AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
KIEROWNIK KATEDRY CHEMII ANALITYCZNEJ i BIOCHEMII
Prof. dr hab. inż. Bogusław Baś

Kraków, dn. 18.11.2025 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Amandy Ledy pt. *„Nanostrukturalne materiały na bazie wielościennych nanorurek węglowych oraz pochodnych pirenu do zastosowań w elektroanalizie i biosensorach"*

Praca doktorska została wykonana w Zakładzie Chemii Ogólnej i Analitycznej Instytutu Chemii i Elektrochemii Technicznej na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej pod opieką dr hab. inż. Tomasza Rębisia. Zespół, w którym Doktorantka prowadziła badania naukowe i przygotowała dysertację, to dobrze rozpoznawalna i ceniona grupa badawcza zajmująca się m.in. projektowaniem i wytwarzaniem nowatorskich czujników elektrochemicznych, znajdujących zastosowanie w bioanalityce oraz elektroanalizie leków i produktów spożywczych. Rzetelne i merytoryczne wsparcie zespołu, jakie niewątpliwie otrzymała Doktorantka, przełożyło się na bardzo wysoką jakość osiągniętych rezultatów i uznanie międzynarodowego środowiska naukowego, czego dowodem jest dziewięć artykułów opublikowanych w specjalistycznych czasopismach indeksowanych w bazie JCR, m.in. w *Electrochimica Acta* (IF: 6,6) czy *Measurement* (IF: 5,13), oraz liczne wystąpienia na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Moją uwagę przykuła długa lista osobistych podziękowań zamieszczona na wstępie pracy, która świadczy o skromności, pracowitości oraz wyjątkowo wysokiej kulturze osobistej Doktorantki.

Praca Pani mgr inż. Amandy Ledy obejmuje cztery fundamentalne zadania badawcze, tj.: a) zaprojektowanie i wytworzenie nanostrukturalnych materiałów hybrydowych poprzez nałożenia wielościennych nanorurek węglowych (MWCNT) na powierzchnię podłożowych elektrod z węgla szklistego (GCE), a następnie pokrywanych *in situ* pochodnymi wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), b) przeprowadzenie elektrochemicznej aktywacji pirenu i jego pochodnych, mającej na celu nadanie wytworzonym warstwom właściwości elektroaktywnych, w tym zdolności do odwracalnego przejścia chinon-hydrochinon, c) dokonanie fizykochemicznej charakterystyki wytworzonych warstw, szczególnie w zakresie ich właściwości elektrochemicznych, elektrokatalitycznych i mechanicznych w wodnych roztworach elektrolitów, d) wykorzystanie nowo opracowanych czujników w elektroanalizie zredukowanej formy dinukleotydu nikotynoamidoadenidowego (NADH) oraz glukozy.

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Chemii Analitycznej i Biochemii
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
tel. +48 12 617 2473, 604 616 574
e-mail: bas@agh.edu.pl, www.agh.edu.pl, http://home.agh.edu.pl/~kca/home/

Równie interesująca i wartościowa jest gruntowna ocena proponowanych, nowych rozwiązań konstrukcyjnych i metod, przeprowadzona w oparciu o wyjątkowo rzetelną analizę danych literaturowych zarówno pod względem aspektów analitycznych, jak i praktyczno-ekonomicznych. Praca, poza wysokimi walorami o charakterze badań podstawowych, ma także duży potencjał aplikacyjny, dlatego doceniam fakt, że opracowane czujniki i procedury pomiarowe poddano szczegółowej charakterystyce metrologicznej, użytkowej oraz częściowej walidacji. Uważam, że podjęta tematyka badawcza doskonale nawiązuje do aktualnych i przyszłościowych kierunków rozwoju współczesnej analizy instrumentalnej i medycyny laboratoryjnej. Jestem przekonany, że tematyka badawcza realizowana przez Doktorantkę, zainicjowana przez dr hab. inż. Tomasza Rębisia, będzie intensywnie rozwijana ze względu na jej kapitalne znaczenie prospołeczne.

