

Załącznik 3

do wniosku w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego

dr. Konradowi Rudnickiemu

Autoreferat

Tytuł osiągnięcia naukowego:

Elektroanalityczne układy pomiarowe oparte na makroskopowych
i zminiaturyzowanych spolaryzowanych granicach fazowych jako narzędzia
w kontroli jakości żywności

Łódź, 2025

**"Choćbyśmy nawet mogli stać się uczonymi uczonością innych,
mądrzy możemy być jedynie własną mądrością."**

Michel de Montaigne

*Niniejszą rozprawę habilitacyjną dedykuję
mojemu synowi chrzestnemu, Aleksandrowi*

Spis treści

Informacje wprowadzające	7
Lista stosowanych skrótów.....	9
1. Dane osobowe.....	11
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	11
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	11
4. Omówienie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego	12
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	12
4.2. Wykaz prac stanowiących osiągnięcie naukowe wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie	12
4.3. Merytoryczne ujęcie osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku habilitacyjnego	17
4.3.1. Wstęp wraz z uzasadnieniem podjęcia tematyki badawczej	17
4.3.2. Omówienie prac będących składowymi osiągnięcia naukowego wraz z uzyskanymi rezultatami.....	25
4.3.3. Podsumowanie osiągnięcia naukowego.....	42
4.3.4. Obecna działalność, plany naukowe i perspektywy badań.....	44
4.3.5. Literatura	46
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	54
5.1. Lista staży i wyjazdów naukowych oraz efekty aktywności realizowanej w innych ośrodkach badawczych	54
5.2. Lista publikacji z afiliacją uczelni macierzystej i dodatkową afiliacją innej jednostki	57
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę	59
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne	59
6.1.1. Wykaz prowadzonych lub koordynowanych przedmiotów	59
6.1.2. Opieka naukowa i promotorstwo prac dyplomowych	60
6.1.3. Recenzje prac dyplomowych	62
6.1.4. Opieka naukowa nad studentami w ramach różnych programów	63
6.1.5. Opieka naukowa nad Studenckimi Grantami Badawczymi UŁ	64
6.1.6. Opieka nad stażystami w ramach programu Zdolny Uczeń – Świetny Student	64
6.2. Osiągnięcia organizacyjne	65
6.2.1. Uczestnictwo w Komisjach i Zespołach	65
6.2.2. Organizacja Konferencji i spotkań o charakterze naukowym	65
6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę	66
6.3.1. Wystąpienia w mediach, wywiady i audycje radiowe	66
6.3.2. Inne działania popularyzujące naukę	66

7. Inne ważne osiągnięcia	67
7.1. Ekspertyzy	67
7.2. Nagrody i stypendia	67
7.3. Aparatura pozyskana dla Wydziału Chemii UŁ w ramach realizowanych grantów	70

Informacje wprowadzające

- ✓ Wartości współczynnika **Impact Factor (IF)** podane zostały na podstawie bazy *Journal Citation Reports* z 2021 roku. Dotyczy to zarówno prac będących podstawą osiągnięcia naukowego jak i prac pobocznych spoza trzonu habilitacyjnego.
- ✓ Liczba punktów ministerialnych dla artykułów naukowych będących składową niniejszego osiągnięcia naukowego jak i dla artykułów pobocznych podana została na podstawie Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 17 lipca 2023 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.
- ✓ Autor korespondencyjny w przypadku artykułów naukowych oraz autor prezentujący w przypadku wystąpień konferencyjnych zaznaczony jest symbolem (*).
- ✓ Periodyki będące w górnym decylu współczynnika cytowalności (**TOP 10**) określono na podstawie danych z bazy *Scopus*. Artykuły oznaczone symbolem **TOP 10** znajdowały się w górnym decylu współczynnika cytowalności na rok ich publikacji oraz znajdują się w nim obecnie na dzień 15.12.2024r.
- ✓ Osiągnięcia określone terminem „Przed uzyskaniem stopnia doktora” dotyczą osiągnięć do dnia 24.09.2019r.
- ✓ Lista stosowanych skrótów i symboli przygotowana jest na podstawie chronologii ich występowania w niniejszej dysertacji.

Lista stosowanych skrótów

BA – aminy biogenne (z ang. biogenic amines);

NCEŻ – Narodowe Centrum Edukacji Żywieniowej;

EFSA – Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności;

ITIES – granica fazowa dwóch niemieszających się ze sobą roztworów elektrolitów (z ang. interface between two immiscible electrolyte solutions);

CV – woltamperometria cykliczna (z ang. cyclic voltammetry);

ITV – woltamperometria przeniesienia jonu (z ang. ion transfer voltammetry);

ACT – międzyfazowy transfer poprzedzony kompleksacją w fazie wodnej (z ang. aqueous complexation followed by transfer);

TOC – międzyfazowe przejście jonu, a następnie jego kompleksacja w fazie organicznej (z ang. transfer followed by complexation in the organic phase);

TIC – transfer poprzez kompleksację na granicy faz typu ciecz-ciecz (z ang. transfer by interfacial complexation);

TID – transfer poprzez dysocjację kompleksu na granicy faz typu ciecz-ciecz (z ang. transfer by interfacial dissociation);

FA – antybiotyki fluorochinolonowe (z ang. fluoroquinolone antibiotics);

QUIN – chinina;

HODE – hordenina;

CTX – cefotaksym;

DANO – danofloksacyna;

PEA – fenyloetyloamina;

TRA – tryptamina;

μ ITIES – zminiaturyzowana granica fazowa dwóch niemieszających się ze sobą roztworów elektrolitów;

SEM – skaningowa mikroskopia elektronowa (z ang. scanning electron microscopy);

ACV – woltamperometria prądu przemiennego (z ang. alternative current voltammetry);

Aq – faza wodna (z ang. aqueous phase);

Org – faza organiczna (z ang. organic phase);
LOD – granica wykrywalności (z ang. limit of detection);
LOQ – granica oznaczalności (z ang. limit of quantification);
GCE – elektroda z węgla szklanego (z ang. glassy carbon electrode);
CE – elektroda pomocnicza (z ang. counter electrode);
Pt – platyna;
RE – elektroda odniesienia (z ang. reference electrode);
Ag/AgCl – elektroda chlorosrebrowa;
WE – elektroda pracująca (z ang. working electrode);
SWV – woltamperometria fali prostokątnej (z ang. square wave voltammetry);
PVDF – polifluorek winylidenu (z ang. polyvinylidene fluoride);
EVA – etylenowy polioctan winylu (z ang. ethylene-vinyl acetate);
ATR-FTIR – spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera z techniką osłabionego całkowitego odbicia (z ang. Attenuated Total Reflectance - Fourier Transform Infrared Spectroscopy);
TEA – chlorek tetraetyloamoniowy (z ang. tetraethylammonium chloride);
FEI – Międzynarodowa Federacja Jeździecka;
BDDE – elektroda diamentowa domieszkowana borem (z ang. boron-doped diamond electrode);
BRB – bufor Brittona Robinsona (z ang. Britton-Robinson buffer);
HPLC-DAD – wysokosprawna chromatografia cieczowa z detektorem z matrycą diodową (z ang. high performance liquid chromatography with diode array detector);
GC – chromatografia gazowa (z ang. gas chromatography);
3DP – technologia druku 3D (z ang. three-dimensional printing);
1,2-DCE – 1,2-dichloroetan.

