

Autoreferat

**Amplituda fali prostokątnej jako wielowymiarowe narzędzie
diagnostyczne w pomiarach elektrochemicznych**

Dariusz Guziejewski

*Zakład Analizy Instrumentalnej
Katedra Chemii Nieorganicznej i Analitycznej
Wydział Chemii
Uniwersytet Łódzki*

Łódź, 2023

Ukochanym Pandalom

1. Imię i nazwisko.

Dariusz Guziejewski

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

Magister chemii:

Miejsce uzyskania dyplomu: Uniwersytet Łódzki

Rok rozpoczęcia studiów magisterskich: 2001

Rok obrony tytułu magistra 2006

Tytuł pracy magisterskiej: Oznaczanie argininy w preparatach farmaceutycznych z wykorzystaniem katalitycznych prądów redukcji jonu niklu(II)

Tytuł pracy magisterskiej w języku angielskim: Determination of arginine in pharmaceutical preparations using catalytic reduction currents of nickel(II) ion

Promotor prof. dr hab. Witold Ciesielski

Doktor nauk chemicznych

Miejsce uzyskania dyplomu Uniwersytet Łódzki

Rok rozpoczęcia doktoratu 2006, data obrony pracy doktorskiej: 19.06.2013

Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim: Woltamperometria z falą prostokątną jako narzędzie w badaniach mechanizmów reakcji i oznaczeniach ilościowych pestycydów

Tytuł rozprawy doktorskiej w języku angielskim: Square wave voltammetry as a tool in investigations of reaction mechanisms and quantitative determinations of pesticides

Promotor prof. dr hab. Sławomira Skrzypek

Kopromotor prof. Valentin Mirčeski

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

2007 – 2014 asystent, Katedra Analizy Instrumentalnej, Uniwersytet Łódzki

2014 – ... adiunkt, Katedra Chemii Nieorganicznej i Analitycznej, Uniwersytet Łódzki

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.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Informacje wstępne

Tytuł osiągnięcia naukowego

***Amplituda fali prostokątnej jako wielowymiarowe narzędzie diagnostyczne
w pomiarach elektrochemicznych***

Lista artykułów naukowych stanowiących podstawę do wykazania osiągnięcia naukowego:

H1: 10.1016/j.electacta.2013.10.046

H2: 10.1021/ac4008573

H3: 10.1002/elan.201400349

H4: 10.1002/elan.201500335

H5: 10.1002/elan.201800425

H6: 10.1016/j.jelechem.2020.114186

H7: 10.1039/d2cp01888h

H8: 10.1149/1945-7111/acd875

Cel naukowy osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.) opiera się na jednotematycznym cyklu publikacji przedstawionych powyżej, a które zawierają wyniki badań opublikowanych w latach 2013-2023 wyłącznie w recenzowanych czasopismach posiadających IF. Są to trzy prace w Electroanalysis (H3-H5) oraz po jednej w Analytical

Chemistry (H2), Electrochimica Acta (H1), Physical Chemistry Chemical Physics (H7), Journal of the Electrochemical Society (H8) oraz Journal of Electroanalytical Chemistry (H6). W dwóch z wymienionych prac jestem jedynym autorem (H5 i H6), a w pięciu spośród całego cyklu pierwszym autorem. Ponadto w połowie z nich wszystkich jestem autorem korespondencyjnym.

Woltamperometria obejmuje dużą grupę technik elektrochemicznych opartych na koncepcji mikroelektrolizy. Termin mikroelektroliza odnosi się do eksperymentu, w którym elektrolizę przeprowadza się w kilku mililitrach roztworu elektrolitu, stosując małe elektrody o powierzchni zwykle mniejszej niż centymetr kwadratowy. Oprócz klasycznego wykorzystania elektrod makroskopowych o milimetrowych średnicach, czasami wielkość elektrod może być i jest zmniejszana do poziomu mikro czy nawet nano [1-4]. Celem mikroelektrolizy jest uzyskanie informacji o procesach fizykochemicznych zachodzących na powierzchni elektrody, w przeciwieństwie do klasycznych procesów elektrolizy, gdzie uzyskiwany wynik odnosi się do konwersji wszystkich cząstek elektroaktywnych znajdujących w roztworze [5].

Eksperyment woltamperometryczny jest prowadzony w taki sposób, aby dostarczał informacji o zjawiskach zachodzących tylko na jednej z elektrod, którą nazywamy elektrodą pracującą. Precyzując, analiza woltamperometryczna dostarcza nam informacji na temat transferu ładunku na granicy faz: elektroda pracująca/elektrolit. Najczęściej jest to przenoszenie elektronów przez granicę faz pomiędzy stałą elektrodę roboczą a ciekłym elektrolitem w wyniku heterogenicznej reakcji redoks, w której roztwór zawiera cząsteczki depolaryzatora, podczas gdy elektroda służy jako źródło lub pochłaniacz elektronów. W niektórych przypadkach za transfer ładunku odpowiada reakcja przeniesienia jonów na granicy międzyfazowej między dwiema niemieszającymi się cieczami [6, 7].

Analiza i diagnostyka mechanizmów reakcji i ich szybkości stała się niejako jedną z wielu zalet i możliwości stosowania pomiarów woltamperometrycznych. Spośród wielu dostępnych technik elektrochemicznych prym w dziedzinie wymienionych wyżej analiz wiodą amperometria i woltamperometria cykliczna (CV), ale również elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS). Są to najbardziej znane elektrochemiczne sposoby oddziaływania na obiekt badań, które w wielu przypadkach są narzędziami wystarczającymi do zidentyfikowania mechanizmu reakcji oraz scharakteryzowania jej kinetyki. Badanie wpływu przyłożonego do

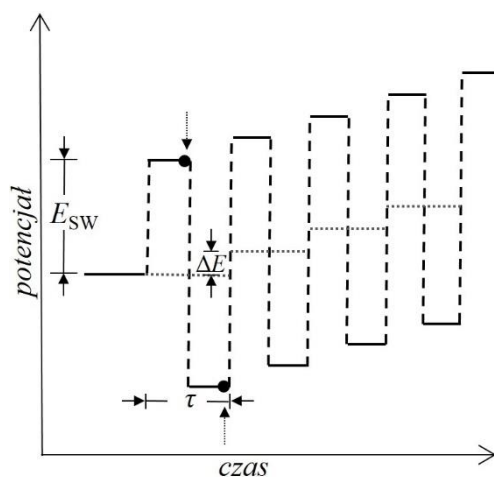
powierzchni elektrody pracującej potencjału na zachowanie się substancji analizowanej, tj. depolaryzatora, rozumiane jako jej zdolność do transferu elektronu jest kluczowym elementem stanowiącym o interakcji pomiędzy obiektem a narzędziem badań. Typowym sposobem przeprowadzenia charakteryzacji procesów elektrochemicznych analizowanej substancji elektroaktywnej jest analiza wpływu szybkości skanowania w woltamperometrii cyklicznej (co za tym idzie szybkości zmiany potencjału aplikowanego do powierzchni elektrody pracującej). Taki sposób postępowania jest pozycją klasyczną, w literaturze dobrze rozpoznaną [8-10] i stosowaną najczęściej.

