

RECENZJA

osiągnięć naukowych **dr inż. Bogdana Ulejczyka**, w szczególności osiągnięcia, stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego n.t.:
„Wytwarzanie wodoru z metanolu lub etanolu”

Recenzja przygotowana na zlecenie Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Sosnowskiego – Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Warszawskiej na podstawie kompletu dokumentów habilitacyjnych przygotowanych zgodnie z wymaganiami Rady Doskonałości Naukowej

1. Podstawowe dane o kandydacie

Dr inż. Bogdan Ulejczyk ukończył studia magisterskie na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej w 2000 r. Tytuł doktora nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna, po obronie rozprawy pt.: „Plazmowy proces osadzania cienkich warstw zawierających związki krzemu”, uzyskał w 2005 r. Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Krzysztof Schmidt-Szałowski. W latach 2000 – 2009 dr inż. Bogdan Ulejczyk był zatrudniony kolejno w Instytucie Chemii Przemysłowej (2000-2006) na stanowiskach specjalisty i asystenta, Instytucie Tele- i Radiotechnicznym jako specjalista i adiunkt (2005-2007) oraz Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (2006-2009) na stanowisku adiunkta. Od 2009 r. pracuje na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej.

2. Ocena osiągnięcia habilitacyjnego

Jako osiągnięcie habilitacyjne dr inż. Bogdan Ulejczyk przedstawił cykl 11 powiązanych tematycznie prac, w tym **7** (oznaczonych **A1 – A7**) oryginalnych artykułów naukowych, opublikowanych w latach 2019-2022 w zagranicznych czasopismach z listy *Journal Citation Reports (JCR)*, **3** rozdziały w monografiach krajowych (**B1 - B3**) oraz 1 patent krajowy (**P1**).

Badania habilitanta dotyczyły możliwości wykorzystania metod plazmowych oraz plazmowo-katalitycznych do otrzymywania wodoru z metanolu i etanolu. W części wprowadzającej autoreferatu, habilitant przekonująco uzasadnił celowość i perspektywiczny charakter tego rodzaju badań, w oparciu o aktualną literaturę światową. Zaletą metod plazmowych są wysokie stopnie przemiany, wadą zaś niska selektywność do pożądaných produktów. Zastosowanie odpowiednich katalizatorów umożliwia osiągnięcia wyższych selektywności. Układy hybrydowe plazmowo-katalityczne stwarzają obiecujące przesłanki

połączenia zalet układów katalitycznych i plazmowych, tj. osiągnięcia wysokiego stopnia przemiany oraz podwyższonej selektywności do pożądaných produktów.

Najwartościowsze w osiągnięciu habilitacyjnym, są wyniki starannie zaplanowanych i konsekwentnie przeprowadzonych badań nad otrzymywaniem wodoru z etanolu.

We wstępnych, opublikowanych w pracy **B2** badaniach reformingu parowego etanolu wykorzystany został reaktor plazmowy z wyładowaniem barierowym (*dielectric barrier discharge DBD*) w obecności, ułatwiającego powstawanie wyładowań elektrycznych, argonu. Selektywność reakcji do pożądaných produktów H₂ i CO₂ była bardzo niska. Skłoniło to habilitanta do wyeliminowania, innych niż reagenty, składników mieszaniny reakcyjnej. Zastosowanie specjalnie w tym celu zaprojektowanej elektrody żłobionej, sinusoidalnego układu zasilającego *DBD* oraz optymalizacja parametrów procesu (mocy, natężenia przepływu oraz składu molowego substratów) wykazały, że pomimo bardzo wysokiej energochłonności procesu (maksymalna wydajność energetyczna wywarzania wodoru wynosiła 12 g/kWh przy niskiej konwersji etanolu – 27%), możliwe jest otrzymanie wodoru z mieszaniny etanolu i wody w reaktorze plazmowym, z wydajnością wystarczającą do potencjalnego wykorzystania w zasilaniu stałotlenkowych ogniw paliwowych (*SOF*C). Wyniki omawianych badań przedstawione zostały w publikacjach **A1** i **B1**.

