



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

Szczecin, dn. 25.08.2021 r.

dr hab. inż. Wojciech Konicki, prof. AMS
Katedra Ochrony Środowiska i Towaroznawstwa
Akademia Morska w Szczecinie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kukułki

pt. „Właściwości elektrochemiczne i sorpcyjne skarbonizowanych struktur typu metaloorganicznego i ich kompozytów”

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 28.06.2021 r., przekazana pismem Dziekana Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie Pana prof. dr. hab. inż. Rafała Rakoczego (pismo nr WTilCh/A/95/2021 z dnia 02.07.2021 r.).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Praca doktorska zrealizowana została w Katedrze Fizykochemii Nanomateriałów Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie pod promotorską opieką Pani prof. dr hab. Ewy Mijowskiej.

Tytuł przedstawionej do recenzji pracy został zdefiniowany poprawnie i odpowiada przedstawionym wynikom badań. Praca została napisana w języku polskim i obejmuje 146 stron, zawiera 83 rysunki oraz 11 tabel. Praca ma układ klasyczny i składa się ze spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, części literaturowej dotyczącej obecnego stanu wiedzy w obszarze tematycznym pracy oraz części doświadczalnej. Kończącą część pracy zwieńcza bibliografia obejmująca 171 pozycji literaturowych, wykaz skrótów i symboli



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

stosowanych w pracy oraz spis rysunków i tabel. Uzupełnieniem pracy jest informacja o dorobku naukowym Doktoranta w postaci spisu publikacji.

Struktura recenzowanej pracy jest klarowna i konstrukcyjnie wyważona. Praca napisana jest poprawnym językiem polskim z właściwym zastosowaniem nomenklatury tematycznej. Szata graficzna pracy jest na bardzo wysokim poziomie. Rysunki są czytelne i wyraźne. Wykonane są starannie, w większości w kolorze, z zachowaniem szczegółów graficznych oraz obecnością dodatkowych opisów, pozwalających w przystępny sposób na przekazanie informacji. Tabele są czytelne i w sposób przejrzysty prezentują zawarte w nich dane. Pod kątem edycyjnym praca została wykonana starannie, z dobrze dobraną wielkością czcionki, odstępem między wierszami, wyjustowaniem oraz podziałem tekstu na akapity.

3. Ocena części literaturowej

W części literaturowej, liczącej 49 stron oraz podzielonej na 6 rozdziałów, Autor przedstawił w sposób uporządkowany i syntetyczny aktualny stan wiedzy odnośnie struktur typu metaloorganicznego (rozdział 1) oraz ich pochodnych (rozdział 2), w zakresie budowy, projektowania i syntezy. W celu wprowadzenia czytelnika w tematykę aplikacyjną pod kątem właściwości elektrochemicznych i zdolności adsorpcyjnych otrzymanych materiałów, w rozdziale 3 Autor przedstawił możliwości wykorzystania struktur metaloorganicznych oraz ich karbonizatów w układach superkondensatorów, akumulatorów litowo-jonowych czy w postaci adsorbentów zanieczyszczeń z fazy ciekłej oraz gazowej. Jednocześnie, mając na uwadze zakres tematyczny pracy, rozdziały 4 i 5 dedykowane zostały kompozytom na bazie struktur typu metaloorganicznego oraz karbonizatom pochodzącym bezpośrednio ze struktury

MOF-5, która była w tym przypadku materiałem wyjściowym. Część literaturową zamyka rozdział 6, w którym w kolejnych podrozdziałach omówiony został szereg metod, takich jak



transmisyjna i skaningowa mikroskopia elektronowa, dyfrakcja rentgenowska, spektroskopia Ramana, analiza termogravimetryczna czy analiza izoterm adsorpcji-desorpcji azotu, pozwalających na charakterystykę struktury materiałów typu metaloorganicznego. Jednocześnie, przedstawiony został także opis metodyki badań pozwalający na wyznaczenie zdolności adsorpcyjnej oraz właściwości elektrochemicznych badanych materiałów.