Praca doktorska mgr inż. Amandy Ledy została przedstawiona w formie obszernej, napisanej w tradycyjnym układzie monografii liczącej 208 stron, przy czym część literaturowa obejmuje 54, a część eksperymentalna 141 stron, wraz ze spisem stosowanych akronimów i skrótów, wykazem odczynników, stosowanej aparatury, bibliografią, streszczeniem pracy w języku polskim i angielskim, spisem tabel i rysunków oraz charakterystyką dorobku naukowego. Załączona bibliografia obejmuje 251 pozycji i uwzględnia zarówno najnowsze doniesienia, jak i prace historyczne o fundamentalnym znaczeniu dla realizowanej tematyki. Korzystanie z literatury ułatwia pełny opis cytowanych pozycji wraz z podaniem tytułu artykułu oraz jego numeru DOI. Z satysfakcją stwierdzam, że Doktorantka dokonała trafnego wyboru, a dyskusja podjęta w części literaturowej dysertacji potwierdza wysokie umiejętności krytycznej analizy ogólnie dostępnej wiedzy. Materiał przedstawiony w części literaturowej, na którą składa się pięć rozdziałów, obejmuje zarówno informacje ogólne na temat budowy, charakterystyki i zastosowania czujników elektrochemicznych, jak i wybranych materiałów elektrodowych, w tym nanorurek węglowych, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz dinukleotydu nikotynoamidoadenidowego (NADH) jako potencjalnych komponentów selektywnie działającej warstwy receptorowej elektrod GC powierzchniowo modyfikowanych. Zebrane informacje są ściśle związane z tematyką prowadzonych badań i stanowią swoiste kompendium wiedzy dla czytelnika. Stwierdzam, że podjęta w pracy dyskusja potwierdza duże umiejętności krytycznej analizy ogólnie dostępnej wiedzy i dowodzi spełnienia wymagań Ustawy zarówno w zakresie rozeznania literatury, jak i opanowania odpowiedniego zakresu wiedzy w reprezentowanej dyscyplinie nauki. Uwagę zwraca wyjątkowo trafne i merytorycznie uzasadnione sformułowanie celu, zakresu i celowości podjętych badań.

Główną część dysertacji stanowi najważniejsza i najbardziej obszerna część eksperymentalna, w której Doktorantka bardzo starannie i szczegółowo opisała zasady planowania eksperymentów, przebieg badań oraz osiągnięte rezultaty i napotkane trudności. Bardzo doceniam starania Doktorantki, aby każdy obserwowany proces, proponowany prawdopodobny mechanizm reakcji redoks czy stawiany wniosek uzasadnić odpowiednimi danymi zaczerpniętymi z literatury. To godne pochwały i naśladowania podejście nie pozostawia recenzentowi żadnych wątpliwości co do słuszności podejmowanych decyzji i planowania eksperymentów. Stwierdzam także, iż zamieszczone w pracy starannie dopracowane rysunki (75) i tabele (9) w pełni uzasadniają poczynione założenia i jednoznacznie potwierdzają osiągnięte rezultaty.

