



***Recenzja osiągnięcia naukowego opisanego w cyklu powiązanych publikacji
zatytułowanego:***

***Nowe materiały π -sprężone oparte na układach donorowo-akceptorowych
do zastosowań w optoelektronice***

oraz pozostałej aktywności naukowej

dr. inż. Przemysława Krzysztofa Ledwonia

***w związku z postępowaniem wszczętym wskutek jego wniosku o nadanie
mu stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauk chemicznych***

***Ocena prac składających się na cykl publikacji stanowiących podstawę postępowania
habilitacyjnego***

Podstawą ocenianego wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Przemysławowi K. Ledwoniowi jest cykl dziesięciu wzajemnie powiązanych publikacji (dziewięć oryginalnych, jedna przeglądowa) dotyczących wpływu struktury grupy nowych układów π -skoniugowanych o budowie donorowo-akceptorowej na ich właściwości. W szczególności, badania były skierowane na poszukiwanie takich jednostek budulcowych i takich ich połączeń, które by skutkowały wydłużeniem efektywnych długości sprzężenia. Ważne przy tym było zapewnienie poszukiwanym materiałom elastyczności. Giętkie materiały o niezbędnych i wystarczająco trwałych właściwościach fotoelektrycznych znajdują wiele interesujących i bardzo użytecznych zastosowań trudnych lub niemożliwych do uzyskania przy użyciu klasycznych materiałów nieorganicznych. Poszukiwanie materiałów o elementach donorowych, akceptorowych i π -skoniugowanych a jednocześnie giętkich nie jest zadaniem trywialnym, bowiem efektywne wydłużenie sprzężeń cząsteczki usztywnia.

Z autoreferatu wyraźnie wynika, że prowadząc badania habilitant miał na uwadze możliwości różnych zastosowań tych samych materiałów, co szczególnie podkreśla znaczenie interesującej go tematyki badawczej.

Spośród dziesięciu prac wchodzących w skład cyklu stanowiącego rozprawę habilitacyjną dziewięć to prace wieloautorskie. Habilitant szczegółowo określił swój udział w tych pracach podając na czym polegał jego wkład w sformułowaniu koncepcji pracy, jakie doświadczenia przeprowadził, przeanalizował i opisał raz na czym polegał jego wkład w przygotowanie ostatecznych wniosków. Współautorzy złożyli oświadczenia, w których określili na czym polegał udział każdego z nich. Pragnę podkreślić, że nie zauważyłem sprzeczności w tych oświadczeniach. Jedną z prac to praca przeglądowa, której jedynym autorem jest habilitant. Wszystkie prace stanowiące podstawę rozprawy habilitacyjnej były opublikowane w latach 2016-2020, w czasopiśmie znajdujących się w, bazie Journal Citation Report (JCR).

Współczynnik oddziaływania tych czasopism (parametr IF) zawarty jest w zakresie od 3,261 do 5,997 (wartości z roku, w którym praca została opublikowana). Sumaryczna wartość IF prac składających się na rozprawę habilitacyjną jest równa 43,434. Średnia wartość IF czasopism, w których kandydat publikował swoje prace wynosi 4,3424.

Cykl publikacji składających się na rozprawę stanowi powiązaną logicznie całość. Obejmuje opis systematycznych poszukiwań zależności między budową materiałów zawierających cząsteczki z wiązaniami π -skoniugowanymi, oraz z elementami o budowie donorowej i akceptorowej a ich właściwościami optycznymi, fotoelektrycznymi i elektrochemicznymi.

Badania obejmowały nie tylko procesy syntezy związków należących do wspomnianej wyżej grupy, lecz również wyczerpujące scharakteryzowanie ich budowy oraz właściwości. Do scharakteryzowania badanych związków i substancji habilitant stosował między innymi metody H^1 NMR, EPR, cyklicznej voltametrii, spektrofotometrii, fluorescencji oraz badania elektroluminescencji specjalnie skonstruowanych diod. Badania doświadczalne wspierało modelowanie komputerowe rozmieszczenia gęstości elektronowej w cząsteczkach badanych związków.

