

Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych w związku z
ubieganiem się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

**Analiza wpływu budowy związków typu donor-akceptor
i donor-akceptor- donor na ich właściwości fizykochemiczne pod
kątem zastosowań w nowoczesnych technologiach**

Dr Michał Filapek

Instytut Chemii

Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych

Uniwersytet Śląski w Katowicach

Załącznik 3

Dziedzina nauk ścisłych i przyrodniczych

Dyscyplina naukowa: nauki chemiczne

Katowice 2023

1. Imię i nazwisko.

Michał Filapek

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- **Magister chemii**, Instytut Chemii, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, Uniwersytet Śląski w Katowicach, 19 VI 2009
„Synteza tiofenowych pochodnych pirydyny, bipirydyny i terpirydyny oraz ich właściwości kompleksujące” Promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Krompiec
- **Doktor nauk chemicznych**, Instytut Chemii, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, Uniwersytet Śląski w Katowicach, 17 XII 2013
„Nowe nanomateriały dla organicznej elektroniki z grupy tiofenów i politiofenów : otrzymywanie i badanie właściwości.”
Promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Krompiec
(doktorat obroniony z wyróżnieniem)

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- 14.10.2013-17.02.2014; Uniwersytet Śląski, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, stanowisko: chemik
- 18.02.2014- 31.07.2016; Uniwersytet Śląski, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, stanowisko: asystent naukowo-dydaktyczny
- 01.08.2016- 30.09.2019; Uniwersytet Śląski, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, stanowisko: adiunkt
- 01.10.2019-nadal; Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, stanowisko: adiunkt

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

I. Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, o których mowa w art.219 ust. 1. Pkt 2 Ustawy

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.

Analiza wpływu budowy związków typu donor-akceptor i donor-akceptor- donor na ich właściwości fizykochemiczne pod kątem zastosowań w nowoczesnych technologiach

4.2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

*- autor korespondencyjny

IF- współczynnik oddziaływania czasopisma

PKT: Punkty MEiN (dawniej MNiSW) w roku publikacji

H1. Filapek M.*, Matussek M., Szlapa A., Kula S., Pająk M.

“The influence of experimental conditions and intermolecular interaction on the band gap determination. Case study of perylene diimide and carbazole-fluorene derivatives”

Electrochimica Acta, **216**, 2016, 449. IF₍₂₀₂₃₎= 7.3, PKT=40

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; zaplanowaniu struktur związków; wykonaniu i analizie pomiarów spektroskopowych oraz elektrochemicznych; napisaniu manuskryptu; korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma.

H2. Kula S., Szlapa A., Malecki J. G., Maroń A., Matussek M., Schab-Balcerzak E., Siwy M., Domanski M., Sojka M., Danikiewicz W., Krompiec S., **Filapek M.***

Filapek

“Synthesis and photophysical properties of novel multisubstituted benzene and naphthalene derivatives with high 2D- π -conjugation”

Optical Materials, **47**, 2015, 118, IF₍₂₀₂₃₎= 3.9, PKT=35

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; współudział w opracowaniu struktur związków; wykonaniu i analizie pomiarów elektrochemicznych oraz spektroelektrochemicznych; napisaniu większości manuskryptu; korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma.

H3. Szłapa-Kula* A.; Kula S.; Filipek P.; Krompiec S.; **Filapek M.***

“The Influence of the Intramolecular 2D Interactions on the Physicochemical Properties of Hexasubstituted Benzene Derivatives”

Energies, **16**, 2023, 480. IF₍₂₀₂₃₎= 3.2, PKT=140

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; współudział w opracowaniu struktur związków; wykonaniu i analizie pomiarów elektrochemicznych oraz spektroelektrochemicznych; napisaniu większości manuskryptu; korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem (Miniatura, nr 2017/01/X/ST5/01786) obejmującym część badań opisanych w tej pracy.

H4. Kula S., Szłapa-Kula A., Krompiec S., Gancarz P., **Filapek M.***

“An electrochromic behavior of novel polythiophenes obtained from unsymmetrical monomers- a comprehensive study”

Synthetic Metals, **247**, 2019, 202-211. IF₍₂₀₂₃₎= 4.4, PKT=30

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; współudział w opracowaniu struktur związków; wykonaniu i

Filapek

analizie pomiarów elektrochemicznych oraz spektroelektrochemicznych; przebadaniu właściwości elektrochromowych; napisaniu większości manuskryptu; korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem (Miniatura, nr 2017/01/X/ST5/01786) obejmującym część badań opisanych w tej pracy.

H5. Kula S. *, Szłapa-Kula A. Krompiec, S., Schab-Balcerzak E, Chrobok A., Gancarz P., **Filapek M. ***

“ New possibilities of 2-pyranone derivatives – Thermal, optical and electrochemical properties ”

Materials Science and Engineering B 263 (2021) 114820 IF₍₂₀₂₃₎= 3.6,
PKT=100

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; współudział w opracowaniu struktur związków; wykonaniu i analizie pomiarów elektrochemicznych oraz spektroelektrochemicznych; napisaniu większości manuskryptu; korekcie manuskryptu i wspólnej korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem (Miniatura, nr 2017/01/X/ST5/01786) obejmującym część badań opisanych w tej pracy.

H6. **Filapek M. ***, Hellwig H., Gancarz P., Szłapa-Kula A.

“Influence of various doping agents on organic semiconductors' physicochemical properties”

Journal of the Electrochemical Society 168, 2021, 046508 IF₍₂₀₂₃₎= 3.9,
PKT=100

Filapek

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; zaplanowaniu struktur związków; wykonaniu i analizie pomiarów elektrochemicznych oraz spektroelektrochemicznych; napisaniu manuskryptu; korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem (Miniatura, nr 2017/01/X/ST5/01786) obejmującym całość badań opisanych w tej pracy.

H7. Szłapa A., Kula S., Błaszkiwicz U., Grucela M., Schab-Balcerzak E., **Filapek M.***

“Simple donor- π -acceptor derivatives exhibiting aggregation-induced emission characteristics for use as emitting layer in OLED”

Dyes and Pigments, 129, 2016, 80-89 IF₍₂₀₂₃₎= 4.5, PKT=40

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; zaplanowaniu struktur związków; opracowaniu metody syntezy i oczyszczania związków; wykonaniu i analizie pomiarów elektrochemicznych; przeprowadzeniu i analizie badań nad zjawiskiem emisji wzmocnionej poprzez agregację; napisaniu większości manuskryptu; korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma.

H8. Filipek P.; Karoń K.; Hellwig H.; Szłapa-Kula A.; **Filapek M.***

“The Role of Intermolecular Interaction on Aggregation-Induced Emission Phenomenon and OLED Performance”

Materials; 15, 2022, 8525 ; IF₍₂₀₂₃₎= 3.7, PKT=100

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: sformułowaniu problemu naukowego; zaplanowaniu struktur związków; wykonaniu i analizie

Filapek M.

pomiarów elektrochemicznych; przeprowadzeniu i analizie badań nad zjawiskiem emisji wzmocnionej poprzez agregację; napisaniu większości manuskryptu; korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem (Miniatura, nr 2017/01/X/ST5/01786) obejmującym całość badań opisanych w tej pracy.

- 4.3. Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

4.3.1. Wprowadzenie.

Trudno sobie dzisiaj wyobrazić życie bez zdobyczy nowoczesnych technologii optoelektronicznych. Telewizory, smartfony, tablety i wiele, wiele innych urządzeń stały się już niemal nieodłącznym elementem naszej codzienności. Nim jednak nowe modele tych urządzeń trafią pod strzechy, muszą zostać gruntownie przetestowane i zoptymalizowane. Optymalizacja dotyczy zarówno urządzenia jako całości jak i jego poszczególnych podzespołów – każdego elementu składowego. W przypadku technologii zaliczanych do organicznej elektroniki taki proces optymalizacji rozpoczyna się od poznania właściwości fizykochemicznych pojedynczych molekuł tworzących poszczególne „części” urządzenia. I tu pojawia się zasadniczy problem, gdyż wiele z technik analitycznych i obliczeniowych koncentruje się na badaniu pojedynczych cząsteczek. Zatem w wielu przypadkach oddziaływania wewnątrz- i międzycząsteczkowe nie są uwzględniane (np. w obliczeniach DFT) lub są niedoszacowane, głównie ze względu na sposób przygotowania próbki (badane są roztwory rozcieńczone). Natomiast (prawie) zawsze w finalnym urządzeniu występują one w formie ciała stałego lub blendy. Niekiedy ten przeskok (między właściwościami cząsteczki w roztworze a jej właściwościami w formie ciała stałego) jest bardzo brutalny np. za sprawą mechanizmu ACQ (z ang. aggregation-caused quenching), czyli drastycznego spadku wydajności emisji w czasie wzrostu stężenia w roztworze, aż do nieakceptowalnie niskich wartości dla ciała stałego. Jest to oczywiście jedno z wielu zjawisk utrudniających powiązanie wpływu budowy pojedynczej cząsteczki na wyznaczone parametry fizykochemiczne, a docelowo na właściwości urządzeń konstruowanych na bazie danego materiału.

Postęp w dziedzinie nowoczesnych technologii jest możliwy dzięki ciągłemu sprzężeniu zwrotnemu "struktura ↔ obserwowane właściwości". Dzięki temu coraz lepiej rozumiany jest wpływ budowy cząsteczki na parametry fizykochemiczne, a w konsekwencji wydajności urządzeń konstruowanych na bazie danych związków. To z kolei pozwala lepiej zaprojektować i zsyntezować cząsteczki pod kątem „wzmocnienia” najbardziej pożądanej cechy. Niniejsze osiągnięcie naukowe jest analizą wpływu budowy cząsteczkowej na siłę oddziaływań wewnątrz- i międzycząsteczkowych a finalnie na parametry fizykochemiczne w badaniach materiałów na potrzeby nowoczesnych technologii.

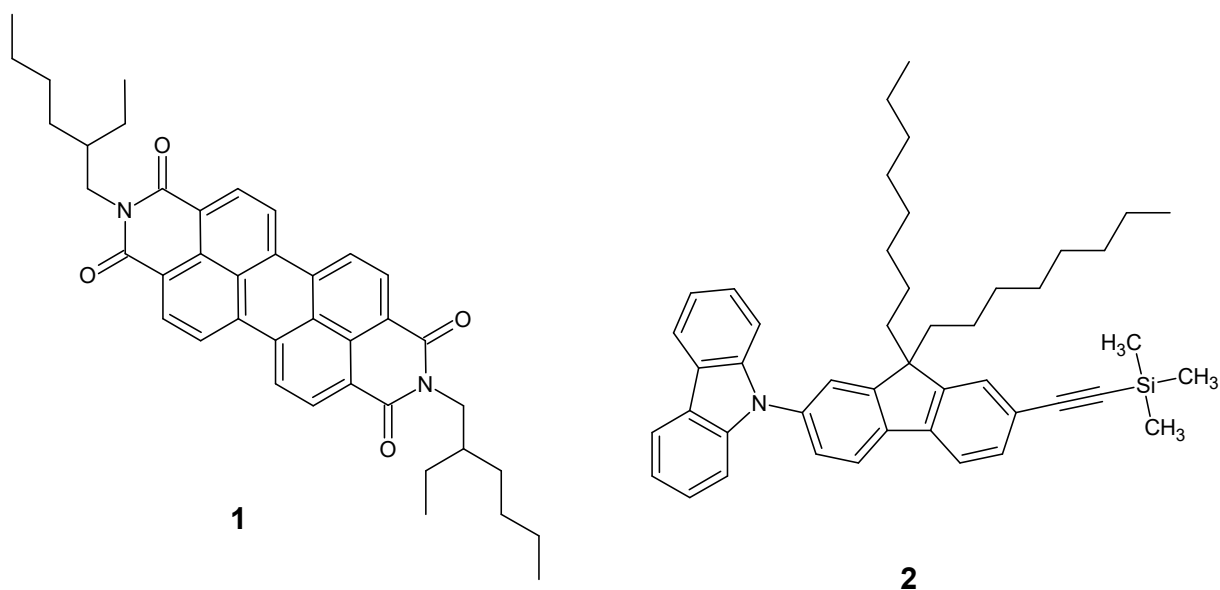
4.3.1.1. Cel badań.

Filip

Głównym celem badań było wyznaczenie wpływu budowy pojedynczej cząsteczki na „obserwowane” właściwości fizykochemiczne. Szczególnie dużą wagę przywiązano do wyjaśnienia wpływu oddziaływań wewnątrz- i międzycząsteczkowych na wyżej wspomniane parametry. Ze względu na potencjalne zastosowania badanych molekuł w organicznej elektronice główne techniki analityczne obejmowały spektroskopię absorpcyjną w zakresie UV-VIS, fluorymetrię i elektrochemię. Na podstawie badań wstępnych dokonano powiązania struktury cząsteczki z jej właściwościami co pozwoliło na zaprojektowanie nowych pochodnych o oczekiwanych właściwościach.

4.3.1.2. Wyniki badań

Badania wpływu budowy molekuly na mierzone parametry fizykochemiczne rozpoczęto od zaprojektowania i przebadania dwóch pochodnych o skrajnie różniącymi się charakterystyką oddziaływań międzycząsteczkowych. Do pomiarów wybrano dwa związki chemiczne o skrajnie różnych właściwościach fizykochemicznych, należących jednakże do intensywnie badanych pod kątem zastosowań w organicznej elektronice grup związków (Rysunek 1). Związek **1** należy do grupy związków cechujących się tendencją do tworzenia silnych π -interakcji pomiędzy płaskimi fragmentami aromatycznymi [1]. Z kolei związek **2** jest związkiem amorficznym, o wysokiej lepkości. Nie krystalizuje, nawet po schłodzeniu, co sugeruje istnienie bardzo słabych oddziaływań międzycząsteczkowych.



Rysunek 1. Struktury związków badanych w pracy [H1].

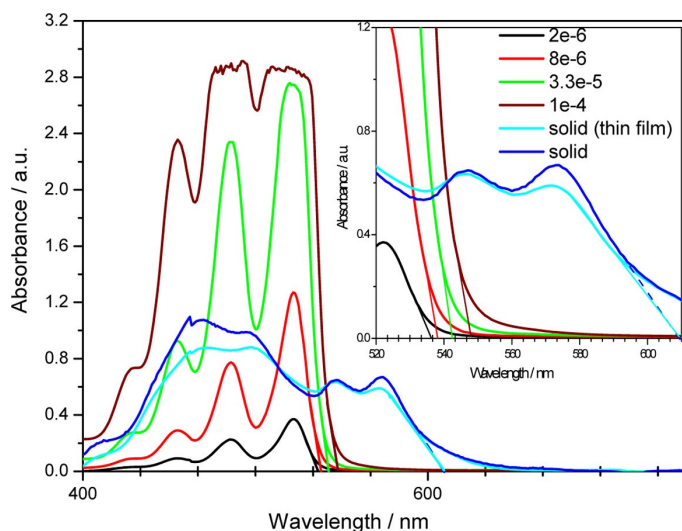
W pierwszym kroku wykonano szereg analiz NMR roztworów o różnych stężeniach **1** i **2**. Zaobserwowano iż wodory aromatyczne w pochodnej bisimidowej (**1**) w miarę wzrostu stężenia stają się coraz bardziej ekranowane. Linie sił pola magnetycznego (generowanego przez ruch wirowy w obrębie pierścieni aromatycznych) układają się w taki sposób, że wodory są coraz bardziej przesłonięte w miarę wzrostu stężenia (efekt paramagnetyczny). Jak już wykazano wcześniej w pracy [2] płaszczyzny pierścieni

aromatycznych dążą do ustawiania się równolegle (o ile nie ma przeszkód sterycznych). Powoduje to silniejsze oddziaływania typu dipol indukowany-dipol indukowany i w konsekwencji obniża energię układu. Z kolei w przypadku **2** nie zaobserwowano podobnego zachowania się molekuly. Wynika to z budowy samej cząsteczki – czyli dwu niemal ortogonalnych pierścieni aromatycznych (karbazolowego i fluorenowego). Nie jest zatem możliwe by dwie cząsteczki ułożyły się równolegle względem siebie.

Warto oczywiście pamiętać iż co prawda techniką NMR bezpośrednio mierzona jest częstotliwość rezonowania jąder wodorowych, jest ona jednak silnie uzależniona od otoczenia elektronowego (gęstości elektronowej). Jeśli zatem występuje wpływ stężenia na przesunięcia sygnałów na widmie wodorowym można spodziewać się różnic przy pomiarach innymi technikami (elektrochemicznymi czy spektroskopii UV-VIS).

I tak jak się spodziewano, podczas badań metodą spektroskopii absorpcyjnej UV-VIS, dla pochodnej **2** różnica między onsetem pików absorpcji w ciele stałym i roztworze jest niewielka – rzędu kilku nanometrów, co w przeliczeniu na optycznie wyznaczaną przerwę energetyczną (korzystając z zależności $E_{g(opt)} = 1240/\lambda_{abs}$) daje 3.44 eV (obliczone dla roztworu o stężeniu 2×10^{-6} mol/L) i 3.41 eV dla cienkiej warstwy substancji (naniesionej metodą spin-coatingu).

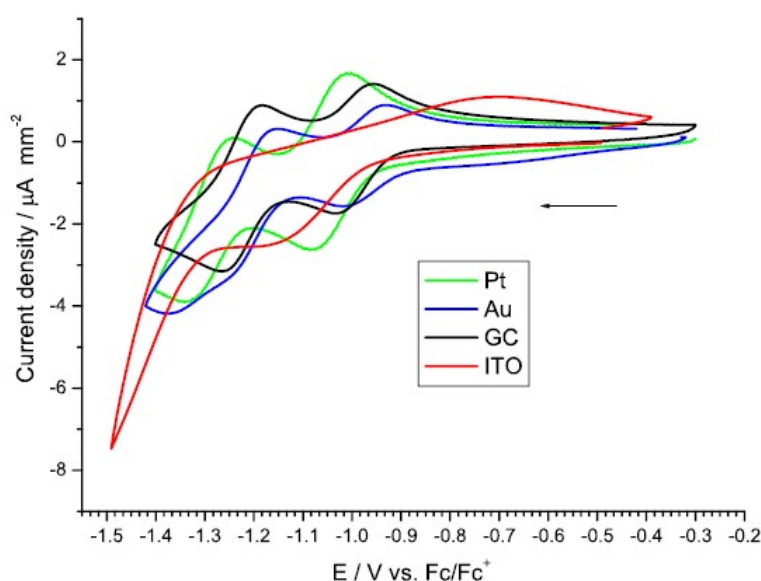
W przypadku **1** obserwowano znaczne zmniejszanie się przerwy energetycznej w miarę wzrostu stężenia – od 2.31 eV dla roztworu 2×10^{-6} mol/L do 2.04 eV dla cienkiej warstwy (widmo 1).



Widmo 1. Widmo związku **1** wykonane metodą spektroskopii absorpcyjnej UV-VIS przy różnych stężeniach substancji oraz dla proszku i cienkiej warstwy.

Podobna zależność jest oczywiście znana dla związków posiadających w swej strukturze fragment peryleno-bisimidowy [3]. Warto jednak zauważyć iż dla obu badanych pochodnych agregacja (innymi słowy oddziaływania międzycząsteczkowe) powodują zmniejszenie się „przerwy energetycznej” związku (choć w różnym stopniu). Warto jednak pamiętać że w przypadku rejestrowania widm UV-VIS mamy do czynienia z generowaniem ekscytronów Frenkela – wzbudzony elektron pozostaje w kontakcie

kulombowskim z dziurą. Odróżnia to w sposób fundamentalny tę technikę od pomiaru elektrochemicznego gdzie podczas redukcji elektron dostarczany jest „do układu” (z powierzchni elektrody). Analogicznie, podczas utleniania elektron zostaje „wyprowadzony” z układu na elektrodę. Dlatego wątpliwa jest metoda stosowana niekiedy w literaturze polegająca na obliczaniu energii HOMO korzystając z zależności $E_g(\text{opt})-\text{LUMO}$ (i analogiczne $\text{LUMO}=\text{E}_g(\text{opt})-\text{HOMO}$). Błąd może być jeszcze dodatkowo powiększony jeżeli do równania użyte są wartości zmierzone w roztworze i porównane z uzyskanymi dla ciała stałego. Trzeba również mieć na uwadze iż metodami elektrochemicznymi bezpośrednio mierzony jest skok potencjału przy przekraczaniu granicy faz roztwór – powierzchnia elektrody. Niekiedy występują jednak oddziaływania powierzchni samej elektrody z badanym związkami (szkandarowym przykładem jest tworzenie się kompleksów wodorowych na powierzchni np. platyny). Dlatego właśnie wątek badań elektrochemicznych rozpoczęto od przeanalizowania wpływu materiału elektrody na wynik pomiaru.

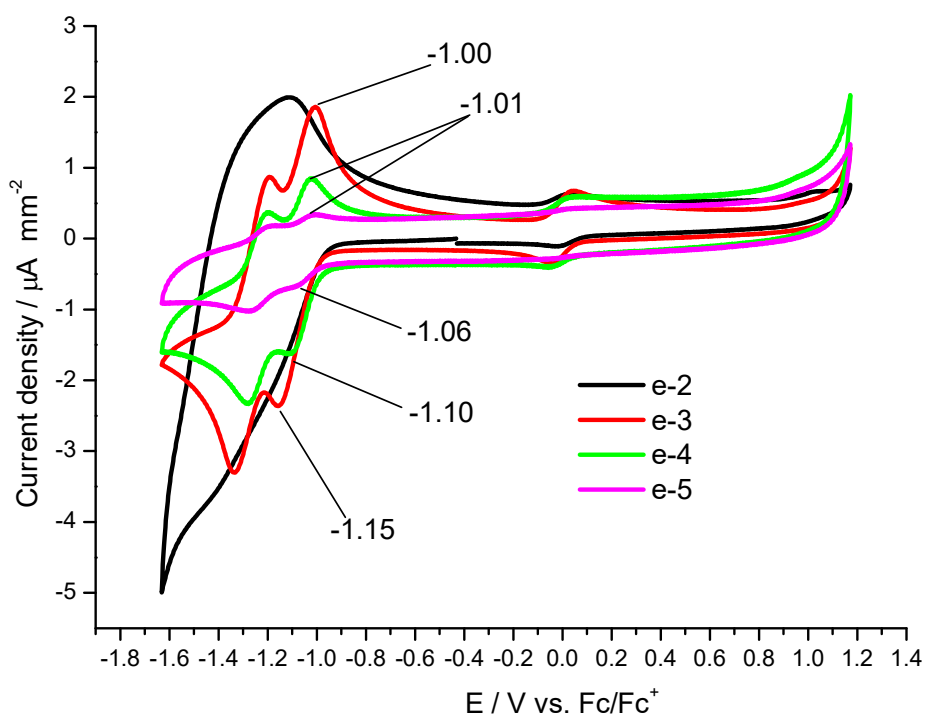


Woltamogram 1. Woltamogram wykonany metodą woltamperometrii cyklicznej dla pochodnej **1** ($c=1 \times 10^{-5}$ mol/L) dla różnych elektrod; szybkość przemiatania potencjałem $v = 100$ mV/s, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 .