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Konrad Rudnicki

Nr ORCID: 0000-0003-4111-5309

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

2013 Licencjat – chemia – specjalność chemia z biologią nauczycielska – praca dyplomowa zatytułowana „Materiały magnetyczne miękkie i twarde oraz ich zastosowanie” – Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, promotor: *dr Ewa Miękoś*.

2015 Magister – analityka chemiczna – praca dyplomowa zatytułowana „Woltamperometryczne oznaczanie herbicydu chlornitrofen na elektrodzie srebrnej z odnawialnym filmem amalgamatu srebra” – Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, promotor: *prof. dr hab. Sławomira Skrzypek*, opiekun: *dr hab. Mariola Brycht*, *prof. UŁ*.

2019 Doktor nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne – praca doktorska zatytułowana „Elektrochemiczne badania wybranych leków weterynaryjnych” – zgłoszona do wyróżnienia – Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, promotor: *prof. dr hab. Sławomira Skrzypek*, promotor pomocniczy: *dr Sławomir Domagała*.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

01.10.2019 – obecnie – zatrudnienie na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego w Katedrze Chemii Nieorganicznej i Analitycznej Uniwersytetu Łódzkiego.

4. Omówienie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Niniejsze osiągnięcie naukowe zostało przygotowane zgonie z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) i stanowi cykl 9 powiązanych tematycznie prac naukowych [H1-H9], które ukazały się w latach 2020-2025.

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Elektroanalityczne układy pomiarowe oparte na makroskopowych i zminiaturyzowanych spolaryzowanych granicach fazowych jako narzędzia w kontroli jakości żywności

4.2. Wykaz prac stanowiących osiągnięcie naukowe wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie

Na osiągnięcie naukowe, które jest podstawą dysertacji habilitacyjnej składa się 9 prac, w tym: 1 artykuł przeglądowy [H1], 1 patent [H2] oraz 7 oryginalnych artykułów naukowych [H3-H9]. Sumaryczna wartość współczynnika wpływu (IF) 8 przedstawionych prac z listy filadelfijskiej wynosi 65.6, co daje średnią wartość 8.2. Wszystkie prace znajdują się także na liście czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych przedstawionej w komunikacie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW). Całkowita ilość punktów przypisana artykułom będącym podstawą niniejszego wniosku to 1420 pkt., jednocześnie dając średnią wartość 177.5 pkt. na każdą z prac. Ponadto 7 z 8 prac tworzących osiągnięcie naukowe znajduje się w górnym decylnym światowym wskaźniku cytowalności (CiteScore – Top 10%). We wszystkich z przedłożonych prac jestem autorem korespondencyjnym, zaś w 7 z 8 z nich pierwszym autorem. W przypadku patentu jestem także pierwszym i wiodącym twórcą. Szczegółowe dane naukometryczne dotyczące każdej składowej osiągnięcia naukowego przedstawiłem poniżej, w **Tabeli 1**. Oświadczenia współautorów stanowią załącznik 5 do niniejszego wniosku, zaś treść załącznika 6 przedstawia kopie artykułów naukowych stanowiących osiągnięcie habilitacyjne oraz kopię potwierdzenia uzyskania patentu. Poniżej przedstawiam wszystkie prace wraz z opisem merytorycznym mojego wkładu w każdą z nich.

IF – impact factor z 2021 roku; P_{MNiSW} – punkty z wykazu MNiSW z 17.07.2023 roku; **TOP10** – czasopismo górnego decylu cytowalności; * – autor korespondencyjny.

[H1] – K. Rudnicki*, K. Sipa, M. Brycht, P. Borgul, S. Skrzypek, Ł. Półtorak*; „Electrochemical sensing of fluoroquinolone antibiotics”; Trends Anal. Chem. 128 (2020) 115907. DOI: 10.1016/j.trac.2020.115907.

IF₂₀₂₁ – 14.9 | P_{MNiSW 2023} – 200 | **TOP10**

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca tematyki pracy przeglądowej, twórca planu pracy. Osoba odpowiedzialna za: pierwszy ogólny przegląd literaturowy; przygotowanie znaczącej części manuskryptu oraz wykresów, grafik i tabel użytych w manuskrypcie; powstanie finalnej wersji manuskryptu do poddania go recenzji oraz przeprowadzenie artykułu przez proces recenzji. Ponadto współtwórca „short proposal”, który umożliwia opublikowanie pracy w periodyku „TrAC Trends in Analytical Chemistry” za zgodą i zaproszeniem edytora.

[H2] – K. Rudnicki, Ł. Półtorak, K. Sobczak, S. Skrzypek, M. Zieliński; „Sposób oznaczania chininy” – polski patent nr P.436383 (2020).

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący, pomysłodawca badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto wykonawca części badań i osoba nadzorująca przebieg eksperymentów. Twórca znaczącej części zgłoszenia patentowego wraz z elementami graficznymi. Osoba odpowiedzialna za przegląd bazy patentowej niezbędny do przygotowania zgłoszenia patentowego. Kierownik grantu PRELUDIUM, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty. Autor odpowiedzialny za sprawy formalne oraz kontakt z Centrum Transferu Technologii UŁ oraz Rzecznikiem Patentowym UŁ.

[H3] – K. Rudnicki*, K. Sobczak, P. Borgul, S. Skrzypek, Ł. Półtorak*; „Determination of quinine in tonic water at the miniaturized and polarized liquid–liquid interface”; Food Chem. 364 (2021) 130417. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130417.

IF₂₀₂₁ – 9.2 | P_{MNiSW 2023} – 200 | **TOP10**

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca samych badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto wykonawca części badań i osoba nadzorująca przebieg eksperymentów. Twórca całego manuskryptu łącznie z wykresami, grafikami i tabelami, odpowiedzialny także za analizę uzyskanych wyników. Autor abstraktu graficznego oraz osoba odpowiedzialna za przeprowadzenie manuskryptu przez proces

recenzji. Kierownik grantu PRELUDIUM, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty.

[H4] – **K. Rudnicki***, K. Sobczak, M. Kaliszczyk, K. Sipa, E. Powalka, S. Skrzypek, Ł. Półtorak*, G. Herzog*; „Voltammetric study of cefotaxime at the macroscopic and miniaturized interface between two immiscible electrolyte solutions”; *Microchim. Acta* 188 (2021) 1-9. DOI: 10.1007/s00604-021-05072-w.

IF₂₀₂₁ – 6.4 | **P_{MNiSW 2023}** – 200

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca samych badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto wykonawca części badań i osoba nadzorująca przebieg eksperymentów. Twórca całego manuskryptu łącznie z wykresami, grafikami i tabelami, odpowiedzialny także za analizę uzyskanych wyników. Autor abstraktu graficznego oraz osoba odpowiedzialna za przeprowadzenie manuskryptu przez proces recenzji. Kierownik grantu PRELUDIUM, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty.

