

Prof. dr hab. inż. Paweł Pohl
Katedra Chemii Analitycznej i Metalurgii Chemicznej
Wydział Chemiczny
Politechnika Wrocławska

Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Email: pawel.pohl@pwr.edu.pl
Tel.: 71 320 2494

**Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr Marcina Musielaka
pt.
*Modyfikowane nanomateriały węglowe w adsorpcji i oznaczaniu
śladowych ilości metali techniką rentgenowskiej spektrometrii
fluorescencyjnej z całkowitym odbiciem promieniowania***

1. OGÓLNA OCENA PRACY DOKTORSKIEJ

Praca doktorska pana mgr Marcina Musielaka zatytułowana *Modyfikowane nanomateriały węglowe w adsorpcji i oznaczaniu śladowych ilości metali techniką rentgenowskiej spektrometrii fluorescencyjnej z całkowitym odbiciem promieniowania* powstała w Instytucie Chemii Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Promotorem tej pracy jest pan prof. dr hab. Rafał Sitko. Praca doktorska ma formę zbioru sześciu spójnych tematycznie artykułów naukowych. Artykuły te zostały opublikowane w latach 2019-2022 w renomowanych czasopiśmie poświęconych chemii analitycznej, spektrometrii atomowej oraz technikom rozdzielania i oczyszczania, tj. Separation and Purification Science (dwa artykuły, oznaczone jako D3, D4), Spectrochimica Acta Part B (jeden artykuł, D2), Journal of Analytical Atomic Spectrometry (jeden artykuł, D6), Food Chemistry (jeden artykuł, D5) i ACS Applied Materials and Interfaces (jeden artykuł, D1). Sumaryczny współczynnik oddziaływania czasopiśmie, w których zostały opublikowane wymienione artykuły, wynosi 38,67, co daje wysoką wartość średnią przypadającą na jeden artykuł równą 6,45. Artykuły te były do tej pory cytowane 64 razy; w szczególności na uwagę zasługuje pierwsza z tych prac, tj. D1, opublikowana w 2019 roku i cytowana już przeszło 40 razy. We wspomnianych artykułach pan mgr Musielak jest pierwszym autorem (cztery artykuły) lub drugim autorem (dwa artykuły), co wskazuje na jego znaczący wkład na etapie ich powstawania. Zamieszczone w pracy doktorskiej oświadczenia pozostałych autorów artykułów D1-D6, jak również deklaracje o udziałach poszczególnych autorów bezpośrednio podane w niektórych artykułach, tj. D3, D4, D5, D6, gdzie mgr Musielakowi przypisane są aktywności „Methodology”, „Writing – original draft”, „Investigation”, „Validation”, wskazują, że jest on odpowiedzialny za wykonanie większości doświadczeń i pomiarów laboratoryjnych, opracowanie nowych metod analitycznych wykorzystujących technikę rentgenowskiej spektrometrii fluorescencyjnej z całkowitym odbiciem promieniowania (TRXRF) lub

dyspersją energii (EDXRF), ich walidację oraz przedstawienie wyników badań w postaci wspomnianych artykułów naukowych.

Oprócz zbioru artykułów naukowych D1-D6 (rozdział 10), częścią przygotowanej przez mgr Musielaka pracy doktorskiej jest:

streszczenie w języku polskim i języku angielskim (rozdziały 3 i 4),

wstęp poświęcony nanomateriałom węglowym [nanorurki węglowe (CNT), grafen (G) i tlenek grafenu (GO)], właściwościom adsorpcyjnym tych materiałów oraz problemom związanym z ich stosowaniem wynikającym z braku selektywności i niskiej pojemności adsorpcyjnej (rozdział 5, podrozdziały 5.1 i 5.2), jak również zastosowaniom wspomnianych nanomateriałów węglowych w pierwiastkowej analizie śladowej metodami spektrometrii atomowej i mas (rozdział 5, podrozdział 5.3), ze szczególnym uwzględnieniem zalet i wad techniki TRXRF, oraz technik ekstrakcyjnych stosowanych na etapie przygotowania próbek do pomiaru celem oddzielenia analitów od składników matrycowych i/lub zateżenia tychże analitów, tj. techniki mikroekstrakcji typu ciecz-ciecz (LLME), dyspersyjnej mikroekstrakcji typu ciecz-ciecz (DLLME), dyspersyjnej ekstrakcji do mikrofazy stałej (DMSPE); podsumowaniem zastosowań wspomnianych technik mikroekstrakcyjnych z użyciem nanomateriałów węglowych do oznaczeń różnych pierwiastków metodami spektrometrycznymi jest Tabela 1 na stronie 17,

cele pracy doktorskiej (rozdział 6),

omówienie najważniejszych osiągnięć artykułów D1-D6, będących podstawą pracy doktorskiej (rozdział 7),

podsumowanie i wnioski (rozdział 8),

cytowane prace naukowe (rozdział 9),

załączniki (rozdział 11), w tym życiorys naukowy mgr Musielaka (podrozdział 11.1), wykaz opublikowanych prac naukowych i wystąpień konferencyjnych wraz z listą jego nagród i wyróżnień (podrozdział 11.2) oraz wspomniane wcześniej oświadczenia pozostałych autorów prac D1-D6.

Oceniana praca doktorska jest kompletna i spełnia wymogi ustawowe, o których mowa jest w art. 187 ustawy z 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dziennik Ustaw 2021.0478, Dział V. Stopnie i tytuły w systemie szkolnictwa wyższego i nauki, Rozdział 2. Stopień doktora, Oddział 1. Nadawanie stopnia doktora). Wprawdzie rozdział 7 tejże pracy doktorskiej jest dość lakoniczny i może budzić niedosyt potencjalnego czytelnika, to po dłuższym zastanowieniu można nabrać przekonania, że jest to celowy zabieg autora pracy doktorskiej, by skłonić do wnikliwszego zapoznania się z tezami i wynikami artykułów jego autorstwa (D1-D6). Wspomniane artykuły są bez wątpienia wartościowe i prowadzą do rozwoju współczesnej chemii analitycznej w odniesieniu do pierwiastkowej analizy śladowej metodą XRF wraz z zastosowaniem techniki DMSPE na etapie przygotowania analizowanych próbek środowiskowych i żywności. Artykuły naukowe D1-D6 przedstawiają nowe nanomateriały adsorpcyjne wytworzone na bazie GO poprzez jego proste ale świadome modyfikacje. Ich wyniki ilustrują właściwości adsorpcyjne tychże materiałów, wyjaśniają mechanizmy odpowiedzialne za ich syntezę oraz adsorpcję jonów metali z roztworu w danych warunkach doświadczalnych w trakcie użycia na etapie DMSPE. Wykazują one również praktyczne zastosowanie wspomnianych nanomateriałów węglowych do selektywnego (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) lub specyficznego (Pb lub Hg) oznaczania śladowych i ultraśladowych stężeń pierwiastków w próbkach środowiskowych (różnego rodzaju wody) i żywności metodą TRXRF i EDXRF. Oprócz imponującej charakterystyki analitycznej, opracowane metody charakteryzują się dużą prostotą (w odniesieniu np. do przygotowania próbki

do pomiaru, sposobu kalibracji i pomiaru), są szybkie i spełniają ważne kryteria zielonej chemii analitycznej, mają zatem spore szanse praktycznego zastosowania w badaniach rutynowych, np. w ramach monitoringu wód powierzchniowych i gruntowych.