Doktorantka rozpoczęła badania od elektrochemicznej aktywacji elektrody GCE/MWCNT/1-AP poprzez utlenienie 1-aminopirenu (1-AP) do 1-aminopireno-4,5,9,10-tetrolu (1-APox) w 0,1 M $HClO_4$. Obecność 1-APox oraz częściową dimeryzację związku ($(1\text{-APox})_2$) potwierdzono techniką spektrometrii mas (MS). W ramach optymalizacji warunków nanoszenia 1-AP na MWCNT analizowano wpływ czasu adsorpcji oraz stężenia 1-AP. W tym celu rejestrowano krzywe CV i porównywano prądy pików utleniania 1-AP. Na podstawie chronoamperogramów utleniania NADH do NAD^+ przy potencjale +0,1 V vs. Ag/AgCl, w mieszanym buforze fosforanowym (PBS, pH 7,4), ustalono, że stężenie 0,5 mg mL^{-1} 1-AP zapewnia najwyższą czułość i powtarzalność oznaczania NADH. Optymalne stężenie 1-AP ustalono stosując technikę chronoamperometrii, podczas gdy wcześniejsze testy przeprowadzono techniką CV, co w mojej opinii wymaga uzasadnienia. W oparciu o badania wpływu szybkości polaryzacji na kinetykę reakcji '1-AP ⇌ 1-APox' sformułowano wniosek, że *„o wartości prądu decyduje ilość cząsteczek zaadsorbowanych na powierzchni elektrody, a nie transport dyfuzyjny z głębi roztworu elektrolitu"*, który ze względu na fakt, że 1-AP jako substrat reakcji pokrywa powierzchnię MWCNT również wymaga wyjaśnienia. Morfologię oraz stopień pokrycia powierzchni MWCNT określono za pomocą mikroskopii AFM i TEM. Analiza FT-IR potwierdziła obecność drgań C–O, a pomiary XPS wykazały zwiększony udział atomów tlenu oraz sygnału C–OH, co świadczy o przyłączeniu grup hydroksylowych podczas utleniania 1-AP do 1-APox. W ramach elektrochemicznej charakterystyki czujników zarejestrowano serie woltamogramów CV w PBS z parą redoks $[Fe(CN)_6]^{3-/4-}$ przy różnych szybkościach polaryzacji, a także widma impedancyjne EIS. Wyznaczono w ten sposób aktywne powierzchnie wszystkich czujników, potwierdzono adsorpcyjny charakter procesu oraz wyznaczono stopień pokrycia (Γ), zgodny z wartościami literaturowymi. Przy dużych szybkościach polaryzacji, zgodnie z teorią Lavirona, odnotowano przejście procesu w reżim dyfuzyjny ograniczony transportem jonów uczestniczących w reakcji redoks Q/QH_2. Stabilność wytypowanego czujnika GCE/MWCNT/1-APox oceniono na podstawie serii 500 krzywych CV. W ramach badań porównawczych utleniano również piren (Pyr), wykazując, że 1-AP ulega utlenieniu przy niższym potencjale, co przypisano obecności elektrodonorowej grupy aminowej $-NH_2$. Ostatni etap badań obejmował próby ilościowego oznaczania NADH z wykorzystaniem wszystkich typów elektrod zarówno przed jak i po elektroaktywacji. Krzywe CV utleniania NADH przedstawiono na rysunku 30; szkoda, że dla elektrody GC nie rozszerzono zakresu potencjałów, aby uwidocznić formujący się pik utleniania 1-AP. Ostatecznie wykazano, że najwyższą aktywnością katalityczną cechuje się czujnik GCE/MWCNT/1-APox, aktywowany w $HClO_4$, dla którego uzyskano najniższy potencjał utleniania NADH. Kalibrację opracowanej procedury analitycznej przeprowadzono techniką chronoamperometrii przy stałym potencjale i ciągłym mieszaniu roztworu. Wyznaczono granice wykrywalności (LOD) i oznaczalności (LOQ), a także zakres liniowości i czułość metody. W ramach walidacji oceniano również selektywność, stabilność, powtarzalność i odtwarzalność sygnału czujnika. Zaobserwowano m.in. spadek rejestrowanego prądu w czasie mimo ciągłego mieszania roztworu, co wytłumaczono dezaktywacją elektrody i/lub stopniowym osadzaniem się produktów reakcji (NAD^+). Praktyczną użyteczność czujnika GCE/MWCNT/1-APox Doktorantka potwierdziła, przeprowadzając analizę wybranych suplementów diety i porównując wyniki z wartościami deklarowanymi przez producentów.