Jak widać na powyższym woltamogramie (Woltamogram 1) onsety wyznaczone dla omawianego związku na elektrodach złotej i GC (węgiel szklisty) są niemal identyczne (-0.90V i -0.91V). Z kolei w przypadku stosowania elektrody Pt onset jest niższy o około 50 mV (-0.95V). Prawdopodobnie w przypadku platyny powstaje „słaby” powierzchniowy kompleks z O-donorowym imidem, co nieco utrudnia przepływ ładunku. Co również istotne różnica między onsetami $E_{1\text{red}}$ (redukcja neutralnej cząsteczki do anionu) i $E_{2\text{red}}$ (redukcja anionu cząsteczki do dianionu) zarejestrowane na Au i GC wynosi odpowiednio: 220mV i 230mV (więc bardzo zbliżona wartość), natomiast dla Pt wynosi ona nieco ponad 300mV, co również sugeruje trudności z przeniesieniem ładunku. Niemniej jednak, w każdym przypadku procesy na elektrodach przewodnikowych są w pełni odwracalne z formalnego (termodynamicznego) punktu widzenia. Niekiedy do pomiarów stosowane są elektrody ITO (półprzewodnikowe), co jest szczególnie uzasadnione w kontekście organicznej elektroniki. Jak widać w tym przypadku procesy są *quasi*-odwracalne, ponadto onset pierwszego stopnia redukcji jest przesunięty do niższych

wartości ($E_{red} = -1.02V$). W przypadku utlenienia również obserwowano pewne różnice w onsetach, co jednak ważniejsze w przypadku elektrody platynowej i ITO pik utlenienia jest znacznie słabiej widoczny (mniejszy prąd piku). Tłumaczy fakt iż niekiedy nie udaje się wyznaczyć potencjału utlenienia dla pochodnych imidowych na tych elektrodach. Natomiast korzystając z elektrod GC i Au są one ostre i dobrze zarysowane, dlatego warto w przypadku trudności pomiarowych zdecydować się na użycie innego typu elektrody.

Przeanalizowano również czy i jak stężenie badanej substancji wpływa na przerwę energetyczną (E_g) wyznaczoną elektrochemicznie. Jak wiadomo, potencjał mierzony jest zależny od aktywności a badanej substancji a nie stężenia ($E = E^0 + (RT/zF)\ln a_i$). Zatem zmiana współczynnika aktywności (poprzez zmianę stężenia) musi wpływać na obserwowany potencjał (zmienia się człon logarytmiczny wyrażenia). Szczególnie widoczne powinno to być przy porównaniu wartości granicznych. Należy również zauważyć że metoda woltamperometrii cyklicznej pozwala również określić termodynamiczny charakter procesu elektrodowego (odwracalny, *quasi*-odwracalny, lub nieodwracalny). Szczególnie interesujące są oczywiście procesy odwracalne, czyli takie dla których różnica maksimum piku anodowego i katodowego $|E_{pc} - E_{pa}|$ wynosi 56 mV (oczywiście dla procesu jednoelektronowego). Ponadto, średnia tych dwóch wartości (jako dogodny przybliżenie potencjału standardowego E^0) też jest niekiedy stosowana do analizy materiałów na potrzeby nowoczesnych technologii [4]. Niemniej jednak, najczęściej stosowanym parametrem jest onset piku [5,6].



Woltamogram 2. Woltamogram wykonany metodą woltamperometrii cyklicznej dla pochodnej **1** dla różnych stężeń badanej substancji; szybkość przemieszczania potencjałem $v = 100 \text{ mV/s}$, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 .

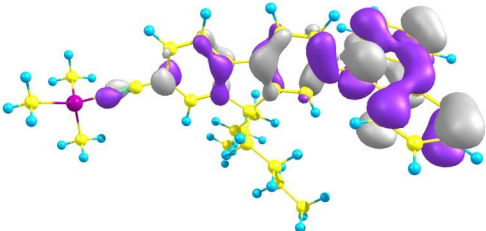
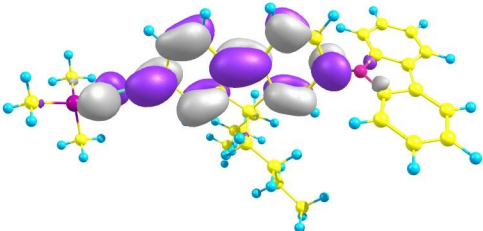
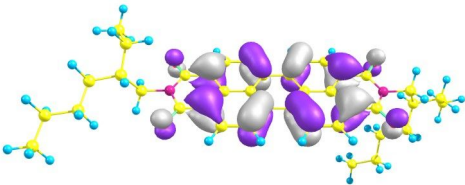
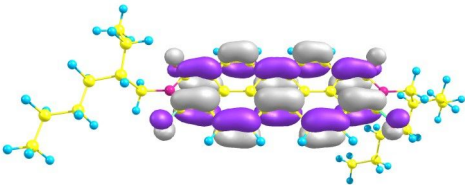
Badania wykazały iż zmiana stężenia tylko nieznacznie wpływa na onset piku (Woltamogram 2.), natomiast ma dość duży wpływ na jego maksimum (przesunięcie o około 50mV przy 10-krotnym wzroście stężenia). Siłą rzeczy wpływa to również na

wartość E^0 wyznaczaną z maksimum pików. Co jednak ważne przy przekroczeniu pewnej granicy stężenia procesy redukcji przestają mieć odwracalny charakter z termodynamicznego punktu widzenia.

Wykazano również znaczne różnice pomiędzy parametrami elektrochemicznymi wyznaczanymi dla substancji w formie ciała stałego (osadzonego na elektrodzie metodą spin-coatingu) a tych wyznaczanych dla jej roztworów rozcieńczonych. W przypadku pochodnej karbazolu utlenianie zachodzi nieco łatwiej dla ciała stałego. Ponadto dla badań prowadzonych dla substancji rozcieńczonej można zarejestrować charakterystyczną dla karbazolu nieodwracalną falę, niewykształconą w pełni w przypadku ciała stałego. Natomiast znacznie większe rozbieżności zaobserwowano robiąc analogiczne porównanie (badania dla substancji rozcieńczonej i ciała stałego naniesionego na powierzchnię elektrody) dla pochodnej perylenowej. Zaobserwowano, że zarówno utlenianie, jak i redukcja w tym przypadku zachodzi znacznie trudniej w ciele stałym niż w roztworze. Skutkuje to również znaczącą różnicą „przerwy energetycznej” wyznaczonej elektrochemicznie – E_g dla substancji rozpuszczonej wynosi 1.71 eV natomiast wyznaczona dla ciała stałego wzrasta do 2.39 eV.

Wyniki eksperymentalne skonfrontowano również z obliczeniami wykonanymi metodą DFT. Warto tutaj podkreślić iż w obu przypadkach orbitale graniczne leżą na tych samych fragmentach cząsteczki (choć w przypadku **1** częściowo), co oznacza iż przeniesienie elektronu między nimi jest możliwe.

Tabela 1. Kontury orbitali HOMO I LUMO dla związków **1** i **2**

	HOMO	LUMO
1		
	$E = -5.79 \text{ eV}$	$E = -1.86 \text{ eV}$
2		
	$E = -6.14 \text{ eV}$	$E = -3.68 \text{ eV}$

Wyznaczono zarówno energię orbitali HOMO i LUMO jak również potencjały jonizacji (IP) oraz powinowactwa elektronowego (EA). Eksperymentalne wartości IP i EA wyznaczono korzystając z zależności:

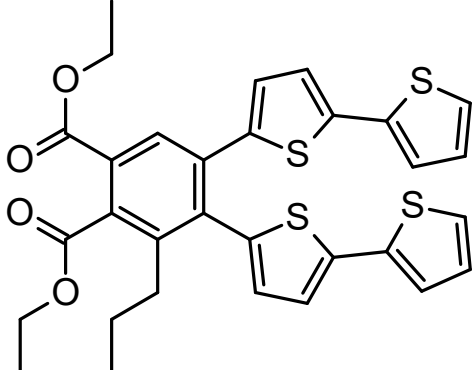
$$IP(\text{eV}) = |e|(E_{\text{ox}(\text{onset})} + 5.1); \text{ natomiast } EA(\text{eV}) = -|e|(E_{\text{red}(\text{onset})} + 5.1) \quad [7]$$

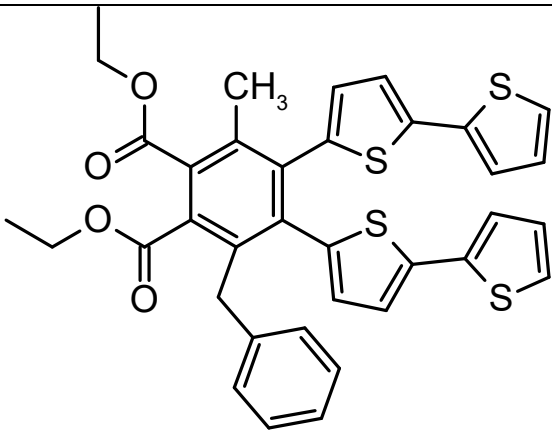
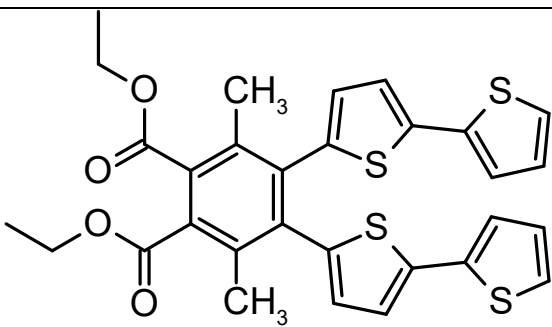
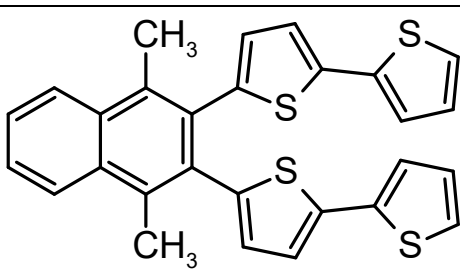
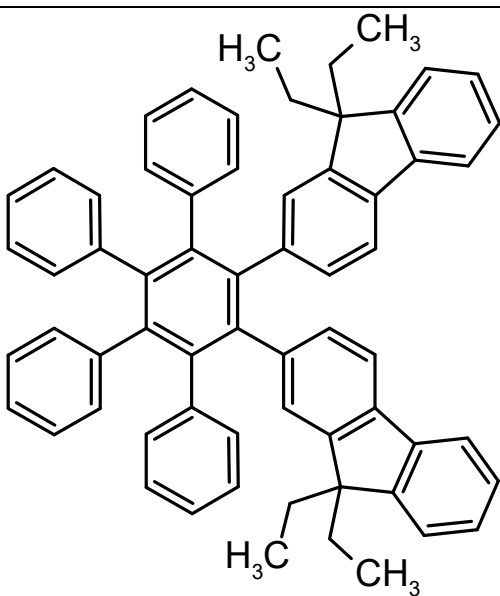
W obu przypadkach optycznie wyznaczona przerwa energetyczna jest większa niż elektrochemiczna. Obie jednak są i tak mniejsze niż obliczona metodami teoretycznymi, co jest zresztą często spotykane w literaturze[6,8]

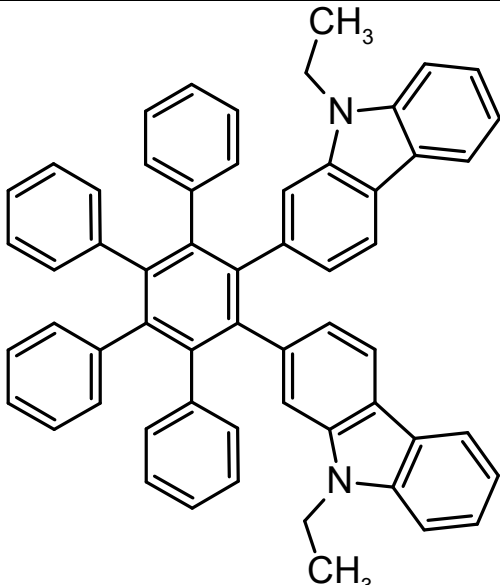
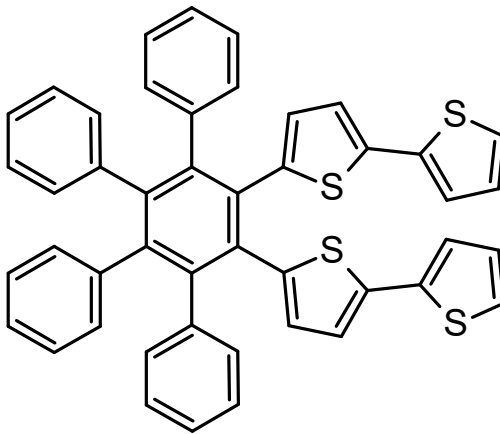
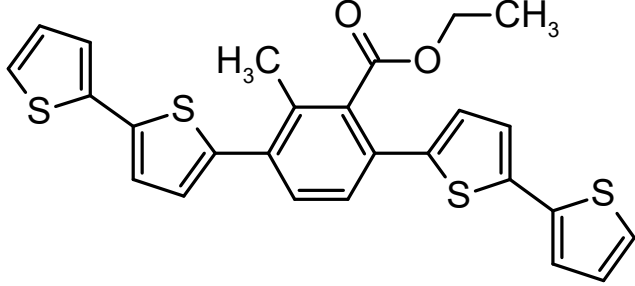
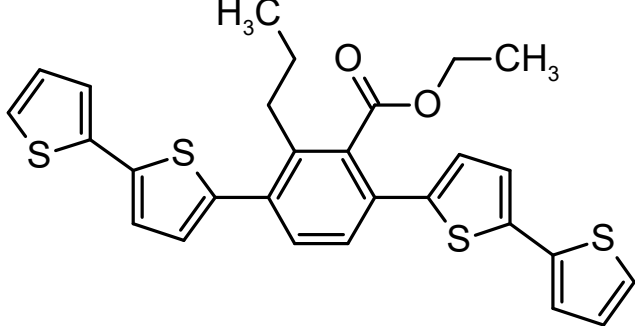
Bitiofenowe pochodne typu D-A-D

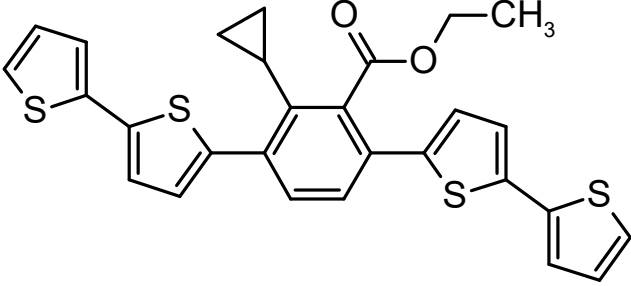
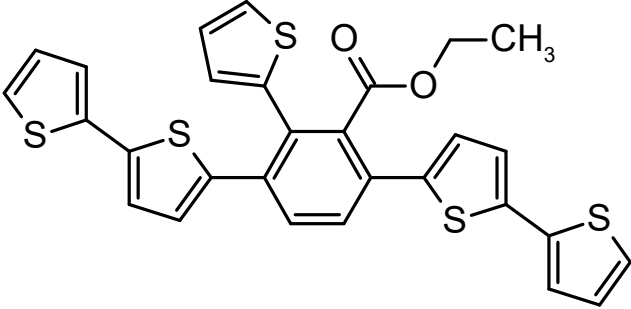
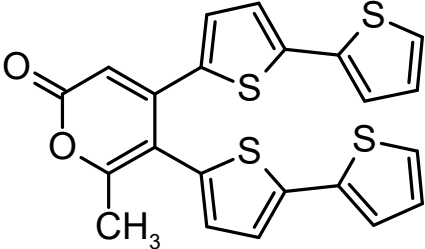
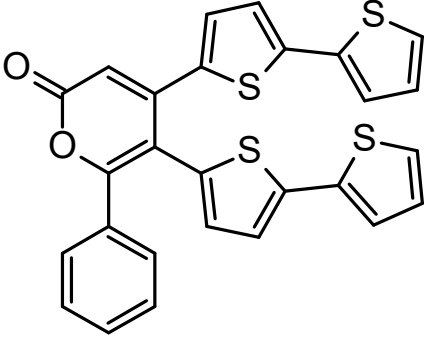
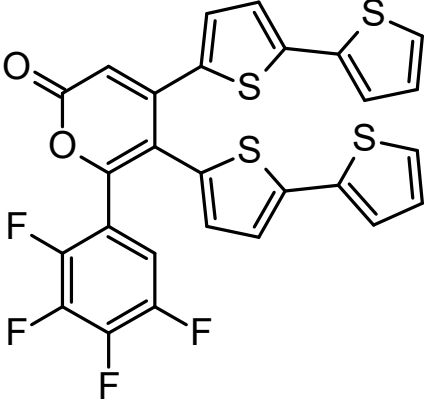
Organiczne układy typu donor-akceptor-donor cieszą się ogromnym zainteresowaniem ze strony badaczy zajmującymi się nowoczesnymi technologiami. Jak dotąd znalazły one zastosowanie przy konstrukcji organicznych diod elektroluminescencyjnych, tranzystorów polowych, czy urządzeń elektrochromowych [9]. Dzięki zastosowaniu takiej właśnie architektury molekularnej pozwalają one na stosunkowo łatwe modyfikacje podstawników przy zachowaniu pożądanych parametrów fotofizycznych [9,10]. Wiele z pochodnych D-A-D wykazuje również niezwykle pożądane zjawisko termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji[11-13]. Ponadto, wiele z tych pochodnych (dodatkowo) należy do grupy materiałów wykazuje tendencję do odwracalnych międzysystemowych przejść pomiędzy wyżej leżącymi stanami trypletowymi ($T_n, n \geq 2$) a stanem singletowym S_1 (ang. high reversed intersystem crossing (hRISC) [14]). Jeśli fragment donorowy jest fragmentem umożliwiającym elektropolimeryzację to cząsteczka taka jest jednocześnie monomerem. I właśnie na takich pochodnych skoncentrowano się w czasie niniejszych badań (H2-H6). Struktury molekuł które zaprojektowano, zsyntezowano i przebadano zaprezentowanych w tabeli 2 (poniżej).

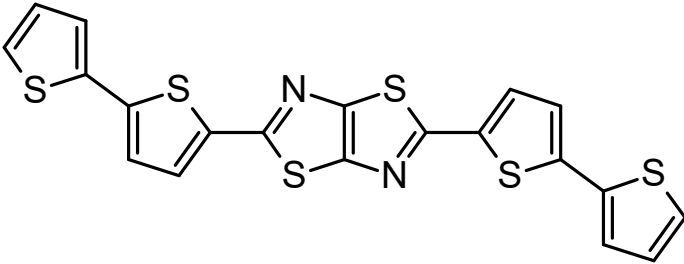
Tabela 2. Zestawienie pochodnych typu D-A-D zaprojektowanych, zsyntezowanych i przebadanych w ramach niniejszego osiągnięcia naukowego.

Struktura	Numer związku	Publikacja
	3	H2

	4	H2
	5	H2
	6	H2
	7	H3

 <p>Chemical structure 8: A central benzene ring substituted with four phenyl groups and two N-ethyl-1H-indol-3-yl groups. The indole rings are attached at the 3-position, and their nitrogen atoms are substituted with ethyl groups (CH₂CH₃).</p>	8	H3
 <p>Chemical structure 9: A central benzene ring substituted with four phenyl groups and two 2,5-bis(thiophen-2-yl)thiophene groups.</p>	9	H3
 <p>Chemical structure 10: A central benzene ring substituted with two 2,5-bis(thiophen-2-yl)thiophene groups, a methyl group (H₃C), and an ethyl ester group (COOCH₂CH₃).</p>	10	H4
 <p>Chemical structure 11: A central benzene ring substituted with two 2,5-bis(thiophen-2-yl)thiophene groups, a propyl group (H₃C-CH₂-CH₂-), and an ethyl ester group (COOCH₂CH₃).</p>	11	H4

	12	H4
	13	H5
	14	H5
	15	H5
	16	H5

	17	H6
--	----	----

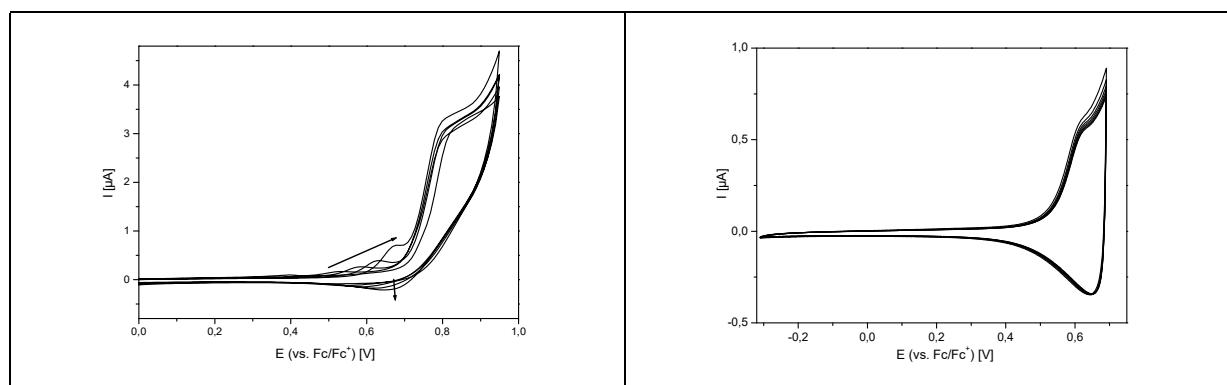
Pierwsza seria przebadanych układów D-A-D to formalnie (poza 1 wyjątkiem) heksapodstawione pochodne benzenu (ang. hexasubstitutedbenzene (HSB))[H2,H3]. Zostały one tak zaprojektowane by centralny pierścień benzenowy zawierał w pozycjach 1 i 2 fragmenty π -nadmiarowe, natomiast w pozostałych pozycjach podstawniki akceptorowe i/lub modyfikujące właściwości fizykochemiczne molekuly. Tego typu molekuly znacznie zyskały na znaczeniu dopiero w XXI wieku [15-18]. Mimo iż wzór strukturalny może być nieco mylący, dość łatwo można się domyślić że cząsteczki tego typu nie są płaskie, czyli podstawniki są, w przybliżeniu, ortogonalne względem centralnego pierścienia. Zazwyczaj, w miarę zwiększania ilości pierścieni aromatycznych rośnie siła oddziaływań międzycząsteczkowych (typu $\pi - \pi$ i $C - H \cdots \pi$). Jednakże dla tej konkretnej grupy związków wewnętrzcząsteczkowe oddziaływania typu 2D mają najczęściej charakter dominujący, co przekłada się na nietypowe właściwości fizykochemiczne.