Niska efektywność tworzenia wodoru w wyładowaniu barierowym skłoniły habilitanta do zastosowania wyładowań iskrowych. Realizacja tego zamierzenia wymagała zaprojektowania i skonstruowania reaktora z takim rozmieszczeniem elektrod, aby skropliny, zbierające się w przestrzeni reaktora, nie powodowały zwarcia elektrod. Podobnie jak w badaniach w wyładowaniu barierowym, określany był wpływ mocy wyładowania, natężenia przepływu substratów oraz stosunku molowego wody do etanolu, na przebieg procesu. Zastosowanie wyładowania iskrowego umożliwiło uzyskanie wyższych stopni przemiany etanolu i wydajności energetycznej wytwarzania wodoru niż w wyładowaniu barierowym, zdaniem habilitanta, na skutek wyższej temperatury osiągananej w reaktorze iskrowym. Wyniki zostały przedstawione w publikacjach **A3** i **B3**. Na podstawie analizy wpływu parametrów procesu na selektywność reakcji do poszczególných produktów, habilitant zaproponował sekwencję reakcji, przebiegających w reaktorach plazmowych, nazwanej mechanizmem procesu inicjowanego w wyładowaniach elektrycznych. Wynika z niego, że reakcja konwersji tlenku węgla z parą wodną $H_2O + CO \rightarrow H_2 + CO_2$ (*water-gas shift reaction - WGS*R) zachodzi w reaktorach plazmowych w niewielkim stopniu, co ma niekorzystny wpływ na wydajność produkcji wodoru.

Kolejnym etapem badań podjętych w celu zwiększenia wydajności produkcji wodoru z etanolu było wykorzystanie reaktorów plazmowo - katalitycznych. W pracy **A7** habilitant zastosował zmodyfikowany reaktor plazmowy ze żłobioną elektrodą, w którym plazma wytwarzana jest w wyładowaniu barierowym. Katalizator Co/ZrO₂ w postaci pierścieni umieszczony jest w żłobieniach, wypełniając częściowo przestrzeń wyładowczą. Szczegóły i znamienne cechy tego interesującego rozwiązania przedstawione zostały w patencie **P1**. Wprowadzenie katalizatora do reaktora z wyładowaniem barierowym umożliwiło znaczne zwiększenie wydajności wodoru, głównie dzięki ułatwionemu przebiegowi katalitycznej reakcji *WGS* przy całkowitym stopniu przemiany etanolu wynoszącym około 55% . Dalszy postęp przyniosły badania w układzie plazmowo-katalitycznym, w którym plazma wytwarzana była w wyładowaniu iskrowym, opisane w pracy **A2**. W układzie tym kandydat zastosował specjalnie otrzymany katalizator kobaltowy. Jego preparatyka oraz właściwości

fizykochemiczne i katalityczne w reakcji otrzymywania wodoru z mieszaniny etanolu i wody przedstawione są w pracy **A5**. Podobnie jak w poprzednich badaniach, habilitant zaprojektował odpowiedni reaktor, w którym prowadzona była reakcja. W optymalnych warunkach prowadzenia procesu osiągnięto wysoką wydajność wodoru [4,1 mol (H₂)/mol(C₂H₅OH)]. Wadą metod plazmowo-katalitycznych jest, charakterystyczne dla procesów katalitycznych prowadzonych z udziałem węglowodorów, odkładanie się depozytu węglowego (sadzy) na katalizatorze, prowadzące do jego stopniowej dezaktywacji. Sadza, powstająca w reaktorach plazmowych bez katalizatora, jest usuwana z reaktora w strumieniu gazów i nie zakłóca jego pracy. Ponadto niekorzystnym czynnikiem jest konieczności stosowania dużego nadmiaru pary wodnej (najlepsze wyniki osiągnięto przy stosunku molowym wody do etanolu równym 3). Odparowanie wody jest najbardziej energochłonnym etapem procesu.

Wyniki badań nad otrzymywaniem wodoru w reakcji etanolu z parą wodną metodami z wykorzystaniem plazmy, przedstawione w osiągnięciu habilitacyjnym, stanowią znaczący wkład do wiedzy o alternatywnych metodach pozyskiwania wodoru. Chociaż szerokie, praktyczne zastosowanie takich metod wydaje się jeszcze dość odległe, głównie z powodu wysokich nakładów energetycznych, badania habilitanta wnoszą szereg istotnych, nowych elementów, przede wszystkim w zakresie:

- projektowania, konstrukcji i praktycznego wykorzystanie reaktorów, umożliwiających zastosowania jako gazów reakcyjnych wyłącznie etanolu i pary wodnej,
- wykorzystania w badaniach reaktorów, w których plazma wytwarzana jest w wyładowaniach iskrowych,
- otrzymania i scharakteryzowania odpowiednich katalizatorów, które mogą być wykorzystane w metodach plazmowo-katalitycznych,
- opracowania optymalnych sposobów wprowadzenia katalizatora do reaktorów plazmowych oraz wykazania, że w układach plazmowo-katalitycznych możliwe jest uzyskanie wyższych wydajności produkcji wodoru z alkoholi, w porównaniu z reaktorami plazmowymi,
- przedstawienia interesującego opisu reakcji, zachodzących w reaktorach plazmowych i katalitycznych w procesie otrzymywania wodoru z etanolu lub metanolu i pary wodnej.