Wprowadzenie do powszechnego użytku technik pulsowych [11, 12] doprowadziło do szeregu nowych możliwości analizy zarówno pod kątem rozpoznawania jak i ilościowego oznaczania szeregu substancji. Natomiast cechy ogólne takiego sposobu przykładania potencjału, istotne ze względu na charakter prowadzonych pomiarów, umożliwiają również osiąganie wartościowych wyników w przypadku charakteryzowania samych mechanizmów reakcji elektrodowych [3, 12]. Spośród dostępnego szeregu możliwych do zastosowania sposobów przykładania pulsów potencjału do elektrody pracującej, szczególne miejsce zajmuje woltamperometria fali prostokątnej (SWV) [3]. Jest to technika pulsowa drugiej generacji, wprowadzona przez profesora Barkera w latach 50. ubiegłego wieku [11]. Rozwój tej techniki związany jest z jej możliwościami eliminacji prądu pojemnościowego jako elementu niepożądanego w pomiarze woltamperometrycznym. Taki efekt zostaje osiągnięty po pierwsze w efekcie opóźnionego próbkowania natężenia prądu w stosunku do momentu przyłożenia potencjału do elektrody pracującej oraz po drugie dzięki odejmowaniu wartości natężenia prądu zarejestrowanego podczas dwóch sąsiadujących (ang. *forward* – pierwotny i *backward* – powrotny) pulsów potencjału. Ta druga cecha przyczynia się również do zwiększenia intensywności finalnie analizowanego sygnału wynikowego (ang. *net current*), ponieważ w przypadku procesów innych niż całkowicie nieodwracalne następuje amplifikacja danych wyjściowych na podstawie rejestrowanych we wspomnianych sąsiadujących pulsach natężeń prądu o charakterze katodowym i anodowym, a więc o przeciwnych znakach. Daje to możliwość oznaczania substancji elektroaktywnych na poziomie stężeń $10^{-7} - 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$ [13].

Woltamperometria fali prostokątnej to technika posiadająca wiele możliwości aplikacyjnych. Dzięki temu stała się ona jedną z wiodących technik elektroanalitycznych. Umożliwia również charakteryzację mechanizmów zachodzących procesów elektrodowych oraz posiada zdolność do oszacowania ich kinetyki [3, 14]. Te możliwości są dostępne dzięki specyficznemu i charakterystycznemu sposobowi rejestracji woltamperogramów, w którym

korzystamy z programu zmian potencjału, korzystnie składającego się z dwóch sąsiadujących, ale przeciwnie skierowanych pulsów potencjału. Sekwencja takich impulsów prostokątnych jest nakładana na schodkowo zmieniający się potencjał w programie skanowania. W jej wyniku powstaje ostateczny program zmian potencjału w postaci fali prostokątnej (Rysunek 1). W ten sposób w czasie trwania pojedynczego cyklu mamy możliwość badania zarówno procesów katodowych jak i anodowych. Podczas pomiaru techniką SWV natężenie prądu próbkowane jest dwukrotnie w trakcie cyklu, tj. pod koniec trwania każdego z pulsów potencjału. Następnie oblicza się różnicę w natężeniu prądu (tzw. wynikowe natężenie prądu, *net component*, ΔI) z pomiarów natężenia prądu dla składowych (tj.: pierwotnej, *forward* (ΔI_f) i powrotnej, *backward* (ΔI_b)). Każde z otrzymanych/zarejestrowanych natężeń prądu wykreslane jest w funkcji potencjału schodka. Zatem każdy pomiar techniką woltamperometrii fali prostokątnej daje w rezultacie trzy woltamperogramy: dwa składowe oraz finalny – najczęściej poddawany dalszej analizie – wynikowy. Na otrzymanym woltamperogramie z prądem wynikowym możemy obserwować sygnały w postaci pików, których wysokość (ΔI_p) jest wprost proporcjonalna m.in. do stężenia depolaryzatora, co pozwala na jego ilościowe oznaczenie. Parametrami charakteryzującymi sposób przykładania potencjału są: wysokość pojedynczego pulsu potencjału (z historycznych przyczyn zwana amplitudą, E_{sw}); wysokość pojedynczego schodka na krzywej schodkowej (krok potencjału, ΔE) oraz częstotliwość modulacji potencjału (liczba cykli potencjału w jednostce czasu, najczęściej nazywana częstotliwością, $f=1/\tau=1/2t_p$, gdzie τ oznacza czas trwania cyklu potencjału, co wynika również z czasu trwania pojedynczego pulsu potencjału t_p). Właśnie te trzy parametry charakteryzujące sposób przykładania potencjału w czasie mają istotny wpływ na wielkość sygnału rejestrowanego w technice SWV. Dlatego też są one optymalizowane podczas opracowywania procedur elektroanalitycznych. Do badań mechanistycznych i kinetycznych wykorzystuje się natomiast przede wszystkim wpływ częstotliwości jako parametru analogicznego do szybkości skanowania w woltamperometrii cyklicznej [3]. W przypadku gdy reakcja elektrodowa nie jest elektrochemicznie odwracalna, to rejestrowany sygnał jest zależny od bezwymiarowego parametru kinetycznego, w którego skład wchodzi również wartość zastosowanej w pomiarze częstotliwości. W zależności od stopnia odwracalności oraz rodzaju mechanizmu elektrodowego można obserwować wpływ zmiany wartości częstotliwości na np. wysokość sygnału wynikowego, jego szerokość połówkową czy położenie na osi potencjału. Z tego względu w literaturze istnieje pojęcie quasiodwracalnego maksimum, z charakterystyczną zależnością będącą wynikiem wpływu zmieniającej się wartości częstotliwości w kolejnych pomiarach na rejestrowane woltamperogramy, a dokładniej sygnały analizowanych substancji. Położenie tak

zaobserwowanego ekstremum jest w korelacji z szybkością reakcji przeniesienia elektronu. Z racji tego, że o szybkości przemiatania potencjałem decyduje kombinacja częstotliwości i kroku potencjału, to ostatnio powstały doniesienia na temat wykorzystania również tego drugiego parametru do charakteryzacji kinetyki procesów elektrodowych [15].



Rys. 1. Schemat zmian potencjału przykładanego do elektrody pracującej w voltamperometrii fali prostokątnej [16].

Powyższy opis wydaje się być niezbędnym elementem wstępu do opisu mojej pracy naukowej, gdyż pozwala rozszyfrować, dlaczego tematem przewodnim mojego osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego jest amplituda fali prostokątnej i jej wielowymiarowy charakter diagnostyczny. W ujęciu ogólnym można rzec, iż moje zainteresowania naukowe nakierowane są na badania elektrochemiczne i różne ich aspekty. O ile na samym początku mojej aktywności badawczej skupiałem się na aspektach elektroanalitycznych (prace w ramach indywidualnego trybu studiów w zespole naukowym jeszcze wtedy Katedry Analizy Instrumentalnej oraz zasadnicza część pracy magisterskiej, ta druga opublikowana jako PD52), to wraz z upływem czasu zacząłem dostrzegać inne możliwości wykorzystania badań elektrochemicznych. Już podczas pobytu na Norweskim Uniwersytecie Nauki i Technologii (NTNU) w Trondheim w Norwegii (na dziewiątym semestrze studiów magisterskich), korzystając z możliwości programu Sokrates Erasmus, miałem okazję pogłębić swoją wiedzę na temat elektrochemicznych badań wpływu kompleksowania oraz charakteryzacją efektów katalitycznych prostych aminokwasów zasadowych w roztworze jonów niklu. Właśnie tam, pod opieką prof. F. G. Banicy, przeprowadziłem większość pomiarów do swojej pracy magisterskiej. Późniejsze zaangażowanie w międzywydziałowej wymianie naukowej, przy wsparciu ze środków Środkowoeuropejskiego Programu Wymiany Uniwersyteckiej CEEPUS z kolei, doprowadziło

