Politechnika Śląska
UCZELNIA BADAWCZA

Wydział Chemiczny
Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego

dr hab. inż.
Krzysztof Piotrowski
profesor Politechniki Śląskiej

Gliwice, 15.09.2026

Dr hab. inż. Krzysztof Piotrowski, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska w Gliwicach
Wydział Chemiczny
Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Agnieszki Piekacz

„Synteza i właściwości fizykochemiczne adsorbentów mineralno-węglowych do usuwania wybranych antybiotyków z wody"

Przedstawiona do recenzji rozprawa obejmuje istotną dla ochrony środowiska problematykę separacji z roztworów wodnych wybranych antybiotyków: tetracykliny, doksycykliny, cyprofloksacyny i sulfametoksazolu z wykorzystaniem rodziny nowych kompozytowych adsorbentów mineralno-węglowych.

Powszechne, coraz szersze zastosowanie antybiotyków jest jednocześnie związane z ich niekontrolowanym uwalnianiem do biosfery, w szczególności do wód powierzchniowych i gruntowych (*emerging contaminants*). Aktualnie stosowane, zintegrowane procesy chemiczne, fizyczne i biologiczne oczyszczania ścieków są niewystarczające dla efektywnego usuwania tej specyficznej grupy związków. Podstawową trudnością jest ich bardzo niskie stężenie oraz złożoność chemiczna, która uniemożliwia pełne i wiarygodne określenie ich potencjalnego wpływu na środowisko (zakłócenia funkcjonowania ekosystemów). W związku z tym istotne jest poszukiwanie nowych, efektywnych i selektywnych metod ich separacji. Istotne jest również uwzględnienie czynników ekonomicznych, takich jak stosunkowo proste technologie wytwarzania adsorbentów. Uwzględniając te wszystkie czynniki, racjonalną ekonomicznie oraz

Politechnika Śląska
Wydział Chemiczny
Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego

ul. ks. M. Strzody 7, pok. 194, 44-100 Gliwice
+48 32 237 19 00 / +48 605 647 949
krzysztof.piotrowski@polsl.pl

uzasadnioną procesowo metodą usuwania antybiotyków z roztworów wodnych może być adsorpcja z zastosowaniem odpowiednio dobranych sorbentów zapewniających wysoką efektywność, jak i selektywność procesu. Celowe może być wykorzystanie w tym aspekcie materiałów kompozytowych.

Przeprowadzona przez Doktorantkę obszerna, krytyczna analiza dostępnych danych literaturowych wykazała, że do wytwarzania mineralno-węglowych adsorbentów kompozytowych można wykorzystać ogólnodostępne odpady przemysłu owocowego i materiały glinokrzemianowe. Szczególnie obiecujące może być zastosowanie biomasy odpadowej z przetwórstwa jabłek jako prekursora węgla w strukturze kompozytowej – rozwiązania technologicznego nie opisywanego dotąd w dostępnej literaturze.

Podjęcie tej aktualnej tematyki przez Doktorantkę jest więc w pełni uzasadnione.

Celem rozprawy było określenie na drodze doświadczalnej fizykochemicznych podstaw procesu adsorpcji wybranych antybiotyków (tetracyklina, doksycyklina, cyprofloksacyna oraz sulfametoksazol) z rozcieńczonych roztworów wodnych z wykorzystaniem kompozytowych adsorbentów mineralno-węglowych.

Rozprawa doktorska mgr Katarzyny Agnieszki Piekacz składa się z następujących głównych rozdziałów:

- Spis treści,
- Wprowadzenie,
- Część literaturowa,
- Cel i zakres badań,
- Część doświadczalna,
- Podsumowanie,
- Wnioski,
- Spis literatury,

- Streszczenia w języku polskim i angielskim.

