

Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk

ul. Fiszera 14

80-231 Gdańsk

e-mail: dk@imp.gda.pl

**Recenzja osiągnięć w pracy naukowo-badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej
w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Dariusza Wawrzyńczaka**

Recenzja została opracowana w oparciu o uchwałę Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka na Wydziale Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej z dnia 23. 10. 2023 w związku z postępowaniem habilitacyjnym w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka wszczętym na wniosek dr inż. Dariusza Wawrzyńczaka. Osiągnięcie naukowe podlegające ocenie zatytułowano *Wychwył dwutlenku węgla z gazów spalinowych metodą adsorpcyjną*.

Badania dwutlenku węgla są niezwykle ważne w kontekście efektu cieplarnianego, ponieważ jest on jednym z głównych gazów cieplarnianych. Przyjmuje się, że emisje CO₂ spowodowane spalaniem paliw kopalnych mają wpływ na wzrost temperatury Ziemi a w konsekwencji na antropogeniczne zmiany klimatu. Redukcja emisji CO₂ może ograniczyć wzrost globalnej temperatury i minimalizować negatywne skutków zmian klimatycznych, co podkreśla znaczenie badań nad efektywnymi metodami wychwytywania i składowania CO₂. W tym kontekście badania Dariusza Wawrzyńczaka dotyczące wychwytu CO₂ z gazów spalinowych metodą adsorpcyjną są niezwykle ważne. Wychwytywanie i składowanie CO₂ może być jednym ze sposobów redukcji emisji gazów cieplarnianych, a innowacje w tej dziedzinie mają potencjał zmniejszenia negatywnego wpływu sektora energetycznego i przemysłowego na środowisko. Badania Habilitanta mogą przyczynić się do opracowania bardziej efektywnych, ekonomicznych i trwałych technologii separacji CO₂.

Przedstawione do oceny podstawowe osiągnięcie habilitacyjne Dariusza Wawrzyńczaka składa się z 10 artykułów naukowych, 3 patentów, wieloautorskiej międzynarodowej monografii naukowej (jako główny edytor, w tym 2 rozdziały autorskie) oraz rozdziałów w monografiach krajowych. Prace te reprezentują szeroki zakres działalności badawczej, od eksperymentalnych badań laboratoryjnych, przez rozwój nowych metod wychwytu CO₂, po praktyczne zastosowanie technologii adsorpcji

zmiennociśnieniowej w skali pilotowej. Autoreferat zawiera szczegółowy opis osiągnięć naukowych w zakresie wychwytu CO₂ z gazów spalinowych metodą adsorpcyjną i składa się z kilku rozdziałów, gdzie przedstawiono cele badawcze, metodologię, a także potencjalne wykorzystanie wyników w praktyce. Streszczenie osiągnięcia habilitacyjnego zawiera także analizę przeprowadzonych eksperymentów, ich wyników oraz wnioski z poszczególnych faz badań wpływających na kolejny etap rozwoju technologii. Struktura dokumentu umożliwia odnalezienie kluczowych informacji, takich jak cele badawcze, metodologia, wyniki oraz ich znaczenie naukowe i praktyczne. Dokument wydaje się być dobrze przygotowany, z dużą dbałością o jasność przekazu, co ułatwia zrozumienie zakresu i wpływu przeprowadzonych badań. Jednak w niektórych miejscach jest on bardzo oszczędny w szczegóły, momentami wręcz lakoniczny.

Cele pracy habilitacyjnej Dariusza Wawrzyńczaka skoncentrowane były na pokazaniu działania technologii adsorpcji zmiennociśnieniowej w wychwytywaniu dwutlenku węgla z gazów spalinowych w skali pilotowej i przemysłowej. Główne zamierzenia obejmowały ocenę przydatności stałych sorbentów do wychwytu CO₂ i dobór parametrów procesowych dla małej i dużej skali laboratoryjnej. Kolejne zadania polegały na realizacji wychwytu CO₂ w rzeczywistych warunkach przemysłowych, na ocenie możliwości przygotowania gazów spalinowych do procesu wychwytu a także ocenę trwałości sorbentów po badaniach przemysłowych. Oprócz tego Autor zaplanował ocenę doczyszczania wychwyconego CO₂ oraz przedstawienie rekomendacji dalszego rozwoju technologii adsorpcyjnej. To wszystko miało na celu rozpoznanie problemów, ich praktyczne rozwiązanie a następnie optymalizację technologii adsorpcji zmiennociśnieniowej z uwzględnieniem efektywności, ekonomii oraz trwałości stosowanych materiałów sorpcyjnych.