W pracach **A4** i **A6** habilitant przedstawił wyniki badań nad wytwarzaniem wodoru z metanolu w reaktorze, w którym plazma wytwarzana była w wyładowaniu iskrowym (**A4**) oraz reaktorze plazmowo-katalitycznym (**A6**). Badania, przeprowadzone w identycznych reaktorach i warunkach bardzo zbliżonych do opisanych wcześniej dla etanolu, wykazały, że koszt energetyczny produkcji wodoru jest znacznie wyższy, w porównaniu do produkcji z etanolu. Podobnie, jak w wypadku etanolu habilitant zaproponował mechanizm reakcji, przebiegających w reaktorach plazmowym i plazmowo-katalitycznym.

Wszystkie publikacje, wchodzące, w skład rozprawy są wieloautorskie (3-5 współautorów). Dr inż. Bogdan Ulejczyk jest pierwszym i korespondencyjnym autorem we wszystkich publikacjach. Zarówno deklarowany przez niego wkład autorski, jak również oświadczenia współautorów, świadczą jednoznacznie o dominującym (60 - 80%) udziale habilitanta we wszystkich pracach. Zostały one opublikowane w większości w czasopiśmie zagranicznych: *Energies* (**A2**, **A3**) oraz *Catalysts* (**A5**, **A6**) wydawanych przez największą na

świecie oficynę wydawniczą czasopism *open access* **MDPI** (*Multidisciplinary Digital Publishing Institute*) oraz *Energy* (**A1**), *Energy Reports* (**A4**) oraz *Journal of Energy Institute* (**A7**) wydawanych przez **Elsevier**. Należy podkreślić, że **Energies** i **Catalysts** należą do nielicznej grupy ok. 20 najwyżej cenionych czasopism wydawanych przez **MDPI**. Sumaryczny IF wszystkich siedmiu artykułów wynosi 34,503, co daje wysoką średnią wartość IF = 4,929 na artykuł. Poziom naukowy wszystkich publikacji jest wysoki. Można z przekonaniem stwierdzić, że omawiane prace przyczyniły się do poszerzenia wiedzy o wykorzystaniu metod z udziałem plazmy w procesie otrzymywania wodoru z alkoholi.

3. Ocena całości dorobku naukowego

Praktycznie cała dotychczasowa działalność naukowa i zawodowa dr inż. Bogdana Ulejczyka związana była z wykorzystaniem technologii plazmowych. Praca w czterech różnych instytucjach naukowo-badawczych pozwoliła mu na zdobycie bogatego doświadczenia w prowadzeniu różnorodnych badań z zastosowaniem plazmy, zarówno podstawowych, jak i stosowanych.

przed doktoratem

W okresie 2000-2005, podczas odbywania studiów doktoranckich na macierzystym wydziale oraz pracy w Instytucie Chemii Przemysłowej głównym przedmiotem zainteresowań naukowych dr inż. Bogdana Ulejczyka były badania rozkładu materiałów uciążliwych dla środowiska, głównie odpadów tworzyw sztucznych i freonów oraz związane z pracą dokorską zagadnienia plazmowego osadzania cienkich warstw na polimerach i materiałach ceramicznych. Efektem tych prac, oprócz doktoratu, był udział w opublikowaniu kilku artykułów m.in. w bardzo dobrych czasopismach *Plasma Chemistry and Plasma Processing* oraz *Polimery*, współautorstwo 4 patentów a także kilkanaście doniesień konferencyjnych.

po doktoracie

Po doktoracie dr inż. Bogdan Ulejczyk doskonalił swoje kwalifikacje naukowe i zawodowe w Instytucie Tele- i Radiotechnicznym oraz Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy. Uczestniczył w realizacji kilku krajowych projektów badawczych. Do najistotniejszych dokonań habilitanta w tym okresie, należy zaliczyć udział w:

- projektowaniu, budowie i testowaniu urządzenia do plazmowo-pirolitycznej utylizacji odpadów niebezpiecznych. Zarówno urządzenie, jak i technologia jego wykorzystania zostały opatentowane, skomercjalizowane oraz nagrodzone na kilku krajowych i zagranicznych wystawach wynalazczych, a część związanych z opracowaniem wyników, opublikowana m.in. w *Vacuum*,