Najistotniejsza część rozprawy obejmuje:

a) syntezę nowych kompozytowych adsorbentów mineralno-węglowych i określenie ich szczegółowej charakterystyki fizykochemicznej,
b) określenie równowagi procesu adsorpcji wybranych antybiotyków na uzyskanych kompozytowych adsorbentach mineralno-węglowych,
c) określenie kinetyki procesu adsorpcji wybranych antybiotyków na uzyskanych kompozytowych adsorbentach mineralno-węglowych.

Ad. a)

Przeprowadzona została synteza nowych kompozytowych adsorbentów mineralno-węglowych z wykorzystaniem minerałów: haloizytu surowego pochodzącego z kopalni Dunino (HS), nanorurek haloizytowych (HNT) i kaolinitu (KT) o średnicy ziaren 0.2-0.32 mm oraz odpadów owocowych jako prekursora węgla. Syntezę kompozytów przeprowadzono w atmosferze N_2 dla dwu wartości stosunku masowego odpadów owocowych do minerału (9:1, 18:1) i dwu wartości temperatury wygrzewania (500 i 800°C), czasu procesu 1h i szybkości ogrzewania 5°C/min.

Na podstawie wstępnych pomiarów adsorpcji wybranych antybiotyków w warunkach statycznych (metoda spektrofotometryczna) wybrany został kompozyt mineralno-węglowy o najlepszych właściwościach adsorpcyjnych, który następnie był poddawany dalszym badaniom. Był to kompozyt CHS1a, który podczas badań wykazał najwyższe wartości stopnia usuwania każdego z antybiotyków z roztworów.

Stwierdzono, że dla kompozytów haloizytowo-węglowych zauważalny był wyraźny wzrost stopnia usuwania antybiotyków z roztworów wodnych w porównaniu do minerałów niemodyfikowanych. Struktury kompozytowe z kaolinitem, kaolinit i same owoce poddane pirolizie nie wykazywały wymaganej skuteczności usuwania wszystkich badanych antybiotyków.

Dwukrotne zwiększenie wartości stosunku masowego odpadów owocowych do minerału (18:1) nie wpłynęło w znaczący sposób na skuteczność usuwania testowanych antybiotyków z roztworów.

Otrzymane próbki kompozytów mineralno-węglowych poddano badaniom w celu określenia ich charakterystyki fizykochemicznej. Wartości parametrów charakteryzujących struktury porowate kompozytów zostały wyznaczone za pomocą niskotemperaturowych (-196°C) izoterm adsorpcji/desorpcji azotu przy zastosowaniu objętościowego analizatora adsorpcji ASAP 2020 Micromeritics (Norcross, GA, USA).

Powierzchnia właściwa materiałów (S_{BET}) została wyznaczona metodą Brunauera-Emmetta-Tellera (BET) na podstawie otrzymanych izoterm adsorpcji/desorpcji azotu w zakresie ciśnień względnych 0.05–0.2.

Całkowita objętość porów (V_t) została określona na podstawie punktu izotermy odpowiadającemu ciśnieniu względnemu równemu 0.99. Objętość mikroporów (V_{mi}^{DFT}), objętość ultramikroporów (V_{ul}^{DFT}) oraz objętość mezoporów (V_{me}^{DFT}) zostały określone metodą DFT (Teorii Funkcjonału Gęstości). Rozmiar mikroporów (w_{mi}) i rozmiar mezoporów (w_{me}) wyznaczono z maksimum funkcji rozkładu DFT.

Stwierdzono, że izotermy adsorpcji otrzymane zarówno dla kompozytów haloizytowo-węglowych, jak i wyjściowych minerałów należą do typu IV zgodnie z klasyfikacją IUPAC, co sugeruje mezoporowaty charakter ich struktury. Dla kaolinitu i kompozytów na jego bazie otrzymane izotermy również można przypisać do typu IV, jednak charakteryzowały się one znacznie węższą pętlą histerezy.