Pierwsza część przedstawionych prac dotyczy oceny przydatności stałych sorbentów do wychwytu dwutlenku węgla w skali laboratoryjnej i koncentruje się na kluczowym aspekcie technologii adsorpcyjnej, jakim jest selekcja i ocena skuteczności różnych materiałów. W tym rozdziale Autor przedstawia wyniki badań nad wybranymi adsorbentami – zeolitami i węglem aktywnym, badając ich zdolność do adsorpcji CO₂ z symulowanych mieszanin gazów spalinowych oraz czystego CO₂, przy różnych warunkach ciśnieniowych i temperaturowych. Rozdział zawiera szczegółowe opisy metodologii badań, wykorzystanych materiałów, a także przeprowadzonych eksperymentów laboratoryjnych, w tym testów termogravimetrycznych, które ilustrują szybkość adsorpcji, pojemność adsorpcyjną oraz kinetykę procesu dla różnych sorbentów. Analiza wyników badań uwzględnia również aspekty takie jak stabilność sorbentów podczas wielokrotnych cykli adsorpcji i desorpcji, co jest kluczowe dla oceny ich przydatności w długotrwałej eksploatacji.

Kolejna część streszczenia osiągnięć habilitacyjnych dotyczy doboru parametrów procesowych instalacji wychwytywania dwutlenku węgla z gazów spalinowych w małej skali laboratoryjnej i prezentuje wyniki badań przeprowadzonych w celu optymalizacji procesu adsorpcyjnego wychwytu

CO₂ przy użyciu próżniowej techniki adsorpcji zmiennociśnieniowej (V-PSA). Autor skupił się na analizie wpływu różnych parametrów procesowych, takich jak ciśnienie adsorpcji i desorpcji, strumień gazu zasilającego oraz czas trwania etapu adsorpcji na skuteczność wychwytu CO₂. Badania przeprowadzone na węglu aktywnym, zeolicie 13X, oraz strukturze metaloorganicznej wykazały różnice w zdolnościach adsorpcyjnych poszczególnych sorbentów. Autor szczegółowo przedstawił wyniki eksperymentów, w tym zawartość CO₂ w produkcie końcowym oraz stopień odzysku CO₂, co pozwoliło na identyfikację najbardziej efektywnych warunków pracy instalacji. Wnioski z badań dotyczących doboru parametrów procesowych instalacji wychwytywania dwutlenku węgla z gazów spalinowych w małej skali laboratoryjnej pokazują, że obniżenie ciśnienia podczas regeneracji złoża znacząco zwiększa efektywność procesu, podnosząc stężenie CO₂ w produkcie oraz stopień jego odzysku z gazu zasilającego. Wydłużenie czasu etapu adsorpcji zwiększa stężenie CO₂, ale obniża stopień odzysku, co wskazuje na potrzebę znalezienia optymalnego balansu między tymi parametrami. Podobnie, wzrost strumienia gazu zasilającego wpływa na obciążenie złoża i zmienia stężenie CO₂ oraz stopień jego odzysku. Wyniki te podkreślają znaczenie kinetyki, pojemności i selektywności adsorbentu w procesie doboru parametrów dla efektywnego wychwytu CO₂.