Pochodne **3-6** zsyntezowane zostały w oparciu o tandem reakcji cykloaddycji [2+1+2+1] i [4+2] (Dielsa-Aldera). Jako substraty wykorzystano diacetyleny, co daje możliwość stosunkowo łatwego uzyskiwania pochodnych benzenowych podstawionych podstawnikami heteroaromatycznymi w pozycjach 1 i 2 (co byłoby trudne w oparciu o inne metody, np. sprzęganie). Powstające jako produkt przejściowy piranony są z jednej strony „zabezpieczonym dienem” (w warunkach reakcyjnych następuje ekstruzja CO_2) z drugiej jednak posiadają bardzo ciekawe właściwości, co będzie omówione szerzej przy omawianiu pracy **H4**. Co ciekawe, w ramach badań wykazano iż stosowany w pierwszym (tj. cykloaddycji [2+1+2+1]) etapie katalizator ($[ReBr(CO)_3(THF)]_2$) nie tylko nie przeszkadza w kolejnych etapach, lecz wręcz podnosi wydajność reakcji Dielsa-Aldera. Pozwala to na prowadzenie reakcji według wariantu „one pot” co znacząco upraszcza procedurę.

Uzyskane pochodne wykazywały ciekawe właściwości już podczas analizy spektroskopowej metodą 1H NMR. Zazwyczaj sygnał wodorów tiofenowych pojawia się przy około 7.2 ppm, natomiast w przypadku związków **3-6** jeden z sygnałów tego pierścienia pojawia się przy znacznie mniejszym przesunięciu (6.83ppm dla **3**; 6.44ppm dla **4**; 6.59ppm dla **5**; 6.64ppm dla **6**). Oznacza to iż wodory te są znacznie przesłonięte w wyniku silnych oddziaływań elektronów π sąsiadujących pierścieni aromatycznych (tzw. delokalizacja toroidalna) [19-21].

W ramach pracy **H2** skupiono się przede wszystkim na właściwościach elektrochemicznych omawianych pochodnych bitiofenowych. Analiza zachowania się pochodnych diestrowych (**3-5**) podczas redukcji sugeruje iż proces ten zachodzi niemal wyłącznie na centralnym pierścieniu benzenowym ze znaczącym udziałem grup $-COOEt$ co oczywiście nie jest zaskoczeniem biorąc pod uwagę silnie akceptorowy charakter tychże grup. Dodatkowo potwierdzono te obserwacje za pomocą obliczeń metodą DFT, które wykazały iż orbital LUMO rzeczywiście położony jest na tych fragmentach cząsteczki. Z kolei orbital HOMO według tych predykcji powinien obejmować wyłącznie

podstawniki bitiofenowe. Z formalnego punktu widzenia tego typu związki są monomerami polimerów przewodzących gdyż posiadają dwa, terminalne pierścienie elektropolimeryzowalne. Co jednak zaskakujące, mimo iż podczas utleniania każdorazowo powstawał kationorodnik, polimeryzacja zachodziła jedynie dla pochodnej **3** (czyli jedynej w serii pentapodstawionej pochodnej benzenu). Jest to najprawdopodobniej spowodowane opisanym powyżej silnym oddziaływaniem obu podstawników bitiofenowych będących względem siebie w pozycjach orto. Co więcej, wydaje się bardzo prawdopodobne iż po utlenieniu jednego z pierścieni tiofenowych, oba podstawniki jeszcze bardziej się do siebie zbliżą (na skutek oddziaływania utlenionego pierścienia tiofenowego z chmurą elektronową sąsiedniego tiofenu). Finalnie powoduje to iż ładunek dodatni rozproszony jest na wszystkie cztery pierścienie heteroaromatyczne, co powoduje znaczącą stabilizację kationorodnika i utrudnia międzycząsteczkową dimeryzację. Tę dodatkową stabilizację potwierdza również bardzo niski potencjał potrzebny do zainicjowania utleniania badanych pochodnych np. 0.39V dla **6**, czyli znacznie mniej niż dla izolowanego podstawnika bitiofenowego [22]. Jedynie w przypadku **3** udało się przeprowadzić elektropolimeryzację, choć wydajność procesu nie jest duża i polimer narasta powoli (woltamogram 3).

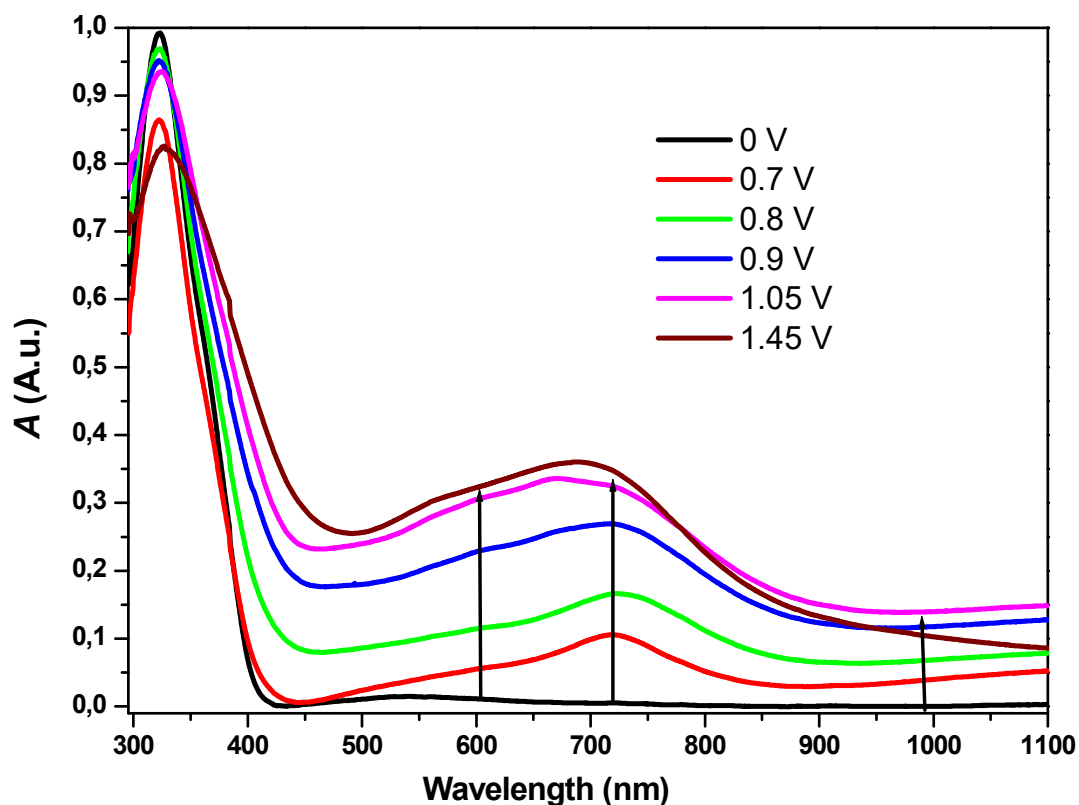


Woltamogram 3. Woltamogram obrazujący elektropolimeryzację pochodnej **3** (z lewej) oraz badanie stabilności polimeru *poli-3* (z prawej); szybkość przemiatania potencjałem $v = 100 \text{ mV/s}$, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

Sam polimer badany w roztworze pozbawionym monomeru jest stosunkowo stabilny (maksymalny prąd piku spada powoli w miarę kolejnych cykli) oraz jest dość dobrze przewodzący o czym świadczy "ostry spadek" natężenia prądu przy odwróceniu polaryzacji elektrody. W związku z powyższym wykonano również serię pomiarów spektroelektrochemicznych.

Spektroelektrochemia UV-VIS jest bardzo użyteczną techniką w czasie badań związków na potrzeby organicznej elektroniki. Dzieje się tak przede wszystkim ze względu na fakt iż umożliwia ona obserwację jak zmieniają się "parametry optyczne" materiału podczas przyływu prądu wymuszającego jego utlenienie lub redukcję. Badania takie wymagają jednakże znajomości zarówno właściwości elektrochemicznych jak i absorbcyjnych w badanym zakresie (zwykle 300-900nm, choć niekiedy rozszerzone są one w kierunku podczerwieni). Ponadto, co zazwyczaj jest kluczowym problemem, badana pochodna nie może ulegać rozkładowi podczas procesów elektrodowych i

oczywiście posiadać budowę zapewniającą istnienie przejść elektronowych w obszarze widzialnym, czyli zazwyczaj albo układ donorowo-akceptorowy, albo rozbudowany układ sprzężonych wiązań podwójnych (np. rozbudowane fragmenty aromatyczne).



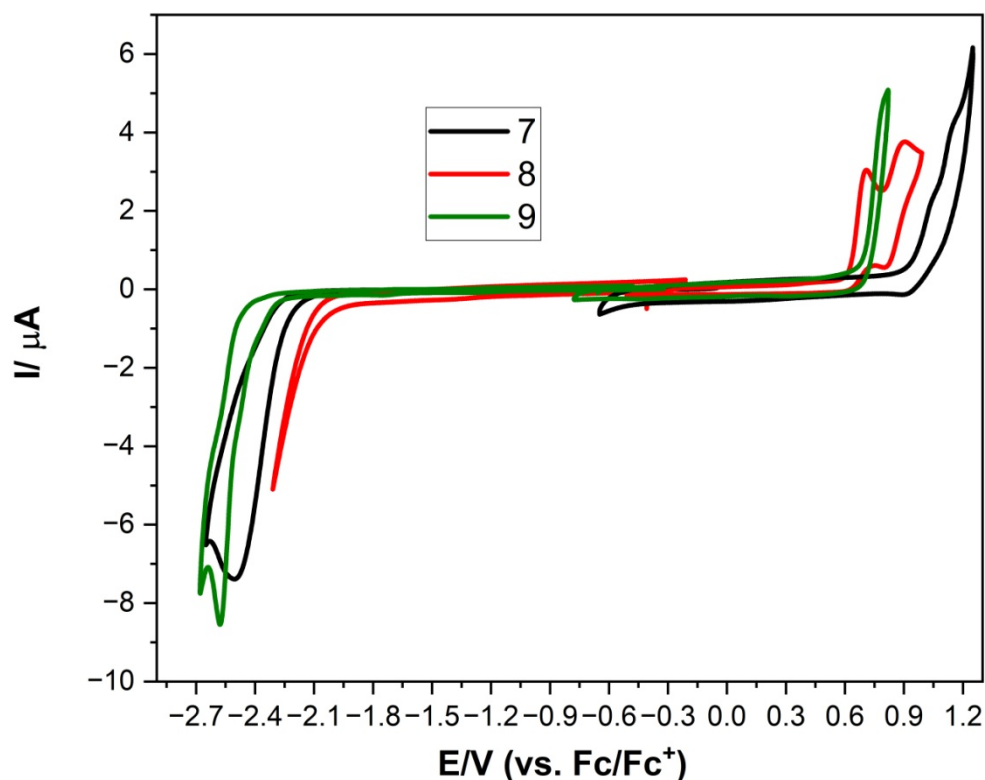
Widmo 2. Spektroelektrochemia związku **3**. Pomiar przy użyciu elektrody ITO, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

W przypadku pochodnej **3** obniżenie potencjału zewnętrznego poniżej poziomu potrzebnego do redukcji niemal nie wpływa na widmo UV-VIS. Oznacza to iż elektron przyjmowany jest na fragment cząsteczki która nie ma wkładu w przejścia elektronowe z badanego zakresu (czyli po raz kolejny potwierdza iż orbital LUMO leży na centralnym fragmencie cząsteczki). Z kolei podniesienie potencjału powyżej E_{ox} powoduje pojawienie się charakterystycznego pasma polaronowego (Widmo 2) [23, 24]. Dla pozostałych pochodnych tej serii (**4-6**) po utlenieniu pojawia się dodatkowe widmo przy nieco niższych energiach (przesunięte o około 100nm do wyższych długości). Zanika ono jednak po powrocie potencjału poniżej E_{ox} (czyli po zredukowaniu do formy neutralnej), innymi słowy proces utleniania jest odwracalny.

Dalsze badania heksapodstawionych pochodnych benzenu przeprowadzono dla 3 pochodnych (**7-9**) posiadających w pozycjach 3,4,5 i 6 pierścienie fenylowe, natomiast w pozycjach 1 i 2 podstawniki π -nadmiarowe [**H3**]. Jako metodę syntezy tak zaprojektowanych molekuł wybrano reakcję cykloaddycji [4+2] pomiędzy odpowiednim

alkinem (wprowadzającym podstawniki 1 i 2 w finalnej cząsteczce), a tetrafenylocyklopentadienonem. Reakcja przebiega w wariacie temperaturowym (300°C) z ekstruzją CO, bez udziału katalizatora. Także i dla tych związków już na widmach 1H NMR zaobserwowano silne przesłanianie wodorów w pierścieniach (hetero)aromatycznych znajdujących się w pozycjach 1 i 2.

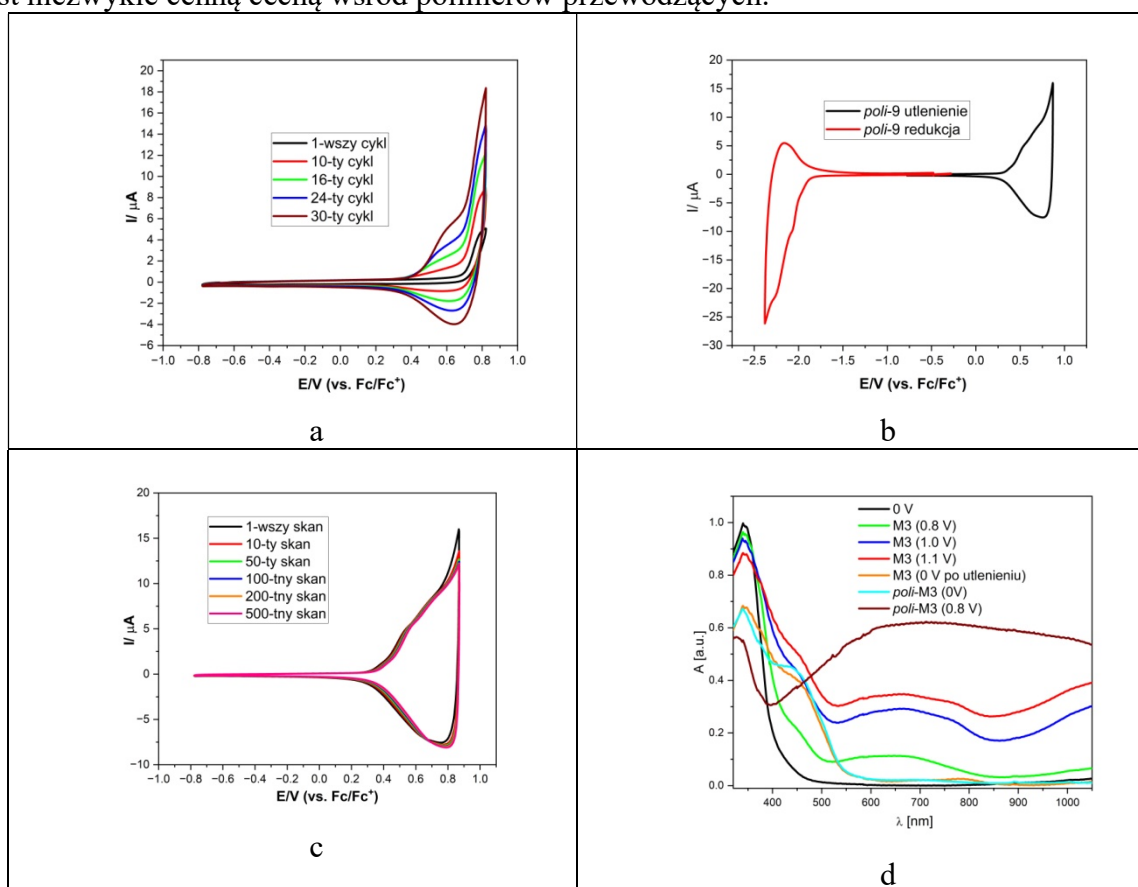
Podczas badań elektrochemicznych wykonano szereg pomiarów metodami DPV i CV. Zaobserwowano iż potencjały redukcji są niższe niż przewidywane, czyli przyjęcie dodatkowego elektronu jest utrudnione (woltamogram 4). W formie neutralnej ruch wirowy w obrębie każdego z podstawników aromatycznych wytwarza pole magnetyczne które oddziałują z elektronami sąsiedniego pierścienia aromatycznego stabilizując cały układ (obniżając energię). Natomiast przyjęcie dodatkowego elektronu musiało by nastąpić na orbital antywiązący któregoś z układów aromatycznych, co negatywnie wpłynęłoby na energię układu, zarówno poprzez podniesienie energii w obrębie samego pierścienia, ale także osłabiłoby korzystne oddziaływania między podstawnikami. Analogicznie, w przypadku procesów utleniania, zachodzą one przy niższych potencjałach niż dla analogów bez podstawników fenylowych. W tym bowiem przypadku ładunek dodatni stabilizowany jest przez elektrony π sąsiednich podstawników.



Woltamogram 4. Woltamogramy wykonane metodą woltamperometrii cyklicznej; szybkość przemiatańa potencjałem $v = 100 \text{ mV/s}$, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

Co jednak ważne, w przeciwieństwie do bitiofenowych pochodnych 4,5 i 6 (opisanych wcześniej) pochodna 9 ulegała elektropolimeryzacji (schemat 1). Uzyskany

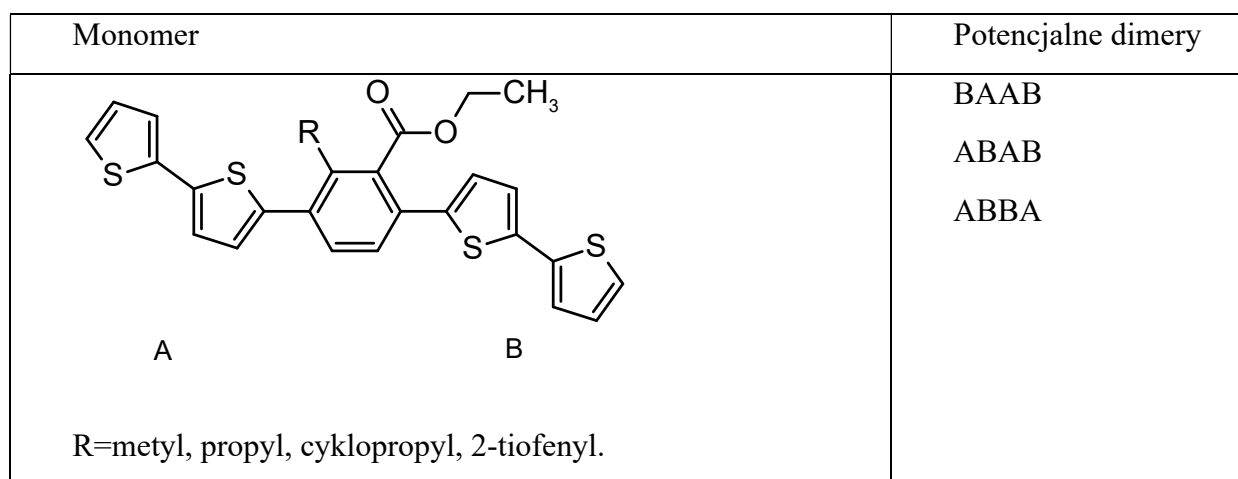
polimer cechuje się wysoką stabilnością zarówno podczas p- jak i n-domieszkowania, co jest niezwykle cenną cechą wśród polimerów przewodzących.



Schemat 1. Woltamogram obrazujący elektropolimeryzację pochodnej **9** (a); zachowanie redoksove *poli-9* (b); stabilność *poli-9* podczas p-domieszkowania (c); spektroelektrochemię *poli-9* przy użyciu elektrody ITO (d); elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

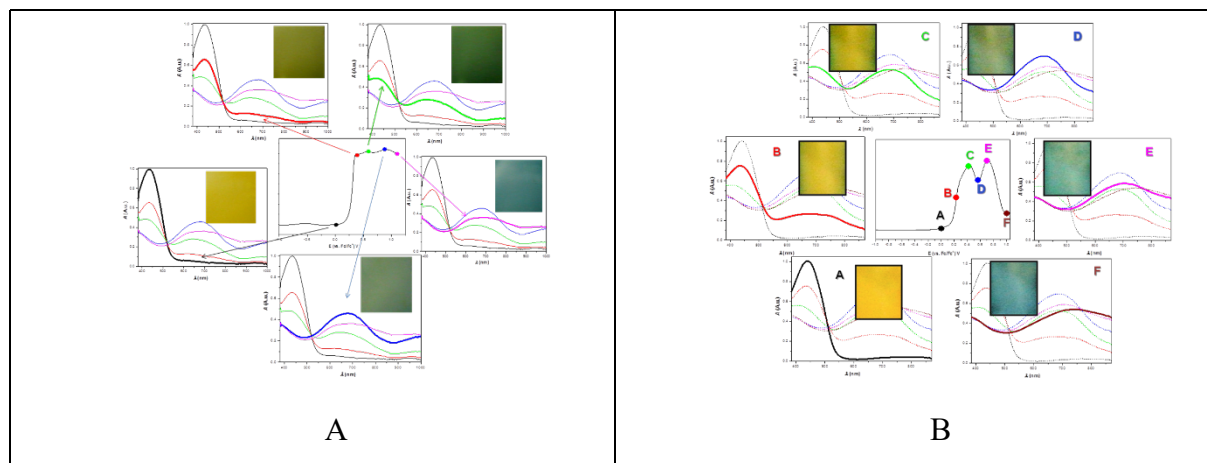
Wykonano również serię pomiarów spektroelektrochemicznych, zarówno w wariancie monitorującym zmiany w widmie UV-VIS w trakcie elektropolimeryzacji monomeru (potencjostatycznie), jak i w wariancie bardziej "klasycznym", czyli dla polimeru osadzonego na elektrodzie ITO umieszczonej w roztworze bez monomeru. Czysty roztwór monomeru (związku **9**) absorbuje światło poniżej 400nm, natomiast po przekroczeniu potencjału utleniania pojawia się dodatkowe pasmo między 400 a 500nm, co oznacza iż następuje dimeryzacja (przesunięcie do wyższych długości fal oznacza pojawienie się bardziej rozbudowanego układu sprzężonego). Widoczne jest również pasmo polaronowe, ale ma na tym etapie niewielką intensywność. Przy zwiększeniu zewnętrznego potencjału do 1,1V pasmo to znacząco przyrasta i staje się już charakterystyczne dla poliofenów. Powrót do potencjału 0V (czyli ponowna redukcja do form neutralnych) powoduje zanik pasma polaronowego, ale nie zanika pasmo przy 400-500nm, co oznacza iż utlenienie powoduje nieodwracalną dimeryzację poprzez terminalne bitiofeny. Finalnie, końcowe widmo UV-VIS jest bardzo zbliżone do widma o polimeru osadzonego na elektrodzie ITO (linia jasnoniebieska na (schemacie 1)). Zwiększenie potencjału zewnętrznego dla elektrody po osadzeniu na niej *poli-9* powoduje pojawienie się bardzo intensywnego pasma pokrywającego cały dostępny zakres spektralny.