Informacje zawarte w części literaturowej zostały oparte na 122 pozycjach naukowych obcojęzycznych, z których ponad 40% to publikacje z ostatnich 4 lat.

Kwerenda literatury przedmiotu została przeprowadzona przez autora rzetelnie, co potwierdza jej dobór, który jest całkowicie uzasadniony i świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w podejmowanym obszarze tematycznym.

Uwagi do części literaturowej obejmują:

- występujące drobne błędy edytorskie, które w żadnym zakresie nie rzutują na warstwę merytoryczną rozprawy. Lokację i charakter błędów przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Błędy edytorskie

Strona	Wiersz (od góry)	Jest	Powinno być
7	26	25 °C	25°C
7	27	CO ₂	CO ₂
7	27	100 °C	100°C
7	28	25 °C	25°C
8	10	78.7 F / g	78.7 F/g
41	3	MOF-1000°C	MOF-1000

- niewielką niespójność w zakresie użycia separatora dziesiętnego, który w kilku przypadkach jest w postaci kropki (str. 50, wiersz 5 oraz wiersz 9 od góry; str. 51, wiersz 12 od góry).
- brak numeru dla rysunku w streszczeniu w języku polskim (str. 6) oraz angielskim (str. 8).



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

- brak numeru dla rysunku (w tekście - Rys. X) na stronie 56, w 5 zdaniu.

Dodatkowo, biorąc pod uwagę zawartość tematyczną rozdziału 6, która bezpośrednio nawiązuje do części doświadczalnej, co jest zaakcentowane w rozdziale 7 części doświadczalnej pracy, opis wykorzystanych w pracy metod analitycznych oraz metodyki badań właściwości adsorpcyjnych i elektrochemicznych powinien raczej zostać umieszczony w części doświadczalnej.

Reasumując, część literaturowa pracy została przedstawiona poprawnie, w sposób czytelny i przejrzysty, obejmując zagadnienia bezpośrednio związane z tematyką rozprawy doktorskiej. Jednocześnie Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością literatury przedmiotu oraz dogłębną znajomością problematyki tematu. Wymienione powyżej uwagi do części literaturowej nie wpływają na pozytywną ocenę tej części pracy.

4. Ocena części doświadczalnej

Na część doświadczalną pracy, liczącą 68 stron, składa się 7 kolejnych rozdziałów. Informacje zawarte w części doświadczalnej zostały oparte na 49 pozycjach naukowych obcojęzycznych. W rozdziale 7 Autor sformułował cel pracy oraz zakres wykonywanych badań. Założonym celem pracy było uzyskanie, z wyjściowej struktury metaloorganicznej na bazie cynku i kwasu tereftalowego (MOF-5), struktury skarbonizowanej (CMOF-5) oraz kompozytów będących mieszaniną CMOF-5 z nanomateriałami węglowymi w postaci nanorurek węglowych (CNT), dwuwymiarowych arkuszy tlenku grafenu (GO) i trójwymiarowych pustych sfer węglowych (CS). Jednocześnie, w obszarze celu pracy znalazły się także badania struktury i morfologii otrzymanych materiałów oraz badania ich właściwości elektrochemicznych i zdolności adsorpcyjnych w układzie ciało stałe-gaz.

Poszczególne materiały, dla który prowadzone były badania, zostały wymienione w rozdziale 8, natomiast zastosowane odczynniki i ich rolę w badaniach Autor przedstawił



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

w rozdziale 9. Szczegółowe wyniki badań oraz ich interpretacja zostały przedstawione w rozdziale 10, 11 oraz 12.