Pierwsza z cyklu publikacji habilitacyjnych (P1; P. Ledwon*, P. Zassowski, T. Jarosz, M. Lapkowski, P. Wagner, V. Cherpak, P. Stakhira, A novel donor-acceptor carbazole and benzothiadiazole material for deep red and infrared emitting applications, *J. Mater. Chem. C*, **4**, **2016**, 2219) przedstawia wyniki badań dotyczących syntezy materiału zawierającego ugrupowania donorowo-akceptorowe – karbazolowe i benzotiadizolowe oraz zbadania jego właściwości elektroluminescencyjnych. Pod względem koncepcyjnym i w części warsztatowym stanowiła punkt wyjścia do następnych badań. Istotnym osiągnięciem tej pracy było wykazanie, że pierwsze przejście redoks jest w pełni odwracalne wskazując na przydatność otrzymanego materiału i ewentualnie jego modyfikowanych pochodnych do zastosowań w urządzeniach pracujących w długofalowym obszarze światła widzialnego i w bliskiej podczerwieni.

Prace P2 (P. Ledwon*, G. Wiosna-Salyga*, M. Chapran, R. Motyka, The Effect of Acceptor Structure on Emission Color Tuning in Organic Semiconductors with D- π -A- π -D Structures, *Nanomaterials*, **9**, **2019**, 1179) oraz P3 (P. Ledwon*, R. Motyka, K. Ivaniuk, A. Pidluzhna, N. Martyniuk, P. Stakhira, G. Baryshnikov, B. F. Minaev, H. Ågren, The effect of molecular structure on the properties of quinoxaline-based molecules for OLED applications, *Dyes and Pigments*, **173**, **2020**, 108008) należy traktować, jako rozwinięcie wcześniejszej pracy P1. Za ważne osiągnięcie pracy P2 uważam określenie wpływu elementu elektronoakceptorowego

(A) na właściwości elektrochemiczne i optyczne związków o strukturze D- π -A- π -D. Habilitant wykazał, że odpowiedni dobór struktury elementu A pozwala na otrzymanie związków z kontrolowanym maksimum emisji od około 500 nm do bliskiej podczerwieni. Wartościowym wynikiem badań opisanych w pracy P3 było określenie wpływu długości sprzężenia na właściwości optyczne i elektrochemiczne związków o strukturze D- π -A- π -D. Habilitant wykazał, między innymi, że wraz z większą długością koniugacji następuje przesunięcie fluorescencji w kierunku bliskiej podczerwieni (w wypadku badanej serii związków z 539 do 671 nm).

Badania omówione w pracy P4 (P. Zassowski, P. Ledwon*, A.a Kurowska, A. P. Herman, M. Lapkowski, V. Cherpak, Z. Hotra, P. Turyk, K. Ivaniuk, P. Stakhira, G. Sych, D. Volyniuk, J. V. Grazulevicius, 1,3,5-Triazine and carbazole derivatives for OLED applications. *Dyes and Pigments*, 149, **2018**, 804–811) habilitant poświęcił porównaniu właściwości diod typu OLED otrzymywanych z wykorzystaniem cząsteczek liniowych i gwiaździstych. W ich wyniku wykazał, że właściwości OLED-ow z użyciem cząsteczek gwiaździstych były znacznie lepsze niż właściwości diod wytwarzanych z odpowiednich analogów liniowych.

W pracach P5 (A. Drewniak, M. D. Tomczyk, L. Hanusek, A. Mielanczyk, K. Walczak, P. Nitschke, B. Hajduk, P. Ledwon*, The effect of aromatic diimide side groups on the π -conjugated polymer properties, *Polymers*, 10, **2018**, 487), P6 (A. Drewniak, M. D. Tomczyk, K. Knop, K. Z. Walczak, P. Ledwon*, Multiple redox states and multielectrochromism of donor-acceptor conjugated, polymers with aromatic diimide pendant groups. *Macromolecules*, 52, **2019**, 8453-8465) i P7 (A. Blacha-Grzechnik, A. Drewniak, K. Z. Walczak, M. Szindler, P. Ledwon*, Efficient generation of singlet oxygen by perylene diimide photosensitizers covalently bound to conjugate polymers, *Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry*, 388, **2020**, 112161) habilitant przedstawił wyniki badań określających właściwości spektroskopowe i elektrochemiczne związków małowcząsteczkowych i polimerów o złożonej architekturze, zawierających elementy donorowe i akceptorowe przedzielone łącznikami o wiązaniach skoniugowanych oraz grupy boczne zawierające segmenty akceptorowe inne niż w łańcuchu głównym połączone z łańcuchem głównym łącznikami alkilowymi. Ogólnie badane związki miały budowę typu $[A_1-\pi-D(-A_2)]_n$ oraz $D(-A_2)-\pi-A_1-\pi-D(-A_2)$. Wykazano, że w takich układach ładunki mogą być generowane zarówno na ugrupowaniach akceptorowych powiązanych z jednostkami donorowymi łącznikami koniugowanymi jak i alkilowymi, jednak redukcja w obszarze łańcucha głównego i grup bocznych (ugrupowania diimidowe) są niezależne. Na tę separację wskazywały zarówno badania spektroskopii w obszarze widzialnym jak i badania elektrochemiczne. W wyniku przeprowadzonych prac habilitant zaprojektował oraz otrzymał materiały o właściwościach multielektrochromowych. Wykazał również, że wspomniane wyżej materiały mogą być użyte do fotochemicznego generowania tlenu singletowego.