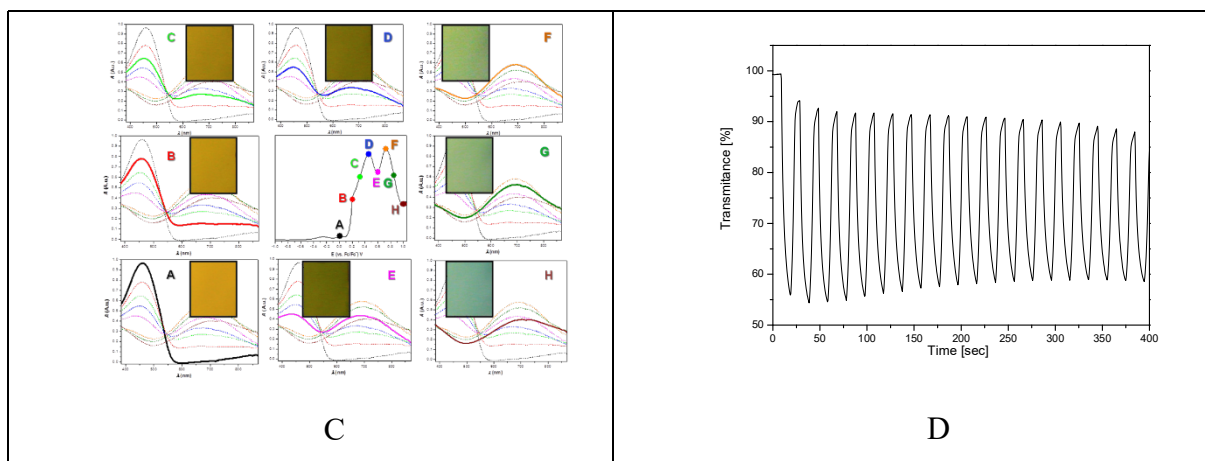
Dalsze prace nad układami D-A-D opisano w pracach **H4-H6**, a poświęcono głównie układom w których rolę donora pełniły podstawniki bitiofenowe (czyli jednocześnie będące monomerami). W pierwszej z wyżej wymienionych prac zsyntezowano 4 pochodne w oparciu o reakcję cykloaddycji terminalnego alkinu (5-etynylo-bitiofenu) do odpowiedniego β -ketoestru. Dzięki temu uzyskano serię pochodnych benzenu podstawionych w pozycjach 1 i 4 fragmentami bitiofenowymi, w pozycji 2 grupą etyloestrową, natomiast w pozycji 3 podstawnikiem modyfikującym parametry fizykochemiczne molekuł. Dzięki takiej architekturze udało się uzyskać niesymetryczne monomery które mogą ulegać dimeryzacji dając 3 teoretyczne produkty (schemat 2).



Schemat 2. Rysunek monomerów wraz z teoretycznymi produktami jego dimeryzacji

Dla wszystkich uzyskanych związków udaje się przeprowadzić elektropolimeryzację uzyskując stabilne (podczas wielokrotnego p-domieszkowania) polimery przewodzące [H4]. Kluczowe jednak było przebadanie właściwości elektrochromowych badanych układów. Skoro bowiem poszczególne jednostki kwatertiofenowe w łańcuchu polimerowym posiadają różne otoczenie elektronowe, powinny się one nieco różnić potencjałem utlenienia i długościami absorbowanego światła. Powinno to przełożyć się na różną barwę polimeru osadzonego na transparentnej elektrodzie (ITO), co byłoby bardzo użyteczne z punktu widzenia potencjalnych zastosowań np. w szklach elektrochromowych.



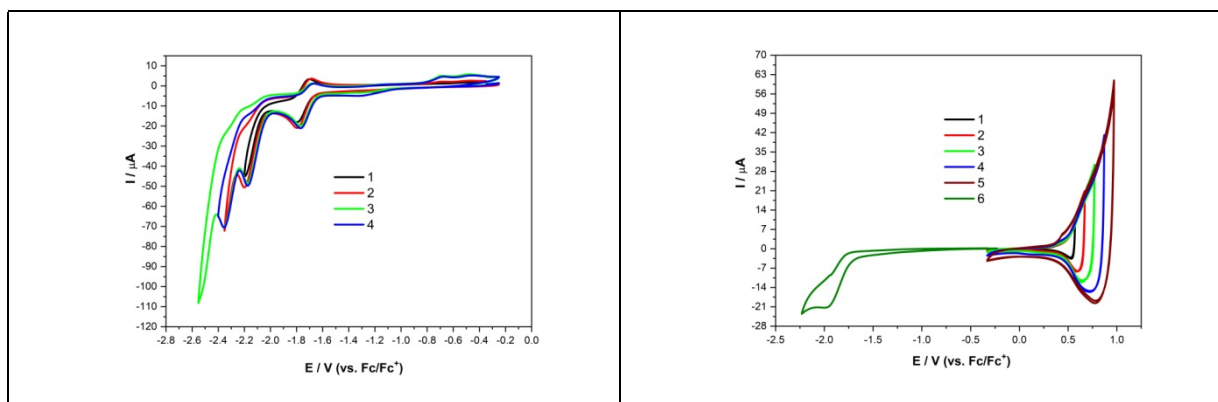


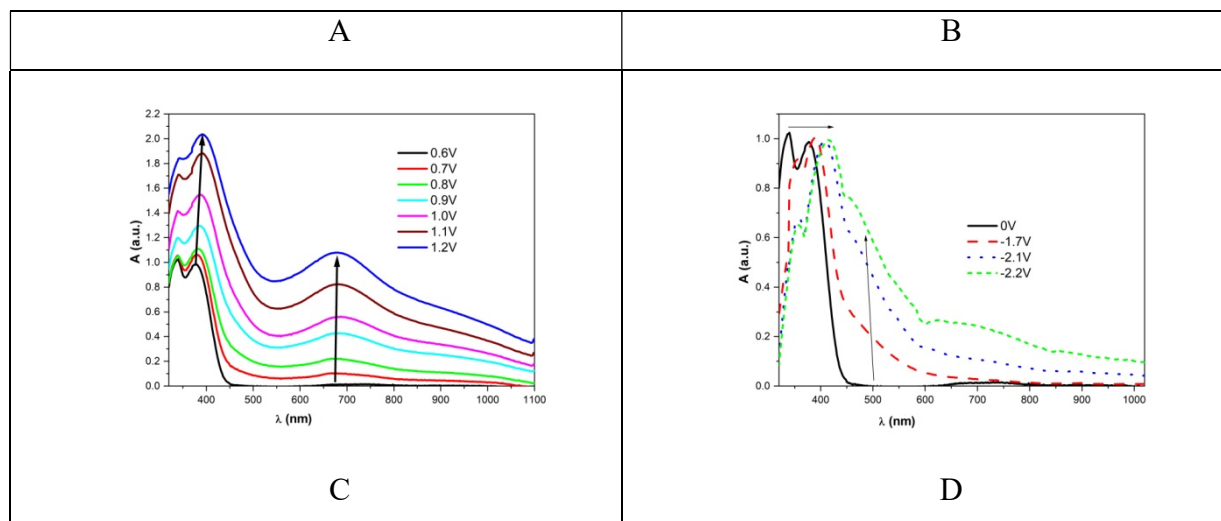
Schemat 3. Zdjęcia elektrochromizmu dla polimerów uzyskiwanych z monomeru: **11** (A); **12** (B); **13** (C); zależność transmitancji monitorowanej przy 624nm przy zmianie potencjałów z +1.3 na -0.5 V dla *poli-12* (D).

Uzyskane politiofeny podczas badań spektroelektrochemicznych rzeczywiście wykazały kilkietapowy elektrochromizm (co udokumentowano wykonując fotografie). Warto również podkreślić iż potencjał domieszkowania jest stosunkowo niski – już przyłożenie do elektrod potencjału 0.3V wywołuje widoczną gołym okiem zmianę barwy. Podczas domieszkowania obserwowano również dość duży spadek transmitancji np. dla polimeru *poli-3* przy 624nm zmniejsza się ona z 95 do 55%.

Jak już wcześniej zasygnalizowano przedmiotem badań opisanych w pracy **H5** były układy D-A-D w których rolę donora pełniły fragmenty bitiofenylowe, natomiast rolę akceptora układ 2-piranonowy (związki **14-16**). Jak dotąd tego typu pochodne nie były badane w kontekście potencjalnych zastosowań w organicznej elektronice. Synteza została przeprowadzona stosując katalizator renowy ($[\text{ReBr}(\text{CO})_3(\text{THF})_2]$) umożliwiający cykloaddycję odpowiednio zmodyfikowanego β -ketoestru do bis(bitiofen-5-ilo)acetyleny.

Z uwagi na fakt iż jak dotąd nie opisano przykładu polimeru przewodzącego zawierającego pierścień piranonu w łańcuchu głównym, kluczowe było sprawdzenie czy pierścień ten będzie stabilny elektrochemiczny i nie ulegnie np. otwarciu po utlenieniu bądź redukcji. I rzeczywiście pochodne wykazywały kilkietapową redukcję, przy czym pierwszy etap zachodził na fragmencie centralnym (akceptorowym), natomiast dwa kolejne na podstawnikach bitiofenowych (schemat 4). Oba podstawniki bitiofenowe utleniają się przy nieco innych potencjałach ze względu na różny wpływ sąsiednich podstawników i brak symetrii w cząsteczce.





Schemat 4. Woltamogramy obrazujące zachowanie się pochodnej **16** (A) oraz badanie stabilności polimeru *poli-14* (B); spektroelektrochemia *poli-16* badana przy użyciu elektrody ITO. Elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

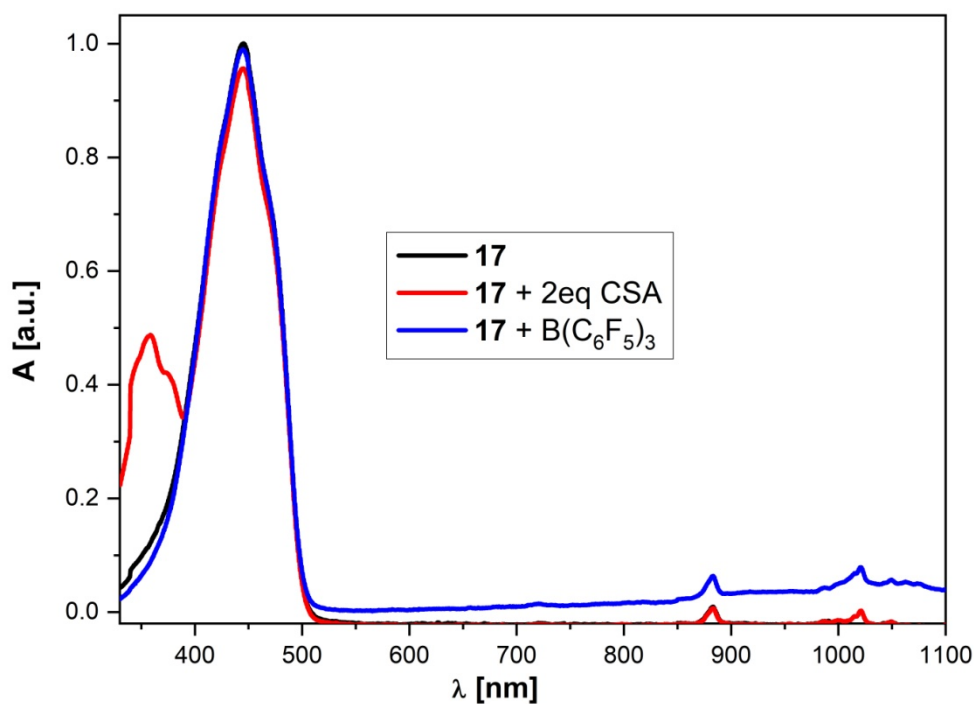
Wszystkie związki udało się poddać elektropolimeryzacji uzyskując trwałe polimery (przykład dla *poli-14* pokazano na schemacie 4), co potwierdziły również badania spektroelektrochemiczne. Podczas zwiększania potencjału zewnętrznego na elektrodzie z osadzonym filmem polimeru zaobserwowano wyraźne narastanie pasma polaronowego. Z kolei w przypadku zmniejszania potencjału w pierwszym etapie (czyli poniżej E_{red}) następuje przesunięcie pasma absorpcji do niższych energii. Oznacza to iż redukcja zachodzi na fragmencie sąsiadującym z fragmentem w obrębie którego zachodzi wzbudzenie elektronów. Przy dalszym obniżeniu potencjału powstaje (podobnie jak przy utlenianiu) pasmo pokrywające całe spektrum.

Jak już wspomniano układy bazujące na architekturze donor-akceptor-donor są wykorzystywane zarówno jako monomery (dla elektropolimeryzowalnych fragmentów donorowych) jak i jako małowymiarowe układy półprzewodnikowe w technologii OFET. Kluczową zatem kwestią jest zdolność tychże układów do ulegania domieszkowaniu. W ramach pracy [H6] przebadano różne sposoby domieszkowania (elektrochemiczne i chemiczne) oraz ich wpływ na parametry fizykochemiczne.

W ogólności istnieje kilka sposobów wprowadzania nośników prądu w strukturę cząsteczki organicznej (p- domieszkowania, „wstrzyknięcia dziury”). Z tego powodu zaprojektowano i zsyntezowano modelową molekułę (**17**) posiadającą: a) kwaśne wodory - czyli fragment podatny na utlenianie chemiczne; b) jednostkę posiadającą pierścień π -nadmiarowy - ulegający utlenieniu elektrochemicznemu; c) wolną parę elektronową - podatną na protonowanie i metylowanie; oraz d) fragment będący zasadą Lewisa - czyli mogący tworzyć addukty z kwasem Lewisa. Wymieniona wyżej kolejność odzwierciedla również zwyczajową "siłę" odczynnika potrzebnego do utlenienia - od najsilniejszego do najsłabszego.

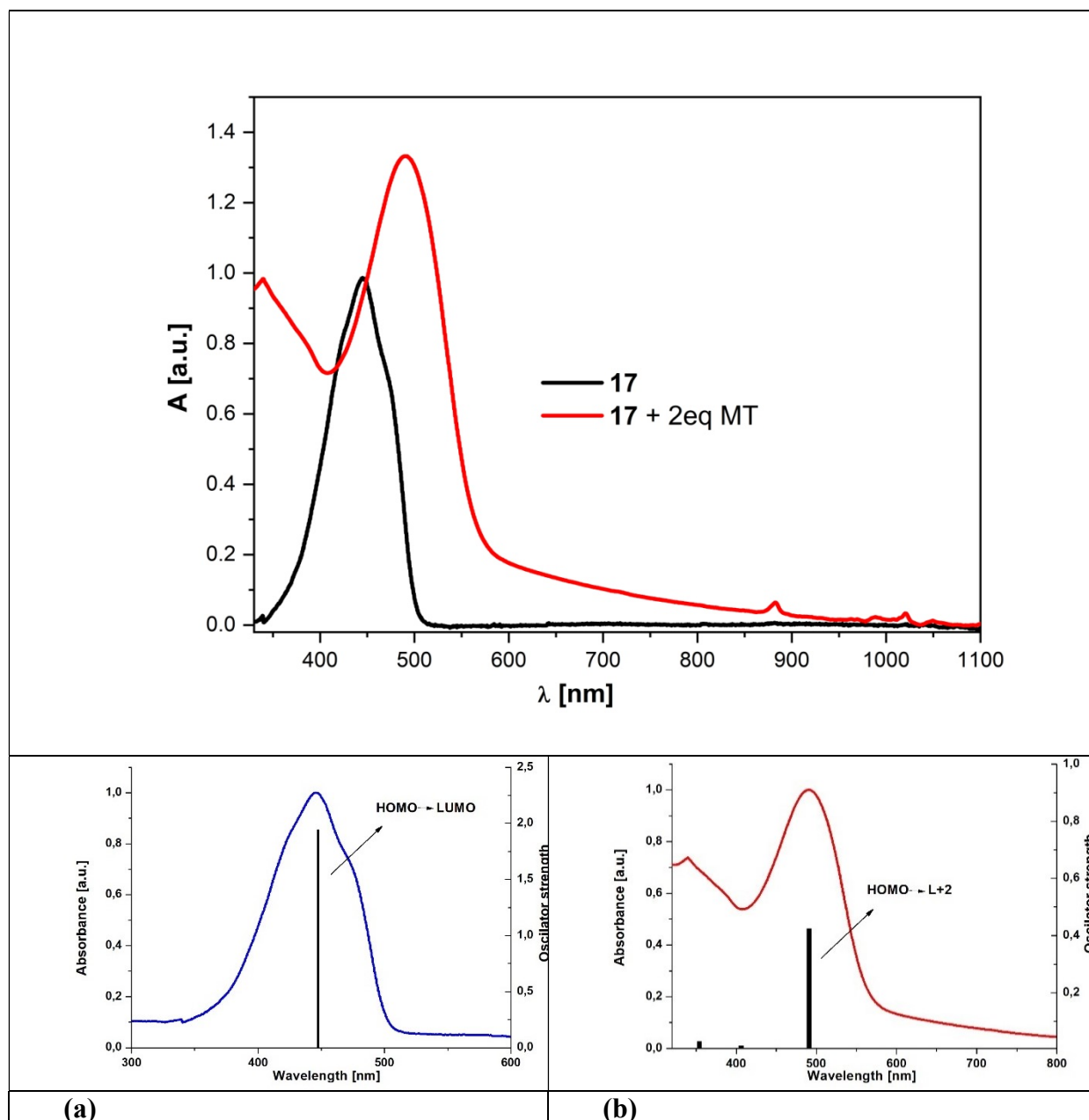
Zatem w pierwszej kolejności przebadano możliwość wstrzykiwania dziur poprzez tworzenie prostych adduktów kwas-zasady Lewisa. Jako kwasu użyto $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ gdyż jest to odczynnik stosowany do zabezpieczania zasadowego atomu azotu w pochodnych pirydynowych. W tym jednak przypadku charakter zasadowy azotu w pierścieniu

tiazolotiazolowym okazał się za słaby (brak zmian w widmie UV-VIS – widmo 2). Innymi słowy oddziaływanie pomiędzy centrami kwasowo-zasadowymi jest zbyt słabe by znacząco wpłynąć na strukturę elektronową molekuly (czyli ją zmodyfikować, zdomieszkować).



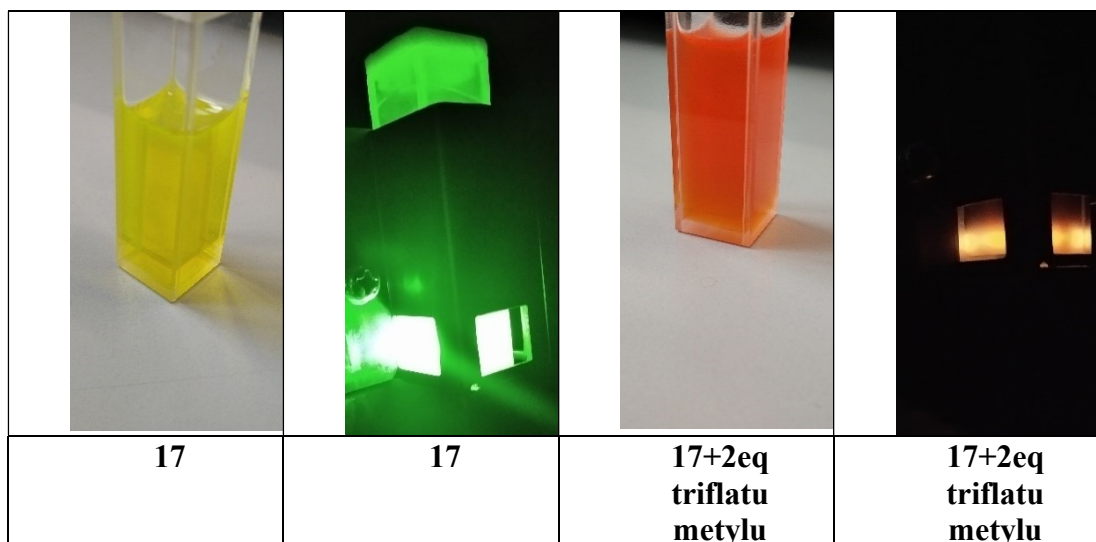
Widmo 2. Widmo związku **17** wykonane metodą spektroskopii absorpcyjnej UV-VIS ($c=10^{-5}$ mol/L w CH_2Cl_2)

Nieco inna sytuacja ma miejsce w przypadku zastosowania kwasu organicznego - w tym przypadku użyto kwasu kamforosulfonowego (CSA). Jak widać na widmie 2, szerokie pasmo leżące w zakresie 390-500 nm (przypisane do przejść typu $\pi-\pi^*$ w obrębie fragmentów bitiofenowych) pozostaje nietknięte. Natomiast pojawia się dodatkowe pasmo w zakresie 300-400 nm. Najprawdopodobniej spowodowane jest to sprotonowaniem azotu grupy tiazolotiazolowej i utworzeniem kationorodnika aromatycznego, co skutkuje utworzeniem nowych przejść elektronowych w tym zakresie. Warto jednak w tym miejscu podkreślić iż charakter takiego oddziaływania w układach organicznych prawie nigdy nie jest w pełni jonowy - oddziaływanie należy raczej rozważać jako uwspólnianie wodoru pomiędzy dwoma centrami elektroujemnymi (azotem grupy tiazolowej a tlenem kwasu kamforosulfonowego). Owocuje to zatem uzyskaniem przez atom azotu grupy tiazolotiazolowej dodatniego ładunku cząstkowego. Dlatego zaprojektowano kolejne doświadczenie, tym razem w oparciu o triflat metylu, bardzo silny odczynnik metylujący. Celem tego doświadczenia było wymuszenie czwartorzędowania przy jednoczesnym uniknięciu stosowania utleniacza, bądź odczynnika mogącego naruszyć fragment bitiofenylowy. Jak widać na schemacie 5 ponownie pojawiło się dodatkowe pasmo w zakresie 300-400 nm, czyli atak odczynnika metylującego nastąpił na rdzeń tiazolotiazolowy. Co jednak bardziej istotne, pasmo przypisane do przejść typu $\pi-\pi^*$ w obrębie fragmentów bitiofenowych przesunięte jest o około 100 nm w kierunku niższych energii, co również potwierdziły obliczenia teoretyczne (schemat 5).



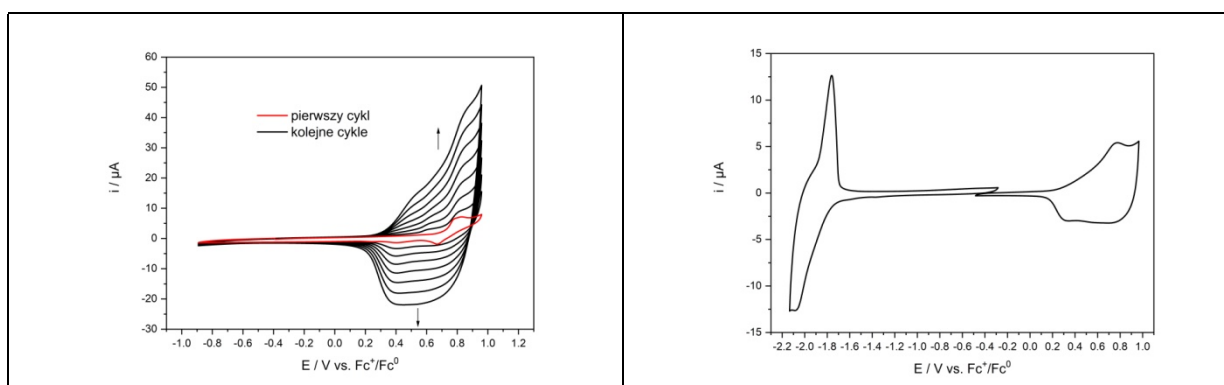
Schemat 5. Widmo związku **17** wykonane metodą spektroskopii absorpcyjnej UV-VIS ($c = 10^{-5}$ mol/L w CH_2Cl_2) wraz z obliczonymi teoretycznie wartościami i przypisaniem przejść elektronowych.