Dalsza faza badań polegała na testowaniu różnych konfiguracji instalacji procesowej do wychwytywania dwutlenku węgla z gazów spalinowych w dużej skali laboratoryjnej. Ich celem było identyfikacja najbardziej efektywnych metod adsorpcji CO₂, maksymalizacja odzysku, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów i zużycia energii. Badania te są kluczowe dla rozwoju technologii CCS (Carbon Capture and Storage), mającej na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Skupiły się na testowaniu różnych ustawień i parametrów procesowych instalacji czterokolumnowej, aby zwiększyć efektywność wychwytywania CO₂. Badano symulowaną mieszaninę gazów spalinowych przy różnych strumieniach gazu zasilającego i czasach adsorpcji. Przeprowadzone testy uwzględniały różne etapy procesu, takie jak adsorpcja, wyrównanie ciśnienia i desorpcja z płukaniem. Wyniki badań wskazały na znaczną poprawę stopnia odzysku CO₂ dzięki zastosowaniu dodatkowych etapów procesowych. Eksperymenty te były ważnym krokiem w kierunku zrozumienia i optymalizacji procesu adsorpcji CO₂, co jest kluczowe dla zastosowań w rzeczywistych warunkach przemysłowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie dodatkowych etapów procesowych, takich jak obniżenie ciśnienia z jednoczesnym wytwarzaniem gazu płuczącego i desorpcja z płukaniem złoża gazem, przyczyniło się do znacznej poprawy stopnia odzysku CO₂. Wyniki te potwierdzają, że dodatkowe etapy mogą znacząco zwiększyć efektywność wychwytu CO₂, jednak nie zawsze pozwalają na osiągnięcie wysokiej zawartości CO₂ w produkcie końcowym. Wnioskiem z tych badań było zalecenie stosowania dwustopniowego procesu wychwytu CO₂, szczególnie w warunkach przemysłowych.

Z lektury autoreferatu widać, jak wieloletnie badania Habilitanta krok za krokiem zmierzały w kierunku coraz większych, coraz bardziej wydajnych instalacji, a ich ostatecznym celem jest wychwytywanie CO₂ w elektrowni. To dążenie doprowadziło go do badań sekwestracji dwutlenku węgla w instalacji pilotowej w Elektrowni Łagisza, gdzie zastosowano układ o wydajności 100m³/godz. Autor przedstawił wyniki badań przeprowadzonych w realnych warunkach przemysłowych, których celem była ocena skuteczności procesu adsorpcji CO₂ z gazów spalinowych generowanych przez elektrownię. Badania te były i są kluczowe dla zrozumienia praktycznej aplikowalności technologii adsorpcyjnej w dużych instalacjach energetycznych. W rozdziale opisano metodologię badań, w tym konfigurację instalacji testowej, rodzaje użytych sorbentów, parametry procesu (takie jak ciśnienie, temperatura, i przepływ gazów), a także procedury testowe. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem instalacji w skali pilotowej, co pozwoliło na dokładną symulację warunków przemysłowych, w tym ciągłej pracy systemu przez 808 godzin. Parametry pracy instalacji wychwytywania CO₂ w trakcie badań przemysłowych obejmowały trzy strumienie gazu zasilającego: 60, 80 oraz 100 m³N/h oraz pięć czasów etapu adsorpcji: 120, 180, 240, 300 oraz 360 sekund. Przeprowadzono badania jedno- i dwustopniowego procesu wychwytywania CO₂ z gazów spalinowych w dwóch różnych konfiguracjach: referencyjnej V-PSA (ośmioetapowej) oraz DR-VPSA (dziewięcioetapowej). Uzyskano produkt o stężeniu CO₂ wynoszącym około 90% w przypadku dwustopniowego procesu DR-VPSA przy czasie etapu adsorpcji 300 oraz 360 sekund i strumieniu gazu zasilającego 80 oraz 100 m³N/h. W przypadku zastosowania referencyjnego procesu V-PSA, stężenia CO₂ nie przekroczyły 80% dla wszystkich przyjętych parametrów pracy instalacji. Widać, że dwustopniowy proces DR-VPSA umożliwił uzyskanie produktu o stężeniu CO₂ na wyższym poziomie przy odpowiednio dobranych czasach etapu adsorpcji i strumieniach gazu zasilającego, co jest znaczącym wynikiem w porównaniu do stężeń osiągniętych w jednostopniowym procesie V-PSA.

Przeprowadzenie różnych, pod względem skali badania wychwytywania CO₂, dało możliwość ich porównania i wyciągnięcia wniosków. Próby przemysłowe, trwające ponad 800 godzin z wykorzystaniem węgla aktywnego, potwierdziły skuteczność instalacji do wychwytywania CO₂. Zauważono, że zastosowanie dwóch etapów procesu separacji jest kluczowe dla osiągnięcia wysokiej, co najmniej 90-procentowej, czystości CO₂ w produkcie końcowym. Wyniki uzyskane podczas badań w skali pilotowej pokazały zgodność z wynikami badań przeprowadzonych w mniejszej skali laboratoryjnej, co sugeruje możliwość skutecznego przeniesienia wyników badań na większą skalę. Podkreślono również potrzebę wdrożenia dodatkowych elementów systemu oraz zaawansowanej automatyki do nadzoru procesu, aby zoptymalizować wychwytywanie CO₂. Te odkrycia podkreślają potencjalną wykonalność zastosowania metod wychwytywania CO₂ w praktyce przemysłowej, jednocześnie wskazując na obszary wymagające dalszych badań i rozwijania technologii. Ciekawie wygląda porównanie jednostopniowego i dwustopniowego wychwytywania CO₂, które wskazuje na istotne różnice w efektywności i charakterystyce

