



Kraków, 07.04.2022

## RECENZJA

osiągnięcia naukowego zatytułowanego:

**„Sterowanie właściwościami nanomateriałów węglowych poprzez modyfikacje strukturalne i powierzchniowe”**

oraz ocena dorobku naukowego Pani dr Anny Ilnickiej

### 1. Uwagi wstępne

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego Pani dr Anny Ilnickiej, adiunktowi naukowemu w Katedrze Chemii Materiałów Adsorpcji i Katalizy, Wydziału Chemii, Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, obejmuje dziesięć publikacji dotyczących syntezy i badania właściwości nanomateriałów węglowych mogących znaleźć zastosowanie w procesach wytwarzania i przechowywania energii elektrycznej. Funkcjonalizacja nanomateriałów węglowych jest podstawą projektowania i wytwarzania nowych materiałów elektrodowych, wpływa korzystnie na poprawę ich efektywności katalitycznej i elektrokatalitycznej. Można ją przeprowadzać na wiele sposobów. Na przykład wprowadzając metale, tlenki metali, polimery lub alotropowe formy węgla. Szczególnie istotne jest zastąpienie w katalizatorach platyny lub innych metali szlachetnych, co znacznie obniży koszty ich wytwarzania, a także uniezależni od dostaw z niepewnych politycznie rejonów. Prace prowadzone przez habilitantkę stanowią element tego technologicznego wyzwania.

Celem prowadzonych badań postawionym przez dr Annę Ilnicka było: i. opracowanie metod syntezy grafenopodobnych materiałów węglowych o korzystnej strukturze porów; ii. wprowadzenie heteroatomów do struktury takich materiałów; iii. otrzymanie materiałów hybrydowych typu nanorurki węglowe – węgiel aktywny; iv. określenie właściwości elektrochemicznych uzyskanych materiałów pod kątem zastosowań w bateriach i superkondensatorach.

Publikacje, w których habilitantka przedstawiła wyniki badań prowadzące do realizacji założonego celu, stanowią spójny cykl prac dotyczących:

- otrzymywania trójwymiarowych nanostruktur grafenowych poprzez eksfoliację grafitu i ich stabilizację poprzez wprowadzenie bogatego w azot lepszycza węglowego;
- wykorzystania naturalnych prekursorów (algi morskie, lizyna, żelatyna, chitozan) do otrzymywania bogatych w azot porowatych materiałów węglowych; określenia ich struktury składu pierwiastkowego oraz rodzaju powierzchniowych grup funkcyjnych;
- otrzymania bogatych w azot struktur zawierających nanorurki węglowe; określenia ich struktury składu pierwiastkowego oraz rodzaju powierzchniowych grup funkcyjnych.
- przeprowadzenia pomiarów elektrochemicznych dla określenia potencjału aplikacyjnego uzyskanych materiałów w ogniwach i superkondensatorach.

Analizując wyniki przedstawione przez dr Annę Ilnicką w ocenianym osiągnięciu naukowym - cyklu publikacji, mogę stwierdzić, że założone przez nią cele badawcze zostały zrealizowane.

## **2. Ocena rozprawy habilitacyjnej – osiągnięcia naukowego**

Rozprawa habilitacyjna dr Anny Ilnickiej to cykl dziewięciu oryginalnych prac i jednej przeglądowej, które zostały opublikowane w latach 2018 – 2021 w czasopismach o międzynarodowym zasięgu (lista JCR). Trzy publikacje ukazały się w *Scientific Reports*, dwie w *Materials*, po jednej w *Nanomaterials*, *Marine Drugs*, *Journal of Materials Research*, *Journal of Materials Science* oraz *Small*. Współczynniki wpływu (IF) tych czasopism mieszczą się w przedziale 3.62 – 11.46, co świadczy o dość wysokim poziomie ich oddziaływania naukowego. Zgodnie z danymi z bazy Web of Science (WoS), prace te były łącznie cytowane 54 razy, przy czym najczęściej cytowaną była publikacja (H5) w *Journal of Materials Science*, 2019, 54(24), 14859-14871 (14 razy). Wartość merytoryczna publikacji została więc doceniona przez międzynarodowe grono recenzentów oraz środowisko naukowe.

