>U3 Potrafi formułować i testować hipotezy związane z prostymi problemami badawczymi. K_U18</p> <p>Kompetencje społeczne</p> <p>K1 Rozumie społeczne aspekty praktycznego stosowania zdobytej wiedzy i umiejętności (zwłaszcza w działalności gospodarczej) oraz związaną z tym odpowiedzialność. K_K04</p> <p><b>Metody i kryteria oceniania:</b></p> <p>Zaliczenie przedmiotu odbywa się w formie ustnej. Pełna odpowiedź na pięć pytań - ocena 5,0, niepełna odpowiedź na pięć pytań - ocena 4,5, pełna odpowiedź na cztery pytania - ocena 4,0, niepełna odpowiedź na cztery pytania - ocena 3,5, pełna odpowiedź na trzy pytania - ocena 3,0, niepełna odpowiedź na trzy pytania - ocena 2,0.</p> <p>Osiągnięcie efektów W1, W2, U1, U2, U3 i K1 weryfikowane jest podczas zaliczenia przedmiotu, ćwiczeń audytoryjnych i laboratorium.</p> <p>Ocenę bardzo dobrą otrzymuje student, który posiadał wiedzę, umiejętności i kompetencje przewidziane efektami kształcenia, a ponadto wykazuje zainteresowanie przedmiotem, w sposób twórczy podchodzi do powierzonych zadań i wykazuje się samodzielnością w zdobywaniu wiedzy. Wykazuje się wytrwałością i samodzielnością w pokonywaniu trudności oraz systematycznością pracy.</p> <p>Ocenę dobrą otrzymuje student, który posiadał wiedzę i umiejętności przewidziane programem nauczania w stopniu dobrym. Potrafi rozwiązywać problemy o średnim stopniu trudności.</p> <p>Ocenę dostateczną otrzymuje student, który posiadał wiedzę i umiejętności przewidziane programem nauczania w stopniu dostatecznym. Samodzielnie rozwiązuje problemy o niskim stopniu trudności. W jego wiedzy i umiejętnościach zauważalne są luki, które potrafi jednak uzupełnić pod kierunkiem nauczyciela.</p> <p>Ocenę niedostateczną otrzymuje student, który nie posiadał wiedzy, umiejętności i kompetencji w zakresie koniecznych wymagań.</p> <p><b>Praktyki zawodowe:</b></p> <p>brak</p> <p><b>Forma studiów</b></p> <p>stacjonarne</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rodzaj studiów</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| II stopnia                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Rodzaj przedmiotu</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| wybieralny                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Przedmioty wprowadzające</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Chemia fizyczna, studia I stopnia.<br>Technologia chemiczna, studia I stopnia.                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Programy</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Kierunki studiów: chemia<br>Specjalność:<br>1. Materiały wybuchowe i pirotechnika<br>2. Materiały niebezpieczne i ratownictwo chemiczne                                                                                                                                                                       |
| <b>Forma zajęć liczba godzin/rygor</b>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| wykład 10 godz. / zaliczenie<br>laboratorium 6 godz.                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Autor</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| prof. dr hab. inż. Jerzy Choma                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Bilans ECTS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Aktywność / obciążenie w godz.<br>1. Udział w wykładach / 10<br>2. Samodzielne studiowanie tematyki wykładów / 14<br>3. Udział w laboratoriach /6<br><br>Godz. / ECTS<br>Sumaryczne obciążenia pracą studenta 30 / 1<br>Zajęcia z udziałem nauczycieli: 16 / 0.5<br>Zajęcia powiązane z pracą naukową: 30 / 1 |
| <b>Dane dotyczące przedmiotu cyklu:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Domyślny typ protokołu dla przedmiotu cyklu:</b>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Zaliczenie ZAL/NZAL                                                                                                                                                                                                                                                                                           |