2. OMÓWIENIE ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH ZBIORU

W artykule D1 opracowana została bardzo prosta metoda przygotowania GO stabilizowanego dodatkiem utlenionych CNT. Odpowiednie proporcje obu materiałów węglowych zapewniały powstanie zmodyfikowanego GO (GO/CNT), który można było w łatwy sposób nanieść w postaci membran na krążki nitrocelulozowe standardowego układu do sączenia pod obniżonym ciśnieniem i który odznaczał się dużą trwałością w trakcie przepuszczania przez przygotowane membrany roztworów o bardzo różnym odczynie (pH w zakresie 1-10). W dalszej części pracy sprawdzono właściwości adsorpcyjne powstałych membran GO/CNT w stosunku do jonów metali dwuwartościowych, tj. Cd, Co, Cu, Ni, Pb i Zn, znajdujących się w roztworach o pH 1-10. Stwierdzono, że dla roztworów o pH > 4 nanomateriał GO/CNT posiadał ujemny ładunek powierzchniowy, a za zatrzymywanie jonów metali odpowiedzialna była wymiana jonowa jak również chelatowanie przez atomy O grup karboksylowych i hydroksylowych. Chemisorpcję (adsorpcję jednowarstwową poprzez kompleksowanie jonów metali przez wspomniane grupy funkcyjne na powierzchni nanomateriału) potwierdzono na podstawie obliczonych parametrów modeli adsorpcji jak również poprzez analizę wyników otrzymanych techniką rentgenowskiej spektroskopii fotoelektronowej (XPS). Stosując roztwory badanych jonów metali zakwaszone do pH 5, wyznaczono kinetykę procesu adsorpcji, sprawdzono również wpływ wybranych parametrów doświadczalnych, np. szybkości przepływu roztworu przez membranę, czy siły jonowej roztworu, na pojemność adsorpcji względem jonów tych metali. Bez wątplenia nowy nanomateriał węglowy, tj. GO/CNT, zapewniał ilościowe zatrzymywanie wybranych jonów metali w dość szerokim zakresie pH, co w przypadku pH 5 (maksymalna pojemność adsorpcji) eliminowało dodatkowo problem związany z wytrącaniem się wodorotlenków badanych metali. Zaproponowana modyfikacja sprawiała również, że na pojemność adsorpcji GO/CNT nie wpływała siła jonowa roztworu. Zaletą tego nanomateriału węglowego była możliwość wielokrotnego użycia (nawet do 10 razy) bez pogorszenia jego właściwości adsorpcyjnych.

Dopełnieniem artykułu D1 jest artykuł D2, który pokazuje praktyczne zastosowanie membran GO/CNT do szybkiego jednoczesnego zatężania jonów Cd(II), Co(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II) i Zn(II) w próbkach wody i oznaczania ich stężeń metodą TRXRF po uprzedniej elucji tychże jonów z użyciem rozcieńczonego roztworu HNO₃. Metoda ta, po wstępnym doborze warunków przygotowania próbek (objętość, szybkość przepływu przez membranę) oraz pomiaru, została zwalidowana. Wyznaczono, między innymi, granice wykrywalności Cd, Co, Cu, Ni, Pb i Zn, stosując dwa różne spektrometry, wyznaczono czułość oznaczeń, określono niepewność pomiarową wyników analiz, wykazując udziały poszczególnych etapów pomiaru metodą TRXRF w niepewności złożonej, określono również poprawność tychże wyników poprzez analizę dwóch certyfikowanych materiałów odniesienia (woda źródłana, woda morska). Metoda odznacza się dużą prostotą, jest bardzo szybka (w odniesieniu do przygotowania próbki do pomiaru) i charakteryzuje się imponującymi granicami wykrywalności oznaczanych metali.