Wszystkie publikacje cyklu to prace wieloautorskie. We wszystkich dr Anna Ilnicka była autorem korespondencyjnym, a w ośmiu, pierwszym autorem. Do dokumentacji dołączone są, zgodnie z wymogiem formalnym, listy współautorów określające ich udział w poszczególnych publikacjach. Wynika z nich, że habilitantka miała wiodący udział we wszystkich pracach.

Publikacje zgłoszone jako podstawa rozprawy habilitacyjnej zostały uszeregowane przez habilitantkę w autoreferacie biorąc pod uwagę cel naukowy. Ich wspólnym mianownikiem jest otrzymywanie i modyfikacja materiałów węglowych przez wprowadzenie heteroatomów w celu uzyskania materiałów o korzystnych właściwościach i ich zastosowanie w prototypach baterii i superkondensatorów. Pierwsze dwie prace cyklu (H1,H2) dotyczą otrzymywania trójwymiarowych nanostruktur grafenowych na drodze elektrochemicznej eksfoliacji proszku lub folii grafitowej i ich sieciowania przy pomocy poli(alkoholu furfurylowego) – jako stabilizatora lub suspensji zielonych alg morskich – jako stabilizatora i źródła azotu. Habilitantka określiła wpływ warunków syntezy na strukturę porów uzyskanego materiału grafenopodobnego, jego skład chemiczny oraz rodzaj powierzchniowych grup funkcyjnych. Przeprowadziła pomiary elektrochemiczne dla reakcji elektrokatalitycznej redukcji tlenu. Wykazała, że otrzymane materiały posiadają zbliżone właściwości katalityczne do komercyjnych węgli z platyną, a warunkiem efektywnego działania jest obecność azotowych grup funkcyjnych, azotu pirydynowego (N-6) oraz pirolowego i pirydonowego (N-5). Pokazała również, że mogą być stosowane jako elektrokatalizatory w bateriach cynk/powietrze, a ich stabilność w cyklu ładowania/rozładowania jest bardzo podobna do stabilności katalizatorów Pt/C.

Kolejne prace cyklu są poświęcone uzyskiwaniu wysokoazotowych materiałów węglowych z naturalnych surowców. Na podstawie własnych doświadczeń uzyskanych w trakcie badań będących podstawą pracy doktorskiej, a także dokonanego przeglądu literaturowego (H3), habilitantka postanowiła wykorzystać do syntez chitynę, chitozan (z mocznikiem jako dodatkowym źródłem azotu) (H4), jak oraz nowe prekursorzy fazy węglowej, lizynę (H5), zielone algi morskie oraz żelatynę (H6,H7). Struktura otrzymywanych materiałów typu stałych pian była kontrolowana przez templatowanie przy pomocy nanocząstek węglanowych ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) lub koloidalnej krzemionki. Analogicznie do pierwszych prac cyklu, określony został wpływ warunków syntezy na strukturę porów uzyskanego materiału, jego powierzchnię właściwą, skład chemiczny oraz rodzaj powierzchniowych grup funkcyjnych, a także aktywność elektrokatalityczna w reakcji redukcji tlenu. Otrzymane materiały wykazywały dobrą stabilność w bateriach cynk/powietrze (H6), jak również stanowią obiecujący produkt do wykorzystania w superkondensatorach ze względu na wysoką pojemność i stabilność.