- badaniach nad osadzaniem cienkich warstw chromu na monokryształach krzemu w ramach których zaprojektowano i skonstruowano koncentrator plazmowy ze specjalną katodą. Praca została wykonana na zlecenie z Republiki Korei. Jawna część wyników była prezentowana na konferencjach międzynarodowych i opublikowana w *Czechoslovak Journal of Physics*,

- badaniach nad modyfikacją ceramicznych napełniaczy kompozytów elastomerowych. W ramach tych badań habilitant skonstruował reaktor plazmowy do prowadzenia tego procesu,

- konstrukcji piezo-detektora do badań ciśnienia plazmy, podczas stażu w Charkowskim Instytucie Fizyki i Technologii. Badania realizowane były w ramach projektu Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej , a wyniki przedstawiona na *34 European Conference on Plasma Physics*.

Po podjęciu pracy na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej, oprócz omówionych już zagadnień związanych z rozprawą habilitacyjną, aktywność naukowa dr inż. Bogdana Ulejczyka związana była przede wszystkim z badaniami rozkładu związków chloroorganicznych w wyładowaniach ślizgowych, iskrowych, koronowych i barierowych, których wyniki opublikowano w kilku artykułach w czasopismach z listy *JCR* m.in. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* oraz *IEEE Transactions on Plasma Science*, opatentowano w 2 patentach oraz przedstawiono na 10 konferencjach krajowych i międzynarodowych.

W sumie, na przedstawiony do oceny dorobek naukowy dr inż. Bogdana Ulejczyka składają się 33 publikacje w czasopismach wyszczególnionych w bazie *JCR*, w tym **28** po uzyskaniu stopnia doktora (**dorobek po doktoracie zaznaczony pogrubioną czcionką**), 10 (**6**) artykułów w innych czasopismach, 9(**8**) rozdziałów w monografiach. Sumaryczny IF wszystkich prac wynosi 99,060 (**89,505**). Liczba cytowań (w dniu 14.06.2022) wg bazy *Web of Science* 327 (**320**) [bez autocytowań 235 (**230**)] razy, Indeks Hirscha 9. (Dane, wg bazy *Scopus*, są nieco wyższe i wynoszą odpowiednio 355 (**346**) [bez autocytowań 229 (**223**)], Indeks Hirscha 10. Wyliczona przez habilitanta liczba punktów ministerialnych wynosi 3115 (**2630**). Jest ona jednak mało miarodajna, ponieważ część publikacji została opublikowana przed wprowadzeniem punktacji, która zmieniała się kilkakrotnie od 2010 r., a ponadto habilitant przyjął liczbę punktów przypisaną czasopismom, obowiązującą obecnie. Jednak z całą pewnością, niezależnie od sposobu liczenia, byłaby ona wysoka, wielokrotnie przewyższająca formalne wymagania wobec kandydatów do stopnia doktora habilitowanego. Dorobek naukowy habilitanta uzupełnia duża liczba 16 (**14**) wystąpień ustnych i 9 (**7**) posterów zaprezentowanych osobiście na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych. Ponadto dr inż. Bogdan Ulejczyk jest współautorem 33 (**28**) innych wystąpień konferencyjnych, przedstawionych przez współautorów.

Aplikacyjne aspekty badań dr inż. Bogdana Ulejczyka oraz współpraca z innymi jednostkami naukowymi oraz podmiotami gospodarczymi zaowocowały uzyskaniem znacznej liczby patentów. Habilitant jest współautorem 13 (**9**) udzielonych patentów krajowych.

Dr inż. Bogdan Ulejczyk kierował 2 (**1**) oraz uczestniczył jako wykonawca w 10 (**8**) projektach badawczych finansowanych w drodze konkursów głównie przez centralne agencje grantowe (KBN, NCBR). Po doktoracie kierował tylko jednym, związanym z rozprawą habilitacyjną, projektem finansowanym wewnątrznie przez Politechnikę Warszawską. Publikacje, patenty i inne dokonania habilitanta, świadczą jednak jednoznacznie o jego dużym udziale w realizacji projektów.

4. Inne elementy istotne dla oceny kandydata do stopnia doktora habilitowanego

działalność dydaktyczna

Dr inż. Bogdan Ulejczyk jest doświadczonym nauczycielem akademickim. Prowadzi różnego rodzaju zajęcia na studiach I i II stopnia na kierunku Technologia Chemiczna Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej. Z ważniejszych można wymienić: wykład z przedmiotu „Wybrane technologie chemiczne”, zajęcia projektowe i laboratoryjne z przedmiotów „Projektowanie procesów technologicznych”, „Wybrane działy technologii chemicznej” oraz „Modelowanie procesów technologicznych” a także seminaria dyplomowe.