W artykule D3 przedstawiono nanomateriał węglowy na bazie GO, który powstał poprzez jego modyfikację hydroksyfulerenem. Oprócz opracowania metody syntezy

tego materiału adsorpcyjnego, określone zostały także jego skład i struktura przy użyciu różnych technik instrumentalnych. W dalszej części pracy otrzymany nanomateriał węglowy posłużył do adsorpcji jonów Pb(II) z roztworów o pH 1-8. Stwierdzono, że wydajność adsorpcji tychże jonów była ilościowa w zakresie pH 5-6. Parametry odpowiednich izoterm adsorpcji wskazywały, że mechanizmem odpowiedzialnym za zatrzymywanie jonów Pb(II) była chemisorpcja (kompleksowanie jonów metalu przez grupy hydroksylowe). Potwierdziły to również wyniki pomiarów wykonanych techniką XPS. Otrzymany nanomateriał węglowy charakteryzował się bardzo dużą pojemnością adsorpcji oraz selektywnością wobec jonów Pb(II). Na jego właściwości adsorpcyjne względem jonów Pb(II) nie wpływała obecność innych jonów [za wyjątkiem jonów Hg(II)], nawet przy ich stosunkowo dużym nadmiarze, tj. od 20.000 do 100.000 razy, względem jonów analitu. Dla optymalnych warunków procesu adsorpcji (objętość roztworu, stężenie nanomateriału, czas mieszania), wyznaczono parametry walidacyjne metody, w której otrzymany GO zmodyfikowany hydroksyfulerenem użyto na etapie DMSPE do zateżenia jonów Pb(II) przed pomiarem metodą TRXRF po uprzednim potraktowaniu (dyspersja przez sonikację) tego nanomateriału z zaadsorbowanymi jonami Pb(II) rozcieńczonym roztworem HNO₃. Oprócz imponującej granicy wykrywalności (2 pg/ml dla 200-krotnego zateżenia analitu), określono również prawdziwość oznaczeń poprzez analizę próbek wody mineralnej i wód powierzchniowych z dodatkiem wzorca (i wyznaczenie odzysku) oraz certyfikowanych materiałów odniesienia (woda źródlana, woda morska, woda gruntowa). Opracowana metoda była szybka zarówno na etapie przygotowania próbek na drodze DMSPE jak i na etapie pomiaru techniką TRXRF (możliwość kalibracji tylko z użyciem wzorca wewnętrznego). Jej parametry analityczne były imponujące i bezsprzecznie związane z właściwościami adsorpcyjnymi otrzymanego nanomateriału węglowego.

W artykule D4 przedstawiono wyniki prac nad syntezą i charakterystyką fizykochemiczną i adsorpcyjną nowego nanomateriału węglowego, tj. GO modyfikowanego tiosemikarbazydem (TSC). Stwierdzono, że za modyfikację GO przy użyciu TSC odpowiedzialne jest tworzenie wiązania amidowego pomiędzy grupami karboksylowymi GO i grupami aminowymi TSC. Jednocześnie określono mechanizm odpowiedzialny za zatrzymywanie jonów Hg(II) z roztworów o pH w zakresie od 1 do 10, w szczególności dla pH 3-4, gdzie odnotowano ilościowe zatrzymywanie jonów Hg²⁺, Hg(OH)⁺ i Hg(OH)₂. Przeprowadzone badania kinetyczne oraz parametry izoterm adsorpcji wskazywały, że za wspomnianą ilościową adsorpcję jonów Hg(II) odpowiedzialna była chemisorpcja, związana z chelatowaniem jonów Hg(II) przez cząsteczki TSC. Mechanizm adsorpcji wspomnianych jonów zaproponowano na podstawie wyników pomiarów wykonanych techniką XPS (tworzenie wiązań S-Hg-N oraz wiązań S-Hg-S). Jednocześnie wykazano, że GO/TSC nie był podatny na zmiany pojemności adsorpcji względem jonów Hg(II) pod wpływem zmiany siły jonowej roztworu, wykazywał również bardzo wysoką selektywność w stosunku do jonów Hg(II) w obecności bardzo dużego nadmiaru innych jonów obecnych w roztworze, tj. do 100.000 dla wielu kationów, 800.000 dla jonów Na(I) czy 1 200.000 dla jonów NO₃⁻ i Cl⁻.

