

Gdynia, 2023.10. 20

Prof. dr hab. inż. Jerzy Mizeraczyk
Katedra Elektroniki Morskiej
Wydział Elektryczny
Uniwersytet Morski w Gdyni
Morska 81-87
81-225 Gdynia

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Arkadiusza Sobczyka
pt.

**Powstawanie struktur węglowych
w stałonapięciowym wyładowaniu elektrycznym w układzie igła-płyta
w przepływającej mieszaninie argonu z cykloheksanem**

1. Podstawa prawna wykonania recenzji

- Uchwała Rady Naukowej Instytutu Maszyn Przepływowych PAN W Gdańsku nr 68/2023 z dnia 15.06.2023 r. w sprawie powołania recenzentów w postępowaniu o nadanie mgr. Arkadiuszowi Sobczykowi stopnia doktora,
- Prośba Zastępcy Dyrektora do spraw Naukowych Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, dr hab. inż. Grzegorza Żywicy, profesora IMP PAN z dnia 26 lipca 2023 r. o opracowanie recenzji wyżej wymienionej rozprawy doktorskiej,
- Art. 13 z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki - stan prawny na 30 września 2011 oraz art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. ust. 2018, poz. 1669 z późn. zm.).

2. Sylwetka Doktoranta

Mgr Arkadiusz Sobczyk, którego dalej będę nazywał Doktorantem, urodził się w 1981 r. w Słupsku. W roku 2005 ukończył studia magisterskie na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku na kierunku Fizyka w specjalności Fizyka z informatyką po obronieniu pracy magisterskiej pt. „*Spektroskopowe badanie wyładowań elektrycznych*”. W tym samym roku Doktorant rozpoczął pracę w Instytucie Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku, gdzie pracuje do dzisiaj na stanowisku starszego specjalisty.

Ważnym elementem życiorysu naukowego Doktoranta jest Jego udział w kilku projektach badawczych, Projekty, w których uczestniczył Doktorant to:

- Projekt NCBiR o akronimie HYBRYDA+ (POIR.04.01.04-00-0096/17-02): "Hybrydowy system ograniczenia emisji składników kwaśnych i popiołów lotnych ze spalin" (w latach 2018-2022). Wraz z partnerami przemysłowymi Rafako S.A. i Tauron Wytwarzanie Doktorant brał czynny udział w opracowywaniu projektu koncepcyjnego nowatorskiego systemu oczyszczania spalin HYBRYDA+ dla spalin pochodzących z kotła o mocy 200 MW w elektrowni w Łaziskach.
- Projekt NCBiR o akronimie ELAGLOM (PBS2/B4/9/2014): "Opracowanie innowacyjnej metody ograniczenia emisji cząstek submikronowych w spalinach i gazach odlotowych" (w latach 2014-2017). Doktorant brał czynny udział w opracowywaniu projektu koncepcyjnego instalacji ELAGLOM oraz w badaniach na instalacji półprzemysłowej do oczyszczania spalin i gazów odlotowych, w tym spalin z silników Diesla z cząstek submikronowych. W projekcie uczestniczyła firma Rafako S.A. i Akademia Morska w Gdyni.
- Projekt UE FP7 o akronimie DEECON (grant agreement no 284745): "Innovative After-Treatment System for Marine Diesel Engine Emission Control" (w latach 2011-2014). Projekt miał na celu opracowanie metody oczyszczania spalin generowanych przez silnik Diesla z nano- i submikronowych cząstek. Doktorant był jednym z wykonawców w tym projekcie.
- Program Strategiczny NCBiR: "Zaawansowane technologie pozyskiwania energii, Zadanie 4: Opracowanie Zintegrowanych Technologii Wytwarzania Paliw i Energii z Biomasy, Odpadów Rolniczych i Innych" (w latach 2010-2015). Doktorant uczestniczył w wytwarzaniu warstw ditlenku tytanu techniką elektrorozpylania do celów fotokatalizy CO₂ oraz w badaniach mikroskopowych SEM.
- Projekt promotorski MNiSW 0104/B/T02/2007/33: "Badania powstawania struktur węglowych w gazach zjonizowanych zawierających węglowodory" (w latach 2008-2009). Projekt dotyczył wytwarzania struktur węglowych w wyładowaniu elektrycznym małej mocy. Doktorant był głównym wykonawcą w tym projekcie. Wyniki tego projektu są przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej.
- Projekt badawczy MNiSW 4078/T02/2007/32: "Wykorzystanie metody elektrohydrodynamicznego rozpylania cieczy do wytwarzania nanoproszków

i nanowłókien" (w latach (2007-2009). Doktorant brał udział w wytwarzaniu nanoprošków i nanowłókien metodą elektroizpylania i elektroizprędzienia.