Bardzo znaczące są również osiągnięcia dr inż. Bogdana Ulejczyka w kształceniu młodych kadr naukowych i zawodowych. Kierował 13 pracami magisterskimi i 16 inżynierskimi studentów Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej. Pełni także funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim realizowanym na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie..

staże naukowe

Dr inż. Bogdan Ulejczyk odbył dwa staże naukowe - trzymiesięczny staż w Uniwersytecie w Orleanie, związany z badaniami procesów, zachodzących w wyładowaniu ślizgowym oraz miesięczny staż w Charkowskim Instytucie Fizyki i Technologii w Ukrainie, dotyczący technik badania ciśnienia plazmy. Także dwutygodniowy wyjazd służbowy do Uniwersytetu Tallińskiego w Estonii związany był z działalnością naukową habilitanta i dotyczył uruchomienia, nabytego przez estoński Uniwersytet, koncentratora plazmowego, skonstruowanego z jego dużym udziałem

współpraca naukowa

Współpraca naukowa habilitanta, z krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowo-badawczymi, jest różnorodna i owocna:

- z Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym nad wytwarzaniem węgla aktywnych,
- z Uniwersytetem Technicznym w Ostrawie nad zastosowaniem plazmowo-pirolitycznej metody utylizacji w Czechach
- z Instytutem Przemysłu Gumowego nad modyfikacją wypełniaczy gum,
- z Instytutem Tele- i Radiotechnicznym oraz Wydziałem Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej nad charakteryzacją wyładowania ślizgowego.

Ponadto habilitant współpracował w ramach wspólnych i zleconych projektów, m.in. z Korean Institute of Science and Technology, Wastech Recycling sp. z o.o., Galactico sp. z o.o., przedsiębiorstwem Rokita PCC i in.

działalność popularyzująca naukę

Oprócz udziału w spotkaniach i prezentacjach, popularyzujących działalność jednostek naukowych, w których zatrudniony jest lub był habilitant, ważnym osiągnięciem w działalności popularyzującej naukę jest współautorstwo 6 artykułów w czasopismach technicznych, będących źródłem wiedzy i informacji o najnowszych osiągnięciach naukowych i aplikacyjnych, przede wszystkim dwumiesięczniku *Tworzywa Sztuczne i Chemia*.

nagrody i wyróżnienia

Dr inż. Bogdan Ulejczyk uzyskał w 2020 r. dyplom za najlepszą publikację naukową w Politechnice Warszawskiej w 2019 r., był laureatem nagrody zespołowej II° JM Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia naukowe w latach 2019-2020 - za udział w pracach zespołu z Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej.

Dowodem uznania pozycji naukowej dr inż. Bogdana Ulejczyka jest powierzenie mu recenzji kilku manuskryptów przesłanych do druku w renomowanych zagranicznych czasopismach naukowych m.in. *Plasma Science, Renewable Energy, RSC Advances* oraz przewodniczenia obradom na międzynarodowych konferencjach "International Joint Conference OPTIM-ACEMP Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)" w 2017 oraz 2021 r.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Po starannej analizie przedstawionych do recenzji materiałów wyrażam opinię, że dr inż. Bogdan Ulejczyk:

- przedstawił, oparte na cyklu 10 powiązanych tematycznie publikacji zamieszczonych w większości (7) w renomowanych czasopismach zagranicznych, osiągnięcie habilitacyjne o istotnym znaczeniu naukowym, wnoszące znaczący wkład do wiedzy o wykorzystaniu metod z udziałem plazmy w procesie otrzymywania wodoru z alkoholi,
- jest wybitnym specjalistą w zakresie badań i praktycznych zastosowań procesów plazmowych, przede wszystkim projektowania i konstrukcji reaktorów plazmowych,
- posiada w tej dziedzinie obszerny dorobek naukowy, znacznie powiększony po uzyskaniu stopnia doktora,
- wykazuje dużą aktywność we wszystkich obszarach działalności właściwej pracownikom nauki i nauczycielom akademickim.

Stwierdzam więc z przekonaniem, że dr inż. Bogdan Ulejczyk spełnia wszystkie wymagania, stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego przez art. 219 ust. 1 pkt. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) wobec czego wniosek o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno - technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna jest uzasadniony i zasługuje na poparcie.