W rozdziale 10 opisane zostały badania dotyczące syntezy i właściwości skarbonizowanych struktur typu metaloorganicznego. Wyjściowa struktura metaloorganiczna na bazie cynku i kwasu tereftalowego (MOF-5) otrzymana została w wyniku reakcji uwodnionego azotanu cynku oraz kwasu tereftalowego rozpuszczonego w dimetyloformamidzie (DMF). Uzyskana zawiesina zawierająca kryształy MOF-5 poddawana następnie była karbonizacji w temperaturze 1000°C. Po ochłodzeniu i końcowemu oczyszczeniu za pomocą HCl uzyskana została skarbonizowana struktura MOF-5, oznaczona w pracy CMOF-5 (podrozdział 10.1). W podrozdziale 10.2 dokonana została charakterystyka porównawcza właściwości fizykochemicznych otrzymanych materiałów MOF-5 i CMOF-5. Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) wykazała, że struktury MOF-5 oraz CMOF-5 posiadają sześcienny kształt i mają zbliżony rozkład wielkości cząstek, który dla MOF-5 mieści się głównie w przedziale 3,75-5 μm, natomiast dla CMOF-5 w przedziale 2,75-4,5 μm. Na podstawie badań XRD i Ramana stwierdzono, że struktura materiału CMOF-5 posiada wiele defektów i składa się głównie z węgla amorficznego. Jednocześnie izoterma adsorpcji-desorpcji N₂ dla CMOF-5 była charakterystyczna dla materiałów mezoporowatych. Powierzchnia właściwa BET, całkowita objętość porów i objętość mikroporów dla CMOF-5 wyniosły odpowiednio 1884 m²/g, 1,84 cm³/g i 0,59 cm³/g. Natomiast powierzchnia właściwa BET, całkowita objętość porów i objętość mikroporów dla MOF-5 wyniosły odpowiednio 477 m²/g, 0,33 cm³/g i 0,24 cm³/g.

Badania właściwości elektrochemicznych struktury CMOF-5 przedstawione zostały w rozdziale 10.3. Właściwości elektrochemiczne CMOF-5 zbadano za pomocą woltamperometrii cyklicznej (CV), galwanostatycznego ładowania-rozładowania (GCD) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS) w systemie dwóch elektrod z wykorzystaniem 1M H₂SO₄ jako elektrolitu. Elektrody superkondensatora otrzymane były z



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

CMOF-5 i poli(fluorku winylidenu) (PVDF) w formie tabletki oraz cienkiego filmu (nakrapianie zawiesiny CMOF-5 i PVDF zdyspergowanej w acetonie). W pracy autor, co jest niezmiernie istotne z punktu widzenia doboru właściwej preparatyki układu, szczegółowo omówił charakterystykę obu rodzajów elektrod, biorąc pod uwagę strukturę warstwy i przekroju, grubość elektrody oraz powierzchnię. Dodatkowo przeprowadzone zostały badania, poprzez zastosowanie spektroskopii promieniowania rentgenowskiego z dyspersją energii, zwilżalności oraz przenikania elektrolitu przez elektrodę, co ma duże znaczenie dla układu elektroda-elektrolit w superkondensatorze.

Stwierdzono, że elektrody przygotowane metodą nakrapiania (cienki film) wykazują wyższe wartości pojemności i mniejszą retencję, co wskazuje na lepszą stabilność w porównaniu do elektrod otrzymanych w formie tabletek. Zbadany został także wpływ stosunku wagowego CMOF-5 do PVDF na wartość pojemności właściwej. W wyniku badań stwierdzono, że wyższa zawartość CMOF-5 zapewnia wyższą pojemność właściwą, natomiast wyższa zawartość materiału wiążącego (PVDF) odpowiada za lepszą stabilność elektrod przy wyższych gęstościach prądu. Najwyższa pojemność, wynosząca 218 F/g przy gęstości prądu równej 1 A/g, została uzyskana dla stosunku wagowego CMOF-5:PVDF=80:20 (CMOF-580). W wyniku pomiaru stabilności cyklicznej CMOF-5-80 przy gęstości prądu 10 A/g stwierdzono, że pojemność właściwa materiału stopniowo spada, do wartości 129,7 F/g po 1000 cykli, a następnie do 103,8 F/g po 3500 cykli.

W celu możliwości ponownego wykorzystania zużytych elektrod, Autor przeprowadził badania w zakresie przygotowania i wykonania pomiarów właściwości elektrochemicznych elektrody wykonanej z użytej wcześniej elektrody CMOF-5-80 (podrozdział 10.4.1). Jednocześnie, Autor prowadził także badania w zakresie możliwego wykorzystania recyklingowanego dimetyloformamidu (DMF) i odzyskanego ze zdepolimeryzowanych odpadów PET kwasu tereftalowego w celu syntezy MOF-5 (podrozdział 10.4.2).