- Projekt JOINT SINGAPORE-POLAND S&T CO-OPERATION SINGAPUR/14/2006. "Wytwarzanie nowych nanokompozytowych filtrów membranowych dla nowych zastosowań technologicznych" (w latach 2006-2009). Podobnie jak w poprzednim grancie Doktorant brał udział w wytwarzaniu nanoprošków i nanowłókien metodą elektroizpylania i elektroizprędzienia.

W 2010 roku Doktorant otrzymał od Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki stypendium „InnoDoktorant – stypendia dla doktorantów, II edycja”.

Doktorant jest współautorem ponad 80 recenzowanych artykułów. 48 z tych artykułów zostało opublikowane w czasopismach indeksowanych w bazie Clarivate Web of Science (m.in. w Journal of Electrostatics, Process Safety and Environmental Protection i Progress in Energy and Combustion Science). W 9 z tych artykułów Doktorant jest pierwszym autorem. Doktorant zaprezentował 14 referatów i posterów na różnych konferencjach w kraju i zagranicą. Jest współautorem 1 patentu krajowego. Liczba cytowani publikacji Doktoranta wynosi ponad 1500. Indeks Hirscha przypisywany Doktorantowi wynosi 19.

3. Aktualność problematyki naukowej rozprawy i celowość jej podjęcia

Podjęcie się przez Doktoranta badań naukowych dotyczących sposobu wytwarzania struktur węglowych, w tym nanostruktur za pomocą koronowego wyładowania elektrycznego jest odpowiedzią na zapotrzebowanie przemysłu na metody produkcji różnorodnych struktur węglowych w urządzeniach pracujących przy ciśnieniu atmosferycznym, bez używania drogich i kosztownych w eksploatacji urządzeń próżniowych. Dotychczas bowiem podstawową techniką otrzymywania różnorodnych struktur węglowych, w tym nanościan węglowych jest wyładowanie elektryczne na częstotliwościach radiowych i mikrofalowych pod obniżonym ciśnieniu w mieszaninach gazowych z takimi węglowodorami jak metan, etylen lub acetylen. Struktury węglowe cieszą się obecnie dużym zainteresowaniem, ponieważ są używane do produkcji m.in. elektrod baterii litowo-jonowych, superkondensatorów i czujników gazu.

W Polsce badaniami dotyczącymi produkcji takich struktur węglowych, jak grafeny, nanościany i nanorurki węglowe zajmuje się m.in. Wydział Chemii Uniwersytetu Warszawskiego oraz Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej. Na świecie ośrodkami przodującymi w ilości publikacji na temat właściwości

i metod produkcji nanościian węglowych są Chińska Akademia Naukowa oraz japońskie Uniwersytety Meijo i Nagoya.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska dotyczy otrzymywania struktur węglowych za pomocą stałonapięciowego wyładowania koronowego w klasycznym układzie elektrod igła-płyta w mieszaninie argonu i par cykloheksanu pod ciśnieniem atmosferycznym. Zaletą takiego sposobu wytwarzania struktur węglowych może okazać się stosunkowo niska moc stałonapięciowego wyładowania koronowego w układzie elektrod igła-płyta (poniżej 100 W) oraz praca pod ciśnieniem atmosferycznym. Niestety w literaturze przedmiotu brak jest publikacji na temat zastosowania stałonapięciowego wyładowania koronowego w układzie elektrod igła-płyta w mieszaninach gazowych z węglowodorami pod ciśnieniem atmosferycznym do produkcji struktur węglowych.

Z powyższego wynika, że proponowane przez Doktoranta badania wytwarzania struktur węglowych za pomocą stałonapięciowego wyładowania koronowego dotyczą aktualnego zainteresowania rynku. Są one także atrakcyjne z poznawczych powodów.