obu procesów. W przypadku jednostopniowego wychwytu, przy pewnych parametrach, uzyskano stężenie CO₂ w produkcie o prawie 15% wyższe, niż w dużej skali laboratoryjnej, lecz stopień odzysku był niższy o 21%. Taka różnica wynikała z unikalnej konfiguracji procesu, gdzie produkt wzbogacony w CO₂ kierowano do dolnej części adsorbera, a gaz zasilający do jego górnej strefy, w odróżnieniu od metody stosowanej w dużej skali laboratoryjnej, która polegała na recyrkulacji części produktu wzbogaconego w CO₂. Dodatkowo, niewielka różnica ciśnienia w etapie desorpcji (7 kPa) wpłynęła na wyniki. Zastosowanie procesu dwustopniowego (DR-VP SA) przyniosło wzrost stężenia CO₂ w produkcie o kolejne 10% w porównaniu do jednostopniowego procesu, jednakże odnotowano spadek stopnia odzysku o 13-21%. Proces dwustopniowy, pomimo niższego stopnia odzysku, umożliwił uzyskanie wyższego stężenia CO₂ w produkcie końcowym, co jest kluczowe dla dalszych etapów jego wykorzystania lub składowania. Te wyniki podkreślają, że wybór między jednostopniowym a dwustopniowym procesem wychwytu CO₂ zależy od priorytetowych celów procesu – czy priorytetem jest maksymalizacja stężenia CO₂ w produkcie końcowym, czy też efektywność odzysku. Dwustopniowy proces, choć bardziej skomplikowany i potencjalnie kosztowniejszy, oferuje lepsze wyniki w zakresie czystości CO₂, co może być preferowane w niektórych zastosowaniach przemysłowych.

Przechodząc do oceny osiągnięcia chciałbym wymienić elementy, które podnoszą wartość wykonanej pracy i uzyskanych wyników. Już na początku recenzji podkreślałem znaczenie tematu badań, czyli wychwytu CO₂ ze spalin, ale z lektury autoreferatu wyłania się konsekwentne i wieloletnie działanie obejmujące badania zjawisk, poszukiwania efektywnych adsorberów i dążenie do rozwoju technologii sekwestracji dwutlenku węgla. Wybrana przez Habilitanta droga od badań laboratoryjnych do instalacji pilotowych oznacza dłuższe czasy prowadzonych badań i mniejszą liczbę publikacji, za co obecnie płaci się wolniejszą ścieżką awansu zawodowego i z tego powodu warto docenić jego decyzje. Inną rzeczą wartą podkreślenia jest również hierarcha celów i metody, gdzie to cel ma pierwszeństwo. Wynikami prac D. Wawrzyńczaka są nie tylko publikacje naukowe ale także patenty, co świadczy o nowatorstwie, oryginalności i potencjalnej wartości komercyjnej wynalazku. Uzyskanie patentów wskazuje, że wyniki badań są na tyle unikalne, iż spełniają kryteria, takie jak nowość, poziom wynalazczy i przydatność przemysłową. Patenty podnoszą wartość przeprowadzonych badań i prestiż Autora. Ponadto, otwierają drogę do komercjalizacji odkrycia, współpracy z przemysłem oraz uzyskania dodatkowego finansowania na dalszy rozwój i badania. Inną pozytywną cechą badań Habilitanta jest bardzo szerokie spektrum badań łączące energetykę z inżynierią chemiczną i środowiskową, co pozwoliło na osiągnięcie wyników o wysokim potencjale aplikacyjnym w przemyśle energetycznym.

W autoreferacie oprócz głównego osiągnięcia, które jest dobrze przedstawione i posiada dużą wartość, Dariusz Wawrzyńczak zamieścił dodatkowe rozdziały opisane jako "badania uzupełniające".