Materiały których syntezę i właściwości zostały opisane w pracach H4-H7 zostały użyte jako podłoża do otrzymania struktur hybrydowych ze szczepionymi nanorurkami węglowymi. Nanorurki powstawały na skutek termicznej konwersji poli(alkoholu

furfurylowego). Metodyka tworzenia węglowych struktur hybrydowych była przedmiotem zgłoszenia patentowego i publikacji w prestiżowym czasopiśmie *Small* [H8] (IF 11.46). W dalszym etapie habilitantka wykorzystwała do wytworzenia tego typu struktur wysokoazotowe podłoża węglowe otrzymane na bazie chityny i chitozanu [H9] oraz zielonych alg morskich i lizyny [H10].

Do najistotniejszych wyników osiągniętych przez habilitantkę i przedstawionych w omawianym cyklu prac zaliczyłbym:

- opracowanie metody efektywnej elektro-eksfoliacji i tworzenia trwałych trójwymiarowych struktur grafenowych o kontrolowanych właściwościach strukturalnych oraz składzie grup powierzchniowych do zastosowania jako elektrokatalizatory w bateriach cynk/powietrze;
- opracowanie metody efektywnej syntezy węgla zawierających azot z naturalnych prekursorów do zastosowań jako elektrody w ogniwach i superkondensatorach;
- określenie wpływu struktury porów, powierzchni właściwej, rodzaju i zawartości azotowych grup funkcyjnych na właściwości elektrochemiczne otrzymanych materiałów węglowych;
- zaproponowanie nowatorskiej metody otrzymywania nanorurek węglowych na powierzchni podłoża węglowego w postaci węgla aktywnego, uzyskanego z naturalnych prekursorów, z wykorzystaniem termicznej konwersji poli(alkoholu furfurylowego);

Według mojej opinii cykl publikacji zaproponowany przez dr Annę Ilnicką jako dzieło naukowe stanowiące podstawę jej rozprawy habilitacyjnej stanowi spójny, monotematyczny zestaw prac dotyczących otrzymywania i modyfikacji materiałów węglowych o różnych strukturach dla uzyskani korzystnych właściwości elektrokatalitycznych oraz ich zastosowanie w prototypach ogniw i superkondensatorów. Publikacje te ukazały się w renomowanych czasopismach o międzynarodowym zasięgu i stanowią istotny wkład do rozwoju dyscypliny – nauki chemiczne.

### **3. Ocena istotnej aktywności naukowej, działalności dydaktycznej i organizacyjnej**

Dorobek naukowy dr Anny Ilnickiej obejmuje (wg dostarczonej dokumentacji) 39 prac naukowych opublikowanych w latach 2014 – 2021 (JCR), z czego 20 po uzyskaniu stopnia

doktora, o średnim wskaźniku IF > 3. Sumaryczny IF (według roku publikacji) opublikowanych prac wynosi 116.6. Dr Anna Ilnicka jest również współautorką 10 rozdziałów w monografiach. Według danych z bazy WoS, prace z udziałem habilitantki były cytowane 313 razy (246 bez autocytowań), jej współczynnik H wynosi 10, a średnia liczba cytowań na rok w ostatnich czterech latach około 50. O ile tematyka habilitacji jest kontynuacją prac zapoczątkowanych w trakcie doktoratu, należy zauważyć wprowadzenie nowych wątków badawczych – dotyczących hybrydowych struktur węglowych z nanorurkami i trójwymiarowych struktur grafenowych. Habilitantka jest autorką lub współautorką 98 prezentacji konferencyjnych na konferencjach krajowych i międzynarodowych, w tym 8 wykładów na zaproszenie. Dr Anna Ilnicka jest współautorką 3 krajowych patentów i 7 zgłoszeń patentowych. Jej praca naukowa została nagrodzona w roku 2019 Zespołową Nagrodą Rektora UMK I stopnia, a w roku 2020 Zespołową Nagrodą Rektora UMK III stopnia. W 2019 roku została wyróżniona trzyletnim Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców. Otrzymała również szereg wyróżnień na konferencjach i imprezach branżowych związanych z innowacyjnymi rozwiązaniami aplikacyjnymi. Wykonała 20 recenzji dla czasopism z listy JCR. Była redaktorem gościnnym wydań specjalnych czasopisma *Processes* (MDPI).