4. Cel i teza rozprawy

Celem badań w niniejszej rozprawie doktorskiej była weryfikacja przydatności wyładowania koronowego małej mocy do produkcji struktur węglowych, w tym nanostruktur na drodze rozkładu węglowodorów. Doktorant postawił w rozprawie następującą tezę: *„Wyładowanie koronowe małej mocy w układzie igła-płyta w gazie obojętnym może prowadzić do rozkładu węglowodorów, w wyniku czego powstają cząsteczki węgla, z których budowane są struktury węglowe na elektrodach wytwarzających wyładowanie”*.

5. Zakres rozprawy

Rozprawa doktorska liczy 177 strony i została podzielona na 6 rozdziałów.

W rozdziale 1 przedstawiono cel i zakres rozprawy doktorskiej oraz sformułowano jej tezę.

W rozdziale 2 dokonany został przegląd literatury przedmiotu, przedstawiono aktualny stan wiedzy w dziedzinie wytwarzania mikrostruktur węglowych oraz kierunki rozwoju dalszych badań w tej dziedzinie.

W rozdziale 3 omówione zostały podstawy fizyczne różnego rodzaju wyładowań elektrycznych w gazach a w szczególności wysokonapięciowych wyładowań koronowych małej mocy, które Doktorant proponuje przebadać pod kątem przydatności do produkcji struktur węglowych.

Rozdział 4 zawiera opis stanowiska eksperymentalnego oraz zastosowanych metodologii badań i procedur badawczych.

Do udowodnienia swojej tezy badawczej Doktorant wybrał stałonapięciowe wyładowanie koronowe małej mocy pod ciśnieniem atmosferycznym w mieszaninie argonu i cykloheksanu jako reprezentanta węglowodorów. Wyniki badań z tym związanych Doktorant zaprezentował w rozdziale 5. Dotyczą one parametrycznych badań charakterystyk koronowego wyładowania elektrycznego w czystym argonie i jego mieszaninach z parami cykloheksanu, badań zależności rodzaju i morfologii struktur węglowych oraz prędkości ich wzrostu od parametrów wyładowania koronowego, chromatograficznej analizy produktów gazowych powstających w wyładowaniu koronowym, spektroskopowej analizy widm emisyjnych plazmy wyładowania koronowego oraz pomiarów koncentracji cząstek stałych generowanych w wyładowaniu. Badania właściwości fizycznych otrzymanych struktur węglowych wykonane zostały posługując się metodami spektroskopii Ramana, skaningową mikroskopią elektronową (SEM), mikroanalizą rentgenowską oraz metodą dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego (XRD).

Z rezultatów przedstawionych w podrozdziałach 5.1 i 5.2 wynika, że w dodatkim stałonapięciowym wyładowaniu koronowym małej mocy w układzie elektrod igła-płyta w mieszaninie argonu i par cykloheksanu pod ciśnieniem atmosferycznym powstają różnorodne struktury węglowe: nieregularne depozyty oraz włókna węglowe i nanościany węglowe. Rodzaj otrzymanych struktur węglowych zależy jest od parametrów wyładowania: natężenia prądu wyładowania, odległości międzyelektrodowej oraz od stężenia par cykloheksanu w mieszaninie gazowej. Wyniki otrzymane w podrozdziale 5.1 i 5.2 pozwoliły Doktorantowi wyznaczyć optymalne wartości natężenia prądu wyładowania koronowego dla wytwarzania poszczególnych struktur węglowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań chromatograficznych opisanych w podrozdziale 5.3 Doktorant ustalił, że głównymi produktami otrzymanymi w wyładowaniu koronowym w mieszaninie argonu z parami cykloheksanem były wodór, etylen, metan i acetylen. Oprócz tych związków stwierdził On obecność w gazie odlotowym propenu, izobutyli, butenu, 1,3-butadienu, toluenu i cykloheksenu. Z badań wynikało, że skuteczność rozkładu cykloheksanu rosła w przybliżeniu z kwadratem natężenia prądu wyładowania. Stopień konwersji cykloheksanu rósł ze stężeniem cykloheksanu i osiągał maksimum dla stężenia 5 vol.%.

W podrozdziale 5.5 przedstawione są wyniki dotyczące koncentracji i rozkładu wielkości cząstek stałych produkowanych w wyładowaniu koronowym. Wynika z nich, że dla małych

odległości międzyelektrodowych (1 mm i 3,55 mm) natężenie prądu wyładowania ma niewielki wpływ na wielkość produkowanych cząstek. Natomiast dla większych odległości międzyelektrodowych (np. dla 15 mm) wielkość cząstek rośnie ze wzrostem natężenia prądu wyładowania. Rośnie ona również ze wzrostem stężenia par cykloheksanu w mieszaninie gazowej.