Zaobserwowano, że przebiegi funkcji rozkładu objętości porów dla minerałów i kompozytów wykazują dwa maksima, odpowiadające mikroporom i mezoporom. Dla wszystkich kompozytów powierzchnia właściwa (S_{BET}) była wyższa w porównaniu do minerału wyjściowego (0.90 - 77.01 m^2/g), a całkowita objętość właściwa porów (V) mieściła się w zakresie 0.0009-0.2202 cm^3/g. Stwierdzono, że kompozyty mineralno-węglowe charakteryzują się zwiększoną porowatością w porównaniu do minerałów niemodyfikowanych.

Kompozyty mineralno-węglowe otrzymane w warunkach wyższej temperatury procesu pirolizy (800°C) wykazywały wyższą zawartość węgla. Potwierdziło to, że wyższa wartość temperatury pirolizy sprzyja osadzaniu się większej masy węgla na powierzchni minerału.

Analiza SEM/EDS potwierdziła osadzenie się węgla na powierzchni minerału. Zawartość węgla wzrastała od 6.4% do 30.8%. Dla wybranego do dalszych badań najlepszego adsorbentu CHS1a przeprowadzono także mapowanie składu pierwiastkowego. Zidentyfikowane nierównomierne rozłożenie poszczególnych pierwiastków może wynikać z jego złożonego charakteru mineralno-organicznego.

Widma w zakresie podczerwieni (4000-650 cm^{-1}) zarejestrowano za pomocą spektrometru Perkin-Elmer Spectrum 400 FT-IR/FT-NIR z monolitycznym kryształem diamentu (niezbędnym do rejestrowania widm odbiciowych i przystawką ATR). Zidentyfikowano i zinterpretowano teoretycznie położenia pasm charakterystycznych dla próbek oraz odpowiadające im rodzaje drgań.

Widma Ramana dla otrzymanych kompozytów mineralno-węglowych zarejestrowano za pomocą spektrometru Perkin-Elmer Raman Station 400 wyposażonego w detektor CCD i laser z diodą o długości fali 785 nm i mocy 350 mW. Wykazały one obecność węgla krystalicznego, a największą jego zawartość miał kompozyt CKT1a (49.59%).

Pomiary XPS dla kompozytów mineralno-węglowych przeprowadzono za pomocą systemu monoXPS (SPECS).

Dla scharakteryzowania chemicznej natury badanych materiałów kompozytowych (ilościowego oznaczenia grup powierzchniowych zawierających tlen) zastosowano miareczkowanie potencjometryczne grup Boehma. Na powierzchni otrzymanych materiałów zidentyfikowano grupy kwasowe oraz zasadowe. Wykryto grupy kwasowe laktonowe, fenolowe i karbonylowe. Nie potwierdzono obecności grup karboksylowych. W przypadku wszystkich kompozytów stężenie grup kwasowych było wyższe niż stężenie grup zasadowych.

Wartość punktu zerowego ładunku pH_{PZC} wyznaczono za pomocą metody miareczkowej. Uzyskane wartości pH_{PZC} wynosiły 6.45 – 7.10 dla kompozytów otrzymywanych w temp. 800°C i 7.50 - 8.00 dla otrzymywanych w temp. 500°C. Dla charakterystyki właściwości powierzchniowych materiałów stałych zastosowano także inwersyjną chromatografię gazową, określając wartości składowej dyspersyjnej energii powierzchniowej oraz składowej specyficznej energii adsorpcji.

Ad. b)

Przeprowadzone zostały badania równowagi procesu adsorpcji dla antybiotyków: tetracykliny, doksycykliny, cyprofloksacyny i sulfametoksazolu na wybranym (najlepszym) adsorbencie CHS1a dla temperatury: 293, 298 i 303K. Wyniki pomiarów zinterpretowano z zastosowaniem izotermy adsorpcji Freundlicha, Langmuira (model jedno- i wielocentrowy) oraz Temkina.