Warunkiem nadania stopnia doktora habilitowanego jest przedłożenie do oceny co najmniej dwóch osiągnięć, które spełniają kryterium istotnego wkładu w rozwój określonej dyscypliny. W swoim autoreferacie Kandydat nie wskazuje wyraźnie, które z badań należy traktować jako kolejne osiągnięcie. To, co znajduje się w autoreferacie jako badania uzupełniające może być odczytanie wprost, tak jak nazywa to Autor, ale można to uznać jako inne dodatkowe osiągnięcie. Traktując badania opisane w rozdziałach (4.3.7-4.3.9) jako dodatkowe osiągnięcia naukowe Habilitanta ocenię ich zawartość, wyniki i wartość naukową. Pierwsze z nich dotyczyły oceny przygotowania gazów spalinowych do procesu wychwytywania dwutlenku węgla. Badania obejmowały zastosowanie impregnowanego węgla aktywnego w procesie odsiarczania spalin, usuwanie tlenków azotu i osuszanie spalin. Wyniki testów pokazały dużą skuteczność impregnowanego węgla w odsiarczaniu spalin, wysoką efektywność osuszania spalin za pomocą układu glikolowego oraz konieczność stosowania dodatkowych metod usuwania tlenków azotu. Te rezultaty podkreślają złożoność wyzwań technicznych związanych z przygotowaniem spalin do sekwestracji CO₂ i wskazują na obszary wymagające dalszego rozwoju i optymalizacji. Kolejnym osiągnięciem Habilitanta jest ocena trwałości adsorbentów stosowanych do wychwytu CO₂ z gazów spalinowych w skali pilotowej. Analiza obejmowała badania węgla aktywnego po 808 godzinach pracy przemysłowej, skupiając się na zmianach w pojemności adsorpcyjnej, strukturze porów, oraz składzie chemicznym sorbentów. Wyniki pokazały, że pomimo niewielkich zmian w pojemności adsorpcyjnej i strukturze porów, węgiel aktywny zachowuje znaczną stabilność, co potwierdza możliwość jego długotrwałego stosowania w procesie wychwytu dwutlenku węgla. Ostatnim poddanym ocenie elementem dorobku D. Wawrzyńca było doczyszczanie produktu bogatego w CO₂ za pomocą metody adsorpcyjnej w dużej skali laboratoryjnej. Przeprowadzone badania wykazały możliwość uzyskania stężenia CO₂ powyżej 98% oraz stopnia odzysku CO₂ na poziomie 80% dla przyjętych parametrów i konfiguracji procesu. Jednakże, zauważono, że osiągnięcie bardzo wysokiej czystości CO₂ jest ograniczone, co może wpływać na jego szerokie zastosowanie. Wyniki te podkreślają potencjał technologii adsorpcyjnej w doczyszczaniu CO₂, ale również zwracają uwagę na istniejące ograniczenia.

Przygotowanie gazów spalinowych, trwałości adsorbentów i doczyszczania gazu bogatego w CO₂ choć są związane z wychwytem CO₂ są i mogą być traktowane jako niezależne osiągnięcia. Każde z nich dostarcza cennych wniosków, które samodzielnie stanowią znaczący wkład w dziedzinę wychwytywania CO₂ i były przedmiotem osobnych publikacji naukowych. Ich niezależność wynika z konkretnych celów, metodologii i osiągniętych rezultatów, które mogą być aplikowane i rozwijane w różnych aspektach technologii CCS.

Warunkiem uzyskania stopnia doktora habilitowanego jest aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w tym zagranicznych. Dariusz Wawrzyńca uczestniczył w międzynarodowych stażach naukowych, współpracując z instytucjami

takimi jak Norsk institutt for luftforskning w Norwegii, Monash University w Australii, Zhejiang University w Chinach, Universidade de Lisboa w Portugalii, Università Campus Bio-Medico di Roma oraz Consiglio Nazionale delle Ricerche we Włoszech. Te doświadczenia zaowocowały wspólnymi publikacjami naukowym. W kontekście wymagań habilitacyjnych, kluczowe jest to, że staże przyniosły wyniki w postaci wspólnych publikacji i miały wpływ na rozwój naukowy kandydata, jego sieć współpracy oraz przyczyniły się do rozwoju dyscypliny. W związku z tym, choć wizyty i staże D. Wawrzyńczaka były krótkotrwałe, to ich wartość i znaczenie wzrasta w kontekście osiągnięć i efektów współpracy, mierzonych licznymi wspólnymi publikacjami.