Drugi rozdział części doświadczalnej Doktorantka poświęciła oryginalnym konstrukcjom czujników wytwarzanych poprzez elektrochemiczne osadzanie 3-metoksykatecholu (3-MCat) lub katecholu (Cat) na nanorurki MWCNT wcześniej pokryte 1-aminopirenem. Opracowane elektrody wykorzystano następnie do oznaczania NADH i glukozy. W celu wyjaśnienia i opisania mechanizmów elektrodowych zarejestrowano serię krzywych CV dla GCE/MWCNT w roztworach PBS z dodatkiem 1-AP, Cat, 3-MCat oraz krzywe CV dla GCE/MWCNT/1-AP w roztworach PBS zawierających Cat i 3-MCat. W ten sposób wykazano, że na GCE/MWCNT/1-AP zachodzi reakcja addycji Michaela z wytworzeniem elektroaktywnego adduktu. Wszystkie komponenty (MWCNT, 1-AP, Cat, 3-MCat) oraz czujniki poddano analizie FT-IR, potwierdzając skuteczne pokrycie MWCNT warstwą 1-AP, na której osadzała się warstwa katecholu lub jego pochodnej. Specjalnie zaprojektowana elektroda GC z odłączaną końcówką umożliwiła obrazowanie AFM i SEM, które potwierdziło równomierne osadzenie 1-AP na MWCNT oraz przyłączenia cząsteczek Cat i 3-MCat. W ramach elektrochemicznej charakterystyki czujników GCE/MWCNT/1-AP/Cat oraz GCE/MWCNT/1-AP/3-MCat zarejestrowano serie krzywych CV w buforze PBS przy różnych szybkościach polaryzacji, co w obu przypadkach potwierdziło adsorpcyjny charakter procesów elektrodowych. Instrumentalne sprzężenie techniki CV z elektrochemiczną mikrowagą kwarcową (EQCM) pozwoliło wykazać przyrost masy elektrody wynikający z elektroosadzania Cat oraz 3-MCat na powierzchni MWCNT. Z kolei, woltamogramy CV zarejestrowane dla chlorku heksaamminorutenu(III), pozwoliły wyznaczyć aktywne powierzchnie testowanych elektrod. Chronoamperogramy zarejestrowane dla wszystkich kompozycji warstwy modyfikatora wykazały, że czujniki z warstwą pośrednią 1-AP charakteryzują się czterokrotnie wyższą czułością w oznaczaniu NADH. Po optymalizacji stężeń Cat i 3-MCat oraz warunków modyfikacji powierzchni przystąpiono do kalibracji opracowanej procedury oznaczania NADH w roztworze PBS przy potencjale +0,1 V vs. Ag/AgCl. Dla czujników GCE/MWCNT/1-AP/3-MCat oraz GCE/MWCNT/1-AP/Cat wyznaczono granice wykrywalności i oznaczalności, a także zakresy liniowości i czułości opracowanej metody.

W trzecim rozdziale Doktorantka przedstawiła nowatorską koncepcję czujników glukozy, wytworzonych poprzez immobilizację dehydrogenazy glukozowej z *Pseudomonas sp.* (GDH) na GCE/MWCNT/1-AP/Cat oraz GCE/MWCNT/1-AP/3-MCat. Pomiary chronoamperometryczne prowadzono w roztworze PBS w obecności NAD^+, stosując dwa tryby: (i) bez mieszania roztworu, z dwustopniową polaryzacją (E_1 = −0,2 V przez 10 s i E_2 = +0,6 V przez 60 s) oraz (ii) z mieszaniem roztworu przy stałym potencjale E_2 = +0,6 V. Oba czujniki wykazały porównywalną granicę oznaczalności i zbliżony zakres liniowości, przy czym mieszanie roztworu zapewniało im niemal dwukrotny wzrost czułości. Badania selektywności i trwałości czujnika GCE/MWCNT/1-AP/3-MCat/GDH, a także analiza próbek rzeczywistych (napoju izotonicznego), potwierdziły jego wysoki potencjał aplikacyjny w oznaczaniu glukozy.