Najlepszą zgodność z danymi pomiarowymi wykazała izoterma Langmuira (model wielocentrowy), co wskazuje, że adsorpcja badanych antybiotyków przebiegała głównie jako proces jednowarstwowy. Wartości stałych K zmniejszały się wraz ze wzrostem temperatury dla wszystkich badanych antybiotyków, co sugeruje egzotermiczny charakter procesu adsorpcji. Najwyższą wartość stałej K uzyskano dla tetracykliny ($K = 2,39$), a najmniejszą dla sulfametoksazolu ($K = 0,52$) w temp. 293K. Najwyższe wartości pojemności adsorpcyjnych uzyskano w temperaturze 293K i wzrastały one w kolejności: sulfametoksazol < cyprofloksacyna < doksycyklina < tetracyklina. Wyniki zinterpretowano teoretycznie uwzględniając fizykochemiczne oddziaływania grup funkcyjnych antybiotyków z adsorbentem.

Stwierdzono, że na podstawie analizy termodynamicznej adsorpcję tetracykliny, doksycykliny, cyprofloksacyny i sulfametoksazolu na kompozycie CHS1a można sklasyfikować jako proces egzotermiczny, w którym dominują specyficzne oddziaływania powierzchniowe. Dokonano również weryfikacji za pomocą reguł Boudarta wyznaczonych wartości entalpii adsorpcji tetracykliny, doksycykliny, cyprofloksacyny i sulfametoksazolu na adsorbencie CHS1a.

Ad. c)

W celu określenia kinetycznej charakterystyki procesu adsorpcji badanych antybiotyków z roztworów wodnych przebadano trzy modele kinetyczne: pseudo-pierwszego rzędu, pseudo-drugiego rzędu oraz model Webera-Morrisa.

Na podstawie wyników obliczeń stwierdzono, że proces adsorpcji tetracykliny, doksycykliny, cyprofloksacyny i sulfametoksazolu z roztworów wodnych opisać można modelem kinetyki pseudo-drugiego rzędu, co wskazuje na chemisorpcję jako mechanizm procesu adsorpcji. Wartości stałej szybkości pseudo-drugiego rzędu wzrastają według kolejności: cyprofloksacyna < doksycyklina < tetracyklina < sulfametoksazol.

Wyniki doświadczalne interpretowane według modelu Webera-Morrisa wskazały, że adsorpcja badanych antybiotyków przebiega dwuetapowo. Pierwszy etap przebiegał stosunkowo szybko (do około 30 minut) i zinterpretowany został jako transport adsorbatu do powierzchni adsorbentu. Drugi segment odpowiadał wolniejszej adsorpcji, gdzie etapem limitującym była dyfuzja wewnętrzna.

Najważniejsze osiągnięcia rozprawy to:

- opracowanie metody syntezy nowych kompozytowych adsorbentów mineralno-węglowych w których prekursorem węgla były wybrane, nie badane dotąd odpady z przemysłu przetwórstwa owocowego (wytłoki z jabłek),
- określenie charakterystyki fizykochemicznej nowych kompozytowych adsorbentów mineralno-węglowych,
- określnie równowagi i kinetyki procesu adsorpcji wybranych antybiotyków z roztworów wodnych na nowych kompozytowych adsorbentach mineralno-węglowych,
- określenie optymalnych parametrów procesu adsorpcyjnego usuwania wybranych antybiotyków z rozcieńczonych roztworów wodnych, co daje podstawę projektowania technologicznego tego procesu.

Politechnika Śląska

UCZELNIA BADAWCZA

Praca nasuwa następujące uwagi:

1. **Strona 17 i 18,** Tabela 2.1: w sformułowaniach „Magnetyczny węgiel aktywny z pozostałości owoców sosny", „Magnetyczny kompozyt" (też str. 21), „Magnetyczny adsorbent", „Magnetyczny biowęgiel z trocin sosny (Tabela 2.4)" powinno się zastosować „węgiel aktywny o właściwościach magnetycznych wynikających z obecności (...)".
2. **Strona 24**: Autorka pisze „Montmorylonit stosowano do adsorpcji tetracykliny, doksycykliny, cyprofloksacyny oraz sulfametoksazolu" – w Tabeli 2.5 w przypadku sulfametoksazolu jako adsorbent jest podany tylko pałygorskit.
3. **Strona 24**: w sformułowaniu „Przy zastosowaniu montmorylonitu o masie 2,5 g/dm^3 (...)" powinna być jednostka masy (g) a nie gęstości (g/dm^3).
4. **Strona 27**: Autorka pisze, że „Do adsorpcji tetracykliny otrzymano również kompozyt z bentonitem wykorzystując chitozan i alginian sodu, pojemność adsorpcyjna tego antybiotyku wynosiła (...)" – antybiotyk nie jest adsorbentem. lecz jako związek rozpuszczony i podlegający zjawiskom adsorpcji jest adsorbatem.
5. **Strona 30**: Autorka podaje „wpływ czasu kontaktu adsorbentu z adsorbatem (wyznaczenie czasu kontaktu w pomiarach adsorpcji (...))" – według opisu metodyki pomiarowej czas kontaktu międzyfazowego jako parametr był narzucony w czasie badań. Może Autorce chodziło raczej o identyfikację wymaganego (np. minimalnego) czasu kontaktu międzyfazowego dla osiągniecia wymaganego efektu separacji?
6. **Strona 34**: Autorka podaje „Odpady owocowe mieszano z odpowiednim minerałem (...) do równomiernego rozprowadzenia składników" – czy i w jaki sposób określano tę równomierność?
7. **Strona 35**: w Tabeli 5.1 Autorka podaje: „Stosunek masowy odpadów owocowych do minerału" – należałoby dodatkowo uściślić, czy jest to proporcja po odciśnięciu odpadów owocowych czy jeszcze przed ich odciśnięciem? Ponadto podane w Tabeli 5.1 warunki syntezy – dla wszystkich trzech przypadków są identyczne (N_2, 5°C/min i 1 h) – można je razem podać już w nagłówku jako

wartości wspólne dla wszystkich przypadków – parametrem o zmiennej wartości jest w tym przypadku tylko temperatura.

8. **Strona 36**: Autorka podaje „Dla tetracykliny, doksycykliny i cyprofloksacyny stosowano masę adsorbentu 0,05g, a dla sulfametoksazolu 0,1 g (...)" – dlaczego zastosowano różne masy adsorbentu podczas testów i z czym było to związane?
9. **Strona 36**: w równaniu (6.1) brak jest zdefiniowanego stężenia równowagowego antybiotyku w roztworze C_e.
10. **Strona 40**: Autorka powinna już w tym miejscu podać, w jaki sposób zostały zdefiniowane „ultramikropory" (ta informacja pojawia się dopiero w Tabeli 7.1 - „szerokość porów < 0,7 nm").
11. **Strona 41**: Autorka podaje „Wykresy przedstawiające funkcje rozkładu objętości porów dla minerałów i kompozytów posiadają dwa maksima, które odpowiadają mikroporom i mezoporom" – jak ten wynik wpływa na charakterystyczny (segmentowy) układ punktów pomiarowych w układzie współrzędnych modelu Webera-Morrisa? Jak model ten uwzględnia obecność ultramikroporów i ich potencjalny wpływ (spowolnienie) na szybkość dyfuzyjnego transportu masy?
12. **Strona 41-42**: na podstawie wykresów Rys. 7.1-7.3 wariant (b) pozwala uzyskać mniejszą średnicę porów - jak to wytłumaczyć? Jak to wpływa na dyfuzyjny transport masy w tak otrzymanych strukturach porowatych?
13. **Strona 43**: w Tabeli 7.1 brak jest zdefiniowanych wielkości w_{mi}^{DFT} (nm) oraz w_{me}^{DFT} (nm).
14. **Strona 44**: dlaczego analizę SEM/EDS kompozytów węglowo-mineralnych przeprowadzono na jednym mikroskopie, natomiast minerałów HNT, HS – na innym mikroskopie? Z czym było to związane?
15. **Strona 50**: Autorka podaje „Fosfor, magnez, wapń, siarka, sód, potas, chlor mogą pochodzić z odpadów owocowych lub mogły stanowić pozostałości stosowanych w ogrodnictwie nawozów [148-150]. Analiza wykazała również obecność zanieczyszczeń przypadkowych, takich jak mangan (...)" – pojawia się pytanie, czy obecność tych pierwiastków, w formie różnych związków chemicznych, może mieć dodatkowy wpływ (i potencjalnie jaki?) na właściwości adsorpcyjne testowanych czterech antybiotyków? Czy przeprowadzono badania (próbka kontrolna) dla roślin