W pracy P8 (P. Ledwon*, D. Ovsiannikova, T. Jarosz, S. Gogoc, P. Nitschke, W. Domagała, „Insight into the properties and redox states of n-dopable conjugated polymers based on naphthalene diimide units, *Electrochimica Acta*, 307, **2019**, 525-535) habilitant przedstawił analizę wyników badań elektrochemicznych, optycznych i fotowoltaicznych polimerów zawierających karbodiimidowe jednostki elektrono-akceptorowe. Podjęcie tej tematyki dawczej było związane z poszukiwaniem materiałów na ogniwa fotowoltaiczne.

Dopełnieniem omówionych prac P1-P8 jest praca P9 (D. Branowska*, E. Olender, W. Wysocki, Z. Karczmarzyk, I. Bancierz, P. Ledwon*, M. Lapkowski, B. Mirosław, Z. Urbańczyk-Lipkowska, P. Kalicki, Synthesis and electrochemical characterization of oligothiophenes with 1,2,4-triazine and 5,5'-bi-1,2,4-triazine as strong electron acceptor units, *Electrochimica Acta*, 214, 2016, 19–30). Dotyczy ona syntezy oraz scharakteryzowania właściwości optycznych oraz elektrochemicznych związków będących pochodnymi 5,5'-bi-1,2,4-triazyny oraz 1,2,4-triaziazyny użytymi jako elementy elektrono-akceptorowe, połączonymi z tiofenami zastosowanymi jako elementy elektrono-donorowe. W tej pracy habilitant określił wpływ jednostek tiofenowych na wyżej wspomniane właściwości.

Ostatnia praca z cyklu stanowiącego podstawę wniosku dr. inż. Przemysława Ledwonია o nadanie stopnia doktora habilitowanego – P10 (P. Ledwon*, Recent advances of donor-acceptor type carbazole-based molecules for light emitting applications, *Organic Electronics*, 75, 2019, 105422) jest monoautorską pracą przeglądową habilitanta. Stanowi ona opis podsumowujący stan wiedzy o właściwościach związków zawierających elementy karbazolu ze szczególnym uwzględnieniem materiałów o budowie donorowo-akceptorowej. Pozwoliła ona autorowi na podsumowanie wyników badań własnych i przedstawienie ich na tle prac innych autorów.

Podsumowując część recenzji poświęconą omówieniu osiągnięć dr. inż. Przemysława K. Ledwonია opisanych w publikacjach tworzących podstawę postępowania habilitacyjnego, chciałbym zwrócić uwagę na następujące, które uważam za szczególnie ważne. Są nimi:

- Zaprojektowanie i zsyntetyzowanie (przez habilitanta lub przez współautorów według jego projektu) biblioteki związków małowartościowych oraz polimerów o różnej architekturze (różnicowanie topologiczne) zawierających ugrupowania: D- π -A- π -D, D(-A₂)- π -A₁- π -D(-A₂) oraz [A₁- π -D(-A₂)]_n, gdzie symbole A, A₁ i A₂ oznaczają elementy elektrono-akceptorowe a D elementy elektrono-donorowe, natomiast π oznacza łączniki z wiązań π -skoniugowanych. Jednoznaczna identyfikacja spektrometryczna i spektroskopowa otrzymanych związków.
- Wyczerpujące zbadanie właściwości optycznych, elektrooptycznych i elektrochemicznych zsyntetyzowanych związków.
- Określenie relacji długości łączników π -skoniugowanych i właściwości optycznych, elektrooptycznych oraz elektrochemicznych od topologii otrzymanych związków.
- Opracowanie sposobu wytwarzania diod OLED emitujących światło w obszarze bliskiej podczerwieni.
- Opracowanie sposobu wytwarzania materiałów o właściwościach multielektrochromowych.
- Opracowanie materiału aktywnego do konstrukcji generatorów tlenu singletowego.

Do sposobu prowadzenia badań mam jednak istotne zastrzeżenie. Autorzy prac stanowiących cykl habilitacyjny, a przede wszystkim habilitant będący autorem korespondencyjnym każdej z nich, nie zadbali w stopniu choćby minimalnym o ochronę własności intelektualnej dotyczącej rozwiązań potencjalnie użytecznych w konstrukcjach przydatnych do rozwiązań praktycznych. Brak patentów.