Właściwości adsorpcyjne struktury CMOF-5 zostały przedstawione w podrozdziale 10.5. Badania prowadzone były w układzie ciało stałe-gaz, gdzie adsorbentem był dwutlenek węgla CO₂, metan CH₄ oraz wodoru H₂. Badania adsorpcji CO₂ na CMOF-5 prowadzone były w zakresie temperatur od 25 do 100°C i ciśnieniu do 40 bar. Natomiast pomiary dla adsorpcji CH₄ oraz H₂ przeprowadzono w temperaturze 25°C oraz zakresie ciśnień do 40 bar. Dla CO₂ w temperaturze 25°C i pod ciśnieniem 1 bar uzyskano zdolność adsorpcyjną równą 2,43 mmol/g. Jednocześnie, w temperaturze 25°C i pod ciśnieniem 1 bar, zdolność adsorpcyjna CMOF-5 dla CH₄ wyniosła 1,38 mmol/g, a dla H₂ 0,13 mmol/g.

W rozdziale 11 Autor przedstawił badania w zakresie syntezy i właściwości kompozytów złożonych ze skarbonizowanych struktur typu metaloorganicznego domieszkowanych nanododatkiem węglowymi w postaci nanorurek węglowych (CNT), arkuszy tlenku grafenu (GO) i pustych sfer węglowych (CS). Kompozyty były preparowane poprzez mieszanie fizyczne (CMOF-5:nanododatek węglowy=9:1) oraz in situ podczas syntezy MOF-5.

Dla otrzymanych kompozytów przeprowadzona została analiza, przedstawiona w podrozdziale 11.2, w zakresie charakterystyki fizykochemicznej. W celu ustalenia morfologii, próbki poddane zostały badaniu za pomocą skaningowego oraz transmisyjnego mikroskopu elektronowego. Obrazy wykazały, że sfery węglowe, nanorurki oraz tlenek grafenu są częściowo wbudowane w strukturę CMOF-5. Wartości powierzchni właściwej, która jest w granicach od 1158,60 do 1682,84 m²/g, oraz pozostałe parametry charakteryzujące strukturę kompozytów przedstawiono w tabeli 6. Na podstawie badań właściwości elektrochemicznych kompozytów stwierdzono, że najwyższą pojemność właściwą dla grupy kompozytów otrzymanych in situ przy gęstości prądu 1 A/g posiadał kompozyt domieszkowany tlenkiem grafenu CMOF-5-GO (195,4 F/g), a najmniejszą kompozyt domieszkowany nanorurkami węglowymi CMOF-5-MWCNT (78,7 F/g). Natomiast w przypadku kompozytów uzyskanych metodą fizyczną najwyższą pojemność właściwą przy gęstości prądu 1 A/g zaobserwowano



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

dla kompozytu domieszkowanego nanorurkami węglowymi CMOF-5-MWCNT_Phys (135,9 F/g), a najniższą dla kompozytu domieszkowanego pustymi sferami węglowymi CMOF-5CS_Phys (81 F/g). Badanie stabilności cyklicznej kompozytów otrzymanych na drodze chemicznej i fizycznej Autor prowadził dla 3500 cykli ładowania-rozładowania przy gęstości prądu równej 10 A/g. W przypadku kompozytów otrzymanych na drodze chemicznej pojemność właściwa po 3500 cykli wyniosła 72%, 69% i 57% początkowej pojemności zachowanej odpowiednio dla CMOF-5-MWCNT, CMOF-5-CS i CMOF-5-GO. Jednocześnie, przypadku kompozytów otrzymanych fizycznie, pojemność właściwa dla CMOF-5MWCNT_Phys, CMOF-5-CS_Phys i CMOF-5-GO_Phys wyniosła odpowiednio 92%, 88% i 93%, co oznacza, że kompozyty te są dużo bardziej stabilne.