uprawianych bez zastosowania nawozów? Czy stosowane środki ochrony roślin również kumulujące się w różnych częściach biomasy mogą być również odpowiedzialne za pojawienie się nowych grup funkcyjnych w badanej grupie materiałów kompozytowych (adsorbentów) – i również być modyfikowane poprzez procesy termiczne? Z drugiej strony prezentowane wyniki badań oparte na wykorzystaniu dostępnej biomasy odpadowej, o składzie chemicznym częściowo wynikającym z zastosowania typowych nawozów i środków ochrony roślin, mają istotne znaczenie technologiczne przy projektowaniu tego typu adsorbentów kompozytowych.

16. **Strona 91**: Autorka podaje „Wszystkie badane związki nie ulegają znaczącej desorpcji (...)" – nasuwa się pytanie, czy taki kompozyt można zastosować tylko jednorazowo (i jak następnie neutralizować adsorbat?), czy cyklicznie – z wykorzystaniem cyklu adsorpcja – desorpcja – regeneracja?
17. **Strona 103-104**: na Rys. 8.23-8.26 układ przestrzenny punktów doświadczalnych w użytym układzie współrzędnych wskazuje, szczególnie w przypadku adsorpcji doksycykliny (Rys. 8.24), cyprofloksacyny (Rys. 8.25) i sulfametoksazolu (Rys. 8.26), że prosta nie przecina początku układu współrzędnych, tylko w pewnym miejscu na osi y – w równaniu Webera-Morrisa występuje stała C, której wartość jest proporcjonalna do oporów dyfuzyjnych warstwy granicznej na zewnętrz adsorbentu (kompozytu). Ponadto charakterystyczną cechą metody (modelu) Webera-Morrisa jest identyfikacja szeregu prostoliniowych odcinków (segmentów) wskazujących na potencjalne zmiany mechanizmów dyfuzyjnych w czasie procesu, związane z coraz mniejszymi rozmiarami struktury porów. Możliwość identyfikacji kilku takich odcinków jest wyraźnie widoczna w przypadku doksycykliny (Rys. 8.24), cyprofloksacyny (Rys. 8.25) oraz sulfametoksazolu (Rys. 8.26). We wcześniejszym opisie Autorka wspominała o występowaniu mezoporów, mikroporów i ultramikroporów – jak są one ewentualnie odzwierciedlone w graficznej prezentacji danych według wymagań układu współrzędnych modelu W-M? Czy zmniejszanie średnicy porów ma wyraźny wpływ na opory dyfuzyjnego transportu masy w adsorpcji analizowanych 4 antybiotyków?
18. **Strona 105**: Autorka pisze, że „Dane eksperymentalne zostały dopasowane do następujących modeli adsorpcji" – nie dane do modelu, lecz poddano weryfikacji przydatność kilku różnych

modeli do opisu danych i tym samym zweryfikowano statystycznie możliwość opisu tych danych – z określoną dokładnością – przez te modele.