Metylowanie nie tylko zmniejsza przerwę energetyczną (czyli kolor absorbowanego i emitowanego światła), ale również znacząco zmniejsza wydajność kwantową emisji, co najlepiej obrazują poniższe fotografie wykonane we wnętrzu fluorymetru w czasie pomiaru (schemat 6).



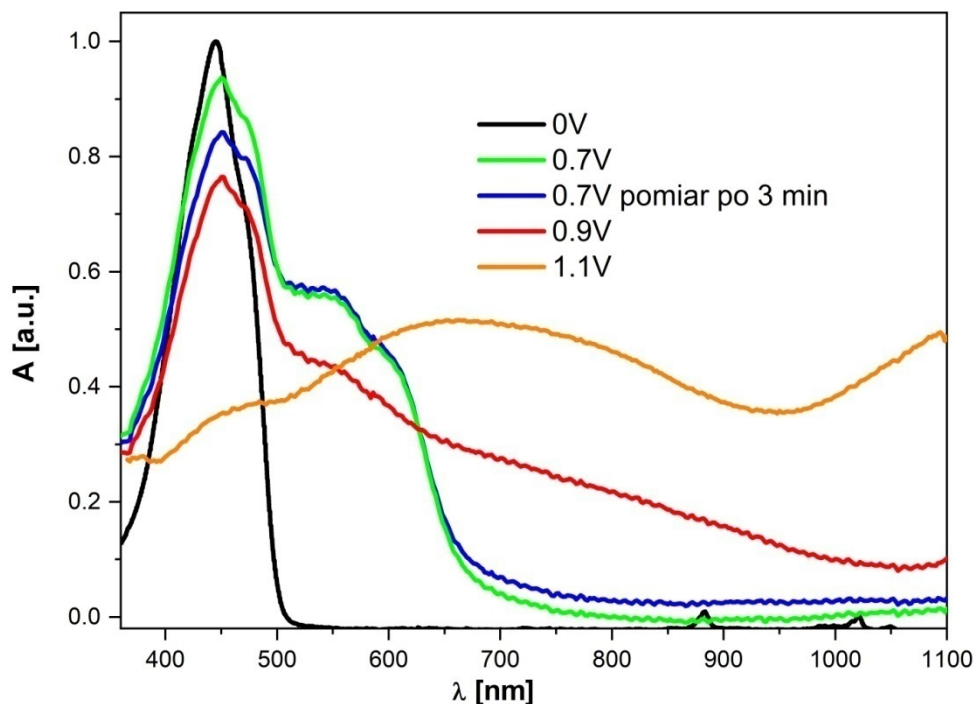
Schemat 6. Fotografie związku 17 (przed i po „metylowaniu”) na zewnątrz i wykonane we wnętrzu fluorymetru w czasie pomiaru.

W kolejnym etapie badań przeanalizowano wpływ zewnętrznego potencjału (w zakresie powyżej Eox) na parametry fizykochemiczne związku 17. Jak już wzmiankowano badana cząsteczka jest potencjalnie monomerem (posiada 2 terminalne jednostki bitienylowe) i ulega polimeryzacji dając polimer trwały podczas wielokrotnego p- i n-domieszkowania (woltamogram 5).



Woltamogram 5. Woltamogramy obrazujące elektropolimeryzację pochodnej 17 (z lewej) oraz badanie stabilności polimeru *poli-17* (z prawej); szybkość przemieszczania potencjałem $v = 100 \text{ mV/s}$, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

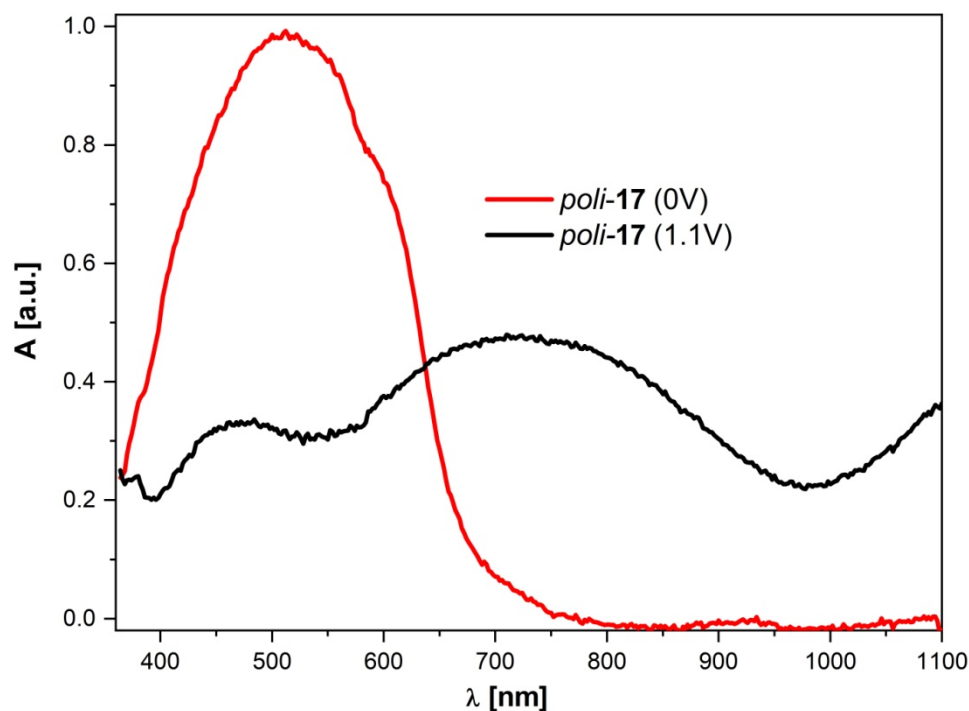
Elektropolimeryzację monomeru w celu przeprowadzenia badań spektroelektrochemicznych wykonano w dwóch wariantach : osadzając na elektrodzie ITO w warunkach potencjodynamicznych (metodą woltamperometrii cyklicznej), oraz w warunkach potencjostatycznych z równoczesnym rejestrowaniem zmian zachodzących w widmie UV-VIS.



Widmo 3. Spektroelektrochemia związku **17**. Pomiar przy użyciu elektrody ITO, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

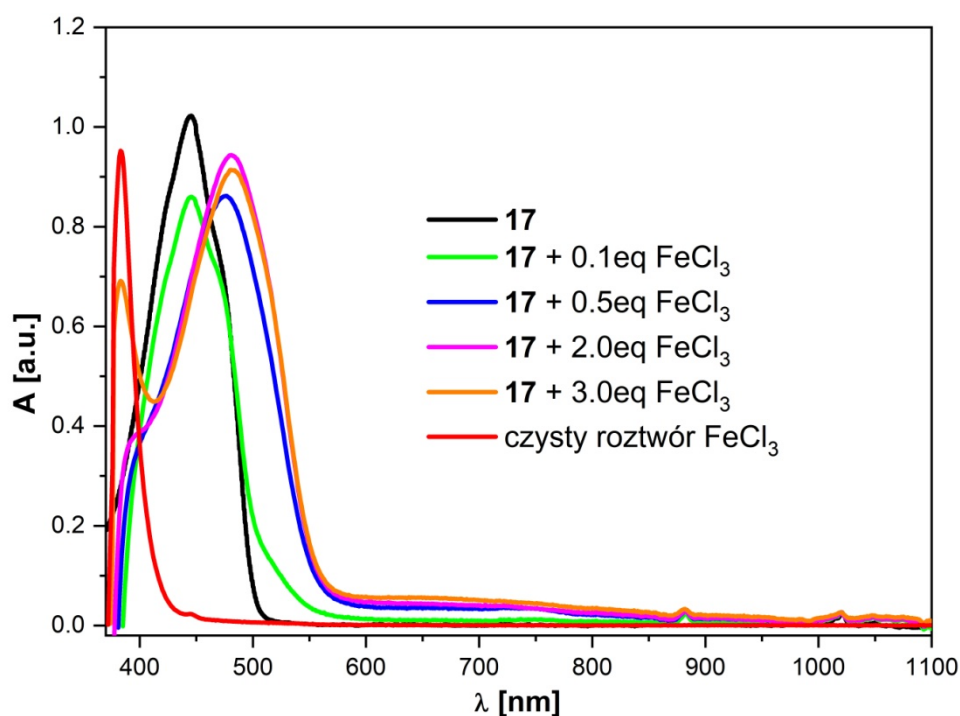
Jak widać na widmie 3 w pierwszym etapie procesu następuje pojawienie się dodatkowego pasma w zakresie 500-650 nm, przy jednoczesnym niewielkim zaniku pasma odpowiadającemu przejściu w obrębie bitiofenu. Potwierdza to dimeryzację monomeru i utworzenie mostków kwatertiofenowych. Przy tym potencjale nie obserwuje się jednak powstawania pasma polaronowego. Dopiero po odczekaniu kilku minut przy po tym potencjale można doszukać się niewielkiego przyrostu szerokiego pasma pokrywającego całe dostępne spektrum. Dalsze zwiększanie przyłożonego potencjału powoduje już bardziej radykalne zmiany - czyli zanik intensywności pasm $\pi\text{-}\pi^*$ (w obrębie bitiofenów) i powstanie pasma polaronowego. Przy potencjale 1.1V wygląd widma jest już charakterystyczny dla p-zdomieszkowanego polimeru.

Jako porównanie wykonano pomiary dla domieszkowania polimeru osadzonego na elektrodzie ITO w roztworze czystego chlorku metylenu (czyli w warunkach bez monomeru w roztworze). Jak widać na widmie 4 *poli-17* posiada szerokie pasmo absorpcji z zakresie od 350-700nm z maksimum w 505nm. Po przyłożeniu potencjału 1.1.V polimer zachowuje się bardzo podobnie do otrzymanego metodą potencjostatyczną.



Widmo 4. Spektroelektrochemia *poli-17*. Pomiar przy użyciu elektrody ITO, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 . Potencjały pokazano względem $\text{Cp}_2\text{Fe}^{+/0}$.

Wykonano również eksperyment polegający na miareczkowaniu roztworu pochodnej **17** chlorkiem żelaza III z jednoczesną rejestracją zmian zachodzących w widmie UV-VIS. Chlorek żelaza jest często stosowanym w chemii organicznej odczynnikiem utleniającym, w tym do polimeryzacji chemicznej. Po pierwsze zauważyć można iż reakcja utleniania jest błyskawiczna - dopiero w sytuacji gdy przekroczone są 2 eq FeCl_3 możliwe jest zaobserwowanie jego pasma w mieszaninie. Po drugie w miarę wzrostu stężenia utleniacza następuje powolny zanik pasma π - π^* (elektronów „bitiofenowych”) i przyrost niżej energetycznego "ostrego" pasma z maksimum przy około 490nm (jest to zatem mniej niż obserwowano w przypadku maksimum pasma absorpcji dla polimeru uzyskiwanego elektrochemicznie). Oznacza to iż w przypadku utleniania chemicznego z użyciem chlorku żelaza III uzyskuje się polimer bardziej regularny i lepiej zdefiniowany (dominuje dimeryzacja poprzez pozycje 5'). Warto również podkreślić, iż nawet nadmiar odczynnika utleniającego nie powoduje p-domieszkowania.

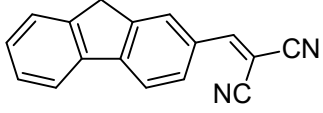
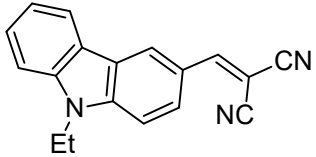
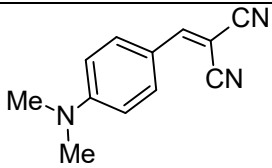
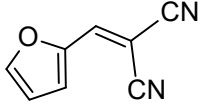
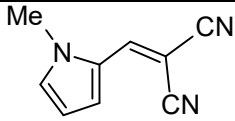
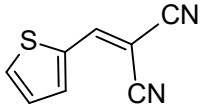
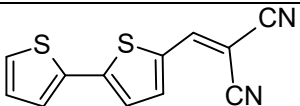
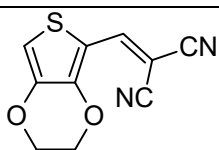
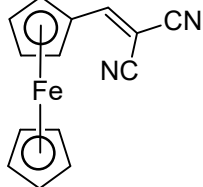


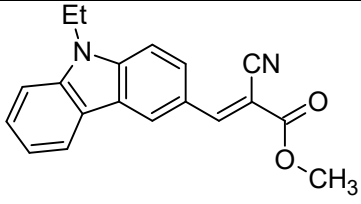
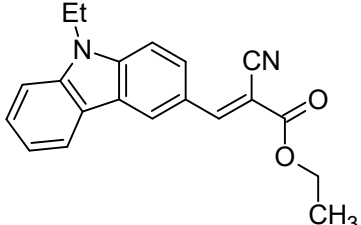
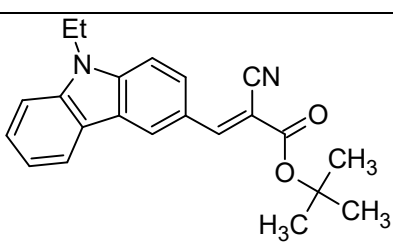
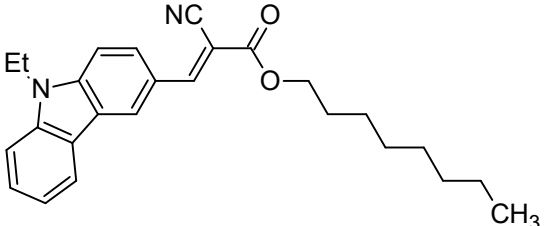
Widmo 5. Widmo związku **17** wykonane metodą spektroskopii absorpcyjnej UV-VIS ($c=10^{-5}$ mol/L w CH_2Cl_2).

Pochodne typu D-A wykazujące zjawisko emisji wzmocnionej poprzez agregację (AIE- aggregation induced emission)

Organiczne pochodne typu donor-akceptor znajdują szerokie zastosowanie w nowoczesnych technologiach. Jeśli jednak ograniczyć się wyłącznie do technologii organicznych diod elektroluminescencyjnych to związki takie znajdują zastosowanie jako jeden z elementów warstwy emisyjnej. Po raz kolejny zatem pojawia się zatem zgrzyt między badaniami podstawowymi (prowadzonymi najczęściej dla roztworów o niskim stężeniu) a finalnymi zastosowaniami (materiał w formie ciała stałego). Zatem szczególnie cenne są związki wykazujące wysokie wydajności emisji w ciele stałym, a więc charakteryzujące się silnym zjawiskiem AIE. Wydajności fotoluminescencji tego typu związków w roztworach rozcieńczonych są nieduże, rosną natomiast w przypadku wzrostu stopnia agregacji i osiągają maksimum w przypadku ciał stałych. W przypadku pochodnych przebadanych w ramach niniejszego osiągnięcia naukowego, zaprojektowano serię molekuł w której funkcję donora pełniły motywy silnie π -nadmiarowe. Z kolei akceptorem były jednostki o wzorze ogólnym: $-\text{CH}=\text{C}(\text{CN})_2$ i $-\text{CH}=\text{C}(\text{CN})(\text{COOR})$, gdzie podstawnik R wpływał na siłę oddziaływań międzycząsteczkowych, mając jednocześnie niewielki wpływ elektronowy. Pochodne te zostały zsyntezowane w oparciu o metodę bazującą na kondensacji Knoevenagel'a, wydzielone w formie czystej, a finalnie badane elektrochemicznie i spektroskopowo. Pozwoliło to o na przeanalizowanie wpływu agregacji na kluczowe parametry fizykochemiczne.

Tabela 3. Zestawienie pochodnych typu D-A-D zaprojektowanych, zsyntezowanych i przebadanych w ramach niniejszego osiągnięcia naukowego.

Struktura związku	Numer związku	Praca
	18	H7
	19	H7
	20	H7
	21	H7
	22	H7
	23	H7
	24	H7
	25	H7
	26	H7

	27	H8
	28	H8
	29	H8
	30	H8

Pierwsze dziewięć związków zostało zsyntezowane w reakcji kondensacji Knoevenagel'a. Zazwyczaj układ reakcyjny wymaga aktywacji: w wariacie z dodatkiem zasady np. trietyloaminy następuje deprotonowanie malononitrylu, natomiast w wariacie z dodatkiem kwasu np. octowego, następuje protonowanie tlenu aldehydowego. W przypadku omawianych substratów opracowano nową, wygodną i szybką metodę syntezy. Do mieszaniny substratów w chlorku metylenu daje się świeżo wyprażonego tlenku glinu. Ze względu na wysoką reaktywność wystarczy on jako katalizator inicjujący reakcję, jednocześnie jednak pełni rolę czynnika wiążącego wodę (drugi produkt kondensacji), co przesuwa równowagę w kierunku produktów. Koniec reakcji łatwo jest stwierdzić dzięki TLC – zanika „sygnał” aldehydu. W kolejnym kroku mieszaninę wprowadza się na kolumnę chromatograficzną i dość łatwo oczyszcza.

Badania ponownie rozpoczęto od serii pomiarów elektrochemicznych. W przypadku redukcji zachodzi ona w obrębie fragmentu akceptorowego (-CH=C(CN)₂) i jest w każdym przypadku *quasi*-odwracalna, choć wartość onsetu piku (E_{red}) znacznie się różni dla każdego ze związków (od -1.17V do -1.74V). Jest to wynikiem wpływu podstawnika donorowego który w zależności od swojego charakteru w różny sposób wpływa na gęstość elektronową w fragmencie akceptorowym. Z kolei w przypadku przeprowadzania procesu utleniania różnice są znacznie bardziej widoczne. W każdym bowiem przypadku cząsteczki zostały zaprojektowane w taki sposób by orbital HOMO

leżał na fragmencie π -nadmiarowym podstawnika. Łatwo zatem zauważyć ogólną prawidłowość: im silniej donorowy charakter posiada podstawnik (hetero)aromatycznego tym bardziej destabilizuje on orbital LUMO cząsteczki – redukcja staje się coraz trudniejsza i zachodzi przy niższych potencjałach. Równocześnie silnie donorowy podstawnik obniża również energię orbitalu HOMO cząsteczki sprawiając iż utlenienie staje się łatwiejsze. Najlepszym przykładem tej zależności jest pochodna ferrocenowa – ulega ona utlenieniu przy najniższym potencjale (najłatwiej, bo już przy 0.33V) równocześnie najtrudniej się redukuje – dopiero przy -1.74V. Warto również zauważyć, iż w większości przypadków elektrochemiczna przerwa energetyczna jest bardzo zbliżona do „optycznej”, co dowodzi iż przeniesienie ładunku z fragmentu donorowego na akceptorowy zachodzi bez znaczących strat energii. Wszystkie powyższe obserwacje potwierdziły obliczenia teoretyczne. Warto podkreślić, iż o ile obliczenia teoretyczne konsekwentnie zawyżają wartość przerwy energetycznej (głównie ze względu na błędy w wyznaczaniu energii orbitalu LUMO) o tyle dość dobrze przewidują ogólne trendy.

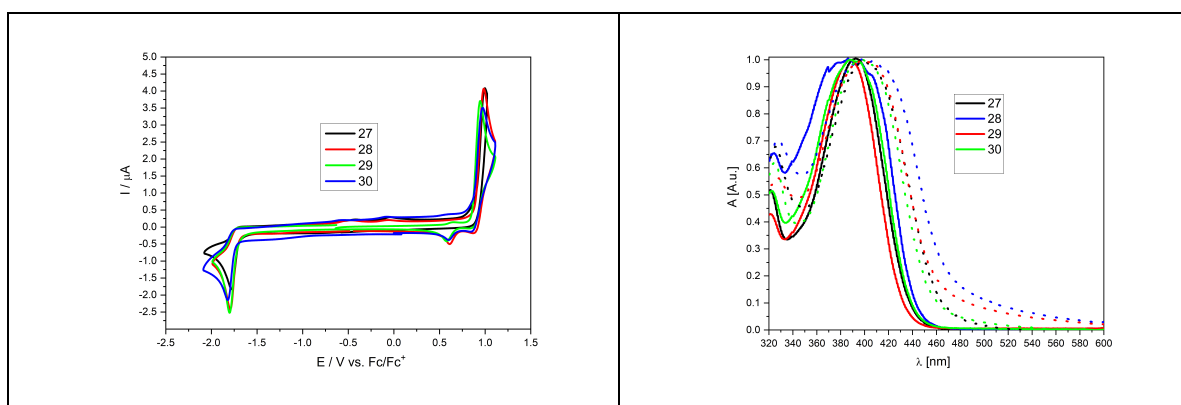
Wydajności kwantowe badanych w związkach w roztworach rozcieńczonych nie są duże (poniżej 2%), głównie ze względu na przejścia nieemisyjne przejścia i straty energii ze względu na rotację [25]. Rosną one natomiast w przypadku ciał stałych, a długości fali światła emitowanego są przesunięte do wyższych wartości. Przebadano zatem omawiane związki pod kątem ich właściwości AIE. Badania takie opierają się na obserwacji zmian koloru i wydajności emisji związków w funkcji ich stopnia agregacji. Punktem początkowym jest sporządzenie roztworu w tzw. „dobrym rozpuszczalniku” czyli takim w którym cząsteczki substancji są otoczone wyłącznie przez cząsteczki rozpuszczalnika (brak, lub niewielki udział innych oddziaływań międzycząsteczkowych). Z kolei punktem końcowym jest sytuacja w którym cząsteczki badanej substancji są połączone w większe agregaty (wymusza to „zły” rozpuszczalnik, wytrącający związek rozpuszczony). Aby obserwacja mogła przebiegać w sposób ciągły, czyli umożliwiającą rejestrację stadiów pośrednich oba rozpuszczalniki muszą się ze sobą mieszać w szerokim zakresie proporcji. I tak na przykład, badania były niemożliwe w mieszaninie chlorek metylenu: woda ze względu na zbyt dużą lukę mieszalności. Powodzeniem zakończyły się badania w mieszaninie THF (jako „dobry” rozpuszczalnik) i woda (zły rozpuszczalnik). Ponieważ wszystkie badane związki posiadają w widnie ekscytacyjnym pasmo przy 365 nm możliwe było zobrazowanie różnic zachowania się poszczególnych związków pod lampą UV. Gdy zawartość wody w mieszaninie była 80% nie obserwowano większych zmian, natomiast po przekroczeniu tej granicy następuje gwałtowny wzrost wydajności kwantowej emisji i kolor emitowanego światła.



Zdjęcie 2. Przykład obrazujący zjawisko emisji wzmocnionej poprzez agregację (przykład dla pochodnej **24**). 1) roztwór o stężeniu 1×10^{-5} mol/L w THF; 2) roztwór o stężeniu 1×10^{-5} mol/L w mieszaninie THF:woda 1:4; 3) roztwór o stężeniu 1×10^{-5} mol/L w mieszaninie THF:woda 1:9; 4) jako ciało stałe. Zdjęcie wykonano podczas naświetlania światłem o długości 365 nm.