Biorąc pod uwagę zarówno osiągnięcia jak i wspomniany wyżej niedostatek, uważam, że prace przez habilitanta stanowią dobrą podstawę rozprawy habilitacyjnej.

Ocena dorobku naukowego habilitanta, niezwiązanego bezpośrednio z cyklem publikacji stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego

Na dorobek publikacyjny, jaki stanowią prace, których dr inż. P. K. Ledwoń nie włączył do cyklu prac habilitacyjnych składa się 8 opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora (wśród nich 7 w czasopismach znajdujących się w bazie JCR) oraz 28 prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora (wszystkie w czasopismach z bazy JCR). Po uzyskaniu stopnia doktora ogólny dorobek naukowy dr. inż. Zwiększył się więc znacznie i łącznie obejmuje 38 prac. Biorąc pod uwagę tematykę badawczą prac niewchodzących w skład cyklu habilitacyjnego to z pracami habilitacyjnymi tworzą spójną całość poszerzając jednocześnie liczbę badanych obiektów. Zwróciła moją uwagę praca dotyczące układów, w których drobne zmiany strukturalne pozwalają na kontrolowane dostrajanie barwy emitowanego światła (. Ledwon*, G. Wiosna-Salyga*, M. Chapran, R. Motyka, The effect of acceptor structure on emission color tuning in organic semiconductors with D- π -A- π -D structures, *Nanomaterials*, 9, 2019, 1179). W swoim dorobku dr inż. P. Ledwoń ma również interesujące prace odbiegające tematycznie od głównego nurtu jego badań. Przykładem jest praca poświęcona przewodzącym polimerom biodegradowalnym (A. Domagała*, M. Maksymiak, H. Janeczek, M. Musiol, R. Turczyn, P. Ledwon, B. Kaczmarczyk, P. Kurcok, G. Adamus, M. Kowalczyk, M. Lapkowski, Oligo-3-hydroxybutyrate functionalised pyrroles for preparation of biodegradable conductive polymers, *Journal of Materials Science*, 49, 2014, 5227-5236).

Na dorobek naukowy habilitanta składają się również prezentacje konferencyjne. Liczą one 4 pozycje przed doktoratem i 9 po uzyskaniu stopnia doktora, wśród nich wystąpienie sekcyjne i wystąpienie na zaproszenie organizatorów.

Podsumowując ocenę dorobku naukowego, którego habilitant nie włączył do cyklu prac stanowiących podstawę habilitacji uważam, że jest on znaczący i w pełni spełnia wymagania stawiane kandydatowi na doktora habilitowanego.

Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Będąc pracownikiem uczelni dr inż. Przemysław K. Ledwoń w sposób naturalny został włączony w różne formy działalności dydaktycznej. Przed uzyskaniem stopnia doktora prowadził ćwiczenia i zajęcia laboratoryjne z przedmiotu *Chemia fizyczna* oraz zajęcia laboratoryjne z przedmiotu *Katalizatory i kataliza homo- i heterogenna*. Po doktoracie prowadził wykłady z przedmiotów *Katalizatory i kataliza homo- i heterogenna*, *Kataliza i procesy katalityczne*, *Związki metaloorganiczne w syntezie chemicznej*, *Smart polymers* oraz *Współczesne trendy w technologii chemicznej*. Na kierunku Chemia, specjalizacja Materiały i Substancje Specjalne wprowadził nowy przedmiot *Związki metaloorganiczne w syntezie chemicznej*. Był promotorem czterech prac inżynierskich oraz trzech prac magisterskich wykonanych na 1 kierunkach: Technologia Chemiczna; Chemia. oraz opiekunem kilku prac

badawczych realizowanych przez studentów - członków Studenckiego Koła Naukowego Chemików na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej.

Z powyższego wynika, że dr inż. Przemysław K. Ledwoń ma doświadczenie w prowadzeniu trzech najważniejszych form zajęć dydaktycznych.

Działalność organizacyjna i naukowo organizacyjna

Dr inż. Przemysław, K. Ledwoń już w okresie poprzedzającym uzyskanie stopnia doktora kierował dwuletnim projektem badawczym finansowanym przez NCN. Po uzyskaniu stopnia doktora kierował dwoma trzyletnimi zrealizowanymi projektami NCN.