Jeśli chodzi o dorobek publikacyjny to według mojej oceny jest on znaczący, zawiera artykuły naukowe i rozdziały w monografiach. Analiza listy publikacji Dariusza Wawrzyńczaka na Scopus, Google Scholar, Web of Science wskazują na jego aktywny udział w badaniach naukowych o wysokim poziomie. Publikacje w renomowanych czasopismach i na konferencjach z obszaru inżynierii środowiska, energetyki, i technologii CCS, świadczą o jakości i znaczeniu jego pracy. Współautorzy, w tym eksperci z różnych krajów, podkreślają międzynarodowy charakter badań. Najczęściej cytowane prace, jak np. dotycząca technologii DR-VPSA do separacji CO₂, z ponad 40 cytowaniami, pokazują istotny wpływ jego pracy na rozwój dyscypliny. Publikowanie wieloautorskie, bo taka jest zdecydowana większość prac, przy dużych zespołach badawczych, szczególnie w projektach interdyscyplinarnych i instalacjach o stosunkowo dużej skali, jest zrozumiałe i typowe dla badań naukowych w dziedzinie inżynierii i nauk ścisłych. Współpraca między specjalistami z różnych dziedzin pozwala na kompleksowe podejście do problemu, łączenie wiedzy i umiejętności, co zwiększa szansę na osiągnięcie przełomowych wyników i innowacji. Wieloautorskie publikacje świadczą także o zdolności Kandydata do pracy zespołowej i interdyscyplinarnej, co jest kluczowe dla rozwoju nauki i technologii.

Dodatkowe osiągnięcia Dariusza Wawrzyńczaka dotyczą dydaktyki obejmującej takie obszary jak metrologia procesów cieplnych i przepływowych, historia wynalazków w energetyce, wybrane zagadnienia z termodynamiki technicznej, modelowanie w energetyce, technologie oczyszczania gazów, techniki autoprezentacji, oraz niskoemisyjne źródła ciepła. Ten szeroki zakres tematyczny świadczy o jego wszechstronności i zdolności do przekazywania wiedzy z różnych dziedzin nauk technicznych oraz umiejętności interpersonalnych. To wskazuje również na jego istotny wkład w kształcenie przyszłych inżynierów i specjalistów, jak również na umiejętność przekazywania wiedzy.

Działalność popularyzatorska Habilitanta obejmuje uczestnictwo i prezentacje na krajowych i międzynarodowych konferencjach, organizację warsztatów i pokazów laboratoryjnych dla studentów oraz uczniów szkół podstawowych i średnich, promocję tematyki naukowej podczas imprez plenerowych oraz opracowanie materiałów edukacyjnych, w tym scenariuszy do filmów promujących technologie wychwytywania CO₂. Wyróżniającą cechą działalności naukowej Dariusza Wawrzyńczaka

jest współpraca z przemysłem, czego przejawem był udział w projektach związanych z adsorpcyjną separacją CO₂ oraz opracowaniem innych linii pilotażowych. Jego zaangażowanie w prace przemysłowe i badawcze zostało docenione przez Politechnikę Częstochowską, skutkując otrzymaniem licznych nagród rektora za osiągnięcia naukowe, organizacyjne, promocyjne, a także za udział w projektach i opracowanie nowoczesnych laboratoriów. Nagrody te podkreślają jego znaczący wkład w naukę i współpracę między akademią a sektorem przemysłowym.

Wniosek końcowy

Podsumowując osiągnięcie dr inż. Dariusza Wawrzyńczaka poświęcone wychytowi dwutlenku węgla z gazów spalinowych metodą adsorpcyjną a także badania nad przygotowaniem gazów spalinowych, trwałością sorbentów i doczyszczaniem produktu bogatego w CO₂, stwierdzam że stanowią one znaczący wkład w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka i spełniają wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j.: Dz.U. z 2021 poz. 478) kandydatom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego. W związku z powyższym wnoszę o nadanie dr inż. Dariuszowi Wawrzyńczakowi stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