Dr Anna Ilnicka była kierownikiem grantów Preludium (NCN), Inkubator Innowacyjności+ (MNiSW) oraz projektów dla młodych pracowników naukowych UMK; uczestniczyła również jako główny wykonawca w realizacji 5 zewnętrznych projektów badawczych. Obecnie realizuje, jako kierownik, projekty Leader oraz Small Grant Scheme (NCBiR). Habilitantka odbyła krótkoterminowe staże badawcze w Institute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University w Japonii i w Department of Energy Science and Engineering, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology w Korei Południowej. Efektem staży były wspólne publikacje.

Dr Anna Ilnicka prowadziła działalność dydaktyczną w Katedrze Chemii Materiałów, Adsorpcji i Katalizy na Wydziale Chemii UMK, w zakresie zajęć laboratoryjnych, seminariów i wykładów. Była promotorem pracy magisterskiej i opiekunem staży studenckich. Obecnie pełni funkcję promotora pomocniczego w jednym przewodzie doktorskim.

Dr Anna Ilnicka jest jedną z założycieli spółki Instytut Nowych Materiałów i Technologii Sp. z o. o. spin-off UMK zajmującej się komercjalizacją innowacyjnych rozwiązań opracowywanych, w Katedrze Chemii Materiałów, Adsorpcji i Katalizy. Obecnie jest Prezesem Zarządu spółki. Do innych osiągnięć dr Anny Ilnickiej w pracy organizacyjnej

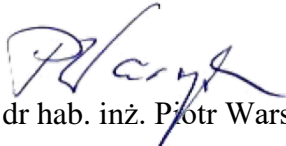
można zaliczyć członkostwo w Komitecie organizacyjnym cyklicznej konferencji naukowej – „NanoBioMateriały - teoria i praktyka”.

#### 4. Wnioski końcowe.

Podsumowując ocenę osiągnięcia naukowego będącego podstawą postępowania habilitacyjnego dr Anny Ilnickiej oraz jej dorobku naukowego stwierdzam, że recenzowane osiągnięcie stanowi rezultat realizacji właściwie zaplanowanych badań dotyczących syntezy materiałów węglowych o właściwościach elektrokatalitycznych do zastosowań w wytwarzaniu i magazynowaniu energii. Uzyskane rezultaty stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie syntezy i właściwości materiałów węglowych w dyscyplinie – nauki chemiczne. Habilitantka wykazuje się aktywnością naukową realizowaną również we współpracy z krajowymi jak również zagranicznymi ośrodkami naukowymi w ramach krótkoterminowych staży, której efektem są wspólne publikacje.

Pozytywna ocena cyklu prac stanowiących podstawę habilitacji przez międzynarodowe gremia naukowe mierzona publikacjami w periodykach o międzynarodowym obiegu i konsekwentna realizacja planu badawczego prowadząca do osiągnięcia wyników mogących mieć znaczenie praktyczne i wdrożone w ramach spin-off UMK, są silną stroną wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. Brak długoterminowego stażu zagranicznego, jak również fakt, że większość prac habilitantka opublikowała wraz z promotorem swoich prac magisterskiej i doktorskiej, stanowią jego słabszą stronę. Należy mieć nadzieję, że uzyskanie stopnia doktora habilitowanego pozwoli na realizację planu badawczego w ramach prowadzonych obecnie projektów i osiągnięcie pełnej samodzielności naukowej.

W konkluzji stwierdzam, że rozprawa habilitacyjna i dorobek naukowy dr Joanny Krawczyk spełnia warunki określone przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (wraz z późniejszymi zmianami), w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Wnioskuje, w związku z tym, o dopuszczenie dr Anny Ilnickiej do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

  
Prof. dr hab. inż. Piotr Warszyński