do nawiązania kontaktu i współpracy z prof. Valentinem Mirceskim, który ukształtował i ukierunkował moje dalsze zainteresowania naukowe. Początkowym etapem wyżej wymienionej współpracy było badanie i charakteryzowanie mechanizmów elektrodowych, opublikowane w pracach D49 i D47. To wtedy zrozumiałem, jak wiele można osiągnąć i wywnioskować z uzyskanych wyników eksperymentalnych poprzez równoległe przeprowadzenie symulacji pomiarów elektrochemicznych i ich porównanie ze sobą. Badałem wówczas mechanizm katodowego stripingu trudno rozpuszczalnej soli, zaadsorbowanej na powierzchni elektrody i sprzężony z homogeniczną reakcją chemiczną reaktywnego ligandu w warunkach woltamperometrii fali prostokątnej. Określiłem wpływ szybkości reakcji elektrodowej, szybkości reakcji chemicznej tworzenia reaktywnego ligandu i jego rozpadu. Wskazałem również wpływ położenia stanu równowagi reakcji chemicznej na rejestrowany sygnał woltamperometryczny. Badania teoretyczne poparłem przeprowadzonymi eksperymentami, co pozwoliło na wyznaczenie doświadczalnie standardowej stałej szybkości reakcji elektrodowej oraz stałych szybkości reakcji chemicznej na wybranym przykładzie. W tym czasie nauczyłem się korzystać z oprogramowania Mathcad i stosować je do analizy dowolnego mechanizmu elektrodowego, o ile tylko takowy posiada dostępne matematyczne rozwiązanie.

Iskrą, która dała początek motywacji do opracowania osiągnięcia naukowego prezentowanego niniejszym autoreferatem są dwie opublikowane wcześniej prace prof. V. Mirceskiego. Pierwsza z nich stanowi o wpływie amplitudy fali prostokątnej w technice SWV na kształt i ewentualne rozszczepienie się piku widocznego na woltamperogramie wynikowym [17] w przypadku mechanizmów z zaadsorbowanym depolaryzátorem na powierzchni elektrody pracującej. W nim opisano możliwość szacowania kinetyki reakcji na podstawie empirycznego ustalenia krytycznej wartości amplitudy, przy której obserwuje się anomalne ukształtowanie sygnału wynikowego. Natomiast drugi artykuł to doniesienie na temat obserwacji zjawiska quasiodwracalnego maksimum [18] i jego zastosowania do charakteryzowania szybkości procesów elektrodowych. W nim opisany został efekt parametru częstotliwości, dzięki któremu można obserwować wspomniane ekstremum, a jego położenie powiązać z kinetyką reakcji elektrodowej. Te wcześniejsze obserwacje i doniesienia stały się inspiracją do zagłębienia się w temat badań teoretycznych i eksperymentalnych z użyciem techniki SWV i wykorzystania amplitudy fali prostokątnej jako istotnego parametru, krytycznego również, a nawet przede wszystkim, w badaniach elektrokinetycznych. Tym samym w swoim osiągnięciu naukowym przedstawiam dogodność charakteryzacji

mechanizmów elektrodowych i ich kinetyki w woltamperometrii fali prostokątnej z użyciem amplitudy fali prostokątnej jako czynnika wyzwalającego szereg możliwości w badaniach zarówno kinetycznych jak i analitycznych. Stała skala czasowa analizy prowadzona przy wybranej wartości częstotliwości fali prostokątnej (a co za tym idzie stałej szybkości skanowania) stanowi jedną z głównych i unikatowych cech proponowanej metodologii. W początkowej fazie prac zainicjowałem prowadzenie badań z użyciem symulacji mechanizmów elektrodowych w warunkach woltamperometrii fali prostokątnej. Dzięki zdobytemu wcześniej, podczas prac nad publikacją D47, doświadczeniu byłem w stanie przygotowywać równanie charakteryzujące dany mechanizm elektrodowy i adjustować jego kinetyczne parametry krytyczne, takie jak współczynnik dyfuzji, współczynnik przeniesienia elektronów, szybkość reakcji elektrodowej czy szybkość reakcji chemicznej (jeśli takie są dostępne dla danego mechanizmu) do swoich potrzeb badawczych. W wyniku otrzymanych obliczeń możliwe było konstruowanie woltamperogramów, zarówno wynikowego jak i składowych, na podstawie obliczonych bezwymiarowych wartości prądowych. Tamże dokonywałem analizy kształtu oraz położenia sygnałów z wykorzystaniem komend automatyzujących dostępnych w oprogramowaniu. W początkowym etapie badań poddałem analizom mechanizmy opisujące najprostsze układy redoks, które nie są komplikowane dodatkowymi procesami chemicznymi, ani oddziaływaniami międzycząsteczkowymi, a znajdującymi się albo w roztworze i ulegają procesom przeniesienia ładunku w warstwie podwójnej w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni elektrody, ewentualnie są to cząsteczki elektroaktywne zaadsorbowane na powierzchni elektrody (wyniki zawarte zostały w publikacjach H1 i H2). Dzięki znacznemu uproszczeniu ilości czynników, które mogą wpływać na rejestrowane sygnały było możliwe zaobserwowanie efektu zmieniającej się wartości amplitudy i wyodrębnienie korelacji pozwalającej na jej wykorzystanie w badaniach elektrokinetycznych. Zaproponowałem metodykę opierającą się na dwóch możliwych aspektach badawczych przedstawionych szczegółowo poniżej.

W pierwszym z nich dokonuję analizy wpływu zmiany wartości amplitudy fali prostokątnej na względne położenie sygnałów na woltamperogramach składowych. Różnice w położeniu sygnału odpowiadającego procesom katodowym i tego związanego z procesem utleniania są ściśle powiązane, często nawet wprost proporcjonalną zależnością, z wartością stosowanej amplitudy fali prostokątnej. Jednak co najważniejsze zależą również od szybkości, z jaką zachodzi reakcja elektrodowa. Zaproponowałem zatem (publikacja H1), aby analizując wielkość separacji przy hipotetycznie zerowej wartości amplitudy (w mechanizmie z

depolarizatorem zaadsorbowanym na powierzchni elektrody - poprzez ekstrapolację liniowej części zależności) lub wartość amplitudy, przy której położenie sygnałów składowych jest identyczne (brak separacji - mechanizm z substancją elektroaktywną dyfundującą do powierzchni elektrody) możliwe było uzyskanie informacji o szybkości zachodzącej reakcji elektrodowej. Oczywiście w toku analizy należy brać pod uwagę elektronowość procesu, natomiast nie zaobserwowałem znaczącego wpływu wartości współczynnika przeniesienia elektronu.

Stosując klasyczne, literaturowe podejście analizie poddaje się woltamperogramy, gdzie rejestrowane natężenie prądu w trakcie trwania pulsów potencjału jest kreślone w funkcji wartości potencjału schodka, będącego bazą wyjściową dla tych pulsów, co prowadzi niejako do rozbieżności pomiędzy daną wejściową i wyjściową. W takim przypadku możliwe jest również dokonanie korekty wartości potencjału, względem którego przedstawia się rejestrowane wartości natężenia prądu i analiza alternatywnej zależności. Wykazałem, że na podstawie tzw. woltamperogramów z korektą potencjału można uzyskać równie przydatne i istotne dla badacza informacje o kinetyce reakcji. Teoretycznie przewidywane zależności oparte o taką metodykę zawarłem również w pracy H1.