Był redaktorem-gościem numeru specjalnego czasopisma *Materials*. Jest członkiem Rady Recenzentów czasopisma *Polymers*. Współorganizował pobyty naukowców zagranicznych wizytujących Politechnikę Śląską podczas realizacji wspólnych badań. Był koordynatorem odpowiedzialnym za wprowadzenie nowego przedmiotu Związki metaloorganiczne w syntezie chemicznej Politechnice Śląskiej, na kierunku Chemia, specjalizacja Materiały i Substancje Specjalne.

Aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni naukowej, w szczególności zagranicznej

Ustawa *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z 20 lipca 2018 wymaga od kandydata na doktora habilitowanego, aby charakteryzował się istotną działalnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji badawczej, w szczególności zagranicznej. Wymóg ten ma powodować poszerzenie wiedzy zazwyczaj jeszcze młodych pracowników naukowych o zainteresowaniach, metodach i organizacji badań w innych zespołach. Ta wiedza często wywiera znaczący wpływ na sposób uprawiania nauki przez badacza i nauczyciela, który wraz z habilitacją zdobywa prawa w pełni samodzielnej pracy i formalne uprawnienia do kierowania zespołami badawczymi. Kompetencje w tym zakresie dr inż. P. K. Ledwoń zdobył dzięki różnym formom aktywności. Dr inż. P. K. Ledwoń odbył dwa trzymiesięczne staże naukowe. Pierwszy, przed doktoratem na Uniwersytecie Sao Paulo, Sao Carlos, w Brazylii, drugi, po uzyskaniu stopnia doktora na Uniwersytecie Wollongong, Wollongong, w Australii. Oba były związane z realizacją międzynarodowych projektów badawczych. Ponadto, dr inż., P. K. Ledwoń współpracował z zespołami krajowymi i zagranicznymi z Politechniki Łódzkiej, Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze, Politechniku Rzeszowskiej, Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Instytutu Chemii Organicznej PAN, Lviv Polytechnic National University (Ukraina), KTH Royal Institute of Technology (Szwecja), Bohdan Khmelnytsky National University (Ukraina), - Henan University (Chiny), Institute of Problems of Chemical Physics of the Russian Academy of Science (Rosja), Georgia Institute of Technology (USA), Kaunas University of Technology (Litwa), University of Wollongong (Australia), Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, University of Strathclyde (Wielka Brytania), Universidade de São Paulo

(Brazylia), Geoscience Centre of the University of Göttingen (Niemcy), Freie Universität Berlin (Niemcy) oraz Friedrich-Schiller University Jena (Niemcy).

Podsumowanie

Moja ocena niemal wszystkich elementów rozprawy habilitacyjnej dr. inż. Przemysława K. Ledwonია jest bardzo pozytywna. Jej najmocniejszą stroną jest osiągnięcie naukowe opisane w dziesięciu publikacjach stanowiących podstawę rozprawy. Ta ocena odnosi się zarówno do koncepcji badań, jakości ich realizacji jak i wartości uzyskanych wyników z obszaru badań podstawowych oraz możliwych zastosowań praktycznych. Słabą stroną jest brak ochrony własności intelektualnej opracowanych rozwiązań.

Ocena osiągnięć dydaktycznych habilitanta jest pozytywna, choć uważam, że nie są to osiągnięcia szczególnie wyróżniające się. Jestem zdania, że, takich osiągnięć należy oczekiwać od dobrze wykonującego swój zawód nauczyciela akademickiego ze stażem zawodowym, jaki ma dr inż. Przemysław K. Ledwoń.

Bardzo dobrze oceniam dorobek naukowy, którego habilitant nie włączył do rozpraw. Jest on obszerny, został opublikowany w czasopismach o wysokim współczynniku oddziaływania (parametr IF). Jego tematyka jest spójna z tematyką prac składających się na habilitację.

Bardzo wysoko oceniam aktywność naukową habilitanta realizowaną więcej niż w jednej uczelni/instytucji naukowej. Dr inż. Przemysław K. Ledwoń dwukrotnie odbył długoterminowe zagraniczne staże naukowe i liczne wyjazdy związane z międzynarodową współpracą naukową.

Biorąc pod uwagę zarówno silne jak i słabą stronę elementów rozprawy habilitacyjnej uważam, że w sumie niemal idealnie spełnia ona wymagania określone w ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z 20 lipca 2018 roku i w komisji do sprawy przewodu habilitacyjnego będę głosował za rekomendowaniem Radzie Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej podjęcie kroków w celu nadania dr. inż. Przemysławowi K. Ledwonowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki chemiczne.

Podpisano odręcznie przez autora

Łódź, 3 lutego 2021