Biorąc pod uwagę wyniki badań elektrochemicznych i dobrą wydajność fotoluminescencji badanych związków (w formie ciała stałego) skonstruowano i przebadano diody OLED o architekturze: ITO/PEDOT:PSS/TPD/badany związek :PVK(60 nm)/Al. Co ciekawe bardzo obiecujące wyniki uzyskano dla diod o stosunkowo wysokiej zawartości (10 i 15%) pochodnych malononitrylu.

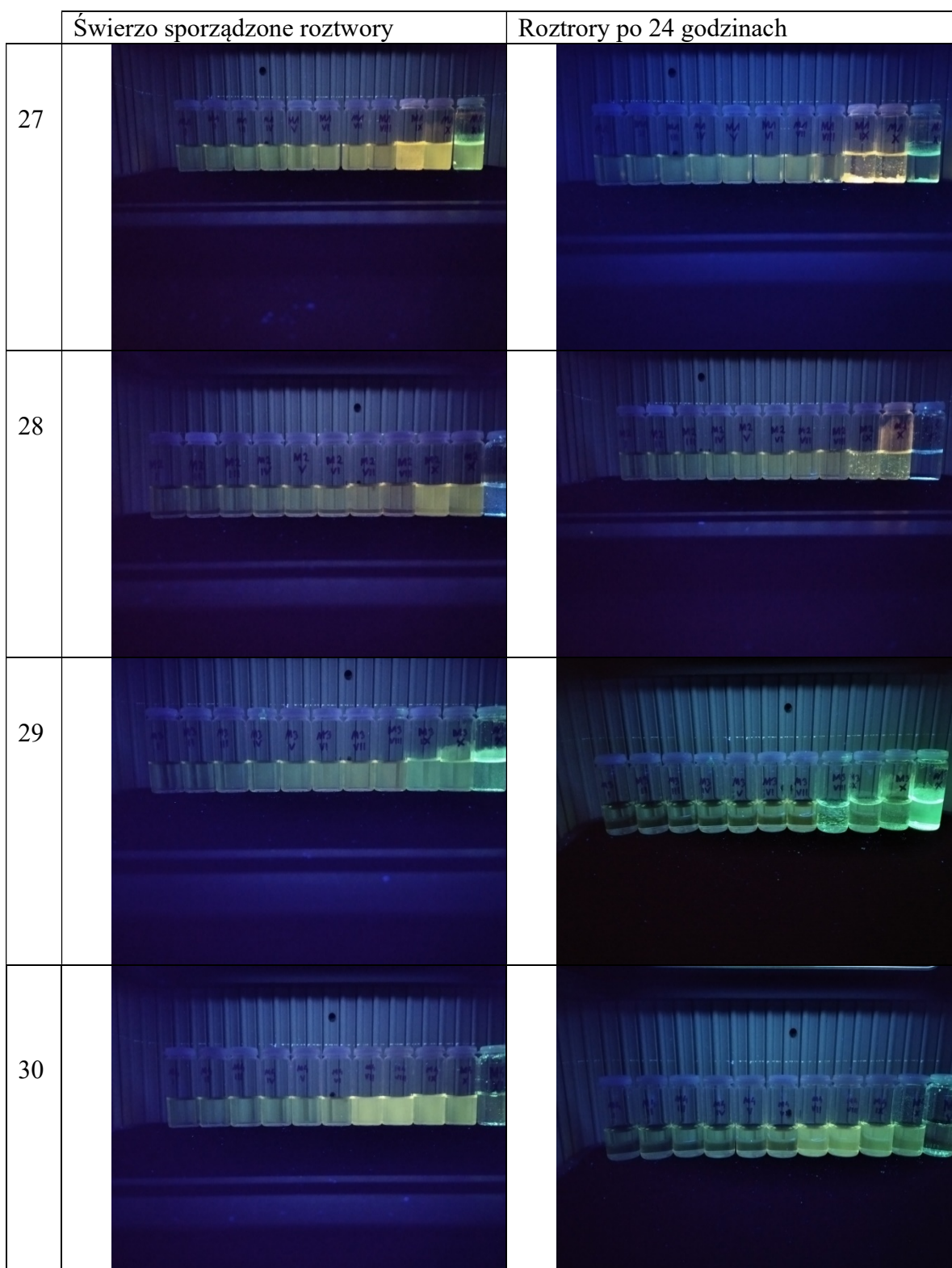
Wyniki badań nad wykazującymi zjawisko AIE układami typu D-A (opisane w pracy **H7**) okazały się na tyle interesujące że stały się podstawową projektem MINIATURA (który uzyskał finansowanie), oraz m.in. pracy **H8**. Koncepcja dalszych badań była następująca: zaprojektowano i otrzymano grupę związków o identycznych parametrach energetycznych ale o różnej zdolności do oddziaływań międzycząsteczkowych w ciele stałym (dzięki obecności odpowiednich podstawników). Udało się to osiągnąć dla pochodnych Ar-CH=C(CN)(COOR) gdzie Ar to N-etylo-karbazol, natomiast podstawnik R = metyl, etyl, tertbutyl i oktyl. Po otrzymaniu i oczyszczeniu wszystkich związków wyznaczono podstawowe parametry fizykochemiczne: położenie orbitali granicznych, przerwy energetyczne (metodą woltamperometrii cyklicznej i spektroskopowo) dla roztworów rozcieńczonych, wykonano również obliczenia teoretyczne. I rzeczywiście, tak jak oczekiwano parametry wyznaczone dla tych substancji w rozcieńczonych roztworach są w zasadzie identyczne (potencjały redukcji i utlenienia, właściwości optyczne itd.).



Schemat 7. Woltamogramy (z lewej) oraz widma wykonane metodą spektroskopii absorpcyjnej UV-VIS ($c = 10^{-5}$ mol/L w MeCN linia ciągła, $c = 10^{-5}$ mol/L w MeCN/woda 1:9 v/v linia przerywana). Woltamogramy wykonane metodą woltamperometrii cyklicznej; szybkość przemiatania potencjałem $v = 100$ mV/s, elektrolit o stężeniu 0.1 M (Bu_4NPF_6) w CH_2Cl_2 .

Najważniejsze jednak było zbadanie czy uzyskane molekuly wykażą zjawisko AIE i jak wpłynie ono na właściwości fizykochemiczne materiałów. Po serii badań wstępnych jako "dobrego" rozpuszczalnika użyto acetonitrylu i przygotowano mieszaniny z wodą (od 0 do 99% wody). Dla tej grupy związków mieralne zmiany zachodzą przy zawartości wody powyżej 60%. Po przekroczeniu tej wartości dla pochodnej **27** (z 3% do 89%) następuje gwałtowny wzrost wydajności emisji, nieco mniejszy dla **28** (z 3% do 78%) i najmniejszy dla pochodnych **29** (z 3% do 9%) i **30** (z 3% do 14%). Dobrze obrazuje to seria zdjęć wykonanych dla roztworów o tym samym stężeniu substancji rozpuszczonej, natomiast przy różnych stosunkach woda: acetonitryl. Nawet gołym okiem widać znaczące różnice w zależności od podstawnika w grupie estrowej. W przypadku pochodnej metylowej zjawisko AIE jest zdecydowanie najsilniejsze, natomiast w

przypadku pochodnej tertbutylowej jest bardzo słabe. Ponadto, po 24 godzinach można zaobserwować iż z roztworu związku **27** wypadł osad o wysokiej wydajności fotoluminescencji.



Schemat 8. Zdjęcia obrazujące zjawisko emisji wzmocnionej poprzez agregację (roztwory we fiolkach ustawiona w miarę wzrastającej zawartości wody – od 0 do 99%);

stężenie substancji jest stałe i wynosi 1×10^{-5} mol/L. Zdjęcia wykonano podczas naświetlania światłem o długości 365 nm.

Na bazie związków **27-30** skonstruowano testowe urządzenie OLED o architekturze: ITO | HIL 1.3N (50 nm) | PVK (10 nm) | PVK:PBD (50:50) + 5mol% **27-30** (70 nm) | TPBi (50 nm) | LiF (1 nm) | Al (100 nm). Uzyskane urządzenia testowe wykazywały zielono-niebieską elektroluminescencję (CIE: 0,107, 0.165).

4.3.2. Podsumowanie

Wykazano wpływ budowy związków i warunków prowadzenia pomiarów na wyznaczone parametry fizykochemiczne. W przypadku układów o silnych oddziaływaniach międzycząsteczkowych porównywanie wartości przerw energetycznych wyznaczanych różnymi technikami wprowadza duże rozbieżności.

Obliczenie teoretyczne są niezwykle użyteczne przy interpretacji i analizie danych fizykochemicznych. Dość dobrze przewidują trendy zmian poszczególnych parametrów (przy modyfikacji budowy chemicznej cząsteczek), jednakże przewidywane wartości liczbowe mają nadal charakter orientacyjny. Co szczególnie ważne, teoretycznie obliczone IP i EA znacznie dokładniej przewidują wartości elektrochemicznie wyznaczanych potencjałów pików utleniania i redukcji niż predykcje położenia poziomów HOMO i LUMO.

Zaprojektowano, otrzymano i przebadano nowe heksapodstawione pochodne benzenu. Wykazano silny wpływ oddziaływań pomiędzy sąsiadującymi podstawnikami (hetero)aromatycznymi na parametry fizykochemiczne. Wykazano znaczne obniżenie potencjału utleniania tego typu związków i znaczną trwałość powstających kationorodników.

Dokonano elektropolimeryzacji nowych, niesymetrycznych bitiofenylowych pochodnych typu donor-akceptor-donor oraz przeanalizowano wpływ budowy na ich właściwości. Metodami (spektro)elektrochemicznymi wykazano wysoką stabilność uzyskanych politiofenów. Wielostopniowy elektrochromizm oraz niskie wartości napięcia potrzebne do domieszkowania testowego urządzenia potwierdzają potencjalne możliwości zastosowania tej grupy związków do konstrukcji szkieł elektrochromowych.

Zaprojektowano, otrzymano, wydzielono i przebadano pochodne typu bitiofenyl-piranon-bitiofenyl. Wykazano iż związki tego typu mogą być substratami do otrzymywania trwałych politiofenów. Uzyskane polimery przebadano metodami elektrochemicznymi, spektroelektrochemicznymi i za pomocą spektroskopii impedancyjnej potwierdzając ich stabilność podczas wielokrotnych cykli p- i n-domieszkowania. Materiały wykazywały dobre przewodnictwo elektronowe i dziurowe, co jest rzadką i niezwykle cenną cechą polimerów przewodzących.

Porównano chemiczne i elektrochemiczne metody domieszkowania politiofenów. Wykazano iż metodą chemiczną (za pomocą chlorku żelaza III) uzyskuje się politiofeny niezdomieszkowane. Dla przykładowych monomerów porównano właściwości polimerów uzyskiwanych różnymi metodami.

Opracowano wygodną, prostą i taną metodę otrzymywania szeregu pochodnych typu donor-akceptor gdzie rolę akceptora pełniła grupa $-\text{CH}=\text{C}(\text{CN})_2$. Uzyskane związki przebadano pod kątem zjawiska emisji wzmocnionej poprzez agregację.

Przebadano wpływ modyfikacji budowy związków typu donor-akceptor na ich właściwości fizykochemiczne, przede wszystkim na wydajność foto- i elektroluminescencji. W tym celu zaprojektowano, zsyntezowano i przebadano pochodne o identycznych parametrach energetycznych (dla izolowanych molekuł), różniących się jednak siłą oddziaływań międzycząsteczkowych. Wykazano iż modyfikowanie budowy pozwala wpływać na wzmiankowane interakcje, a przez to na wydajność luminescencji i długość emitowanej fali.

4.3.3. Dalsze plany badawcze

Moje dalsze plany badawcze z jednej strony są kontynuacją wątków zaprezentowanych w niniejszym autoreferacie, z drugiej jednak obejmują rozwinięcie niedawno podjętej tematyki syntezy i badań właściwości elektrochemicznych (stałych) elektrolitów dla urządzeń magazynujących energię elektryczną.

Planuję syntezę związków wykazujących zjawisko wzmocnionej emisji poprzez agregację i dokładne przebadanie ich właściwości fizykochemiczne (metodami zarówno spektroskopowymi jak i elektrochemicznymi). Uzyskane w ten sposób dane na temat właściwości fotofizycznych powiązane zostaną z budową molekuł, a dzięki temu mam nadzieję pogłębić wiedzę na temat mechanizmu powstawania i wzmacniania zjawiska AIE. Oczywiście na bazie najbardziej obiecujących pochodnych skonstruowane i przebadane zostaną testowe urządzenia OLED. Równolegle badam możliwości innych zastosowań tego typu cząsteczek. Przykładowo, seria związków strukturalnie podobnych do opisanych w pracy H8 została zmodyfikowana w ten sposób iż wykazuje powinowactwo do śladów potowo-tłuszczowych. Dzięki temu iż zachowują one bardzo dobre właściwości fotoluminescencyjne z powodzeniem zostały one zastosowane do ujawniania utajonych śladów linii papilarnych.

Jeśli chodzi o nowe wątki badawcze które zamierzam podjąć, to tak jak już wspomniano dotyczą one przede wszystkim technologii magazynowania energii elektrycznej. W ramach tej działalności planuję badanie nowych elektrod modyfikowanych oraz elektrolitów stałych. Ostatni z tych wątków realizowany będzie głównie we współpracy międzyuczelnianej.

4.3.4. Literatura

- [1] Arantes C., Scholz M., Schmidt R., Dehm V., Rocco M. L. M., Schöll A., Reinert F., Würthner F., Comparative analysis of the energy levels of planar and core-twisted perylene bisimides in solution and solid state by UV/VIS, CV, and UPS/IPES Applied Physics A Materials and Processing (2012)108:629
- [2] W. Wang, L.-S. Li, G. Helms, H.-H. Zhou, A.D.Q. Li, To Fold or to Assemble?, J. Am. Chem. Soc. 125 (2003) 1120–1121. DOI: 10.1021/ja027186h
- [3] Schwartz P.-O., Biniek L, Zaborova E., Heinrich B., Brinkmann M., Leclerc N, Méry S., Perylene diimide-Based Donor–Acceptor Dyads and Triads: Impact of Molecular Architecture on Self-Assembling Properties, J. Am. Chem. Soc. 136 (2014) 5981–5992. DOI:10.1021/ja4129108

- [4]. Cardona C.M, Li W., Kaifer A.E, Stockdale D., Bazan G.C, Electrochemical Considerations for Determining Absolute Frontier Orbital Energy Levels of Conjugated Polymers for Solar Cell Applications, *Adv. Mater.* 23 (2011) 2367–2371. DOI: 10.1002/adma.201004554
- [5] Gawrys P., Zoltowska A., Zagorska M., Pron A., Alternating copolymers of oligoarylenes and naphthalene bisimides as low band gap semiconductors: Synthesis, electrochemical and spectroelectrochemical behavior, *Electrochimica Acta* 56 (2011) 10464-10472. doi:10.1016/j.electacta.2011.03.016
- [6] Czichy M., Wagner P., Grządziel L., Krzywiecki M., Szwajca A., Łapkowski M, Żak J., Officer D.L, Electrochemical and photoelectronic studies on C60-pyrrolidine-functionalised poly(terthiophene), *Electrochimica Acta* 141 (2014) 51-60. doi:10.1016/j.electacta.2014.06.100
- [7] Rybakiewicz R., Gawrys P., Tsikritzis D., Emmanouil K., Kennou S., Zagorska M., Pron A, Electronic properties of semiconducting naphthalenebisimide derivatives — Ultraviolet photoelectron spectroscopy *versus* electrochemistry, *Electrochim. Acta* 96 (2013) 13–17. doi:10.1016/j.electacta.2013.02.041
- [8] Ruiz Delgado M.C., Kim E.-G., da Silva Filho D.A, Bredas J.-L., Tuning the Charge-Transport Parameters of PeryleneDiimide Single Crystals via End and/Or Core Functionalization: A Density Functional Theory Investigation, *J. Am. Chem. Soc.* 132 (2010) 3375–3387. DOI: 10.1021/ja908173x
- [9] Ellinger S., Graham K.R., Shi P., Farley R.T., Steckler T. T., Brookins R.N., Taranekar P., Mei J., Padilha L.A., Ensley T.R., Hu H., Webster S., Hagan D.J., Van Stryland E.W., Schanze K.S., Reynolds J.R. ; Donor-Acceptor Donor-based π -Conjugated Oligomers for Nonlinear Optics and Near-IR Emission; *Chem. Mater.* 2011, 23, 3805–3817; dx.doi.org/10.1021/cm201424a
- [10] Yassin A., Leriche P., Allain M., Roncali J.; Donor–acceptor–donor (D–A–D) molecules based on isoindigo as active material for organic solar cells; *New J. Chem.*, 2013, 37, 502—507; DOI: 10.1039/c2nj40879
- [11] Wang X., Liu Z., Geng S., Zhong Z., Li H., Feng X.J., Zhao Z., Lu H.; Donor–acceptor–donor molecules for high performance near ultraviolet organic light-emitting diodes via hybridized local and charge-transfer processes; *J. Mater. Chem. C*, 2023, 11, 5316–532, DOI: 10.1039/d3tc00705g
- [12] Takeda Y., Data P., Minakata S., Alchemy of donor–acceptor–donor multi-photofunctional organic materials: from construction of electron-deficient azaaromatics to exploration of functions; *Chem. Commun.*, 2020, 56, 8884—8894; DOI: 10.1039/d0cc03322g
- [13] Izumi S., Higginbotham H.F., Nyga A., Stachelek P., Tohnai N., de Silva P., Data P., Takeda Y, Minakata S.; Thermally Activated Delayed Fluorescent Donor–Acceptor–Donor– Acceptor π -Conjugated Macrocycle for Organic Light-Emitting Diodes
- [14] Zhu Y., Vela S., Meng H., Corminboeuf C., Fumanal M., Donor–Acceptor–Donor “Hot Exciton” Triads for High Reverse Intersystem Crossing in OLEDs, *Adv. Optical Mater.* 2022, 10, 2200509, DOI: 10.1002/adom.202200509
- [15] Kumar A., Yadav M. K, Singh J., Singh J. D., Butcher R. J.; “Facile synthesis of mixed O, S or Se bearing hexasubstituted benzenes and their potential as Cu (II) ion probe”; *Dalton Transactions*; **2019**; 48; 5627-5636.
- [16] Stuzhin P. A., Skvortsov I. A., Zhabanov Y. A, Somov N. V., Razgonyaev O. V., Nikitin I. A., Koifman O. I.; “Subphthalocyanineazaanalogues–Boron (III) subporphyrines with fused pyrazine fragments”; *Dyes and Pigments*; **2019**; 162; 888-897.

- [17] Xiaohui C., Si L., Yan L., . Bo X, Qiusheng Y., Guohui Y., Yuecheng Z., Jiquan Z.; "Hexaphenylbenzene based push-pull fluorophores displaying intriguing polarity-dependent fluorescence behavior, AIE(E) characteristics and mega-large Stokes shifts"; *Dyes and Pigments*; **2022**; 198; art. no. 110013.
- [18] Wang S., Li B., Zhang F.; "Molecular fluorophores for deep-tissue bioimaging"; *ACS Central Science*; **2020**; 6; 1302-1316
- [19] Tanaka Y., Koike T., Akita M., 2-Dimensional molecular wiring based on toroidal delocalization of hexaarylbenzene
Chem. commun. 46 (2010) 4529-4531. DOI: 10.1039/C0CC00128G
- [20] Rosokha S.V., Neretin I.S., Sun D., Kochi J.K., Very fast electron migrations within p-doped aromatic cofacial arrays leading to three-dimensional (toroidal) pi-delocalization
J. Am. Chem. Soc. 128 (2006) 9394-9407. DOI:10.1021/ja060393n
- [21] Zou Y., Zou J., Ye T., Li H., Yang C., Wu H., Ma D., Qin J., Cao Y., Unexpected Propeller-Like Hexakis(fluoren-2-yl)benzene Cores for Six-Arm Star-Shaped Oligofluorenes: Highly Efficient Deep-Blue Fluorescent Emitters and Good Hole-Transporting Materials
Adv. Funct. Mater. 23 (2013) 1781-1788. DOI: 10.1002/adfm.201202286
- [22] Heinze J., Frontana-Urbe B.A., Ludwigs S., Electrochemistry of Conducting Polymers—Persistent Models and New Concepts
Chem. Rev. 110 (2010)4724–4771. DOI: 10.1021/cr900226k
- [23] Olech K., Sołoducho J., Laba K., Data P., Lapkowski M., Roszak Sz., The Synthesis and Characterization of -3,4-Ethylenedioxythiophene Derivatives with Electroactive Features
Electrochimica Acta 141 (2014) 349–356. DOI:10.1016/j.electacta.2014.07.084;
- [24] Data P., Zassowski P., Lapkowski M., Domagala W., Krompiec S., Flak T., Penkala M., Swist A., Soloducho J., Danikiewicz W., Electrochemical And Spectroelectrochemical Comparison Of Alternated Monomers And Their Copolymers Based On Carbazole And Thiophene Derivatives
Electrochimica Acta 122 (2014) 118– 129. DOI:10.1016/j.electacta.2013.11.167
- [25] Zhou F., Shao J., Yang Y., Zhao J., Guo H., Li X., Ji S., Zhang Z., Molecular Rotors as Fluorescent Viscosity Sensors: Molecular Design, Polarity Sensitivity, Dipole Moments Changes, Screening Solvents, and Deactivation Channel of the Excited States. Eur J Org Chem 2011;25:4773–4787. DOI: 10.1002/ejoc.201100606

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej Uczelni, Instytucji Naukowej

Moja aktywność naukowa w innych niż macierzysta uczelniach i jednostkach badawczych jest związana przede wszystkim z wizytami naukowymi, pracami w ramach konsorcjów, wspólnymi patentami i publikacjami. Ze względu na fakt iż pracę doktorską realizowałem w zespole specjalizującym się w zakresie syntezy organicznej i katalizy, szczególnie istotne znaczenie (z punktu widzenia tematyki autoreferatu) miał staż odbyty na Politechnice Śląskiej w grupie Profesora Mieczysława Łapkowskiego (nauka technik pomiarów elektrochemicznych oraz spektroelektrochemicznych).

Niezwykle ważna była również aktywność naukowa prowadzona w ramach projektu ORGANOMET finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju NCBiR (lata 2014-2016) „Innowacyjne materiały i nanomateriały z polskich źródeł reny i metali szlachetnych dla katalizy, farmacji i organicznej elektroniki”. Badania odbywały się w ramach konsorcjum którego liderem był Instytut Metali Nieżelaznych (pozostałymi konsorcjantami byli: Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze;

Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytet Mikołaja Kopernika oraz Syntal Chemicals Sp. z o.o. (przedsiębiorstwo)).