W artykule D5 przedstawiono praktyczne zastosowanie GO/TSC w analizie śladowej próbek środowiskowych i żywności. Opracowano nową metodę analityczną, gdzie GO/TSC posłużył do selektywnego zateżenia jonów Hg(II) (i oddzielenia od innych składników matrycowych analizowanych próbek) na drodze DMSPE wraz z pomiarem techniką TRXRF (po uprzednim potraktowaniu (sonikacji) GO/TSC z zaadsorbowanymi jonami Hg(II) w średnio stężonym roztworze HNO₃) lub techniką

EDXRF (bezpośredni pomiar GO/TSC z zaadsorbowanymi jonami Hg(II) osadzonego na membranie). W tym celu dobrano odpowiednie warunki załączenia jonów Hg(II) z roztworu (pH roztworu, objętość roztworu, czas mieszania adsorbenta z roztworem) oraz wyznaczono w warunkach optymalnych procesu wybrane parametry charakteryzujące metodę, tj. granice wykrywalności Hg czy poprawność wyników. W tym ostatnim przypadku przeprowadzono analizę próbek o różnych matrycach (woda mineralna, woda gruntowa, woda rzeczna, woda jeziorna, ścieki, piwo, wino, sok jabłkowy) z dodatkiem wzorca oraz certyfikowanych materiałów odniesienia, które nie wymagały przygotowania (woda morska, woda gruntowa, ścieki) lub były wcześniej rozkładane „na mokro” (różnego rodzaju próbki roślinne i zwierzęce). Oprócz techniki TRXRF sprawdzono również przydatność techniki EDXEF, która nie wymagała etapu późniejszego przygotowania membrany z osadzonym GO/TSC z zaadsorbowanymi jonami Hg(II), co pozwoliło uprościć metodę analityczną na etapie przygotowania próbek i zwiększyło współczynnik załączenia. Wykazano również możliwość zastosowania w obu przypadkach (TRXRF, EDXRF) uproszczonego sposobu kalibracji, tj. wzorca wewnętrznego.

W ostatnim artykule D6 przedstawiono syntezę nowego nanomateriału węglowego powstałego przez modyfikację CNT przy użyciu TSC. Nowy materiał adsorpcyjny, tj. CNT/TSC, charakteryzował się wysoką selektywnością wobec jonów Hg(II) oraz wydajnością adsorpcji tych jonów z roztworu w szerokim zakresie pH, tj. 1-10. Stwierdzono, że do ilościowego zatrzymania jonów Hg(II) dochodziło w przypadku roztworów o pH 2-3. Określono również naturę procesu adsorpcji na podstawie stosownych izoterm adsorpcji, potwierdzając (podobnie jak w przypadku innych materiałów węglowych) chemisorpcję na zasadzie kompleksowania jonów Hg(II) przez donorowe atomy N i S w strukturze CNT/TSC. Jednocześnie na podstawie badań kinetyki procesu oraz dodatkowych doświadczeń dobrano optymalne warunki procedury załączenia jonów Hg(II) z roztworów przed pomiarem techniką TRXRF. Nowo opracowaną metodę zwalidowano, wyznaczając granicę wykrywalności Hg, precyzję i poprawność wyników analiz. W tym ostatnim przypadku posłużono się próbkami różnego rodzaju wód z dodatkiem wzorca (wyznaczono odzyski) oraz certyfikowanymi materiałami odniesienia wody morskiej oraz tkanek zwierzęcych (te ostatnie rozłożono wstępnie „na mokro”).