19. **Strona 105**: zamiast sformułowania „W celu opisu rozmieszczenia cząsteczek adsorbatu pomiędzy fazą ciekłą a fazą stałą w stanie równowagi istotna jest izoterma adsorpcji" – powinno być „W celu opisu rozkładu stężenia (...)".
20. **Strona 105**: zamiast sformułowania „(...) maksymalna zdolność pokrycia monowarstwy (mg/g) (...)" powinno być „(...) maksymalna masa adsorbatu na jednostkę masy adsorbentu przy założeniu formowania się monowarstwy (...)".
21. **Strona 105**: Autorka podaje „Model Freundlicha, uwzględnia adsorpcję heterogeniczną. Zgodnie z tym modelem ilość zaadsorbowanych cząsteczek nie może być większa od liczby miejsc aktywnych (...)" – model adsorpcji oparty na założeniu ściśle określonej liczby miejsc aktywnych na jednostkowej powierzchni i braku oddziaływań pomiędzy zaadsorbowanymi molekułami jest modelem Langmuira.
22. **Strona 105**: w Tabeli 8.4 podano 4 modele izoterm adsorpcji: Freundlicha, Langmuira (model jedno- i wielocentrowy) i Temkina, natomiast na wykresach Rys. 8.27-8.29 (a następnie kolejno 8.30-8.32, 8.33-8.35, 8.36-8.38) oraz w Tabelach 8.5 (oraz 8.6) są przedstawione tylko 3 modele (Freundlicha, Langmuira n -centrowa adsorpcja bez dysocjacji, Temkina). Dopiero na stronie 117 jest wytłumaczenie: „W przypadku modelu Langmuira jednocentrowego nie uzyskano dopasowania dla żadnego z badanych adsorbatów" – jakie wartości współczynnika korelacji uzyskano i na jakiej podstawie stwierdzono brak korelacji? Ponadto powinno być sformułowanie „(...) nie uzyskano wystarczająco wysokiej wartości współczynnika regresji dla danych odpowiadających wszystkim czterem adsorbatom".
23. **Strona 105**: Autorka powinna krótko skomentować dlaczego tylko te cztery modele adsorpcji były na wstępie brane pod uwagę? Dlaczego nie brano pod uwagę innych modeli izoterm adsorpcji, które mogły dostarczyć komplementarnej informacji dotyczących różnych aspektów procesu w tym złożonym układzie fizykochemicznym?
24. **Strona 108**: Autorka nie podaje jak zdefiniowano „błąd" prezentowany w Tabeli 8.5 (a następnie 8.6, 8.7 i 8.8).

25. **Strona 122**: w sformułowaniu „W składzie struktury haloizytu kopalnianego znajdują się rurki, płytki, co może wyjaśniać subtelne różnice w efektywności adsorpcji kompozytów (…)" powinno być „W składzie struktury surowej kopaliny z kopalni haloizytu zidentyfikowano nanorurki, nanopłytki co może być podstawą dla sformułowania potencjalnych przyczyn obserwowanych eksperymentalnie różnic efektywności adsorpcji (…)".
26. Zastosowany układ rozprawy nie jest w pełni poprawny formalnie, gdyż celowe byłoby wyraźne rozgraniczenie opisu podstaw teoretycznych badanych procesów wraz z przeglądem tematycznym literatury, opisu metodyki badawczej, przedstawienia podstawowych danych pomiarowych, a następnie ich krytycznego omówienia i interpretacji (np. modelowanie), zakończonego sformułowaniem wniosków.

Rozprawa zawiera ponadto szereg nieścisłości związanych z analizą wyników i nomenklaturą fizykochemiczną.

Uwagi te nie umniejszają końcowej pozytywnej oceny rozprawy.

Stwierdzam z pełnym przekonaniem, że przedłożona rozprawa doktorska Pani mgr Katarzyny Agnieszki Piekacz spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" Dz. U. z 2024 r. poz. 1571.

Wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Chemii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony. Wnoszę także o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr Katarzyny Agnieszki Piekacz.

Dr hab. inż. Krzysztof Piotrowski, prof. Pol. Śl.

PODPIS ZAUFANY
KRZYSZTOF TADEUSZ
PIOTROWSKI
15.09.2025 14:44:08 GMT+0200
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

Krzysztof Piotrowski