W podrozdziale 11.4 Autor przedstawił wyniki badań z zakresie właściwości adsorpcyjnych kompozytów złożonych ze skarbonizowanych struktur typu metaloorganicznego domieszkowanych nanododatkami węglowymi. Badania były prowadzone dla adsorpcji dwutlenku węgla, metanu oraz wodoru na otrzymanych kompozytach w temperaturze 25°C i ciśnieniu do 40 bar. Stwierdzono, że zdolności adsorpcyjne otrzymanych kompozytów dla wszystkich gazów były mniejsze w porównaniu do struktury CMOF-5.

W rozdziale 12 przedstawiony został zakres badań związany z funkcjonalizacją alkoholem furfurylowym struktur typu metaloorganicznego oraz kompozytów. Funkcjonalizacja była prowadzona poprzez mieszanie CMOF-5 oraz wybranych kompozytów z alkoholem furfurylowym w dimetyloformamidzie przez 24 godziny. Po odwirowaniu i wstępnym ogrzewaniu, przeprowadzono karbonizację materiału w temperaturze 600°C w atmosferze azotu.

Badanie właściwości w zakresie wydajności elektrochemicznej w superkondensatorach materiałów po funkcjonalizacji przedstawiono w podrozdziale 12.2. Przeprowadzone badania wykazały, że przy gęstości prądu równej 1 A/g największą pojemnością właściwą wykazał się



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

kompozyt domieszkowany nanorurkami węglowymi CMOF-5-MWCNT_FA (105,9 F/g). Jednocześnie stwierdzono, że najbardziej stabilny jest superkondensator oparty na kompozycie domieszkowanym pustymi sferami węglowymi CMOF-5-CS_FA, którego retencja pojemności właściwej wyniosła 80,7%.

Badanie zdolności adsorpcyjnej materiałów po funkcjonalizacji zostało przedstawione w podrozdziale 12.3. Badania prowadzone były, podobnie jak w przypadku kompozytów, dla adsorpcji dwutlenku węgla, metanu oraz wodoru w temperaturze 25°C i ciśnieniu do 40 bar. Porównanie zdolności adsorpcyjnej dla materiałów po funkcjonalizacji zostało przedstawione w tabeli 11. Z otrzymanych wartości wynika, że funkcjonalizacja kompozytów ze sferami węglowymi oraz tlenkiem grafenu alkoholem furfurylowym wpływa na wzrost zdolności adsorpcyjnej CO₂, CH₄ oraz H₂. Jednocześnie, w przypadku funkcjonalizacji CMOF-5 oraz kompozytu z tlenkiem grafenu, zdolność adsorpcyjna dla wszystkich badanych gazów spada.

Finalnie, w rozdziale 13, Autor przedstawił podsumowanie i wnioski końcowe pracy.

Reasumując, część doświadczalna pracy zrealizowana przez Pana mgr. inż. Wojciecha Kukułkę jest oparta na dobrze zaplanowanej koncepcji badań, z właściwie dobranymi metodami badawczymi. W rezultacie uzyskane zostały istotne wyniki, które były właściwie zinterpretowane oraz wnikliwie przeanalizowane. Na szczególne uznanie zasługuje wykorzystanie przez Autora szeregu technik analitycznych, dzięki którym możliwe było tak szczegółowe zbadanie struktury i morfologii otrzymanych materiałów. Jednocześnie, otrzymano i wykonano badania próbek o bardzo szerokim spektrum w zakresie struktury, co znacznie wzbogaciło pracę. Warto także zaznaczyć, że Autor w pracy podjął dwa kierunki badań w zakresie aplikacyjnym otrzymanych materiałów, co niewątpliwie jest jej atutem i przesądza o jej oryginalności. Kierunek pierwszy związany jest z właściwościami elektrochemicznymi i możliwością wykorzystania otrzymanych materiałów w budowie



superkondensatorów, natomiast drugi związany jest z możliwością adsorpcji cząstek z fazy gazowej w postaci CO₂, CH₄ oraz H₂.