3. KOMENTARZ I PYTANIA DO ZBIORU ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH

Zbiór artykułów naukowych, będących podstawą pracy doktorskiej pana mgr Musielaka, jest bez wątpienia bardzo cenny, ponieważ rozwija pierwiastkową analizę śladową przy użyciu techniki XRF. W artykułach tego zbioru zaproponowane są skuteczne modyfikacje GO, które znacząco zmieniają jego właściwości adsorpcyjne (np. zwiększają pojemność adsorpcji, selektywność wobec niektórych jonów metali) oraz inne właściwości fizykochemiczne (np. zwiększają stabilność zawiesin nanoszonych na reflektor), przez co możliwe jest uzyskanie imponujących parametrów analitycznych nowo opracowanych metod analitycznych, w odniesieniu np. do bardzo niskich granic wykrywalności, wysokich współczynników załączenia, czy wysokiej precyzji pomiarów. W tych umiejętnych modyfikacjach GO oraz wynikających z tego właściwościach adsorpcyjnych i fizykochemicznych nowych nanomateriałów węglowych do adsorpcji jonów metali z roztworu należy upatrywać ogromnej wartości naukowej przedstawionego zbioru artykułów D1-D6. Potwierdzeniem skuteczności wspomnianych modyfikacji są nowo opracowane metody analityczne, które oprócz imponującej charakterystyki analitycznej, posiadają wszystkie cechy metod tzw. zielonej chemii analitycznej.

Niemniej jednak po zaznajomieniu się z artykułami D1-D6 mam kilka pytań, na które chciałbym otrzymać odpowiedzi.

1. W Tabelach S3 i S5 artykułu D2 mowa jest o roztworze HNO₃ o stężeniu 1,0 mol/l używanym jako eluent. W tekście tego artykułu, w podrozdziale 2.4, mowa jest jednak o roztworze o stężeniu 2,0 mol/l. W całym tekście artykułu (chodzi o rozdział 3 i jego dalsze podrozdziały) nie ma informacji o doświadczeniach nad doborem zarówno stężenia roztworu HNO₃ użytego do potraktowania membrany jak i czasu tego traktowania. Dlaczego nie zamieszczono tego rodzaju informacji/danych? Czy warunki elucji jonów metali z membran GO/CNT wybrano arbitralnie? Czy sprawdzono wydajność elucji analitów innymi metodami, np. poprzez analizę otrzymanych roztworów/eluatów techniką ICP OES?

2. W podrozdziale 2.4 artykułu D3 mowa jest o roztworze HNO₃ o stężeniu 0,1 mol/l, który użyto do zdyspergowania nanomateriału węglowego z zaadsorbowanymi jonami Pb(II), osadzonego na membranie. Na tej samej stronie w podrozdziale 2.5 mowa jest jednak o roztworze o stężeniu 10-krotnie większym. Jak należy to tłumaczyć? Czy w tym przypadku, w odróżnieniu do pracy D2, użyty roztwór posłużył tylko do zdyspergowania nanomateriału węglowego osadzonego na membranie przed jego naniesieniem na kwarcowy reflektor czy także do elucji (częściowej lub zupełnej) zaadsorbowanych jonów Pb(II)? Czy przeprowadzono odpowiednie doświadczenia, które weryfikowały, czy do wspomnianej elucji (tak jak w pracy D2) dochodziło? Czy stężenie użytego roztworu HNO₃ i czas sonikacji niezbędny do traktowania nanomateriału wybrano arbitralnie, czy na podstawie wstępnych doświadczeń?

3. W podrozdziale 2.4 artykułu D4 mowa jest o tym, że do elucji jonów Hg(II) z GO/TSC użyto roztworu 0,1 mol/l Na₂S₂O₃; czas sonikacji nanomateriału w tym roztworze wynosił 15 minut. Natomiast w pracy D5, gdzie GO/TSC użyto jako adsorbent do DMSPE, mowa jest o roztworze HNO₃ o stężeniu 2,0 mol/l i traktowaniu nanomateriału węglowego z zaadsorbowanymi jonami Hg(II) poprzez sonikację przez 5 minut. Czy w tym przypadku materiał węglowy jest tylko dyspergowany przed naniesieniem na kwarcowy reflektor, czy zachodzi ewentualnie częściowa elucja zaadsorbowanych jonów Hg(II)? Jeżeli mowa jest tylko o zdyspergowaniu fazy stałej, dlaczego nie użyto roztworu o mniejszym stężeniu, np. 0,1 mol/l HNO₃? Jeżeli natomiast dochodzi także do zdyspergowania fazy stałej i elucji analitu, dlaczego nie posłużono się np. roztworem, 0,1 mol/l Na₂S₂O₃?