Potwierdziło to tym samym moje przypuszczenia o rozszerzeniu możliwości stosowania efektu amplitudy fali prostokątnej w technice SWV na elementy składowe woltamperogramów fali prostokątnej do charakteryzacji kinetyki reakcji elektrodowej. Wyniki były na tyle doniosłe, że zostały docenione przez środowisko elektrochemiczne, gdyż otrzymałem nagrodę za najlepszą publikację z elektroanalizy chemicznej wręczoną podczas konferencji ESEAC w Malmo w Szwecji w 2014 roku. We wspomnianej pracy H1 została również przedstawiona wykonana przez mnie weryfikacja eksperymentalna w oparciu o modelowe układy redoks. Wartym podkreślenia, a wynikającym z badań przeprowadzonych podczas przygotowań do publikacji H1 jest możliwość badania kinetyki nie tylko w przypadku mechanizmów elektrodowych substancji zaadsorbowanych na powierzchni elektrody, jak to ma miejsce w przypadku wykorzystania efektu częstotliwości w woltamperometrii fali prostokątnej, ale również gdy depolarizator znajduje się w roztworze. Najdokładniejszym sposobem charakteryzacji kinetyki reakcji elektrodowej jest wykonanie dopasowania wyników symulacji do danych eksperymentalnych, niemniej jednak zaproponowałem zestaw równań roboczych znacznie ułatwiających osiągnięcie celu w przypadku osób z mniejszym doświadczeniem w prowadzeniu tego typu badań.

Drugim ważnym aspektem metodycznym, który zaproponowałem w kolejnej pracy (H2) było wykorzystanie zjawiska quasiodwracalnego maksimum, które związane jest z wyznaczeniem jego pozycji dla specyficznej wartości częstotliwości. W moim przypadku jednak zaproponowałem wykorzystanie efektu amplitudy fali prostokątnej, jako czynnika wyzwalającego analogiczny efekt. Wpływ ten może nie jest tak oczywisty jak częstotliwości, która decyduje o szybkości przemiatań potencjałem w technice SWV. Jednak jeśli rozważy się efekt amplitudy jako efekt zmiany wartości przykładanego potencjału, czyli siły napędowej procesów elektrochemicznych, to staje się logiczne, że parametr w postaci amplitudy fali prostokątnej jest równie istotny i możliwy do wykorzystania w badaniach elektrokinetycznych, tak jak parametr częstotliwości. Typowa zależność natężenia prądu pikowego od wartości amplitudy nie ma charakterystycznego przebiegu, ale w przypadku przeprowadzenia operacji normalizacji wyników umożliwia uzyskanie przebiegu z symptomatycznym maksimum, którego położenie zależy od szybkości zachodzącej reakcji elektrodowej. Ponownie dzięki przewidywaniom teoretycznym byłem w stanie zaproponować rozwiązania użyteczne dla przyszłego użytkownika na każdym poziomie zaawansowania. Znamienna jest również tutaj możliwość analizy mechanizmów elektrodowych, w których przynajmniej jeden ze składników układu redoks jest zaadsorbowany na powierzchni elektrody, ale również takich, gdzie proces przeniesienia elektronów następuje dla substancji znajdujących się w warstwie dyfuzyjnej. Potwierdza to zatem rozszerzenie zakresu możliwości stosowania zjawiska quasiodwracalnego maksimum na przypadki mechanizmów elektrodowych, gdzie wpływ zmiany częstotliwości nie dawał oczekiwanych efektów. W przypadku tej pracy przewidywania zostały zweryfikowane dzięki wynikom eksperymentalnym uzyskanym w zespole prof. Comptona. Istotnym podkreślenia jest tutaj fakt, że koncepcja i metodyka, którą przedstawiłem w pracy H2 jest niezależna od możliwości charakteryzacji kinetyki procesów elektrodowych przedstawionych w pracy H1. Natomiast znamiennym osiągnięciem w obydwu przypadkach jest możliwość wykonania pomiarów dla stałej szybkości reakcji elektrodowej przy stałej szybkości skanowania potencjałem. Zachęcony nowymi możliwościami postanowiłem sprawdzić możliwość badania kinetyki reakcji elektrodowej w przypadku substancji innych niż modelowe.

Dlatego też w badaniach opublikowanych w pracy H3 zaplanowałem przeprowadzenie opisanej powyżej uproszczonej analizy odpowiedzi woltamperometrycznej dla alizaryny, witaminy B12 i witaminy K2. Interpretacja otrzymanych wyników potwierdziła przydatność i wiarygodność zaproponowanej metodyki do kinetycznej charakteryzacji reakcji elektrodowych

przy stałej szybkości skanowania potencjałem w trakcie pomiaru. Wykazałem, że chociaż oszacowanie kinetyki reakcji elektrodowej można przeprowadzić poprzez bezpośrednie dopasowanie wyników symulacji do pomiaru doświadczalnego, to wiarygodne dane można uzyskać na podstawie równań roboczych. Zatem nie zawsze istnieje konieczność przeprowadzenia symulacji równoległe z eksperymentem. W tej pracy wykazałem związek przyczynowo-skutkowy przedstawiający jak bardzo szybkość reakcji elektrodowej jest w stanie wpływać na położenie sygnałów na woltamperogramach składowych. Może to w skrajnych przypadkach, przy zestawieniu odpowiednich czynników takich jak szybkość reakcji elektrodowej i zastosowana wartość częstotliwości, doprowadzić do silnej separacji, a w konsekwencji rozszczepienia sygnału wynikowego, ale wtedy właśnie najbardziej będą skuteczne w analizie metody oparte o wielkość separacji sygnałów składowych. Jeśli natomiast szybkość reakcji elektrodowej jest stosunkowo mała, to wtedy metoda quasiodwracalnego maksimum opartego na zmianach wartości amplitudy fali prostokątnej może być równie skutecznie zastosowana. Tym samym wykazuję komplementarność opracowanych metod szacowania kinetyki reakcji elektrodowej, co ułatwia możliwości analizy oraz uzasadnia holistyczne korzystanie z efektu amplitudy fali prostokątnej.

Przy okazji prac związanych z publikacją wskazaną powyżej badałem również elektrochemiczne zachowanie witaminy B2. Był to o tyle ciekawy przypadek, że został osobno opisany w pracy H4. Przyczyną tego była możliwość wykazania na podstawie uzyskanych wyników eksperymentalnych, że mechanizm elektrodowy badanej substancji odbiega od początkowo zakładanego dwuelektronowego, ale jednoetapowego procesu z adsorpcją substancji na powierzchni elektrody. W tym przypadku bardziej adekwatne informacje kinetyczne można uzyskać przyjmując dwuetapową (EE) ścieżkę z wymianą pojedynczych elektronów w każdej z nich. Ponieważ był to nowy rodzaj mechanizmu przeprowadziliśmy ponownie symulację danych zakładając różne szybkości reakcji elektrodowych w poszczególnych etapach. Dzięki temu udało się potwierdzić, że etapem limitującym szybkość w przypadku witaminy B2 jest pierwszy z transferów elektronów, podczas gdy drugi z przebiegających etapów jest szybszy i przebiega przy potencjale formalnym mniejszym niż dla pierwszego etapu przeniesienia elektronu.