Uwagi oraz pytania do części doświadczalnej, które nie obniżają jej wysokiej oceny, są następujące:

- podobnie jak w części literaturowej, występuje niewielką niespójność w zakresie użycia separatora dziesiętnego, który w kilku przypadkach jest w postaci kropki (str. 80, wiersz 3, 4 oraz 5 od góry; str. 118, wiersz 6 od góry).
- dlaczego do wyznaczenia izoterm dla procesu adsorpcji zastosowano równanie izoterm Sipsa (informacja ze str. 89)?
- prowadząc badania w zakresie adsorpcji zadajemy sobie pytanie, jaki jest mechanizm procesu. W dużej mierze na to pytanie pozwala odpowiedzieć model izoterm, który wykazuje najlepsze dopasowanie do uzyskanych danych eksperymentalnych. Tak więc przedstawienie modelu izoterm Sipsa w części doświadczalnej dla badań adsorpcyjnych pozwoliłoby na szersze pole do interpretacji otrzymanych wyników.
- z czego wynika zaokrąglenie wartości w tabeli 10 do liczb całkowitych (str. 118), np. dla pojemności właściwej przy gęstości prądu 1 A/g?
- dla kompozytów węglowych domieszkowanych nanorurkami węglowymi występuje podwójny opis w postaci CMOF-5-CNT (np. str. 101, rys. 67; str. 102, tabela 6) oraz CMOF-5-MWCNT (np. str. 100, rys. 66).
- użycie opisu „...następuje polepszenie właściwości powierzchniowych.” w zdaniu 7 na str. 67 jest w tym przypadku niezbyt fortunne. Należałoby raczej mówić o zmianie struktury materiału w kierunku rozwinięcia powierzchni oraz zwiększenia całkowitej objętości porów i objętości mikroporów.



WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU
KATEDRA OCHRONY ŚRODOWISKA I TOWAROZNAWSTWA
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE ul. H.
Pobożnego 11 70-507 Szczecin telefon (+48 91) 480
96 40

www.am.szczecin.pl e-mail:kosit@am.szczecin.pl



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

- na str. 90, zdanie 5 „Użycie atmosfer lub milimetrów słupa rtęci sprawia, że wynik wygląda lepiej w porównaniu do barów.” Skąd taki wniosek?
- na str. 91, w tytule tabeli 5 występuje błędna wartość przeliczeniowa na ciśnienie w barach. $1 \text{ atm} = 1,013250 \text{ bar}$. Natomiast $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$.

5. Podsumowanie

Praca przedstawiona przez Pana mgr. inż. Wojciecha Kukułkę, w moje ocenie, jest przygotowana w sposób staranny w warstwie merytorycznej i graficznej. Praca porusza aktualną i ważną tematykę w zakresie syntezy nowych struktur węglowych mogących znaleźć zastosowanie jako adsorbenty zanieczyszczeń czy elektrody superkondensatorów, a przedstawione wyniki stanowią cenny wkład do obecnego stanu wiedzy w tym zakresie. Jasno określony cel pracy, zaplanowanie i realizacja eksperymentów oraz merytorycznie przeprowadzona analiza i dyskusja otrzymanych wyników świadczą o wysokich kompetencjach naukowo-badawczych Pana mgr. inż. Wojciecha Kukułki. Na szczególne podkreślenie zasługuje także bogaty dorobek publikacyjny Pana mgr. inż. Wojciecha Kukułki, który jest współautorem 15 artykułów opublikowanych w czasopiśmie międzynarodowych ze współczynnikiem IF.

Na podstawie powyższej oceny pracy stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Wojciecha Kukułki, pt. „Właściwości elektrochemiczne i sorpcyjne skarbonizowanych struktur typu metaloorganicznego i ich kompozytów” spełnia warunki stawiane pracom doktorskim określone w art. 13 ust. 1 ustawy dn. 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach, i tytule w zakresie sztuki zawarte w Dz.U. z dnia 21.06.2016 r. z poz. 882, i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Wojciecha Kukułkę do dalszych etapów przewodu doktorskiego.