W czwartym, ostatnim rozdziale części doświadczalnej Doktorantka przedstawiła wyniki wstępnych badań dotyczących osadzania oraz elektrochemicznej aktywacji 1-hydroksypirenu (1-HP) i kwasu 1-pirenoboronowego (PBA) na elektrodzie GCE/MWCNT. Zaobserwowała, że czujnik GCE/MWCNT/1-HPox wykazuje właściwości zbliżone do czujnika GCE/MWCNT/1-APox i dorównuje mu jakością parametrów elektrokatalitycznych dlatego zasługuje aby poświęcić mu więcej uwagi i poddać głębszej charakterystyce.

Równie interesujące wyniki uzyskano rejestrując krzywe CV dla czujnika GCE/MWCNT/PBAox w buforze Brittona-Robinsona (pH 8,5) przy stopniowo zwiększanym stężeniu glukozy. Wzrost stężenia glukozy był mianowicie powodem przesuwanie się pików redoks w kierunku anodowym, a wyznaczona zależność pomiędzy potencjałem formalnym utleniania PBA a logarytmem stężenia glukozy okazała się być liniowa, co stwarza możliwości opracowania nowej konstrukcji czujnika potencjometrycznego glukozy.

Z opisu osiągnięć naukowych, zwieńczających recenzowany doktorat, wynika, że mgr inż. Amanda Leda jest współautorką **9** publikacji indeksowanych w bazie JCR i ściśle związanych z tematyką rozprawy. Imponujący, sumaryczny *Impact Factor* tych prac wynosi 43,83 (IF śr: 4,87), a liczba niezależnych cytowań na dzień 18.11.2025 r. to 34 (h-indeks: 4). Jest współautorką 23 wystąpień konferencyjnych, w tym siedemnastu jako autor prezentujący.

Rozprawę mgr inż. Amanda Ledy oceniam bardzo wysoko, gdyż dowodzi wyjątkowej pracowitości, determinacji i wnikliwości badawczej Doktorantki, pasji, z jaką ta młoda naukowczyni przystąpiła do realizacji własnych zainteresowań, oraz nabytej przez niej cennej umiejętności samodzielnego rozwiązywania skomplikowanych problemów. Co więcej, podjęte badania i osiągnięte rezultaty, zwieńczone bardzo dobrymi artykułami naukowymi mają nowatorski charakter, doskonale wpisują się w nowe strategie rozwoju współczesnych systemów analizy chemicznej i stanowią rozwiązanie problemu badawczego, co - na mocy Ustawy (art. 187, pkt. 2) - jest wymogiem nadania stopnia doktora w reprezentowanej dyscyplinie naukowej.

Ocena końcowa

Analizując cel i realizowane zadania, nie mam wątpliwości, że tematyka pracy jest ważna, ciekawa, wielowątkowa i stanowi oryginalne podejście zarówno koncepcyjne, jak i metodyczne, a zatem spełnia wymagania tzw. *nowości naukowej*. Doktorantka rozwiązała wymagany Ustawą problem badawczy. Jej dysertację charakteryzuje wiele walorów poznawczych, w tym m.in. zaproponowanie kilku oryginalnych koncepcji elektrolitycznej modyfikacji powierzchni elektrod (GC) pokrytych warstwą wielościennych nanorurek węglowych (MWCNT) a następnie 1-aminopirenu (1-AP) (GCE/MWCNT/1-AP), lub jego formy utlenionej (1-aminopireno-4,5,9,10-tetrolu, 1-APox) (GCE/MWCNT/1-APox), a także dodatkowo katecholu (Cat) (GCE/MWCNT/1-AP/Cat) lub 3-metoksykatecholu (3-MCat) (GCE/MWCNT/1-AP/3M-Cat) charakteryzujących się odwracalnym przejściem chinon/hydrochinon. Opracowane czujniki oraz procedury analityczne umożliwiły Doktorantce selektywne oznaczanie NADH oraz glukozy z satysfakcjonującą czułości, precyzją i dokładnością.