Zachęcony poprzednimi wynikami postanowiłem sprawdzić jak amplituda fali prostokątnej wpływa na sygnały w przypadku innych niż te najprostsze mechanizmy elektrodowe. W dwóch kolejnych, monoautorskich pracach H5 i H6 przedstawiłem analizę dotyczącą rodziny mechanizmów strippingowych, zarówno anodowych jak i katodowych, a

także typowych mechanizmów, w których bierze udział reakcja chemiczna, jako etap poprzedzający lub następujący po etapie przeniesienia elektronu. Przeprowadzone symulacje i wyniki wskazują również tutaj na możliwości zastosowania zaproponowanych przeze mnie metodyk charakteryzacji kinetycznej w przypadku omawianych mechanizmów. W pracy H6 dodatkowo zaproponowałem nowy sposób uzyskania szacowania kinetyki reakcji poprzez wprowadzenie modyfikacji sposobu uzyskiwania korelacji danych z wykorzystaniem woltamperogramów z korektą potencjału. Opisane w tej pracy przebiegi zależności są nieliniowe, dlatego wykazałem intratność zastosowania punktu przecięcia ze sztucznie wytworzoną krzywą zakładającą wyłączny wpływ amplitudy na separację składowych, a reprezentującą brak dewiacji pod wpływem kinetyki reakcji przeniesienia elektronu. Przy okazji symulowane dane były korelowane z bezwymiarowymi parametrami kinetycznymi opisującymi poszczególne mechanizmy reakcji, wskazując na charakterystyczne cechy na woltamperogramach fali prostokątnej i umożliwiające zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi możliwymi mechanizmami elektrodowymi. Co jest godne podkreślenia to fakt, że nie jest wymagane wcześniejsze ustalenie szczegółów reakcji chemicznych. Zarówno w pracy H5 jak i H6 za każdym razem dokonywałem weryfikacji przedstawionych teoretycznie możliwości za pomocą wybranych przykładów eksperymentalnych, chociażby szacując proponowaną metodyką kinetykę reakcji elektrodowej w katodowym mechanizmie stripingowym jonów ołowiu czy podczas reakcji utleniania kwasu moczowego. Tym samym udowodniłem możliwości stosowania zaproponowanych przeze mnie sposobów postępowania w analizie elektrokinetycznej w przypadku bardziej złożonych mechanizmów elektrodowych.

Oprócz badań przedstawionych w opisywanym tutaj cyklu powiązanych tematycznie publikacji naukowych pracowałem również nad nowymi rozwiązaniami umożliwiającymi analizę mechanizmów i szacowanie kinetyki reakcji elektrodowej. Jednym z początkowych pomysłów był znalezienie sposobu na wykorzystanie możliwie dużej ilości danych pomiarowych, jakie byłyby i są dostępne do uzyskania w trakcie pojedynczego pomiaru woltamperometrycznego. Większość komercyjnie dostępnych oprogramowań sterujących do potencjostatów wykorzystywanych w badaniach elektrochemicznych udostępnia możliwość prowadzenia pomiarów według powszechnie znanych technik elektrochemicznych. W zrealizowanym wspólnie z profesorem Mirceskim pomysłe zaproponowaliśmy zastosowanie wielokrotnego próbkowania natężenia prądu zamiast typowego pojedynczego, co pozwala na uzyskanie charakterystycznych chronoamperometrycznych krzywych w każdym pulsie potencjału. Zebranie tych danych w całość pozwala podczas rejestracji pojedynczego

woltamperogramu fali prostokątnej uzyskać dostęp do informacji o kinetyce reakcji elektrodowej [19, 20]. Rozwinięciem pomysłu na znalezienie alternatyw umożliwiających zaawansowane analizy procesów elektrochemicznych było zaproponowanie tym razem nie modyfikacji sposobu akwizycji danych wyjściowych (natężenia prądu), ale zmiana strategii przykładania potencjału w trakcie pomiaru elektrochemicznego. W uproszczeniu można przyjąć, że spośród trzech parametrów opisujących zależność zmiany potencjału w czasie, tj. częstotliwości, amplitudy fali prostokątnej oraz kroku potencjału, został usunięty ten ostatni. W ten sposób otrzymujemy krzywą dla techniki nazywanej najczęściej elektrochemiczną spektroskopią faradajowską (EFS) lub czasem chronoamperometrią fali prostokątnej. Takie ograniczenie stopnia złożoności rozkładu potencjału w czasie pozwala na charakteryzację mechanizmu i kinetyki pod warunkiem wykonywania pomiarów przy potencjałach zbliżonych do wartości potencjału formalnego badanej reakcji elektrodowej [21, 22]. Charakteryzacja elektrokinetyki w takim przypadku opiera się na wykonaniu serii pomiarów w funkcji zmieniającej się częstotliwości. Tak otrzymane widmo jest zależne od rodzaju mechanizmu jak i szybkości zachodzącej reakcji przeniesienia elektronu. Ponieważ przedstawione powyżej podejście do analizy, pomimo uproszczenia założeń leżących u podstaw tej techniki, wymaga nadal wielu eksperymentów postanowiłem zaproponować alternatywne rozwiązanie w postaci zastosowania analizy widmowej w trakcie pojedynczego pomiaru na podstawie zmiany wartości amplitudy (publikacja H7). Oznacza to, że w zaplanowanej w pomiarze serii cykli zmian potencjału każdy kolejny będzie przykładany do powierzchni elektrody przez ten sam okres czasu (stała częstotliwość). Odmienne jest natomiast, że w każdym kolejnym cyklu następuje zmiana wartości amplitudy fali prostokątnej. Tak skonstruowana wieloamplitudowa elektrochemiczna spektroskopia faradajowska to nowość w sposobie uzyskiwania dostępu do informacji o kinetyce reakcji elektrodowej. Wynik tak otrzymanego eksperymentu może być analizowany zarówno w kontekście chronoamperometrycznym jak i woltamperometrycznym umożliwiając wszechstronność proponowanego podejścia. Godnym podkreślenia jest fakt, że w tej technice podczas pojedynczego pomiaru można uzyskać przebieg zależności quasiodwracalnego maksimum opartego na amplitudzie, które jest cechą wspólną, jak udowodniłem w poprzednich pracach, różnych mechanizmów elektrodowych w warunkach SWV, a czułych na zmianę kinetyki reakcji elektrodowej. W ten sposób zmniejszamy błąd wynikający ze zmiany powierzchni elektrody podczas powtarzania eksperymentu. Ponownie badania prowadzone są ze stałą częstotliwością, co ma szczególne znaczenie przy złożonych mechanizmach, w których parametry kinetyczne reakcji chemicznych jest sprzężona z czasem trwania eksperymentu. W opublikowanej pracy przewidywania teoretyczne zostały poparte

doświadczeniami wykonanymi pod moim nadzorem przez studentkę. Mam nadzieję, że elektrochemiczna spektroskopia faradajowska znajdzie szerokie zastosowanie w środowisku analitycznym, na przykład w czujnikach elektrochemicznych, a jej wariant wieloamplitudowy umożliwi szybkie oszacowanie parametrów kinetycznych na podstawie pojedynczego pomiaru.