Badania przy użyciu spektroskopii Ramana (podrozdział 5.6) wykazały, że nanościany węglowe są strukturami składającymi się z kilku warstw grafenów a cząstki produkowane w kolumnie plazmowej, zebrane na wylocie komory wyładowczej mają strukturę podobną do depozytu powstającego na elektrodzie igłowej. Doktorant postawił logiczną hipotezę, że cząstki tego typu są "budulcem" struktur węglowych otrzymywanych na elektrodach.

Podsumowanie wyników rozprawy prowadzących do udowodnienia tezy rozprawy oraz propozycje dalszych badań w tej dziedzinie Doktorant przedstawił w rozdziale 6.

Na końcu rozprawy znajduje się spis literatury. Doktorant przedstawia w nim łącznie 261 pozycji literaturowych, z których 16 dotyczy wyłącznie tematyki wytwarzania struktur węglowych w wyładowaniu elektrycznym przy ciśnieniu atmosferycznym.

W Dodatku do rozprawy znajduje się wykaz liczego dorobku publikacyjnego Doktoranta, obejmującego również 10 artykułów i 14 referatów i posterów konferencyjnych, dotyczących zagadnień związanych z tematem rozprawy doktorskiej.

Omówiony przeze mnie powyżej zakres rozprawy, sposób rozwiązywania postawionych celów i metodyka wykonanych badań świadczą o tym, że Doktorant posiada dużą wiedzę literaturową oraz duże umiejętności prowadzenia metodycznych badań naukowych, które z powodzeniem stosował do zrealizowania głównych celów niniejszej rozprawy doktorskiej.

6. Najważniejsze osiągnięcia rozprawy

Z wyników przedstawionych przez Doktoranta wynika, że w plazmie dodatniego wyładowania koronowego małej mocy (rzędu 10 W) w układzie elektrod igła-płyta w mieszaninie argonu z parami cykloheksanu pod ciśnieniem atmosferycznym możliwa jest produkcja różnych struktur węglowych, w tym takich nanostruktur jak mikrowłókna węglowe, nanościany węglowe i grafen. Rodzaj powstających struktur zależy od podstawowych parametrów procesu: natężenia prądu wyładowania, odległości międzyelektrodowej i stężenia cykloheksanu. Zakładając, że podobna produkcja struktur węglowych zachodzić będzie przy użyciu innych węglowodorów jako źródeł węgla, można

uznać, że teza jaka postawił Doktorant: „*Wyładowanie koronowe małej mocy w układzie igła-płyta w gazie obojętnym może prowadzić do rozkładu węglowodorów, w wyniku czego powstają cząsteczki węgla, z których budowane są struktury węglowe na elektrodach wytwarzających wyładowanie*” została w tej rozprawie doktorskiej udowodniona.

Oryginalnym osiągnięciem rozprawy jest eksperymentalne ustalenie optymalnych parametrów procesu wytwarzania mikrostruktur węglowych o pożądanej morfologii w badanym wyładowaniu koronowym o mocy elektrycznej poniżej 10 W, które umożliwiają maksymalizację szybkości wzrostu tych struktur (np. włókna węglowego) przy zachowaniu jednorodności ich budowy wewnętrznej.

7. Uwagi krytyczne

W rozprawie doktorskiej znalazłem niestety wiele usterek merytorycznych, nieprecyzyjnych lub niejasnych sformułowań, braków informacyjnych itp., które wymagają wyjaśnienia. Przedstawiam je zgodnie z kolejnością pojawienia się w rozprawie.

Str. 1; Doktorant pisze: „... przeprowadzono badania dla różnych stężeń węglowodorów...”. W zasadzie tylko jeden węglowódor był przedmiotem badań (jest prawdą, że na str. 73 pojawia się krótka wzmianka, że przedmiotem wstępnych badań były inne węglowodory).

Str.46, Stanowisko eksperymentalne; Brak wyraźnego stwierdzenia, że badania przede wszystkim zostały wykonane dla dodatniej polaryzacji igły wyładowczej.

Str. 46; Nie podano promienia krzywizny końcówki igły wyładowczej a także informacji o ewentualnej jego zmianie w czasie wyładowania.

Rys. 4.3; Niewyraźne zdjęcie, prawie niewidoczna przesłona.

Str. 52; Brak definicji gęstości prądu wyładowania.