4. Podobne pytanie (do tego w pkt. 3) dotyczy także pracy D6, gdzie użyto CNT/TSC do adsorpcji jonów Hg(II). Przed naniesieniem zawiesiny na kwarcowy reflektor nanomateriał z zaadsorbowanymi jonami Hg(II) traktowano roztworem 2,0 mol/l HNO₃ (sonikacja przez 5 minut). Czy w tym przypadku wspomniany roztwór użyto tylko do zdyspergowania nanomateriału, czy może powodował on częściową elucję jonów Hg(II)?

5. W artykułach D2, D3, D5 i D6 podano jedynie wartości poprawności wyników licząc procentowe stosunki stężeń oznaczonych do stężeń atestowanych. Nie sprawdzono jednak czy porównywane wyniki, będące wartościami średnimi, należą do tej samej populacji, co można dowieść poprzez spełnienie poniższej zależności (dla p=0,05):

$$|x_{\text{ozn}} - x_{\text{CRM}}| < 2 \sqrt{u_{x_{\text{ozn}}}^2 + u_{x_{\text{CRM}}}^2}. \quad \text{Nie użyto również odpowiednich testów}$$

statystycznych, które mogłyby dowieść, że różnica $X_{ozn}-X_{CRM}$ jest statystycznie nieistotna przy określonym α , np. równym 0,05.

4. WNIOSKI

Jakość przedłożonej pracy doktorskiej i znaczenie spójnego tematycznie zbioru artykułów D1-D6, będących podstawą tejże pracy doktorskiej, utwierdzają mnie w przekonaniu, że pan mgr Marcin Musielak posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną w dyscyplinie nauk chemicznych i samodzielne prowadzenie prac naukowych (w zakresie chemii analitycznej i spektrometrii atomowej). Wartość wspomnianych artykułów oraz przedstawionych rozwiązań metodologicznych w odniesieniu do otrzymywania węglowych nanomateriałów adsorpcyjnych i ich zastosowania do zatężania wybranych jonów metali i oddzielania od innych składników matrycowych próbek środowiskowych i żywności na drodze DMSPE przed pomiarem technikami XRF jest w zupełności wystarczająca do nadania panu mgr Marcinowi Musielakowi stopnia doktora nauk chemicznych. Dlatego zwracam się do członkiń i członków Rady Naukowej Instytutu Chemii Uniwersytetu Śląskiego o dopuszczenie mgr Musielaka do dalszych etapów toczącego się postępowania o nadanie stopnia doktora.

Ze względu na jakość naukową artykułów ocenianego zbioru w odniesieniu do rozwoju metod pierwiastkowej analizy śladowej i ultraśladowej z wykorzystaniem technik XRF jak również znaczącą aktywność naukową mgr Musielaka w latach 2016-2022, tj. współautorstwo 8 artykułów naukowych w renomowanych czasopismach naukowych o łącznym współczynniku oddziaływania wynoszącym 46,24, których indeks H wynosi 4, i które cytowane były przeszło 130 razy, współautorstwo licznych wystąpień ustnych (9) i plakatowych (14) na konferencjach zagranicznych i krajowych, współautorstwo 1 zgłoszenia patentowego, wyróżnienie w postaci nagród i stypendiów naukowych (5)], poddaję również pod rozagę członkiniom i członkom Rady Naukowej Instytutu Chemii Uniwersytetu Śląskiego wyróżnienie ocenianej pracy doktorskiej. W moim odczuciu oceniana rozprawa doktorska pana mgr M. Musielaka zasługuje na takie wyróżnienie.

Kierownik
Katedry Chemii Analitycznej
i Metalurgii Chemicznej
P. POHL
prof. dr hab. inż. Paweł Pohl