Dlatego też w kolejnej i ostatniej pracy z cyklu przedstawiam możliwości analityczne różnych wariantów pomiarowych stworzonych na bazie woltamperometrii fali prostokątnej (publikacja H8). Praca ta stanowi niejako również powrót do korzeni, gdyż to właśnie od badań *stricte* elektroanalitycznych zaczynałem moje prace badawcze. W tej pracy opisuję dalsze możliwości udoskonań w obrębie samej woltamperometrii fali prostokątnej, ale również w wariantach tej techniki, które do tej pory zostały opublikowane. Mając do dyspozycji bogaty zestaw danych eksperymentalnych zebranych przez ostatnie dziesięciolecie mogłem przyjrzeć się również możliwościom analitycznym proponowanych modyfikacji, czy to sposobu akwizycji natężenia prądu poprzez wielokrotne próbkowanie, możliwości prezentacji danych poprzez korzystanie z woltamperogramów z korektą potencjału, modyfikację sposobu przykładania potencjału w elektrochemicznej spektroskopii faradajowskiej, czy wreszcie dalszą obróbkę danych w kumulacyjnej woltamperometrii fali prostokątnej. Należy podkreślić, że właśnie często takie drobne lub trudne do uchwycenia niuanse w podejściu do pomiaru elektrochemicznego potrafią przynieść wymierne korzyści. Chociażby taka kumulacja wartości prądowych jest w stanie amplifikować istniejące dane pomiarowe do poziomu dużo łatwiejszego do analizy, a przez to umożliwiać osiągnięcie dokładniejszych wyników ewaluacji sygnału. Ponadto dla tego sposobu obróbki danych można skorzystać z wartości amplitud fali prostokątnej lub częstotliwości, które powodują rozszczepienie sygnału wynikowego na klasycznym woltamperogramie. Tutaj też po raz pierwszy zaproponowałem, żeby na podstawie składowych krzywych otrzymanych po korekcie potencjału móc zaproponować wynikowy woltamperogram, na którym nie będzie widoczne rozszczepienie sygnału. Dlatego też będzie możliwość korzystania z wyższych wartości amplitudy fali prostokątnej w celu otrzymania możliwie najbardziej korzystnych pików do dalszej analizy pod kątem użyteczności analitycznej. Jest to o tyle ważne, że wydajność w elektroanalizie nie wynika wyłącznie z odkrywania nowych materiałów elektrodowych, czy kolejnych doskonałych elektrokatalizatorów o doskonałych właściwościach i zwiększonej powierzchni elektroaktywnej. Stąd właśnie jest potrzeba wielokierunkowego sposobu prowadzenia badań rejestrujących sygnały analityczne, która doprowadzi do poprawy właściwości czujników elektrochemicznych [23]. Chciałbym w tym miejscu podkreślić właśnie istotę osiągnięcia, w

którym staram się udowodnić jak ważnym jest analiza i wykorzystanie parametrów już dostępnych w pomiarach woltamperometrycznych. Niewątpliwie amplituda fali prostokątnej jest jednym z takowych i ze względu na swój wielowymiarowy charakter może być wykorzystana efektywnie w różnych aspektach analizy elektrochemicznej.

Podsumowując, moje główne osiągnięcia naukowe, wg których ubiegam się o nadanie stopnia doktora hab., można przedstawić w następujący, skrótowy sposób:

1) *skorelowałem zjawisko rozszczepienia sygnału wynikowego z efektem wpływu amplitudy fali prostokątnej na składowe sygnału SWV.*

2) *zapropnowałem wykorzystanie wpływu amplitudy fali prostokątnej do badań elektrokinetycznych szeregu mechanizmów elektrodowych i substancji elektroaktywnych w oparciu o:*

a) *analizę względnej pozycji sygnałów na składowych częściach woltamperogramu fali prostokątnej w efekcie jej oddziaływania, analizując:*

- *klasycznie rejestrowane woltamperogramy;*

- *stosując zabieg kompensacji potencjału do wartości potencjału, przy którym natężenie prądu jest rzeczywiście próbkowane, tzw. woltamperogramy z korektą potencjału;*

b) *wprowadzenie pojęcia quasiodwrotnego maksimum opartego na amplitudzie fali prostokątnej.*

3) *wprowadziłem nową metodykę badawczą opartą na elektrochemicznej spektroskopii faradajowskiej w wariacie wieloamplitudowym.*

4) *zapropnowałem rozszerzenie zakresu stosowalności wartości amplitud fali prostokątnej w oparciu o korektę potencjału w celach analitycznych.*

Literatura:

[1] J. Wang, Analytical Electrochemistry, Wiley-VCH, New Jersey, 2006.

[2] V. Mirceski, S. Skrzypek, L. Stojanov, Square-wave voltammetry, Chemtexts, 4 (2018).

- [3] V. Mirceski, S. Komorsky-Lovric, M. Lovric, *Square-Wave Voltammetry: Theory and Application*, Springer Berlin Heidelberg 2007.
- [4] V. Mirceski, The power and beauty of electrochemistry, *Journal of Solid State Electrochemistry*, 24 (2020) 2145-2146.
- [5] A.J. Bard, L.R. Faulkner, H.S. White, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, Wiley 2022.
- [6] R.A. Marcus, On the theory of ion transfer rates across the interface of two immiscible liquids, *The Journal of Chemical Physics*, 113 (2000) 1618-1629.
- [7] C. Batchelor-McAuley, E. Kätelhön, E.O. Barnes, R.G. Compton, E. Laborda, A. Molina, *Recent Advances in Voltammetry*, *ChemistryOpen*, 4 (2015) 224-260.
- [8] R.S. Nicholson, M.L. Olmstead, *Electrochemistry: calculations, simulation, and instrumentation*, in: J.S. Mattson, H.B. Mark, H.C. MacDonald (Eds.), New York : M. Dekker, New York, 1972, pp. 120-137.
- [9] L.K. Bieniasz, J. González, Á. Molina, E. Laborda, Theory of linear sweep/cyclic voltammetry for the electrochemical reaction mechanism involving a redox catalyst couple attached to a spherical electrode, *Electrochimica Acta*, 56 (2010) 543-552.
- [10] M. Noel, P.N. Anantharaman, Voltammetric studies on a glassy carbon electrode. Part II. Factors influencing the simple electron-transfer reactions—the $K_3[Fe(CN)_6]$ - $K_4[Fe(CN)_6]$ system, *Analyst*, 110 (1985) 1095-1103.
- [11] G.C. Barker, A.W. Gardner, Pulse polarography, *Fresenius' Zeitschrift für analytische Chemie*, 173 (1960) 79-83.
- [12] A. Molina, J. González, *Pulse Voltammetry in Physical Electrochemistry and Electroanalysis Theory and Applications*, 1st ed. 2016. ed. 2016.
- [13] S.A. Ozkan, J.M. Kauffmann, P. Zuman, *Electroanalytical Method Validation in Pharmaceutical Analysis and Their Applications*, *Monogr Electrochem*, (2015) 235-266.
- [14] J.G. Osteryoung, R.A. Osteryoung, Square Wave Voltammetry, *Analytical Chemistry*, 57 (1985) 101A-110A.
- [15] V. Mirceski, L. Stojanov, B. Ogorevc, Step potential as a diagnostic tool in square-wave voltammetry of quasi-reversible electrochemical processes, *Electrochimica Acta*, 327 (2019).