Rys. 5.1.1, Charakterystyki prądowo-napięciowe ($I=I(V)$); Jaka jest definicja natężenia prądu wyładowania w zakresach występowania streamerów początkowych i streamerów przedprzebieciowych? Jaki sens ma charakterystyka $I=I(V)$ w tych zakresach?

Rys.5.1.3; Jaka jest wartość napięcia międzyelektrodowego dla przypadków a) – e) ?

Podrozdział 5.1.4, Wyładowanie jarzeniowe; Brak zdjęć ilustrujących morfologię tego wyładowania i jej zmiany z napięciem międzyelektrodowym (jedyne fotografie kolumny plazmowej pojawiają się dopiero na str. 76 przy ilustracji depozytów węglowych).

Podrozdział 5.1.4; Brak definicji „mocy wyładowania”. Jaki jest sens fizyczny „mocy wyładowania”?

Str. 68; Niejasno jest opisana metoda symulacyjna BOLSIG+ i uzasadnienie jej zastosowania. Np. Doktorant pisze: „Wykonano obliczenia udziału poszczególnych frakcji w funkcji zredukowanego pola E/N” – o jakie frakcje chodzi? Jak zredukowane pole E/N występujące w tej symulacji ma się do warunków występujących w plazmie badanego wyładowania? Jaki jest związek między zredukowanym polem E/N a natężeniem prądu wyładowania przedstawionym na Rys. 5.1.19? Dopiero wyjaśnienie tych kwestii umożliwi ocenę wartości symulacji wykonanej przez Doktoranta.

Str. 105, Podrozdział 5.3.3; Przeprowadzona dyskusja dotycząca procesów zachodzących w wyładowaniu elektrycznym w mieszaninie argonu i par cykloheksanu ma charakter spekulatywny z charakterystycznymi zwrotami: ‘najprawdopodobniej’, „może dojść do procesów”, „jest wysoce prawdopodobne”, „mogą powstać produkty” itp. Podrozdział ten nie wnosi nowych informacji naukowych na temat procesów zachodzących w wyładowaniu elektrycznym w mieszaninie argonu i par cykloheksan. Potwierdza to brak wniosków z przeprowadzonej dyskusji we „Wnioskach” na str. 110.

Str. 111, Podrozdział 5.4.1 Widma emisyjne promieniowania w wyładowaniu w czystym argonie; W związku z przedstawionymi w tym pod rozdziale widmami emisyjnymi (szczególnie azotu) powstają następujące pytania:

- jakiej czystości był argon używany w badaniach (chodzi o zawartość innych gazów, np. azotu). Informacji takiej nie ma w Rozdziale 4. Stanowisko eksperymentalne,
- co jest źródłem widma ciągłego wyładowania w argonie przedstawionego na Rys. 5.4.1 w kontekście założenia Doktoranta, że źródłem widma ciągłego w wyładowaniu w mieszaninie argonu i par cykloheksanu jest depozyt węglowy?,
- jak Doktorant definiuje, cytuję, „temperaturę wzbudzenia elektronów”?

Str. 126; Podana jest informacja o różnicy temperatur wierzchołka depozytu dla ujemnego i dodatniego wyładowania koronowego. Jakie są fizyczne przyczyny tych różnic?

Str. 127-128, Podrozdział 5.4.4; Nie jest jasne, dlaczego Doktorant uśrednia „temperaturę wzbudzenia elektronów” wyznaczoną w 3 różnych obszarach wyładowania. Jaki sens fizyczny ma tego rodzaju uśrednienie?

Str.132, Podrozdział 5.4.6 Dyskusja i Wnioski; Przeprowadzona dyskusja wyników podrozdziału 5.4 dotyczącego „Pomiarów widm emisyjnych promieniowania powstającego

w wyładowaniu w mieszaninie cykloheksanu w argonie (JM, z argonem?)” ma charakter spekulatywny i w zasadzie nie wnosi do pracy wiele.

Str. 135, Podrozdział 5.5 Badania koncentracji cząstek stałych powstających z fazy gazowej; W podrozdziale tym a także wcześniej w Rozdziale 4 Stanowisko eksperymentalne nie został podany zakres pomiarowy analizatora wielkości cząstek firmy TOPAS.