[H5] – **K. Rudnicki***, S. Budzyńska, S. Skrzypek, Ł. Półtorak*; „Comparative electrochemical study of veterinary drug danofloxacin at glassy carbon electrode and electrified liquid–liquid interface”; *Sci. Rep.* 14, (2024) 14489. DOI: 10.1038/s41598-024-65246-3.

IF₂₀₂₁ – 5.0 | **P_{MNiSW 2023}** – 140 | **TOP10**

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca samych badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto wykonawca części badań i osoba nadzorująca przebieg eksperymentów. Twórca całego manuskryptu łącznie z wykresami, grafikami i tabelami, odpowiedzialny także za analizę uzyskanych wyników. Autor abstraktu graficznego oraz osoba odpowiedzialna za przeprowadzenie manuskryptu przez proces recenzji. Kierownik grantu OPUS, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty.

[H6] – **K. Rudnicki***, K. Sobczak, R. Karpiński, P. Borgul, E. Powalka, S. Skrzypek, Ł. Półtorak*; „Phenylethylamine sensing at the electrified liquid–liquid interface. Can electrochemistry be used to follow the UHT milk spoilage process?”; *Food Chem.* 442, (2024) 138407. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.138407

IF₂₀₂₁ – 9.2 | P_{MNiSW 2023} – 200 | **TOP10**

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca samych badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto wykonawca części badań i osoba nadzorująca przebieg eksperymentów. Twórca całego manuskryptu łącznie z wykresami, grafikami i tabelami, odpowiedzialny także za analizę uzyskanych wyników. Autor abstraktu graficznego oraz osoba odpowiedzialna za przeprowadzenie manuskryptu przez proces recenzji. Kierownik grantu PRELUDIUM, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty.

[H7] – **K. Rudnicki***, E. Powalka, K. Marciniak, Ł. Półtorak; „Ready-to-use polymeric films used as the electrified liquid-liquid interface supports”; *Talanta* 285, (2025) 127256. DOI: 10.1016/j.talanta.2024.127256

IF₂₀₂₁ – 6.6 | P_{MNiSW 2023} – 140 | **TOP10**

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca samych badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto wykonawca części badań i osoba nadzorująca przebieg eksperymentów. Twórca całego manuskryptu łącznie z wykresami, grafikami i tabelami, odpowiedzialny także za analizę uzyskanych wyników. Autor abstraktu graficznego oraz osoba odpowiedzialna za przeprowadzenie manuskryptu przez proces recenzji. Kierownik grantu PRELUDIUM, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty.

[H8] – **K. Rudnicki***, E. Powalka, K. Marciniak, M. Rizwan, P. Stelmaszczyk, R. Wietecha-Posłuszny, Ł. Półtorak; „Determination of hordenine in beer samples and bodybuilding supplement at the electrified liquid-liquid interface”; *Food Chem.* W druku, (2025) 143734. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.143734

IF₂₀₂₁ – 9.2 | P_{MNiSW 2023} – 200 | **TOP10**

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca samych badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto wykonawca części badań i osoba nadzorująca przebieg eksperymentów. Twórca całego manuskryptu łącznie z wykresami, grafikami i tabelami, odpowiedzialny także za analizę uzyskanych wyników. Autor abstraktu graficznego oraz osoba odpowiedzialna za przeprowadzenie manuskryptu przez proces recenzji. Kierownik grantu OPUS, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty.

[H9] – A. Krempieński, **K. Rudnicki***, W. Korzonek, Ł. Półtorak*; „3D-printed gelled electrolytes for electroanalytical applications”; Sci. Rep. (2025) DOI 10.1038/s41598-025-90790-x

IF₂₀₂₁ – 5.0 | **P_{MNISW 2023}** – 140 | **TOP10**

Udział habilitanta w powstanie pracy: autor wiodący i korespondencyjny, pomysłodawca samych badań i konspektu ich przebiegu. Ponadto osoba nadzorująca przebieg eksperymentów oraz odpowiedzialna za przeprowadzenie manuskryptu przez proce recenzji. Kierownik grantu OPUS, w ramach którego przeprowadzone były eksperymenty oraz osoba zapewniająca finansowanie. Promotor pomocniczy doktoranta, który przeprowadzał większość eksperymentów oraz promotor studentki, która przeprowadzała część eksperymentów. Kierownik grantu OPUS, w ramach którego sfinansowano i przeprowadzono eksperymenty.

Tabela 1. Parametry naukometryczne opisujące artykuły naukowe będące podstawą osiągnięcia naukowego wg baz: Scopus (**SC**) oraz Google Scholar Citation (**GSC**).

Parametr	Wartość liczbową
Sumaryczna liczba wszystkich cytowań (SC)	111
Sumaryczna liczba wszystkich cytowań bez autocytowań (SC)	96
Sumaryczna liczba wszystkich cytowań (GSC)	114
Sumaryczna liczba wszystkich cytowań bez autocytowań (GSC)	94
Sumaryczna wartość IF	65.6
Średnia wartość IF	8.2
Sumaryczna wartość P _{MNISW}	1420
Średnia wartość P _{MNISW}	177.5
Liczba artykułów, w których habilitant jest autorem korespondencyjnym	8 z 8
Liczba artykułów, w których habilitant jest pierwszym autorem	7 z 8
Liczba artykułów ze światowego, górnego decylu cytowności	7 z 8

4.3. Merytoryczne ujęcie osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku habilitacyjnego

4.3.1. Wstęp wraz z uzasadnieniem podjęcia tematyki badawczej

W ostatnich latach odnotowuje się trend wzrostu świadomości wśród konsumentów żywności. Należy jednak zauważyć, że zjawisko to ma nadal małą skalę, a nieuczciwi producenci wykorzystują ten fakt oraz „luki” w wielu przepisach i regulacjach prawnych. Na półki sklepów trafiają wątpliwej jakości produkty, które przyciągają wzrok jedynie atrakcyjną ceną. Dodatki do żywności określane są symbolem „E” w połączeniu z odpowiednim numerem. Pomimo „zielonego światła” na ich użytkowanie na terenie Unii Europejskiej wiele z nich zakwalifikowanych jest jako substancje potencjalnie szkodliwe dla zdrowia człowieka. Współcześnie określenia takie jak: „oszustwo żywnościowe”, „kryzys żywnościowy”, „produkt niebezpieczny”, „produkt wycofany” czy „produkt sfałszowany”, stają się coraz bardziej powszechne, nie tylko jako często wyszukiwane terminy w przeglądarkach internetowych. Odnoszą się one bowiem do bardzo poważnych problemów natury społecznej. W Internecie, prasie czy innego rodzaju mediach, coraz częściej podawane są informacje, że dany produkt spożywczy dopuszczony do sprzedaży jest później wycofywany z uwagi na niewłaściwy skład lub przekroczone normy. Wymienione wyżej problemy niestety nie ograniczają się jedynie do producentów czy handlowców – w ogromnej skali dotyczą one również konsumentów. Problem nieuczciwych praktyk wśród producentów stanowi jedno z kluczowych wyzwań przemysłu spożywczego w XXI wieku.