- [16] D. Guziejewski, V. Mirceski, Postępy w wykorzystaniu woltamperometrii fali prostokątnej w pomiarach kinetyki reakcji elektrodowych, in: B. Baś, W.W. Kubiak (Eds.) Problemy współczesnej elektrochemii, Wydawnictwo Naukowe Akapit, Kraków, 2014.
- [17] V. Mirčeski, M. Lovrić, Split square-wave voltammograms of surface redox reactions, *Electroanalysis*, 9 (1997) 1283-1287.
- [18] V. Mirceski, M. Lovric, Quasireversible maximum in cathodic stripping square-wave voltammetry, *Electroanalysis*, 11 (1999) 984-989.
- [19] V. Mirceski, D. Guziejewski, R. Gulaboski, Electrode Kinetics from a Single Square-Wave Voltammogram, *Maced J Chem Chem En*, 34 (2015) 181-188.
- [20] V. Mirceski, D. Guziejewski, M. Bozem, I. Bogeski, Characterizing electrode reactions by multisampling the current in square-wave voltammetry, *Electrochimica Acta*, 213 (2016) 520-528.
- [21] L. Stojanov, V. Jovanovski, V. Mirceski, Square-wave Voltammetry and Electrochemical Faradaic Spectroscopy of a Reversible Electrode Reaction: Determination of the Concentration Fraction of the Redox Couple, *Electroanalysis*, 33 (2021) 1271-1276.
- [22] D. Jadresko, D. Guziejewski, V. Mirceski, Electrochemical Faradaic Spectroscopy, *Chemelectrochem*, 5 (2018) 187-194.
- [23] V. Mirceski, D. Guziejewski, L. Stojanov, R. Gulaboski, Differential Square-Wave Voltammetry, *Analytical Chemistry*, 91 (2019) 14904-14910.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Jestem autorem lub współautorem 52 publikacji opublikowanych w czasopismach z bazy JCR, 11 rozdziałów w monografiach naukowych, 2 publikacji spoza bazy JCR oraz 5 zgłoszeń patentowych. Część tych osiągnięć powstała dzięki współpracy z innymi zespołami badawczymi, w efekcie czego 80% moich publikacji ma współautorów spoza Zakładu, w którym pracuję.

Zrealizowałem staże, pobyty naukowe i dydaktyczne w szeregu ośrodków krajowych i zagranicznych (poniżej wymieniono jedynie te staże, których odbycie zakończyło się publikacją w czasopiśmie z listy JCR, bądź prezentacją posterową – pełna lista odbytych staży znajduje się w załączniku 7):

Przed magisterium:

15.08.05 - 20.12.05 stypendium w ramach programu Socrates/Erasmus, studia na Norwegian University of Science and Technology (NTNU, Trondheim, Norwegia), pod opieką prof. F. G. Banica wykonana część eksperymentalna pracy magisterskiej – powstała prezentacja na konferencji (F. G. Banica, D. Guziejewski, S. Skrzypek, W. Ciesielski; "Voltammetric determination of arginine using the catalytic nickel reduction", 11th International Conference on Electroanalysis, Bordeaux (Francja) 11-15.06.2006 r. Materiały, P2-085)

Przed obroną doktoratu:

Trzykrotnie brałem udział w Erasmus Teaching Mobility Programme z pobytami na NTNU, Trondheim, Norwegia – w 2009, 2010 i 2011 roku – przy okazji pierwszego pobytu odbyły się konsultacje w związku z publikacją: F. G. Banica, D. Guziejewski, S. Skrzypek, W. Ciesielski, D. Kaźmierczak; "Effect of Basic Amino Acids on Nickel Ion Reduction at a Mercury Electrode"; *Electroanalysis*, 21, 1711-1718 (2009).

W latach (26.06-05.07) 2007, (20.10-18.12) 2009, (21.09-14.10) 2010, (01.09-28.09) 2011 oraz (06.11-06.12) 2012 (łącznie 5 miesięcy) wielokrotnie przebywałem na stażach głównie w ramach programu CEEPUS w laboratorium prof. Valentina Mirčeskiego, Institute of Chemistry Ss. Kiril i Metodij University, Skopje, Macedonia – w wyniku pobytów powstały publikacje: V. Mirčeski, D. Guziejewski, S. Skrzypek, W. Ciesielski; "Electrochemical Study

of the Pesticide Methidathion at a Mercury Electrode Under Cathodic Stripping Mode"; Croat. Chem. Acta, 83(2), 121-126 (2010); V. Mirčeski, D. Guziejewski, W. Ciesielski; "Theoretical Treatment of a Cathodic Stripping Mechanism of an Insoluble Salt Coupled with a Chemical Reaction in Conditions of Square Wave Voltammetry. Application to 6-Mercaptopurine-9-D-Riboside in the Presence of Ni(II)"; Electroanalysis, 23 (6), 1365-1375 (2011) oraz S. Skrzypek, V. Mirčeski, S. Smarzewska, D. Guziejewski, W. Ciesielski; "Voltammetric Study of 2-Guanidinobenzimidazole: Electrode Mechanism and Determination at Mercury Electrode"; Collect. Czech. Chem. Commun., 76 (12), 1699-1715 (2011) oraz prezentacje posterowe: V. Mirčeski, D. Guziejewski, S. Skrzypek, W. Ciesielski; "Woltamperometryczne badania methidathionu" VIII Konferencja „Elektroanaliza w teorii i praktyce”, Kraków 29-30.05.2008 r. Materiały P1 str.39 oraz D. Guziejewski, V. Mirčeski, W. Ciesielski "Theoretical and experimental study of cathodic stripping mechanism coupled with chemical reactions under conditions of square-wave voltammetry" XXI Congress of Chemists and Technologists of Macedonia; 23-26.09.2010 r. Materiały ECH-2, str. 32

Po obronie doktoratu:

Spośród krajowych ośrodków naukowych po rozpoczęciu działalności naukowej już ze stopniem naukowym doktora w dniach 15.12-20.12 2013 roku odbyłem staż w Zakładzie Chemii Analitycznej i Analizy Instrumentalnej kierowanym przez prof. M. Korolczuka na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie pod opieką dr. Agnieszki Nosal-Wiercińskiej. Efektem tego jest opublikowana praca D. Guziejewski, M. Brycht, A. Nosal-Wiercińska, S. Smarzewska, W. Ciesielski, S. Skrzypek; "Electrochemical study of the fungicide acibenzolar-s-methyl and its voltammetric determination in environmental samples"; J. Environ. Sci. Health B, 49(8), 550-556 (2014).

Zagranicznymi ośrodkami naukowymi, w których odbyłem staże były: Transilvania Brasov University, University of Pardubice oraz Ss. Cyril and Methodius University.

W ośrodku pardubickim przebywałem dwukrotnie : 26.01-02.02.2018 oraz 10-14.09.2018, za każdym razem korzystając z finansowania w programie CEEPUS. W wyniku pierwszego z tych pobytów powstała praca K. Morawska, K. Jedlińska, S. Smarzewska, R. Metelka, W. Ciesielski, D. Guziejewski; "Analysis and DNA interaction of the profluralin herbicide"; Environmental Chemistry Letters, (2019), 17 (3), 1359-1365.

Natomiast pobyty w ośrodku naukowym w Skopje to: 29.09.2017-06.10.2017 w ramach programu Erasmus oraz 25.06.2018-16.07.2018 i 27.06.2019-13.07.2019 finansowane ze środków grantu Sonata, NCN, a w wyniku czego powstały publikacje D. Jadresko, D. Guziejewski, V. Mirceski; "Electrochemical Faradaic Spectroscopy"; ChemElectroChem, 5,

187-194 (2018) oraz V. Mirceski, D. Guziejewski, L. Stojanov, R. Gulaboski; "Differential square-wave voltammetry"; *Anal. Chem.*, (2019), 91 (23), 14904-14910 oraz L. Stojanov, D. Guziejewski, M. Puiu, C. Bala, V. Mirceski; "Multi-frequency analysis in a single square-wave chronoamperometric experiment"; *Electrochem. Commun.*, (2021), 124, 106943.