Po uzyskaniu stopnia doktora podjąłem współpracę z zewnętrznymi ośrodkami naukowymi w ramach których przeprowadzałem badania elektrochemiczne substancji uzyskiwanych i badanych w tych ośrodkach. Moje badania polegały na zaplanowaniu i przeprowadzeniu pomiarów, opracowaniu wyników, przygotowaniu fragmentów publikacji oraz ewentualnie odpowiedzi na pytania recenzentów. Szczególnie owocna (zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym) była współpraca z grupą Pani Profesor dr hab. inż. Ewą Schab-Balcerzak (badania prowadzone w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN), Profesorem dr hab. Agnieszką Iwan (Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. Prof. Józefa Kosackiego), doktorem Łukaszem Skórką (Politechnika Warszawska) i doktorem inż. Krzysztofem Karoniem (Politechnika Śląska). Ponadto, w ramach aktualnej współpracy z Politechniką Śląską przygotowaliśmy wspólnie (w ramach konsorcjum) projekt grantu w konkursie OPUS stanowiący połączenie naszych głównych wątków badawczych.

6. Wykaz innych (nie wymienionych w pkt 4.2.) osiągnięć naukowych albo artystycznych

6.1. Publikacje przed uzyskaniem stopnia doktora nauk chemicznych

M1. Krompiec, S., Ignasiak, H., Krompiec, M., Stanek, Ł., Filapek, M., Gębarowska, K., Penczek, R.

Efficient catalytic systems for synthesis of 5,5'-dibromo-2,2':6',2''-terpyridine and 5,5'-dibromo-2,2'-bipyridine via coupling of dihalogenopyridines with 5-bromo-2-trialkylstannylpyridines

(2009) Polish Journal of Chemistry, 83 (2), pp. 245-262. Cited 1 time.

M2. Krompiec, S., Penczek, R., Krompiec, M., Pluta, T., Ignasiak, H., Kita, A., Michalik, S., Matlengiewicz, M., Filapek, M.

Transition metals for conjugation of polyunsaturated acids and their esters

(2009) Current Organic Chemistry, 13 (9), pp. 896-913. Cited 11 times.

DOI: 10.2174/138527209788452117

M3. Bujak, P., Krompiec, S., Malarz, J., Krompiec, M., Filapek, M., Danikiewicz, W., Kania, M., Gbarowska, K., Grudzka, I.

Synthesis of 5-aminoisoxazolines from N-allyl compounds and nitrile oxides via tandem isomerization-1,3-dipolar cycloaddition

(2010) Tetrahedron, 66 (32), pp. 5972-5981. Cited 27 times.

DOI: 10.1016/j.tet.2010.06.040

M4. Krompiec, M., Krompiec, S., Grudzka, I., Filapek, M., Skórka, L., Flak, T., Łapkowski, M.

*A cross-linked conjugated metallopolymer comprised of bisaxially coordinated ruthenium tetra-*t*-butyl phthalocyanine connected by quaterthiophene linkers*

(2011) Electrochimica Acta, 56 (19), pp. 6824-6830. Cited 7 times.

DOI: 10.1016/j.electacta.2011.05.088

M5. Krompiec, M., Grudzka, I., Filapek, M., Skórka, L., Krompiec, S., Łapkowski, M., Kania, M., Danikiewicz, W.

An electrochromic diquat-quaterthiophene alternating copolymer: A polythiophene with a viologen-like moiety in the main chain

(2011) *Electrochimica Acta*, 56 (24), pp. 8108-8114. Cited 17 times.

DOI: 10.1016/j.electacta.2011.05.132

M6. Sek, D., Bijak, K., Grucela-Zajac, M., Filapek, M., Skorka, L., Siwy, M., Janeczek, H., Schab-Balcerzak, E.

Synthesis and study on the light absorbing, emitting, redox and electrochromic properties of azines and polyazines with thiophene units

(2012) *Synthetic Metals*, 162 (17-18), pp. 1623-1635. Cited 26 times.

DOI: 10.1016/j.synthmet.2012.06.019

M7. Grucela-Zajac, M., Filapek, M., Skorka, L., Gasiorowski, J., Glowacki, E.D., Neugebauer, H., Schab-Balcerzak, E.

Thermal, optical, electrochemical, and electrochromic characteristics of novel polyimides bearing the Acridine Yellow moiety

(2012) *Materials Chemistry and Physics*, 137 (1), pp. 221-234. Cited 29 times.

DOI: 10.1016/j.matchemphys.2012.09.011

M8. Branowska, D., Chaciak, B., Siuchta, O., Olender, E., Ledwon, P., Lapkowski, M., Poronik, E., Wysocki, W., Karczmarzyk, Z., Skora, L., Filapek, M., Krompiec, S., Urbanczyk-Lipkowska, Z., Kalicki, P.

Synthesis, photophysics and electrochemistry of novel, nitrogen-containing heterocyclic derivatives

(2013) *New Journal of Chemistry*, 37 (7), pp. 1982-1988. Cited 9 times.

DOI: 10.1039/c3nj00078h

M9. Małecki, J.G., Maroń, A., Krompiec, S., Filapek, M., Penkala, M., Marcol, B.

Synthesis, characterizations and catalytic applications of hydridecarbonyl ruthenium(II) complexes with imidazole carboxylic acid derivative ligands

(2013) *Polyhedron*, 49 (1), pp. 190-199. Cited 11 times.

DOI: 10.1016/j.poly.2012.09.051

M10. Krompiec, S., Filapek, M., Grudzka, I., Kula, Sł., Słodek, A., Skórka, Ł., Danikiewicz, W., Ledwon, P., Lapkowski, M.

An ambipolar behavior of novel ethynyl-bridged polythiophenes - A comprehensive study

(2013) *Synthetic Metals*, 165 (1), pp. 7-16. Cited 17 times.

DOI: 10.1016/j.synthmet.2012.12.030

6.2. Publikacje po uzyskaniu stopnia doktora nauk chemicznych

D1. Iwan, A., Boharewicz, B., Parafiniuk, K., Tazbir, I., Gorecki, L., Sikora, A., Filapek, M., Schab-Balcerzak, E.

New air-stable aromatic polyazomethines with triphenylamine or phenylenevinylene moieties towards photovoltaic application

(2014) *Synthetic Metals*, 195, pp. 341-349. Cited 50 times.

DOI: 10.1016/j.synthmet.2014.07.004

D2. Słodek, A., Filapek, M., Szafraniec, G., Grudzka, I., Pisarski, W.A., Malecki, J.G., Zur, L., Grela, M., Danikiewicz, W., Krompiec, S.

Synthesis, electrochemistry, crystal structures, and optical properties of quinoline derivatives with a 2,2'-bithiophene motif

(2014) *European Journal of Organic Chemistry*, 2014 (24), pp. 5256-5264. Cited 26 times.

DOI: 10.1002/ejoc.201402241

- D3. Grucela-Zajac, M., Filapek, M., Skorka, L., Bijak, K., Smolarek, K., Mackowski, S., Schab-Balcerzak, E.
Photophysical, electrochemical and thermal properties of new (co)polyimides incorporating oxadiazole moieties
(2014) *Synthetic Metals*, 188, pp. 161-174. Cited 22 times.
DOI: 10.1016/j.synthmet.2013.12.012
- D4. Krompiec, S., Malarz, J., Pietraszuk, C., Powała, B., Rogalski, S., Małecki, J.G., Penkala, M., Filapek, M., Musioł, R., Jampílek, J., Vejsová, M., Polański, J., Paluch, M., Pawlus, S., Danikiewicz, W., Kania, M., Marcol, B.
New strategy for the synthesis of 3,4,5-trisubstituted isoxazolines from allyl compounds
(2014) *Current Organic Chemistry*, 18 (17), pp. 2280-2296. Cited 4 times.
DOI: 10.2174/1385272819666140912004436
- D5. Grucela-Zajac, M., Bijak, K., Kula, S., Filapek, M., Wiacek, M., Janeczek, H., Skorka, L., Gasiorowski, J., Hingerl, K., Sariciftci, N.S., Nosidlak, N., Lewinska, G., Sanetra, J., Schab-Balcerzak, E.
(Photo)physical properties of new molecular glasses end-capped with thiophene rings composed of diimide and imine units
(2014) *Journal of Physical Chemistry C*, 118 (24), pp. 13070-13086. Cited 34 times.
DOI: 10.1021/jp501168b
- D6. Jarczyk-Jedryka, A., Bijak, K., Sek, D., Siwy, M., Filapek, M., Malecki, G., Kula, S., Lewinska, G., Nowak, E.M., Sanetra, J., Janeczek, H., Smolarek, K., Mackowski, S., Schab-Balcerzak, E.
Unsymmetrical and symmetrical azines toward application in organic photovoltaic
(2015) *Optical Materials*, 39, pp. 58-68. Cited 11 times.
DOI: 10.1016/j.optmat.2014.10.065
- D7. Krompiec, S., Filapek, M., Grudzka-Flak, I., Słodek, A., Kula, S., Malecki, J.G., Malarz, J., Szafraniec-Gorol, G., Penkala, M., Schab-Balcerzak, E., Paluch, M., Mierzwa, M., Matussek, M., Szlapa, A., Pajak, M., Blach, D., Marcol, B., Danikiewicz, W., Boharewicz, B., Iwan, A.
Multifaceted strategy for the synthesis of diverse 2,2'-bithiophene derivatives
(2015) *Molecules*, 20 (3), pp. 4565-4593. Cited 14 times.
DOI: 10.3390/molecules20034565
- D8. Iwan, A., Boharewicz, B., Tazbir, I., Filapek, M.
Enhanced power conversion efficiency in bulk heterojunction solar cell based on new polyazomethine with vinylene moieties and [6,6]-phenyl C61 butyric acid methyl ester by adding 10-camphorsulfonic acid
(2015) *Electrochimica Acta*, 159, pp. 81-92. Cited 26 times.
DOI: 10.1016/j.electacta.2015.01.215
- D9. Iwan, A., Boharewicz, B., Tazbir, I., Malinowski, M., Filapek, M., Kłab, T., Luszczynska, B., Glowacki, I., Korona, K.P., Kaminska, M., Wojtkiewicz, J., Lewandowska, M., Hreniak, A.
New environmentally friendly polyazomethines with thiophene rings for polymer solar cells
(2015) *Solar Energy*, 117, pp. 246-259. Cited 50 times.
DOI: 10.1016/j.solener.2015.03.051
- D10. Szafraniec-Gorol, G., Słodek, A., Filapek, M., Boharewicz, B., Iwan, A., Jaworska, M., Zur, L., Sołtys, M., Pisarska, J., Grudzka-Flak, I., Czajkowska, S., Sojka, M., Danikiewicz, W., Krompiec, S.
Novel iridium(III) complexes based on 2-(2,2'-bithien-5-yl)-quinoline. Synthesis, photophysical, photochemical and DFT studies
(2015) *Materials Chemistry and Physics*, 162, art. no. 18197, pp. 498-508. Cited 10 times.

DOI: 10.1016/j.matchemphys.2015.06.020

D11. Sek, D., Siwy, M., Bijak, K., Filapek, M., Malecki, G., Nowak, E.M., Sanetra, J., Jarczyk-Jedryka, A., Laba, K., Lapkowski, M., Schab-Balcerzak, E.

Optical and electrochemical properties of novel thermally stable Schiff bases bearing naphthalene unit

(2015) Journal of Electroanalytical Chemistry, 751, pp. 128-136. Cited 16 times.

DOI: 10.1016/j.jelechem.2015.05.040

D12. Schab-Balcerzak, E., Siwy, M., Filapek, M., Kula, S., Malecki, G., Laba, K., Lapkowski, M., Janeczek, H., Domanski, M.

New core-substituted with electron-donating group 1,8-naphthalimides towards optoelectronic applications

(2015) Journal of Luminescence, 166, pp. 22-39. Cited 17 times.

DOI: 10.1016/j.jlumin.2015.04.025

D13. Iwan, A., Boharewicz, B., Tazbir, I., Filapek, M., Korona, K.P., Wróbel, P., Stefaniuk, T., Ciesielski, A., Wojtkiewicz, J., Wronkowska, A.A., Wronkowski, A., Zboromirska-Wnukiewicz, B., Grankowska-Ciechanowicz, S., Kaminska, M., Szoplik, T.

How do 10-camphorsulfonic acid, silver or aluminum nanoparticles influence optical, electrochemical, electrochromic and photovoltaic properties of air and thermally stable triphenylamine-based polyazomethine with carbazole moieties?

(2015) Electrochimica Acta, 185, pp. 198-210. Cited 24 times.

DOI: 10.1016/j.electacta.2015.10.110

D14. Iwan, A., Palewicz, M., Tazbir, I., Boharewicz, B., Pietruszka, R., Filapek, M., Wojtkiewicz, J., Witkowski, B.S., Granek, F., Godlewski, M.

Influence of ZnO:Al, MoO₃ and PEDOT:PSS on efficiency in standard and inverted polymer solar cells based on polyazomethine and poly(3-hexylthiophene)

(2016) Electrochimica Acta, 191, pp. 784-794. Cited 33 times.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

DOI: 10.1016/j.electacta.2016.01.107

D15. Bijak, K., Filapek, M., Wiacek, M., Janeczek, H., Grucela, M., Smolarek, K., Mackowski, S., Schab-Balcerzak, E.

Preparation and characterization of new aliphatic-tailed five- and six-membered azomethine-diimides

(2016) Materials Chemistry and Physics, 171, pp. 97-108. Cited 7 times.

DOI: 10.1016/j.matchemphys.2015.12.005

D16. Jarczyk-Jedryka, A., Filapek, M., Malecki, G., Kula, S., Janeczek, H., Boharewicz, B., Iwan, A., Schab-Balcerzak, E.

Symmetrical N-acylsubstituted dihydrazones containing bithiophene core - Photophysical, electrochemical and thermal characterization

(2016) Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 159, pp. 169-176. Cited 6 times.

DOI: 10.1016/j.saa.2016.01.034

D17. Skórka, L., Filapek, M., Zur, L., Małeck, J.G., Pisarski, W., Olejnik, M., Danikiewicz, W., Krompiec, S.

Highly Phosphorescent Cyclometalated Iridium(III) Complexes for Optoelectronic Applications: Fine Tuning of the Emission Wavelength through Ancillary Ligands

(2016) Journal of Physical Chemistry C, 120 (13), pp. 7284-7294. Cited 42 times.

DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b01663

D18. Słodek, A., Matussek, M., Filapek, M., Szafraniec-Gorol, G., Szłapa, A., Grudzińska-Flak, I., Szczurek, M., Malecki, J.G., Maron, A., Schab-Balcerzak, E., Nowak, E.M., Sanetra, J., Olejnik, M., Danikiewicz, W., Krompiec, S.

Small Donor-Acceptor Molecules Based on a Quinoline-Fluorene System with Promising Photovoltaic Properties

(2016) European Journal of Organic Chemistry, 2016 (14), pp. 2500-2508. Cited 24 times.
DOI: 10.1002/ejoc.201600318

D19. Slodek, A., Filapek, M., Schab-Balcerzak, E., Grucela, M., Kotowicz, S., Janeczek, H., Smolarek, K., Mackowski, S., Malecki, J.G., Jedrzejowska, A., Szafraniec-Gorol, G., Chrobok, A., Marcol, B., Krompiec, S., Matussek, M.

Highly Luminescence Anthracene Derivatives as Promising Materials for OLED Applications

(2016) European Journal of Organic Chemistry, 2016 (23), pp. 4020-4031. Cited 38 times.
DOI: 10.1002/ejoc.201600532

D20. Szafraniec-Gorol, G., Slodek, A., Schab-Balcerzak, E., Grucela, M., Siwy, M., Filapek, M., Matussek, M., Zych, D., Mackowski, S., Buczynska, D., Grzelak, J., Erfurt, K., Chrobok, A., Krompiec, S.

Cyclometalated NCN platinum(II) acetylide complexes – Synthesis, photophysics and OLEDs fabrication

(2016) Optical Materials, 62, pp. 543-552. Cited 4 times.

DOI: 10.1016/j.optmat.2016.11.021

D21. Iwan, A., Caballero-Briones, F., Filapek, M., Boharewicz, B., Tazbir, I., Hreniak, A., Guerrero-Contreras, J.

Electrochemical and photocurrent characterization of polymer solar cells with improved performance after GO addition to the PEDOT:PSS hole transporting layer

(2017) Solar Energy, 146, pp. 230-242. Cited 23 times.

DOI: 10.1016/j.solener.2017.02.032

D22. Kotowicz, S., Siwy, M., Filapek, M., Malecki, J.G., Smolarek, K., Grzelak, J., Mackowski, S., Slodek, A., Schab-Balcerzak, E.

New donor-acceptor-donor molecules based on quinoline acceptor unit with Schiff base bridge: synthesis and characterization

(2017) Journal of Luminescence, 183, pp. 458-469. Cited 34 times.

DOI: 10.1016/j.jlumin.2016.11.058

D23. Iwan, A., Caballero-Briones, F., Malinowski, M., Filapek, M., Tazbir, I., Guerrero-Contreras, J., Kamaraj, S.-K.

Graphene oxide influence on selected properties of polymer fuel cells based on Nafion

(2017) International Journal of Hydrogen Energy, 42 (22), pp. 15359-15369. Cited 14 times.

DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.04.236

D24. Zych, D., Slodek, A., Matussek, M., Filapek, M., Szafraniec-Gorol, G., Krompiec, S., Kotowicz, S., Siwy, M., Schab-Balcerzak, E., Bednarczyk, K., Libera, M., Smolarek, K., Maćkowski, S., Danikiewicz, W.

Highly Luminescent 4'-(4-ethynylphenyl)-2,2':6',2''-Terpyridine Derivatives as Materials for Potential Applications in Organic Light Emitting Diodes

(2017) ChemistrySelect, 2 (27), pp. 8221-8233. Cited 8 times.

DOI: 10.1002/slct.201701415

D25. Zych, D., Slodek, A., Matussek, M., Filapek, M., Szafraniec-Gorol, G., Maślanka, S., Krompiec, S., Kotowicz, S., Schab-Balcerzak, E., Smolarek, K., Maćkowski, S., Olejnik, M., Danikiewicz, W.

4'-Phenyl-2,2':6',2''-terpyridine derivatives-synthesis, potential application and the influence of acetylene linker on their properties

(2017) Dyes and Pigments, 146, pp. 331-343. Cited 24 times.

DOI: 10.1016/j.dyepig.2017.07.030

D26. Rózycka, A., Iwan, A., Bogdanowicz, K.A., Filapek, M., Górska, N., Pocięcha, D., Malinowski, M., Fryn, P., Hreniak, A., Rysz, J., Dabczynski, P., Marzec, M.

Synthesis and characterization of two new TiO₂-containing benzothiazole-based imine composites for organic device applications

(2018) Beilstein Journal of Nanotechnology, 9 (1), pp. 721-739. Cited 9 times.

DOI: 10.3762/bjnano.9.67

D27. Rozycka, A., Iwan, A., Bogdanowicz, K.A., Filapek, M., Górska, N., Hreniak, A., Marzec, M.

Structural and electrochemical studies of TiO₂ complexes with (4,4'-((1: E,1' E)-(2,5-bis(octyloxy)-1,4-phenylene)bis(ethene-2,1-diyl))bis-(E)- N -(2,5-bis(octyloxy)benzylidene)) imine derivative bases towards organic devices

(2018) Dalton Transactions, 47 (23), pp. 7682-7693. Cited 9 times.

DOI: 10.1039/c8dt01418c

D28. Bogdanowicz, K.A., Gancarz, P., Filapek, M., Pocięcha, D., Marzec, M., Chojnacka, I., Iwan, A.

Solvent-free thiophene-based electrolytes: synthesis of new liquid-crystalline ionic conductors for batteries: part I

(2018) Dalton Transactions, 47 (44), pp. 15714-15724. Cited 3 times.

DOI: 10.1039/C8DT02968G

D29. Różycka, A., Fryń, P., Iwan, A., Bogdanowicz, K.A., Filapek, M., Górska, N., Dąbczyński, P., Rysz, J., Pocięcha, D., Hreniak, A., Marzec, M.

Thermal, structural and electrochemical properties of new aliphatic-aromatic imine with piperazine moieties blended with titanium dioxide

(2018) Phase Transitions, 91 (2), pp. 210-224. Cited 5 times.

DOI: 10.1080/01411594.2017.1403603

D30. Szłapa-Kula, A., Kula, S., Filapek, M., Fabianczyk, A., Bujak, K., Siwy, M., Kotowicz, S., Janeczek, H., Smolarek, K., Maćkowski, S., Krompiec, S., Schab-Balcerzak, E.

Synthesis, electrochemistry and optical properties with electroluminescence ability of new multisubstituted naphthalene derivatives with thiophene and carbazole motifs

(2018) Journal of Luminescence, 196, pp. 244-255. Cited 6 times.

DOI: 10.1016/j.jlumin.2017.12.030

D31. Kotowicz, S., Kula, S., Filapek, M., Szłapa-Kula, A., Siwy, M., Janeczek, H., Małecki, J.G., Smolarek, K., Maćkowski, S., Schab-Balcerzak, E.

2,2-Dicyanovinyl derivatives – Thermal, photophysical, electrochemical and electroluminescence investigations

(2018) Materials Chemistry and Physics, 209, pp. 249-261. Cited 7 times.

DOI: 10.1016/j.matchemphys.2018.02.001

D32. Rozycka, A., Iwan, A., Filapek, M., Górska, N., Bogdanowicz, K.A., Dąbczyński, P., Rysz, J., Pocięcha, D., Hreniak, A., Marzec, M.

Study of TiO₂ in anatase form on selected properties of new aliphatic-aromatic imines with bent shape towards organic electronics

(2018) Liquid Crystals, 45 (6), pp. 831-843. Cited 8 times.

DOI: 10.1080/02678292.2017.1390172

D33. Kotowicz, S., Sęk, D., Kula, S., Fabiańczyk, A., Siwy, M., Filapek, M., Szłapa-Kula, A., Małecki, J.G., Jonsson-Niedziółka, M., Niedziółka-Jonsson, J., Smolarek, K., Maćkowski, S., Schab-Balcerzak, E.

Malononitrile derivatives as push-pull molecules: Structure - properties relationships characterization

(2018) Journal of Luminescence, 203, pp. 455-466. Cited 3 times.

DOI: 10.1016/j.jlumin.2018.06.071

D34. Matussek, M., Filapek, M., Gancarz, P., Krompiec, S., Grzegorz Małecki, J., Kotowicz, S., Siwy, M., Maćkowski, S., Chrobok, A., Schab-Balcerzak, E., Słodek, A.