Kolejnym problemem, który masowo dotyczy społeczeństwa jest zakup produktów z krótkim terminem przydatności. Na produktach podawane są określenia „Należy spożyć do” lub „Najlepiej spożyć przed”. Napis „Należy spożyć do”, umieszczany jest na artykułach, o stosunkowo krótkim terminie przydatności, takich jak mięso czy nabiał, jednym słowem artykułach zwykle mniej przetworzonych. Żywności oznakowanej w ten sposób nie należy spożywać po upływie terminu ważności. Wraz z procesem starzenia się żywności, mogą w niej rozwinąć się szkodliwe dla zdrowia bakterie oraz innego rodzaju substancje jakimi mogą być np. aminy biogenne (BA). Tematyka BA w żywności była przedmiotem moich badań w projekcie finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki (NCN), w którym pełniłem rolę kierownika. Termin, „Najlepiej spożyć przed” dotyczy

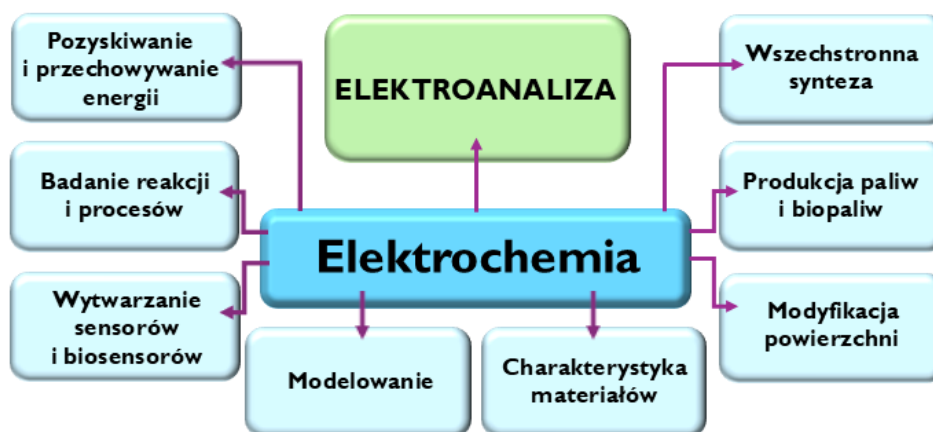
produktów sypkich typu makarony, ryż czy mąka. Po upływie sugerowanej daty, produkty te mogą być użyte, pod warunkiem, że ich wygląd i zapach wskazują na to, iż nadal nadają się do konsumpcji. Upływ zalecanego do spożycia terminu w tym przypadku może świadczyć o tym, iż w danym artykule mogła zmniejszyć się zawartość pewnych składników odżywczych, np. witamin [1].

Jak podaje Narodowe Centrum Edukacji Żywnościowej (NCEŻ) na podstawie raportu Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) w ostatnich latach zaobserwowano wzrost świadomości polskich konsumentów pod kątem wpływu kupowanej żywności na ich zdrowie [2]. Autorka artykułu podkreśla także fakt, iż osoby młodsze, posiadające wyższy stopień edukacji zwracają większą uwagę na skład, a za czym idzie wartość odżywczą produktu [3].

Wątpliwości związane z przydatnością, czy też zdatnością produktów do spożycia może rozwiązać informacja o ich składzie chemicznym. Takie decyzje mogą zapaść już po przypuszczalnej analizie, która z definicji powinna być szybka i prosta w obsłudze. Choć w literaturze przedmiotu możemy znaleźć setki jak nie tysiące przykładów opracowanych metod analitycznych do oznaczania szerokiej gamy związków chemicznych (powiązanych z przemysłem spożywczym), na rynku cały czas brakuje narzędzi które można wykorzystać do konsumenckiej kontroli jakości. W ostatnich latach dużym uznaniem wśród naukowców zajmujących się w/w tematyką zaczęły cieszyć się rozwiązania analityczne oparte na technikach elektrochemicznych, co przyczyniło się do swoistego renesansu dziedziny elektrochemii [4]. Opracowane procedury elektroanalityczne bardzo często okazują się konkurencyjne, dla innych metod wykorzystujących techniki np. chromatograficzne, spektrofotometryczne czy spektroskopowe. Dzieje się tak z uwagi na kilka ważnych czynników, takich jak: niższe koszty pomiarów – w tym minimalizacja zużycia toksycznych rozpuszczalników, krótki czas analizy, wysoka odtwarzalność i powtarzalność uzyskiwanych wyników, a także często brak konieczności stosowania skomplikowanych procedur przygotowania próbek. Powyższe zalety, sprawiają, że elektroanaliza będąca jednym z wiodących obszarów zastosowań dziedziny elektrochemii znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i przemysłu.

Ponadto na wysokie uznanie elektrochemii wpływ ma jej ogromna wszechstronność, a co za tym idzie szerokie spektrum praktycznych zastosowań [5,6] (**Rys. 1**). **Pozyskiwanie i przechowywanie energii** obejmuje technologię opracowywania

baterii, akumulatorów, a także ogniw paliwowych, co jest kluczowym w obszarze energetyki odnawialnej. **Badanie reakcji i procesów** umożliwia prowadzenie i analizę wielu mechanizmów elektrochemicznych, opartych np. na układach redoks. **Modelowanie** procesów elektrochemicznych pozwala na optymalizację technologii i opracowywanie nowych materiałów (np. powłok, stopów czy nanomateriałów), których właściwości można następnie **charakteryzować** właśnie przy użyciu technik elektrochemicznych. Ponadto **wszechstronna synteza** oparta na metodach, które oferuje elektrochemia pozwala wytwarzać nowe substancje, takie jak np. leki, polimery czy nanocząstki. **Produkcja paliw i biopaliw** jest jednym z bardzo ponadczasowych zagadnień, łączącym się także z metodami elektrochemicznymi, które umożliwiają przekształcanie surowców w ekologiczne źródła energii. **Wytwarzanie sensorów i biosensorów**, które są wykorzystywane jako czułe narzędzia do detekcji związków chemicznych w medycynie, ochronie środowiska czy przemyśle spożywczym oraz możliwość **modyfikacji ich powierzchni** w połączeniu z **elektroanalizą** daje tak naprawdę nieskończoną ilość możliwości.