Współpraca z ośrodkiem macedońskim została sformalizowana w postaci umowy o współpracy pomiędzy Wydziałem Chemii UŁ a Wydziałem Nauk Przyrodniczych i Matematyki Uniwersytetu św. Cyryla i Metodego i uczestniczyłem w jej stworzeniu i utrzymaniu.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

W latach 2008-2010 Przewodniczący Rady Samorządu Doktorantów WCh UŁ. W latach 2009-2011 członek Rady Samorządu Doktorantów UŁ, w 2011 r. jego wiceprzewodniczący. Od 2011 do 2012 roku członek wydziałowej komisji ds. badań naukowych. Od 2020 roku członek Rady Wydziału Chemii UŁ. W latach 2016-2020 oraz 2020-2024 członek Uczelnianej Komisji Oceniającej. W latach 2016-2018 członek wydziałowego zespołu ds. mobilności studentów (wyjazdy i przyjazdy Erasmus+).

Koordinuję działania na rzecz pracowni studenckich na I roku II stopnia studiów odbywających się w Zakładzie Analizy Instrumentalnej (przedmioty Analiza Instrumentalna oraz Nowoczesne Techniki Analizy Instrumentalnej).

Byłem promotorem 10 prac licencjackich (po doktoracie). Recenzowałem 13 prac licencjackich (wszystkie po doktoracie). Opiekowałem się 13 pracami magisterskimi (6 przed doktoratem), a byłem promotorem 5 takich prac dyplomowych (po doktoracie). Pełniłem również funkcję konsultanta naukowego w pracy magisterskiej przygotowywanej na uniwersytecie w Pardubicach (promotor dr inż. Radovan Metelka). Recenzowałem 5 prac magisterskich (po doktoracie). Byłem/jestem trzykrotnym opiekunem studentów realizujących program zajęć według Indywidualnych Programu (Toku) Studiów. Jestem obecnie promotorem pomocniczym pracy doktorskiej *Elektrochemiczne narzędzia diagnostyczne do pomiarów obecności gazowego nadtlenu wodoru*, której promotorem jest prof. dr hab. W. Ciesielski.

Przed obroną doktoratu prowadziłem zajęcia z Analizy Instrumentalnej (laboratorium oraz konwersatorium), Chemii analitycznej II i elementami analizy instrumentalnej (laboratorium), Chemii analitycznej I (laboratorium), Analizy Instrumentalnej B (laboratorium) oraz Zajęć specjalistycznych A03. Po obronie doktoratu prowadziłem zajęcia z Podstaw metod analizy instrumentalnej A (konwersatorium), Podstaw metod analizy instrumentalnej B (laboratorium i konwersatorium), Podstaw technik nieseparacyjnych (laboratorium i konwersatorium), Zajęć specjalistycznych A03 (laboratorium), Nowoczesnych techniki analizy instrumentalnej (laboratorium), Elektrochemicznej analizy śladowej (laboratorium), Podstaw technik woltamperometrycznych (laboratorium) oraz Technik woltamperometrycznych w teorii i praktyce I i II (laboratorium). Od roku akademickiego 2016/17 przejąłem koordynację, prowadzenie wykładów i zaliczeń końcowych przedmiotów Analiza Instrumentalna A, Analiza Instrumentalna B, Analiza Instrumentalna N oraz analogicznego przedmiotu w języku

angielskim Instrumental Analysis. Przez dwa kolejne lata akademickie prowadziłem również w zastępstwie wykłady i egzaminy z Podstaw analizy kryminalistycznej i sądowej.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Chemicznego.

Pozostała działalność:

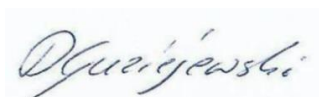
W latach 2002-2006 byłem członkiem Studenckiego Koła Chemików UŁ. Zajmowałem się również obsługą administracyjną strony internetowej Zakładu Analizy Instrumentalnej. Posiadam uprawnienia do obsługi gazów sprężonych. Opieka nad profesorem wizytującym prof. Vladimirem Ivanovskim z Uniwersytetu św. Cyryla i Metodego (2-miesięczne stypendium IDUB UŁ w 2021 r., wynikiem wspólna publikacja P19) oraz post-doc dr Nabi Ullah (pobyt od kwietnia 2022 do chwili obecnej publikacje P11-13). Opiekowałem się również studentem stażystą z uniwersytetu w Strasburgu (Saraf Khan - pobyt 4-miesięczny: marzec – czerwiec 2023, zgłoszenie patentowe w opracowaniu). W 2021 roku byłem opiekunem praktyk studenckich studentki w ramach programu „Student’s Power”.

Przyznane wyróżnienia i nagrody podane w kolejności chronologicznej:

Medal za chlubne studia magisterskie Uniwersytet Łódzki 2006 r.

- Nagroda Rektora UŁ zespołowa I stopnia za cykl publikacji na temat "Chromatograficzne, woltamperometryczne i spektrofotometryczne metody oznaczania i wykrywania związków biologicznie czynnych", 2010r.
- Wyróżnienie pracy doktorskiej uchwałą Rady Wydziału WCh w dn. 15.01.2014 r.
- Nagroda za najlepszy poster na 15th International Conference on Electroanalysis ESEAC, Malmo, Szwecja, 11-15 czerwca 2014 r.
- Nagroda za najlepszy artykuł z elektroanalizy chemicznej w 2014 wręczona na 15th International Conference on Electroanalysis ESEAC, Malmo, Szwecja, 11-15 czerwca 2014.
- Wyróżnienie za najlepszy poster w sekcji Chemii Analitycznej i Środowiskowej na 57. Zjazd PTChem i SITPChem, Częstochowa, 14-18 września 2014r.
- Nagroda Rektora UŁ zespołowa I stopnia za cykl publikacji na temat "Woltamperometryczne i chromatograficzne badania związków biologicznie czynnych", 2015 r.
- Nagroda Fundacji UŁ w V edycji konkursu (2016 r.) za szczególne osiągnięcia w latach 2014 - 2015

- Nagroda Rektora UMCS w Lublinie - zespołowa II stopnia za cykl publikacji na temat "Opis kinetyki i mechanizmu elektrodowego oraz charakterystyka procesu adsorpcji na granicy faz elektroda-roztwór i ciało stałe-roztwór", 2017 r.
- Nagroda Rektora UŁ zespołowa I stopnia za cykl publikacji na temat "Elektrochemiczne i chromatograficzne metody badania związków chemicznych", 2018 r.
- II miejsce w konkursie studenckim Złote Kolby, edycja 2020, w kategorii Najlepszy duet, przyznawane przez Studencki Koło Naukowe Chemików Uniwersytetu Łódzkiego.
- III Nagroda za najlepszy poster na XI Polskiej Konferencji Chemii Analitycznej - czerwiec 2022 r.
- Nagroda Rektora UŁ zespołowa I stopnia za osiągnięcia naukowo-badawcze za cykl publikacji "Woltamperometryczne metody oznaczania i badania związków biologicznie czynnych", 2022 r.
- Nagroda Dziekana Wydziału Chemii UŁ III stopnia za najlepszą publikację naukową oryginalną przyznana w 2023 r. (na podstawie zgłoszeń publikacji z roku poprzedniego).



(podpis wnioskodawcy)