Zwraca uwagę bardzo bogaty i zróżnicowany warsztat badawczy, w tym m.in. spektrometria mas, spektroskopia FTiR i XPS, techniki obrazowania SEM, TEM i AFM oraz liczne zaawansowane techniki elektrochemiczne: CV, CA, EIS i EQCM, wykorzystane perfekcyjnie na każdym z etapów realizacji pracy. Wykracza on znacząco poza zakres typowych prac doktorskich, z jakimi spotkałem się dotychczas jako recenzent. Wysoko oceniam przygotowanie Doktorantki do prowadzenia tak zaawansowanych badań. Słowa uznania kieruję do Promotora, dr hab. inż. Tomasza Rębisia oraz samej Doktorantki za wyjątkowo trafne sformułowanie tematu rozprawy i jego konsekwentną realizację.

Uwagi i komentarze do pracy

Praca doktorska została napisana w języku polskim. Bardzo pomocne w jej ocenie są zamieszczone schematy i tabele doskonale ilustrujące treści zawarte w opisach i komentarzach. Doceniam wyjątkowo rzetelnie przeprowadzoną analizę parametryczną proponowanych metod oraz dokonane porównania z danymi literaturowymi. Jak w każdej pracy, i w tej pojawiły się drobne błędy edytorskie, jednak nie znajduję uzasadnienia, aby je wyszczególniać.

Z racji nałożonego na mnie obowiązku recenzenta zgłaszam pod rozwagę kilka uwag i proszę Doktorantkę, aby w sposób merytoryczny ustosunkowała się do nich w trakcie publicznej obrony:

1) Rozdział 1.1. *Charakterystyka, budowa i podział sensorów* (str. 18) – informacje dotyczące czułości, dokładności i granicy oznaczalności (LOQ) wymagają rozwinięcia oraz doprecyzowania.

2) Wyniki cytowane za autorami artykułów, stanowiących podstawę studiów literaturowych, na które powołuje się Doktorantka, powinny zostać poddane krytycznej analizie i skomentowane, gdyż w mojej ocenie budzą poważne wątpliwości (np. str. 29 *„zakres detekcji (od* 20 *do* 3300 µM) *oraz granicę wykrywalności* (3,86 µM)", str. 41 *„zakres liniowości* 5-700 µM, *granicę wykrywalności* 34,6 nM *oraz granicę oznaczalności* 0,115 µM.", str. 50 „(LOD *równe* 11,48 nM), *zakres liniowej odpowiedzi biosensora* (*od* 5 *do* 50 nM)", str. 63 *„w zakresie od* 2 µM *do* 1 mM, *czułość* 151,45 µA nM^{-1} cm^{-2}").

3) W rozdziale 1.1. *Aparatura pomiarowa* – podane informacje: *„W przypadku testów techniką EIS ... przy amplitudzie potencjału równej* +0,1 V." i *„Jako elektrodę wykorzystano w tym celu kryształ złota o powierzchni geometrycznej* 0,38 cm^2 *i częstotliwości oscylacji* 6 mHz ..." wymagają doprecyzowania.

4) Rozdział 1.3. *Preparatyka materiałów elektrodowych* – nasuwa się pytanie, czy w przypadku nanoszenia nanorurek MWCNT na GCE z zawiesiny w DMF proces kondycjonowania elektrody GCE/MWCNT w roztworze 1-AP w DMF nie prowadzi do braku odtwarzalności powierzchni oraz utraty stabilności elektrody GCE/MWCNT.

5) Weryfikacji wymaga wartość stopnia pokrycia (Γ) nanorurek MWCNT warstwą 1-APox, wyznaczona na podstawie rów. 11, ponieważ jako pole powierzchni elektrody przyjęto A = 0,079 cm^2 (str. 96) czyli wartość uprzednio wyznaczoną dla elektrody GC (str. 94).

6) W rozdziale 2.2.4. przedstawiono wyniki oznaczania NADH za pomocą czujników GCE/MWCNT/1-AP/Cat oraz GCE/MWCNT/1-AP/3M-Cat. Uzyskane parametry kalibracji są jednak zdecydowanie gorsze niż w przypadku czujnika GCE/MWCNT/1-AP. Proszę o wyjaśnienie tej obserwacji.