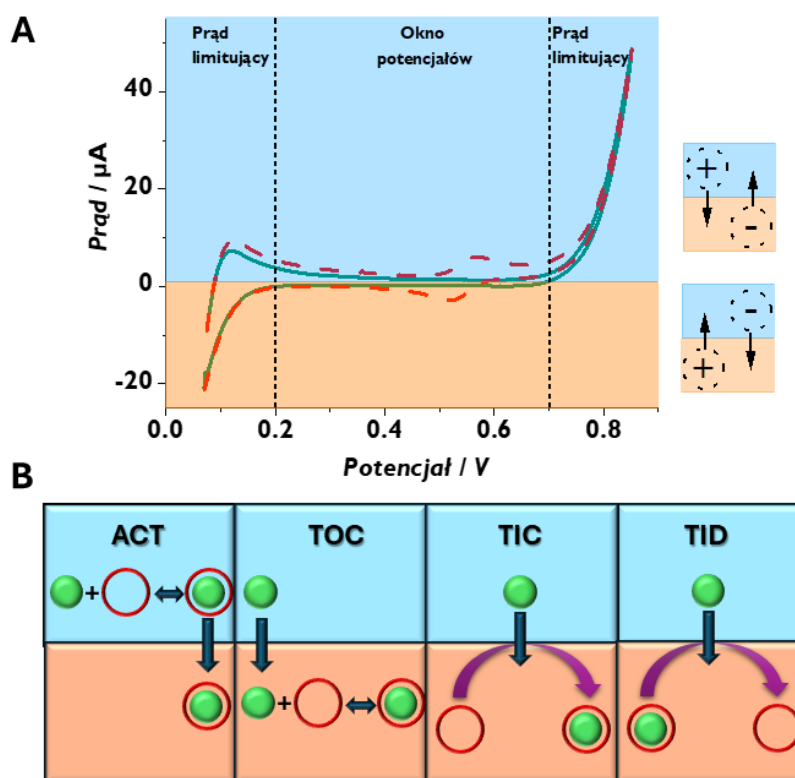


Rys. 1. Główne obszary zastosowań elektrochemii.

Elektroanaliza, jest jednym z kluczowych zastosowań elektrochemii, który od lat cieszy się szczególnym uznaniem w laboratoriach analitycznych. Pojęcie to można zdefiniować jako narzędzie, na które składa się grupa metod analitycznych wykorzystująca procesy elektrochemiczne (reakcje redoks kontrolowane przez przeniesienie elektronu przez granice elektroda/roztwór elektrolitu), oraz zmiany fizykochemiczne zachodzące w obrębie granic fazowych (zmiana pojemności elektrycznej powierzchni elektrody; zmiana stężenie składnika rozdzielonego przez membranę selektywnie przepuszczającą jony) do jakościowego i ilościowego oznaczania substancji chemicznych [7]. Wśród metod

elektroanalitycznych możemy wyróżnić takie techniki jak: woltamperometria, potencjometria, amperometria, kulometria, impedancja czy polarografia. W ostatnich latach techniki woltamperometryczne, w połączeniu z nowoczesnymi sensorami bazującymi na elektrodach stałych, układami bazującymi na membranach jonowymiennych czy też granicami fazowymi typu ciecz-ciecz, odgrywają szczególną rolę w elektroanalizie. Szereg ich zastosowań odnotowano w analizie środowiskowej [8,9], farmaceutycznej [10,11], żywnościowej [12–14] i wielu innych [15]. Często elektroanaliza kojarzy się z procesami fizykochemicznymi zachodzącymi na powierzchni elektrody pracującej (roboczej), co w następstwie przekształcane jest na sygnał analityczny. Co więcej, często procesy te upraszczane są do przejścia elektronu przez granicę faz elektroda/elektrolit lub innymi słowy reakcji redoks kontrolowanych przez przykładaną różnicę potencjałów, bądź wymuszany przepływ prądu w obwodach zbudowanych z co najmniej dwóch elektrod. Niemniej jednak, nic bardziej mylnego. Na przełomie lat 60 i 70 XX wieku zaczął rozwijać się nowy, bardzo „intrygujący” obszar elektrochemii, który różnił się w wielu fundamentalnych aspektach od klasycznego podejścia. Były to badania nad spolaryzowanymi granicami dwóch niemieszających się ze sobą roztworów elektrolitów (ITIES) [16]. W przypadku ITIES nie śledzimy procesów fizykochemicznych jak to ma miejsce na elektrodach stałych (roboczych) w klasycznym rozumieniu, ponieważ w dużym uproszczeniu ich rolę pełni spolaryzowana granica fazowa typu ciecz-ciecz, utworzona na styku roztworów dwóch elektrolitów. W związku z powyższym sygnały elektryczne rejestrowane za pomocą odpowiedniej infrastruktury badawczej na ITIES są wynikiem przejścia ładunków przez spolaryzowaną granicę cieczową (ładunki mogą mieć postać jonów, aniony i kationy, oraz elektronów) [17] lub procesów adsorpcyjnych zachodzących w obrębie granicy fazowej typu ciecz-ciecz zdefiniowanej jako ośrodek o grubości definiowanej przez wzajemny podział sąsiadujących ze sobą roztworów oraz ich elektrolitów. Charakter sygnału elektroanalitycznego w badaniach ITIES najczęściej wynika z prostego lub wspomaganego przeniesienia sprotonowanej/zdysocjowanej cząstki obdarzonej niezerowym wypadkowym ładunkiem elektrycznym przez granicę faz typu ciecz-ciecz, bez konieczności przeprowadzania reakcji utleniania czy redukcji. Proste przeniesienie jonu może zachodzić, jeśli układ składa się z dwóch ciekłych faz (**wodnej** i **organicznej**) – zawierających roztwory elektrolitów, które tworzą spolaryzowaną granicę cieczową, a do układu wprowadzony zostanie związek zdolny do jonizacji lub posiadający stale naładowaną grupę funkcyjną. Na **Rys. 2A** przedstawione zostały dwa przykładowe

woltamperogramy zarejestrowane dla **ślepej próby (linia ciągła)** oraz **z dodatkiem chininy (linia przerywana)**. Fragmenty wykresu określone jako obszary prądów limitujących związane są z migracją jonów obecnych w fazie wodnej lub organicznej, powstałych w wyniku dysocjacji elektrolitów podstawowych obu faz. W przeciwieństwie do badań prowadzonych na elektrodach stałych, w tym przypadku prądy te nie są związane z procesami takimi jak rozkład rozpuszczalnika, materiału elektrodowego czy elektrolitu. W prezentowanym układzie (**Rys. 2A**) prądy limitujące okno polaryzacyjne, rejestrowane w obszarze mniej dodatnich potencjałów związane są z transportem jonów Cl^- z fazy wodnej do organicznej (wartości ujemne) oraz z fazy organicznej do wodnej (wartości dodatnie). Natomiast dla bardziej dodatnich potencjałów obserwujemy prądy limitujące wynikające z migracji jonów Na^+ – z fazy wodnej do organicznej (prądy dodatnie) oraz z fazy organicznej do wodnej (prądy ujemne). Fragment krzywych woltamperometrycznych oznaczony jako okno potencjałów to obszar, w którym rejestrowany prąd pochodzi wyłącznie z ładowania podwójnych warstw elektrycznych obecnych na ITIES zarówno po stronie fazy wodnej jak i organicznej. Przykładanie do tak skonstruowanego systemu odpowiedniej różnicy potencjału Galwaniego, może skutkować przeniesieniem zjonizowanej cząsteczki z jednej fazy do drugiej. Rejestracja tego zjawiska jest możliwa poprzez pomiar prądu płynącego w układzie, będącego odpowiedzią zaburzenia w formie przykładanej różnicy potencjałów Galwaniego. W badaniach ITIES stosowane są różne techniki woltamperometryczne. Jedną z najczęściej używanych jest woltamperometria cykliczna (CV), która wśród naukowców prowadzących eksperymenty w obrębie cieczowych granic fazowych określana jest często jako woltamperometria przeniesienia jonu (ITV). W przypadku wspomaganego przejścia jonu wyróżniamy cztery mechanizmy: transfer poprzedzony kompleksacją w fazie wodnej (ACT); przejście jonu, a następnie jego kompleksacja w fazie organicznej (TOC); transfer poprzez kompleksację na granicy faz typu ciecz-ciecz (TIC) oraz transfer poprzez dysocjację na granicy faz typu ciecz-ciecz (TID) (**Rys. 2B**). Fakt braku konieczności przeprowadzania reakcji Red-Ox jest ogromnym atutem elektrochemii granic cieczowych w porównaniu z technikami opierającymi się na użyciu elektrod stałych. W tradycyjnych badaniach woltamperometrycznych możliwość obserwowania reakcji redoks w spolaryzowanym oknie potencjałów zastosowanej elektrody pracującej jest zwykle podstawowym wymogiem prowadzenia badań elektroanalitycznych, co często eliminowało możliwość badania substancji pozbawionych ugrupowań aktywnych elektrochemicznie.