- Synthesis and photophysical properties of new perylene bisimide derivatives for application as emitting materials in OLEDs*
(2018) *Dyes and Pigments*, 159, pp. 590-599. Cited 26 times.
DOI: 10.1016/j.dyepig.2018.07.006
- D35. Kula, S., Szlapa-Kula, A., Kotowicz, S., Filapek, M., Bujak, K., Siwy, M., Janeczek, H., Maćkowski, S., Schab-Balcerzak, E.
Phenanthro[9,10-d]imidazole with thiophene rings toward OLEDs application
(2018) *Dyes and Pigments*, 159, pp. 646-654. Cited 16 times.
DOI: 10.1016/j.dyepig.2018.07.014
- D36. Kula, S., Szlapa-Kula, A., Filapek, M., Bujak, K., Kotowicz, S., Siwy, M., Grzelak, J., Szalkowski, M., Maćkowski, S., Schab-Balcerzak, E.
Novel phenanthro[9,10-d]imidazole derivatives - effect of thienyl and 3,4-(ethylenedioxy)thienyl substituents
(2019) *Synthetic Metals*, 251, pp. 40-48. Cited 3 times.
DOI: 10.1016/j.synthmet.2019.03.022
- D37. Szafraniec-Gorol, G., Slodek, A., Zych, D., Filapek, M., Ignasiak, W., Maron, A., Leszczynska-Sejda, K., Chrobok, A., Krompiec, S.
Luminescent N^CN cyclometalated iridium(III) acetylides complexes with fluorene and carbazole motifs
(2019) *Journal of Luminescence*, 211, pp. 446-456. Cited 3 times.
DOI: 10.1016/j.jlumin.2019.03.033
- D38. Kurpanik, A., Matussek, M., Szafraniec-Gorol, G., Filapek, M., Lodowski, P., Marcol-Szumilas, B., Ignasiak, W., Małecki, J.G., Machura, B., Małecka, M., Danikiewicz, W., Pawlus, S., Krompiec, S.
APEX Strategy Represented by Diels–Alder Cycloadditions—New Opportunities for the Syntheses of Functionalised PAHs
(2020) *Chemistry - A European Journal*, 26 (53), pp. 12150-12157. Cited 6 times.
DOI: 10.1002/chem.202001327
- D39. Kula, S., Krawczyk, P., Filapek, M., Maroń, A.M.
Influence of N-donor substituents on physicochemical properties of phenanthro[9,10-d]imidazole derivatives
(2021) *Journal of Luminescence*, 233, art. no. 117910, . Cited 4 times.
DOI: 10.1016/j.jlumin.2021.117910
- D40. Fabiańczyk, A., Gnida, P., Chulkin, P., Kula, S., Filapek, M., Szlapa-Kula, A., Janeczek, H., Schab-Balcerzak, E.
Effect of heterocycle donor in 2-cyanoacrylic acid conjugated derivatives for DSSC applications
(2021) *Solar Energy*, 220, pp. 1109-1119. Cited 7 times.
DOI: 10.1016/j.solener.2020.08.069
- D41. Kula, S., Krawczyk, P., Kaźmierski, Ł., Filapek, M.
Synthesis, physicochemical characterization and biological properties of new 5-(1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)-thiophene-2-carbaldehyde
(2022) *Journal of Molecular Structure*, 1252, art. no. 132122, . Cited 4 times.
DOI: 10.1016/j.molstruc.2021.132122
- D42. Kula, S., Kaźmierski, Filapek, M., Krawczyk, P.
Influence of a bithiophene substituent on the properties of a new fluorescent probe – Theoretical and experimental study
(2023) *Journal of Molecular Structure*, 1281, art. no. 135151, .
DOI: 10.1016/j.molstruc.2023.135151

D43. Matussek M. Kurpanik-Wójcik A., Gogoc S., Fijołek A., Filapek M., Naumczuk B., Data P. *Electroactive Dyes Based on 1,8-Naphthalimide with Acetylene Linkers as Promising OLED Materials – the Relationship Between Structure and Photophysical Properties*, (2023) Chem. Eur. J. e202302115. DOI:10.1002/chem.202302115

7. Inne osiągnięcia naukowo-badawcze

7.1. Informacja o realizowanych projektach badawczych

- 1) "Kompleksowa charakterystyka własności spektroelektrochemicznych nowych materiałów polimerowych, opartych na heterocyklicznych układach skondensowanych, na potrzeby molekularnej optoelektroniki organicznej", projekt OPUS finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2009-2012); rola w projekcie: wykonawca;
- 2) "Nowe zastosowania związków allilowych w syntezie organicznej" projekt OPUS finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2009-2012); rola w projekcie: wykonawca;
- 3) "Etynylobitiofen: uniwersalny reagent do syntezy nowych układów karbo- i heterocyklicznych, nowych kompleksów metali, oraz nowych politiofenów o oczekiwanych właściwościach" projekt OPUS finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2011-2014)Nr grantu: 2011/01/B/ST5/06309 ; rola w projekcie: wykonawca;
- 4) „Innowacyjne materiały i nanomateriały z polskich źródeł renu i metali szlachetnych dla katalizy, farmacji i organicznej elektroniki” projekt ORGANOMET finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju NCBiR (2014-2016); rola w projekcie: współwykonawca
- 5) "Bezołowiowe tlenkowo-fluorkowe szkła i włókna szklane oraz materiały szklano-ceramiczne aktywowane jonami lantanowców dla fotoniki", projekt OPUS finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2012-2015); rola w projekcie: wykonawca;
- 6) "Procesy konwersji w górę w szklach i układach szklano-ceramicznych domieszkowanych lantanowcami podczas wzbudzenia diodą laserową pracy ciągłej i laserem femtosekundowym", projekt OPUS finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2015-2018); rola w projekcie: wykonawca;
- 7) "Układy typu donor-akceptor wykazujące zjawisko wzmocnienia emisji poprzez agregację; otrzymywane oraz badanie właściwości fizykochemicznych", projekt MINIATURA finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2018-2019); rola w projekcie: kierownik;
- 8) "CykloaddycjaDielsa-Aldera pod wysokim ciśnieniem: nowe reakcje, nowe zastosowania", projekt OPUS finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2017-2020); rola w projekcie: wykonawca;
- 9) "Od perylenu do funkcjonalizowanych nanografenów o oczekiwanych właściwościach", projekt OPUS finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2020-2024),Nr grantu: 2019/33/B/ST4/00962; rola w projekcie: wykonawca;

7.2. Staże naukowe i wizyty badawcze w ośrodkach krajowych i zagranicznych

Staż naukowy od 12.09.2011 do 29.02.2012 w Katedrze Fizykochemii i Technologii Polimerów Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej.

Opiekun naukowy: Prof. Dr hab. inż. Mieczysław Łapkowski

7.3. Prace na rzecz środowiska naukowego

7.3.1. Recenzje dla czasopism naukowych

Wykonałem kilkadziesiąt recenzji dla czasopism z listy filadelfijskiej, między innymi:

Dyes and Pigments (IF=4.69) 5 recenzji

Electrochimica Acta (IF=7.3) 1 recenzja

Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry (IF=5.14) 5 recenzji

Journal of Molecular Structure (IF=3.84) 8 recenzji

Optical Materials (IF=3.75) 4 recenzje

Synthetic Metals (IF=4.4) 10 recenzji

7.3.2. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Polymers (IF=5.0), edytor gościnny numeru specjalnego *“Advanced Research on Conjugated Polymers”*

7.4. Patenty i zgłoszenia patentowe

7.4.1. Patenty

[P1] Michał Krompiec, Iwona Grudzka-Flak, Michał Filapek, Tomasz Flak, Stanisław Krompiec, Krzysztof Zemlak, Zbigniew Jezierski, *„Sposób otrzymywania preparatu zawierającego 5-litio-2,2'-bitiofen”*, Numer patentu: 219430, 5.07.2012

[P2] Michał Krompiec, Iwona Grudzka-Flak, Michał Filapek, Tomasz Flak, Stanisław Krompiec, Krzysztof Zemlak, Zbigniew Jezierski, *„Sposób otrzymywania preparatu zawierającego 5-jodo-2,2'-bitiofen”*, Numer patentu: 219440, 21.10.2014

[P3] Michał Krompiec, Iwona Grudzka-Flak, Michał Filapek, Tomasz Flak, Stanisław Krompiec, Krzysztof Zemlak, Zbigniew Jezierski, *„Sposób otrzymywania 5-alkinylo-2,2'-bitiofenów na drodze reakcji sprzęgania preparatu zawierającego 5-jodo-2,2'-bitiofen z terminalnymi acetylenami”*, Numer patentu: 219439, 21.10.2014

[P4] Cezary Pietraszuk, Stanisław Krompiec, Beata Powąła, Aneta Słodek, Piotr Bujak, Iwona Grudzka-Flak, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Sławomir Kula, Ewelina Kowalska, Beata Marcol-Szumilas, Joanna Malarz, Jarosław Polański, Szymon Rogalski, *„Izoksazolinytrójpodstawione oraz sposób ich otrzymywania”*, Numer patentu: 224926, 4.08.2016

[P5] Cezary Pietraszuk, Stanisław Krompiec, Beata Powąła, Aneta Słodek, Piotr Bujak, Iwona Grudzka-Flak, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Sławomir Kula, Ewelina Kowalska, Beata Marcol-Szumilas, Joanna Malarz, Jarosław Polański, Szymon Rogalski, *„Izoksazolinytripodstawione w pozycjach 3, 4 i 5 oraz sposób ich otrzymywania”*, Numer patentu: 224381, 09.06.2016

[P6] Cezary Pietraszuk, Stanisław Krompiec, Beata Powąła, Aneta Słodek, Piotr Bujak, Iwona Grudzka-Flak, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Sławomir Kula,

Ewelina Kowalska, Beata Marcol-Szumilas, Joanna Malarz, Jarosław Polański, Szymon Rogalski, „Izoksazolina 3,4,5-tripodstawiona oraz sposób jej otrzymywania”, Numer patentu: 224382, 20.06.2016

[P7] Iwona Grudzka-Flak, Michał Filapek, Sławomir Kula, Tomasz Flak, Stanisław Krompiec, „Nowa pochodna acetyleny oraz sposób jej otrzymywania”, Numer patentu:220130, 18.12.2014

[P8] Beata Powąła, Cezary Pietraszuk, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Joanna Malarz, Marian Paluch, Sebastian Pawlus, Szymon Rogalski, Beata Marcol-Szumilas, Stanisław Krompiec, „Sposób otrzymywania 3,4,5-tripodstawionych izoksazolin”, Numer patentu:232036, 17.12.2018

[P9] Marian Paluch, Stanisław Krompiec, Dariusz Błach, Michał Filapek, Sławomir Kula, Kinga Janicka, Sebastian Pawlus, „3,5-dipodstawione oraz 3,4,5-tripodstawione izoksazole oraz sposób ich otrzymywania” , Numer patentu:226374, 24.01.2017

[P10] Stanisław Krompiec, Beata Marcol-Szumilas, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Dariusz Błach, Izabela Nosek, „Sposób otrzymywania związków 1-propenyowych lub bis (1 - propenyowych) lub allilowo - (1-propenyowych)”, Numer patentu:228659, 03.11.2017

[P11] Stanisław Krompiec, Beata Marcol-Szumilas, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Dariusz Błach, Izabela Nosek, „Sposób otrzymywania związków 1-propenyowych, bis (1 - propenyowych) oraz allilowo - (1-propenyowych)”, Numer patentu:228701, 03.11.2017

[P12] Agata Szłapa-Kula, Marek Matussek, Sławomir Kula, Dawid Zych, Michał Filapek, Stanisław Krompiec, Beata Marcol-Szumilas, Grzegorz Benke, Katarzyna Leszczyńska-Sejda, „Sposób otrzymywania 1,2- bis (fluorenowych) pochodnych acetyleny”, Numer patentu:230876, 02.11.2017

[P13] Agata Szłapa-Kula, Sławomir Kula, Dawid Zych, Michał Filapek, Stanisław Krompiec, Beata Marcol-Szumilas, Grzegorz Benke, Katarzyna Leszczyńska-Sejda, „Sposób otrzymywania 1,2- bis (N-alkilokarbazol-3-ylo) acetylenów”, Numer patentu:228388, 02.11.2017

[P14] Beata Marcol-Szumilas, Stanisław Krompiec, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Grzegorz Benke, Katarzyna Leszczyńska-Sejda, Cezary Pietraszuk, Szymon Rogalski, „Sposób otrzymywania niskowrzących eterów i sulfidów 1-propenyowych lub bis(1-propenyowych)”, Numer patentu:230459, 14.06.2018

[P15] Agata Szłapa-Kula, Sławomir Kula, Daniel Matuszczyk, Michał Filapek, Stanisław Krompiec, Emilia Wójcik, Joanna Szlagor, Patrycja Wesółowska, Zuzanna Mitręga, „Sposób otrzymywania 2,2'-bis(3,4-etylenodioksytiofenu)”, Numer patentu:229833, 13.04.2018

[P16] Katarzyna Leszczyńska-Sejda, Grzegorz Benke, Joanna Malarz, Mateusz Ciszewski, Michał Drzazga, Grażyna Machelska, Krystyna Witman, Dawid Zych, Michał Filapek, Stanisław Krompiec, „Sposób wytwarzania bezwodnego renianu (VII) chromu (III)”, Numer patentu:228983, 11.12.2017

[P17] Katarzyna Leszczyńska-Sejda, Grzegorz Benke, Joanna Malarz, Mateusz Ciszewski, Michał Drzazga, Grażyna Machelska, Krystyna Witman, Mateusz Penkala, Michał Filapek, Stanisław Krompiec, „Sposób otrzymywania bezwodnego renianu (VII) cezu”, Numer patentu:228988, 13.12.2017

[P18] Aneta Kurpanik, Dawid Zych, Michał Pająk, Marek Matussek, Michał Filapek, Beata Marcol-Szumilas, Stanisław Krompiec, Numer patentu:234525, 07.11.2019

[P19] Grażyna Szafranie-Gorol, Stanisław Krompiec, Marek Matussek, Witold Ignasiak, Michał Filapek, „2,3-difenylo-N,N'-bis(2-etyloheksylo)benzo[ghi]peryleneodiimid oraz sposób jego otrzymywania” , Numer patentu:241962, 11.10.2022

[P20] Grażyna Szafranie-Gorol, Stanisław Krompiec, Marek Matussek, Witold Ignasiak, Michał Filapek. „2,3-difenylo-N,N'-bis(2,6-diizopropylfenylo)benzo[ghi]peryleneodiimid oraz sposób jego otrzymywania”, Numer patentu:241965, 11.10.2022

7.4.2. Zgłoszenia patentowe

[Zgł1] Michał Filapek, Stanisław Krompiec, Piotr Lodowski, Marek Matussek, Patrycja Filipek, Milena Jarosz, Bartłomiej Kula, Krzysztof Zemplak, „N,N'-bis(2-etyloheksylo)-cis-dibenzoperyleneodiimid oraz sposób jego otrzymywania”, Numer zgłoszenia:P.443459, Data zgłoszenia: 11.01.2023

8. Działalność dydaktyczna

8.1. Informacja o prowadzonych zajęciach dydaktycznych

1. Rok akademicki 2014/2015
 - a) Podstawy Chemii – ćwiczenia
 - b) Podstawy Chemii – konwersatorium
 - c) Chemia Nieorganiczna – laboratorium
 - d) Seminarium Licencjackie
 - e) Pracownia Magisterska
 - f) Pracownia Licencjacka
2. Rok akademicki 2015/2016
 - a) Podstawy Chemii – ćwiczenia
 - b) Podstawy Chemii – konwersatorium
 - c) Chemia Nieorganiczna – laboratorium
 - d) Seminarium Licencjackie
 - e) Pracownia Magisterska
 - f) Pracownia Licencjacka
 - g) Projekt Inżynierski
3. Rok akademicki 2016/2017
 - a) Podstawy Chemii – ćwiczenia
 - b) Podstawy Chemii – konwersatorium
 - c) Chemia Nieorganiczna – laboratorium
 - d) Seminarium Licencjackie
 - e) Pracownia Magisterska
 - f) Pracownia Licencjacka
 - g) Projekt Inżynierski
4. Rok akademicki 2017/2018
 - a) Podstawy Chemii – ćwiczenia
 - b) Podstawy Chemii – konwersatorium
 - c) Przedmiot Obieralny A- Poszerzona Chemia Nieorganiczna - konwersatorium
 - d) Chemia Nieorganiczna – laboratorium

- e) Projekt Inżynierski
- 5. Rok akademicki 2018/2019
 - a) Podstawy Chemii – ćwiczenia
 - b) Podstawy Chemii – konwersatorium
 - c) Chemia Nieorganiczna – laboratorium
 - d) Seminarium Licencjackie
 - e) Pracownia Magisterska
 - f) Pracownia Licencjacka
 - g) Projekt Inżynierski
- 6. Rok akademicki 2019/2020
 - a) Podstawy Chemii – ćwiczenia
 - b) Podstawy Chemii – konwersatorium
 - c) Podstawy Chemii – laboratorium
 - d) Chemia Nieorganiczna – laboratorium
 - e) Pracownia Licencjacka
- 7. Rok akademicki 2020/2021
 - a) Podstawy Chemii – ćwiczenia
 - b) Podstawy Chemii – konwersatorium
 - c) Chemia Nieorganiczna – laboratorium
 - d) Pracownia Licencjacka
 - e) Pracownia Magisterska
 - f) Współczesna Synteza Organiczna i Nieorganiczna – laboratorium
 - g) Kataliza i Procesy Katalityczne –laboratorium
- 8. Rok akademicki 2021/2022
 - a) Nowe Technologie – wykład (Koordynator przedmiotu)
 - b) Nowe Technologie – warsztat
 - c) Chemia Fizyczna – laboratorium
 - d) Pracownia Licencjacka
 - e) Poszerzona Chemia Fizyczna – laboratorium
 - f) Współczesna Synteza Organiczna i Nieorganiczna – laboratorium
 - g) Tutoring ekspercki
- 9. Rok akademicki 2022/2023
 - a) Nowe Technologie – wykład (Koordynator przedmiotu)
 - b) Nowe Technologie – warsztat
 - c) Chemia Fizyczna – laboratorium
 - d) Pracownia Licencjacka
 - e) Chemia Ogólna i Nieorganiczna – laboratorium
 - f) Współczesna Synteza Organiczna i Nieorganiczna – laboratorium

8.2. Informacja o opiece naukowej nad studentami

8.2.1. Prace licencjackie

1. Magdalena Kałkus „Wpływ budowy na właściwości fizykochemiczne nowych barwników organicznych” (14 lipca 2022)
2. Alicja Surus „Badania fizykochemiczne związków o potencjalnym zastosowaniu jako emiterzy w technice OLED” (23 listopad 2020)
3. Natalia Stolarczyk „Aromatyczne układy typu donor-akceptor wykazujące zjawisko wzmocnienia emisji poprzez agregację, badanie właściwości optycznych i elektrochemicznych” (10 lipca 2019)

4. Patrycja Filipek „Badania fizykochemiczne układów typu donor-akceptor wykazujących zjawisko wzmocnienia emisji poprzez agregację na przykładzie wybranych pochodnych karbazolu i fluorenu” (10 lipca 2019)
5. Daniel Lach „Synteza i elektrochemiczne badania związków o potencjalnych zastosowaniach w organicznej elektronice” (30 czerwca 2017)
6. Dariusz Waberski „Kompleksy metali przejściowych w chemioterapii” (28 czerwca 2016)
7. Justyna pieczonka „Sprzęganie palladem – synteza i mechanizmy” (14 października 2015)
8. Michał Wyskiel „Polimery przewodzące – synteza i właściwości” (14 października 2015)
9. Aneta Kawecka „Ambipolarne pochodne ketonów metylo-N-donorowych na potrzeby fotowoltaiki, otrzymywanie i badanie właściwości (9 lipca 2015)
10. Małgorzata Męcik „Ambipolarne pochodne ketonów metylo-heteroarylowych na potrzeby fotowoltaiki – otrzymywanie i badanie właściwości” (9 lipca 2015)

8.2.2. Prace inżynierskie

1. Przemysław Schöpp „Polimery przewodzące – otrzymywanie i badanie właściwości” (9 lutego 2016)
2. Kamila Leszczyńska „Synteza organicznych pochodnych estrów kwasu malonowego o potencjalnym zastosowaniu w diodach elektroluminescencyjnych” (6 lutego 2018)
3. Aneta Bochenek „Synteza organicznych pochodnych estrów kwasu malonowego o potencjalnym zastosowaniu w fotoogniwach” (6 lutego 2018)
4. Urszula Radziak „Synteza organicznych pochodnych bitiazolowych o potencjalnych zastosowaniach w organicznej elektronice” (6 lutego 2018)
5. Monika Borecka „Otrzymywanie i badanie właściwości kompleksów złota (I)” (25 marca 2021)

8.2.3. Prace magisterskie

1. Michał Pająk „Alkinowe kompleksy złota (I) na potrzeby organicznej elektroniki. Otrzymywanie i badanie właściwości” (26 czerwca 2015)
2. Małgorzata Męcik „Wyznaczanie podstawowych parametrów elektrochemicznych związków typu donor - akceptor o potencjalnym zastosowaniu w diodach elektroluminescencyjnych” (21 czerwca 2017)
3. Aneta Kawecka „Właściwości elektrochemiczne związków typu donor-akceptor jako nowych materiałów na potrzeby organicznej elektroniki
4. Katarzyna Ślęczka „Opracowanie elektrochemicznych metod wykrywania potencjalnych substancji psychoaktywnych na przykładzie safrolu” (3 października 2018)
5. Daniel Lach „Synteza niesymetrycznych i symetrycznych pochodnych tiofenowych typu A-D i A-D-A metodą kondensacji Knoevenagla” (25 czerwca 2019)
6. Patrycja Filipek „Elektrochromowe substancje jako wzmacniacze wybranych śladów kryminalistycznych” (29 czerwca 2021)
7. Natalia Stolarczyk „Elektrody modyfikowane o potencjalnym zastosowaniu w chemioterapii” (29 czerwca 2021)
8. Zuzanna Zielińska „Synteza i badanie właściwości nowych pochodnych typu donor-pi-akceptor o potencjalnym zastosowaniu jako wzmacniacze wybranych śladów linii papilarnych.” (lipiec 2023)

9. Natalia Szczypiorowska „Synteza i badanie właściwości nowych pochodnych typu donor-pi-akceptor o potencjalnym zastosowaniu jako wzmacniacze wybranych śladów linii papilarnych.”

8.2.4. Prace Doktorskie

1. Sławomir Kula „Reakcje cykloaddycji alkinów do β -ketoestrów – nowe możliwości w syntezie prekursorów polimerów przewodzących” (24 listopada 2017; promotor pomocniczy)

9. Działalność organizacyjna i popularyzatorska

1. Zespół do spraw realizacji zadania inwestycyjnego "Budowa Śląskiego Interdyscyplinarnego Centrum Chemii", członek zespołu od 25.03.2021.
2. Członek Rady Naukowej Instytutu Chemii Uniwersytetu Śląskiego, kadencja 01.10.2019-30.09.2022.
3. Ogólnopolski Konkurs Chemiczny, współorganizator edycji I-XV;
4. Kreatywny eksperymentator (program popularyzujący chemię wśród uczniów szkół ponadpodstawowych województwa śląskiego), prowadzący zajęcia warsztatowe.
5. Śląski Festiwal Nauki KATOWICE, koordynator edycji 3 i 4.
6. Święto liczby Pi, Współtwórca i współwykonawca pokazów w ramach edycji odbywających się w latach 2007-2018.

10. Podsumowanie dorobku naukowego wraz z analizą bibliometryczną

(stan na 27 wrzesień 2023)

Całkowita liczba publikacji: 61

Przed uzyskaniem stopnia doktora: 10

Po uzyskaniu stopnia doktora: 51

Patenty: 20

Liczba cytowań: 898 (według bazy Web of Science)

Liczba cytowań bez autocytowań: 798 (według bazy Web of Science)

Indeks Hirscha: 19 (bazy Web of Science)

.....*F. Lapen*.....
(podpis wnioskodawcy)