7) Zachęcam Doktorantkę, aby w przyszłych pracach zawsze brała pod uwagę niepewność wyników – choćby uwzględniając klasę dokładności stosowanej aparatury – oraz podawała wyniki z jedną, maksymalnie dwiema cyframi znaczącymi.

Reasumując, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje rzetelny opis przeprowadzonych prac badawczych o wysokim poziomie naukowym oraz realnych perspektywach ich kontynuacji i aplikacji. Badania wykonano z dużym rozmachem i starannością, a biorąc pod uwagę stopień zaawansowania prac projektowych i konstrukcyjnych oraz złożony charakter analizowanych procesów fizykochemicznych, należało dysponować wszechstronną, dobrze ugruntowaną wiedzą interdyscyplinarną, doświadczeniem i umiejętnością obsługi skomplikowanego sprzętu. Stawiane hipotezy oraz podjęta dyskusja wyników, przeprowadzona w oparciu o aktualne źródła literaturowe, jednoznacznie dowodzą dojrzałości naukowej Doktorantki. Sygnalizowane drobne błędy i uwagi w żaden sposób nie rzutują na moją bardzo wysoką ocenę tej pracy.

Wniosek końcowy

W mojej ocenie przedłożona rozprawa doktorska zawiera istotne elementy nowości naukowej, a także potwierdza szeroką, interdyscyplinarną wiedzę Doktorantki w reprezentowanej dyscyplinie. Wszystkie cele badawcze zostały zrealizowane wzorowo, czego efektem są bardzo dobre artykuły naukowe oraz liczne wystąpienia konferencyjne. Dlatego z pełnym przekonaniem stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Amandy Ledy pt. *„Nanostrukturalne materiały na bazie wielościennych nanorurek węglowych oraz pochodnych pirenu do zastosowań w elektroanalizie i biosensorach"* **spełnia wszystkie wymagania przepisów prawnych i zwyczajowych stawianych pracom doktorskim, i wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgr inż. Amandy Ledy do dalszych etapów przewodu doktorskiego**.

Jednocześnie proszę o rozważenie mojej propozycji **wyróżnienia rozprawy**, co uzasadniam aktualnością i znaczeniem podjętej tematyki dla rozwoju reprezentowanej dyscypliny, interdyscyplinarnym i wielokierunkowym charakterem prowadzonych badań, ich **wysokim poziomem merytorycznym** oraz dużym **potencjałem aplikacyjnym**. Bardzo bogaty i rzetelnie zinterpretowany materiał doświadczalny stanowi efekt zaprojektowania i konstrukcji nowatorskich czujników elektrochemicznych na bazie elektrod GC modyfikowanych jednocześnie nanomateriałami węglowymi i pochodnymi wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), a także rezultat opracowania staranie zweryfikowanych procedur analitycznych oznaczania NADH oraz glukozy. W mojej ocenie wszystkie podjęte działania i osiągnięte wyniki mają **wyraźnie nowatorski charakter** i doskonale wpisują się w **nowe strategie rozwoju** współczesnej chemii analitycznej, diagnostyki medycznej oraz metrologii chemicznej. Nowatorski charakter badań, znacząco poszerzający stan obecnej wiedzy, podobnie jak solidna i konsekwentnie stosowana metodyka rozwiązywania napotkanych problemów badawczych, świadczą o bardzo wysokim poziomie naukowym mgr inż. Amandy Ledy oraz jej wyjątkowych zdolnościach inżynierskich. Doktorantka jest współautorką dziewięciu artykułów naukowych opublikowanych w specjalistycznych, prestiżowych czasopismach indeksowanych w bazie *Journal Citation Reports*. Sumaryczny *Impact Factor* tych prac wynosi 43,83 (IF śr: 4,87), a łączna liczba punktów MNiSW: 1120. Wyniki swoich badań Doktorantka prezentowała na 23 konferencjach, w tym siedemnastokrotnie jako autor prezentujący.