Rys. 2. A – Wybrane voltamperogramy zarejestrowane dla **ślepej próby** (linia ciągła) oraz **z dodatkiem chininy** (linia przerywana) przedstawiające sygnał przejścia analitu przez granicę faz będącego wynikiem prostego przeniesienia jonu. Warunki: Elektrolit podstawowy – 10 mM NaCl w 10 mM HCl, pH = 2; szybkość przemieszczania potencjałem 20 mV s⁻¹; [QUIN] = 10 μM . **B** – Cztery mechanizmy wspomaganego przejścia jonu opisane powyżej.

W tym kontekście ITIES staje się cennym uzupełnieniem „tradycyjnej elektrochemii”. Choć nie można jej nazwać poddziedziną doskonałą, z pewnością oferuje rozwiązania wolne od wielu ograniczeń [18,19]. Niemniej jednak ważnym jest także fakt, że istnieje wiele innych mechanizmów reakcji elektrochemicznych związanych z przeniesieniem ładunku w postaci jonu, elektronu lub procesy sprzężone zachodzące na spolaryzowanej granicy ciecowej. Wśród nich wymienić możemy: prostą międzyfazową wymianę jonu (spontaniczne przejście jonu hydrofilowego rozpuszczonego w fazie organicznej do fazy wodnej sprzężone z przejściem hydrofobowego jonu rozpuszczonego w fazie wodnej do fazy organicznej), międzyfazowe przeniesienie elektronu (reakcja Red-Ox dla układów gdzie donor i akceptor elektronów są rozpuszczone w różnych fazach, reakcję Red-Ox katalizowaną światłem, adsorpcję do granicy fazowej typu ciecz-ciecz, osadzanie międzyfazowe następujące po prostym przejściu jonowym, czy osadzanie międzyfazowe

któremu towarzyszy przejściu elektronu [17,20,21]. W przypadku prowadzonych przeze mnie eksperymentów na ITIES związanych z niniejszą dysertacją habilitacyjną rejestrowane sygnały analityczne dla wszystkich badanych molekuł wiązały się z prostym lub wspomaganym przeniesieniem jonu.

Zależność między przyłożoną lub mierzoną różnicą potencjału Galvaniego ($\Delta_{org}^{aq}\Phi$), a aktywnością badanego jonu na ITIES w obu fazach można przedstawić przy użyciu zmodyfikowanego równania Nernsta [22]:

$$\Delta_{org}^{aq}\Phi = \Phi^{aq} - \Phi^{org} = \Delta_{org}^{aq}\Phi_i^0 + \frac{RT}{z_i F} \ln \left(\frac{a_i^{org}}{a_i^{aq}} \right) \quad (1)$$

gdzie: $\Delta_{org}^{aq}\Phi$ – różnica potencjałów Galvaniego pomiędzy fazą wodną i organiczną; Φ^{aq} – potencjał fazy wodnej; Φ^{org} – potencjał fazy organicznej; $\Delta_{org}^{aq}\Phi_i^0$ – standardowy potencjał Galvaniego dla przejścia jonu i przez granicę cieczową; R – stała gazowa ($83,14 \frac{J}{K mol}$); F – stała Faradaya ($96500 \frac{C}{mol}$); T – temperatura w Kelwinach; z_i – ładunek jonu „ i ” przechodzącego przez granicę cieczową; a_i^{org} – aktywność jonu i w fazie organicznej; a_i^{aq} – aktywność jonu i w fazie wodnej.

Znając wartość $\Delta_{org}^{aq}\Phi_i^0$ dla badanego jonu jesteśmy w stanie wyznaczyć kolejny istotny parametr jakim jest standardowa energia Gibbsa ($\Delta_{org}^{aq}G_i^0$) dla międzyfazowego przejścia jonu i , stosując w tym celu wzór:

$$\Delta_{org}^{aq}G_i^0 = z_i F \Delta_{org}^{aq}\Phi_i^0 \quad (2)$$

Wartość $\Delta_{org}^{aq}G_i^0$ określa koszt energetyczny związany z przeniesieniem jonu i z fazy wodnej do fazy organicznej. Jeśli wartość energii Gibbsa jest < 0 , oznacza to iż proces przeniesienia jonu pomiędzy fazami jest spontaniczny, w przypadku zaś gdy wartość tego parametru jest większa od zera świadczy to o tym, iż przeniesienie jonu i wymaga dostarczenia energii.

Bardzo ważną wielkością fizykochemiczną jest współczynnik podziału ($\log P$), który wyraża stosunek stężeń danej substancji w dwóch niemieszających się ze sobą fazach. Parametr ten w bardzo łatwy sposób można wyznaczyć przy pomocy ITIES i metod elektroanalitycznych. Dla układu rozpuszczalników woda – 1,2-dichloroetan, stosuje się wzór (3):

$$\log P_{\text{water}/1,2\text{-DCE}} = -\frac{\Delta_{\text{org}}^{aq} \Phi_i^0 z_i F}{2.303 RT} \quad (3)$$

Kolejną istotną wielkością, wartość której możemy wyznaczyć na podstawie eksperymentów na spolaryzowanych granicach fazowych typu ciecz-ciecz jest współczynnik dyfuzji (D). Parametr ten charakteryzuje transport masy w układach fizykochemicznych i biologicznych, określając szybkość dyfuzji cząsteczek/ionów w danym ośrodku, zgodnie z pierwszym prawem Ficka. W badaniach ITIES wartość D wpływa na kinetykę procesów przeniesienia jonów pomiędzy fazą wodną i organiczną. W praktyce, aby wyznaczyć jego wartość na podstawie eksperymentu, należy zbadać wpływ przemiatań potencjałem (v) na rejestrowane sygnały przejścia analitu przy użyciu techniki CV. Należy pamiętać, że wyznaczenie tego parametru na ITIES wiąże się z kilkoma warunkami, które muszą być spełnione, a mianowicie: transport masy zachodzi wyłącznie na drodze dyfuzji liniowej, reakcja przeniesienia jonu jest odwracalna, a jony nie ulegają adsorpcji na granicy fazowej. Współczynnik dyfuzji wylicza się na podstawie równań opisujących prąd szczytowy (i_p) w zależności od szybkości dyfuzji analitu zgodnie z równaniem Randlesa-Ševčíka:

$$i_p = (2.69 \times 10^5) n^{3/2} A D^{1/2} C v^{1/2} \quad (4)$$

gdzie: i_p – prąd szczytowy (A); n – ładunek jonu; A – powierzchnia granicy fazowej typu ciecz-ciecz (cm^2); C – stężenie przenoszonoego jonu (mol m^{-3}); v – szybkość przemiatań potencjałem (V/s).