Str. 147, Podrozdział 5.6 Spektroskopia Ramana; Wyniki dla depozytu węglowego na igle wyładowczej są podane zrozumiale. Natomiast wyniki badań morfologii cząstek stałych zebranych na wylocie komory wyładowczej są opisane niejasno.

W rozprawie doktorskiej zauważyłem wiele usterek redakcyjnych, np. brak przecinków w zdaniach złożonych, niewłaściwe słownictwo, jak np. „niski czas ekspozycji” (str. 52), zła numeracja rysunków - str.58, rys. 5.1.7 zamiast rys. 5.1.6, brak podania źródła rys. 5.1,16, i niedokończone ostatnie zdanie w pierwszym akapicie na str. 126. Te przykłady jak i inne tutaj niewymienione zaznaczyłem w otrzymanym egzemplarzu rozprawy, do ewentualnego wglądu przez Doktoranta.

Bardziej kłopotliwe dla czytelnika rozprawy doktorskiej są usterki redakcyjne dotyczące jej meritum. Przedstawiam tu 3 takie przypadki:

- Podrozdziały 5.2.1, 5.2.2 i 5.2.3; Nazewnictwo dotyczące rodzajów wyładowań opisanych w tych rozdziałach nie jest zgodne z nazewnictwem użytym na Rys. 5.1.1. Np. tytuł podrozdziału 5.2.1 brzmi: „Wyładowanie koronowe” i dotyczy jednego (nie wiadomo którego) spośród rodzajów wyładowania koronowego przedstawionych na Rys. 5.1.1 (te rodzaje to: wyładowanie ciemne, streamery początkowe, wyładowanie koronowe typu jarzeniowego, streamery przebiciowe i wyładowanie jarzeniowe).
- Rys. 5.4.1 i 5.4.4; Niejasno są przedstawione widma i ich oznaczenia. Np. Co oznaczają linie przerywane i kropkowane? Co oznaczają na tych rysunkach „N2”, „CN” i „H2”? Dlaczego linie kropkowane są nieznacznie przesunięte względem pomierzonych linii widmowych?
- Podrozdział 5.45, Rys. 5.4.15; Czy na rysunku tym jest przedstawione widmo termiczne?

Oczekuję, że Doktorant przedyskutuje ważniejsze z powyższych uwag krytycznych na obronie rozprawy doktorskiej.

8. Podsumowanie, ocena i wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. Arkadiusza T. Sobczyka przedstawia samodzielnie i oryginalnie rozwiązane zadanie naukowe, polegające na sprawdzeniu przydatności wyładowania koronowego do syntezy różnych struktur węglowych. Doktorant sformułował

tezę rozprawy następująco: „Wyładowanie koronowe małej mocy w układzie igła-płyta w gazie obojętnym może prowadzić do rozkładu węglowodorów, w wyniku czego powstają cząsteczki węgla, z których budowane są struktury węglowe na elektrodach wytwarzających wyładowanie”.

Doktorant wykonał cykl prac, który obejmował:

- Budowę stanowiska pomiarowego,
- Wykonanie serii badań eksperymentalnych,
- Analizę i interpretację wyników pomiarów wykonanych metodami spektroskopii emisyjnej, chromatografii gazowej i spektroskopii ramanowskiej.

W licznych badaniach eksperymentalnych Doktorant zrealizował cel rozprawy i udowodnił postawioną tezę, wykazując że w wyładowaniu koronowym małej mocy w mieszaninie argonu z cykloheksanem możliwe jest wytworzenie struktur węglowych.

Zastosowana w rozprawie metodologia badań i ich realizacja świadczy o opanowaniu przez Doktoranta warsztatu eksperymentalnego na dobrym poziomie i przygotowaniu Doktoranta do prowadzenia badań naukowych.

Świadectwem wysokiego poziomu prac badawczych wykonanych przez Doktoranta jest opublikowanie 80 recenzowanych publikacji, w tym 48 w czasopismach JCR (w 9 z nich Doktorant występuje jako pierwszy autor). Doktorant zaprezentował 14 referatów i posterów na różnego rodzaju konferencjach w kraju i za granicą. Jest współautorem 1 patentu krajowego.

Podsumowując moją recenzję stwierdzam, że cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty i jej teza udowodniona a recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania wynikające z odpowiednich przepisów. Wobec tego faktu wnioskuję o przyjęcie niniejszej rozprawy jako rozprawę doktorską i dopuszczenie mgr. Arkadiusza T. Sobczyka do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Prof. Jerzy Mizeraczyk