Jak można zauważyć techniki elektrochemiczne w połączeniu z ITIES mogą dostarczyć wielu istotnych danych eksperymentalnych, na podstawie których wyznaczyć można szereg ważnych parametrów elektroanalitycznych oraz fizykochemicznych.

Mając na uwadze powyżej przedstawione problemy społeczne związane z chemią spożywczą oraz kontrolą jakości żywności bardzo ważnym wydaje się być praca nad nowymi rozwiązaniami analitycznymi, w szczególności elektrochemicznymi, które pozwolą na opracowanie narzędzi do szybkiej analizy badanych produktów. Celem przedstawionej rozprawy habilitacyjnej było połączenie technik elektrochemicznych oraz układów bazujących na ITIES do badania związków o znaczeniu biologicznym, które występują w artykułach spożywczych. Do swoich badań wybrałem substancje, których stężenie wymaga monitorowania oraz te, które potencjalnie mogą znaleźć się w żywności

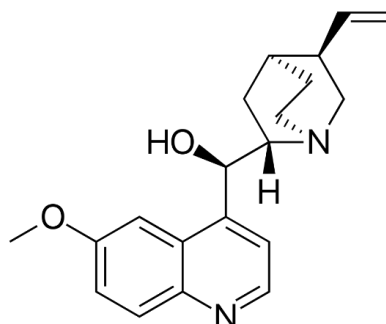
jednocześnie powodując zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. W związku z powyższym moje osiągnięcie naukowe będące podstawą wniosku habilitacyjnego rozpoczyna praca przeglądowa opisująca najciekawsze rozwiązania elektrochemiczne (opublikowane do roku 2020), dotyczące badania antybiotyków fluorochinolonowych (FA). Są to nadmiernie stosowane leki, których obecność w żywności jest wysoce prawdopodobna, zwłaszcza jeśli chodzi o produkty pochodzenia zwierzęcego. Z uwagi na ten fakt bardzo często oznaczano je w próbkach żywnościowych [H1[23]]. Przygotowanie pracy przeglądowej w tej tematyce umożliwiło mi uzyskanie szerszej perspektywy na problem obecności antybiotyków w produktach spożywczych oraz utwierdziło mnie w przekonaniu o słuszności podjęcia tej tematyki badawczej. Nie ograniczając się jedynie do antybiotyków, swoje badania skupiłem na kilku molekułach o wysokim znaczeniu biologicznym, reprezentujących trzy z ważnych grup, które występują lub ich obecność często stwierdza się w produktach spożywczych: alkaloidy (chinina (QUIN) [H2 [24]-H3 [25]] i hordenina (HODE) [H8 [[26]]]), antybiotyki (cefotaksym (CTX) [H4 [27]] i danofloksacyna (DANO) [H6] [28]) oraz aminy biogenne (fenyloetyloamina (PEA) i tryptamina (TRA) [H5,H7 [29,30]]). Cykl habilitacyjny zamyka praca opisująca zastosowanie żelatorów wykorzystywanych jako dodatki do produktów spożywczych, które zostały użyte jako matryca elektrolitu podstawowego oraz jako tusz biodrukarki 3D nadrukiwany na elektrody sitodrukowane [H9 [31]]. Praca ta jest wstępem do nowego typu badań, które mają na celu zaproponowanie metodologii do drukowania zarówno fazy wodnej jak i fazy organicznej układów bazujących na ITIES. Wyniki te są częścią projektu OPUS, w którym założyłem opracowanie nowatorskich rozwiązań elektroanalitycznych do oznaczania barwników spożywczych.

4.3.2. Omówienie prac będących składowymi osiągnięcia naukowego wraz z uzyskanymi rezultatami

Pierwsza z prac [H1] wchodząca w skład trzonu habilitacyjnego ma charakter przeglądowy. Publikacja ta przedstawia obszerną analizę (96 artykułów naukowych) i podsumowanie aktualnych na rok 2020 osiągnięć w zakresie elektrochemicznego oznaczania antybiotyków z rodziny fluorochinolonów (FA). Klasyfikacja opisanych w artykule metod została oparta na mechanizmach wykrywania FA, z uwzględnieniem zarówno podejść opartych na niemodyfikowanych jak i modyfikowanych elektrodach

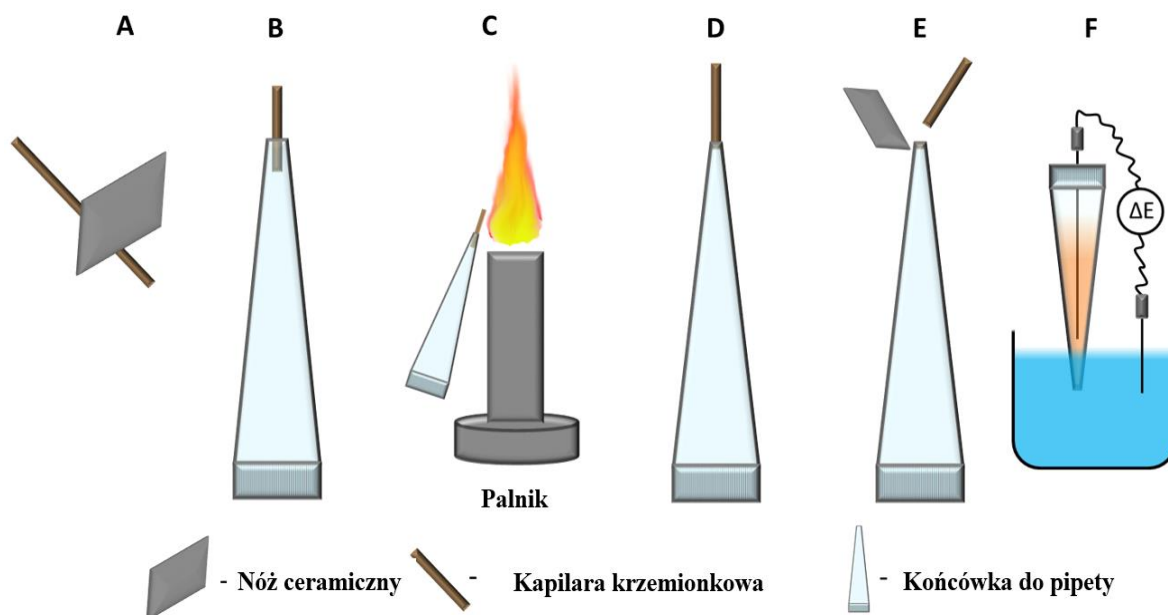
stałych. Dodatkowo omówiono szereg innowacyjnych strategii bazujących na granicach fazowych typu ciecz-ciecz oraz membranach polimerowych. Szczególną uwagę poświęcono najbardziej obiecującym czujnikom, które charakteryzują się najlepszymi parametrami elektroanalitycznymi pod kątem wykrywania i oznaczania omawianych w pracy analitów. Bardzo ważnym aspektem niniejszej pracy było zwrócenie uwagi na próbki rzeczywiste, w których oznaczano FA, gdzie w wielu przypadkach były to produkty spożywcze. Przegląd literaturowy opublikowanych artykułów wykazał, iż FA najczęściej badano przy użyciu węglowych elektrod stałych w połączeniu z technikami woltamperometrycznymi. Opracowane rozwiązania, stosowane w badaniach FA różnią się przede wszystkim modyfikacją powierzchni (jeśli była stosowana) elektrody oraz mechanizmem detekcji. W przypadku rozróżniania typów mechanizmu wykrywania FA możemy wyróżnić: tradycyjne reakcje redoks; pośrednie metody elektrochemiczne oparte np. na reakcjach enzymatycznych lub kompleksowaniu; międzyfazowy transfer jonów (np. ITIES lub membranowe elektrody jonoselektywne), a także elektroanalityczne śledzenie zmian konformacji aptamerów po selektywnym wiązaniu FA. W pracy przedstawiony został bardzo obszerny przegląd literaturowy wraz z uzyskanymi dla opisywanych metod parametrami elektroanalitycznymi i dodatkową charakterystyką (aplikacyjność i selektywność). Ważnym wnioskiem płynącym z przeprowadzonego przeglądu literaturowego jest fakt, iż społeczność naukowa skupiła się na eksperymentach na najpopularniejszych przedstawicielach rodziny FA, pomijając przy tym takie związki jak: rufloksacyna, garenoksacyna czy trovafloksacyna. Sporządzenie tej pracy pozwoliło na postawienie ogólnego wniosku, iż największym wyzwaniem pozostaje osiągnięcie wysokiej selektywności w obrębie całej grupy FA, co jest niewątpliwie dużym wyzwaniem dla elektrochemików.

Dwa kolejne [H2-H3] dzieła będące podstawą niniejszej dysertacji habilitacyjnej związane są z elektrochemicznym badaniem jednego z podstawowych przedstawicieli rodziny alkaloidów – chininy (QUIN, **Rys. 3**). QUIN to związek pochodzenia naturalnego, pozyskiwany z kory drzewa chinowego na drodze ekstrakcji.



Rys. 3. Struktura chemiczna chininy.

Substancja ta aż do połowy XX wieku odgrywała znaczącą rolę w leczeniu malarii. Jednak wraz z rozwojem medycyny i farmakologii, zaczęto ją stopniowo zastępować lekami o mniej szkodliwych efektach ubocznych. Niemniej jednak, w przypadkach ciężkich odmian malarii, zwłaszcza przy oporności na inne sposoby leczenia, stosowanie QUIN jest wciąż dopuszczalne [32]. Kolejnym ciekawym zastosowaniem chininy jest jej wykorzystanie jako dodatku do żywności w napojach typu tonic. W XVIII i XIX wieku była ona nawet głównym składnikiem tych napojów. Obecnie jej zawartość jest znacznie mniejsza, a zgodnie z dyrektywą UE nr 2002/67/WE z dnia 18.07.2002r. maksymalna dopuszczalna ilość QUIN w napojach wynosi 7.5 mg / 100 mL. W uzyskanym patencie [H2] zaproponowany został elektrochemiczny sposób wykrywania i oznaczania QUIN na zminiaturyzowanych, spolaryzowanych granicach fazowych typu ciecz-ciecz (μ ITIES). Rejestrowane sygnały przejścia QUIN przez granicę cieczową związane były z obecnością dwóch atomów azotu w jej strukturze, gdzie w zależności od pH fazy wodnej jeden lub oba z nich ulegały sprotonowaniu powodując jej aktywność elektrochemiczną na ITIES. Protokół miniaturyzacji systemu został opracowany przeze mnie, podczas stażu w trakcie doktoratu na Politechnice w Delft (Delft University of Technology, Holandia). W uproszczeniu polegał on na zatapianiu niewielkich fragmentów kapilar krzemionkowych w końcówkach do mikropipet, a następnie ich wykorzystywaniu jako nośników zminiaturyzowanej granicy cieczowej. Stosowane kapilary zostały wcześniej poddane badaniom przy użyciu techniki skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Użycie techniki obrazowania miało na celu sprawdzenie wewnętrznej średnicy kapilary z wartością podaną przez producenta oraz zobrazowanie jej kształtu. Szczegółowo, protokół przygotowania został opisany w publikacji [33], a schemat przygotowania przedstawiam poniżej (**Rys. 4**).

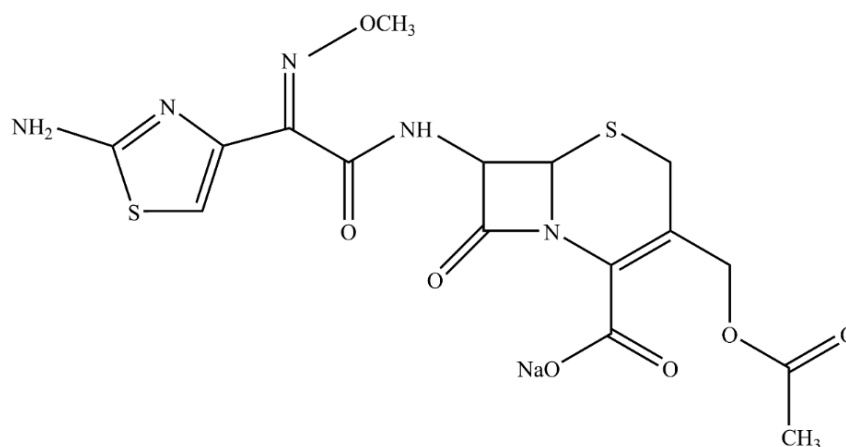


Rys. 4. Schemat przygotowania nośników zminiaturyzowanych granic cieczowych: **(A)** – przygotowanie krótkich fragmentów kapilar; **(B)** – umieszczenie fragmentu kapilary w końcówce do pipety; **(C)** – zatopienie kapilary w końcówce do pipety; **(D)** – dostosowanie długości odcinka kapilary w końcówce do pipety; **(E)** – usunięcie nadmiaru kapilary; **(F)** – zainstalowanie gotowej mikroplatformy w układzie pomiarowym.

Badania prowadzone nad QUIN zostały poszerzone o wiele istotnych aspektów, a uzyskane wyniki przedstawiłem w publikacji **H3**. W pracy tej szczegółowo opisano opracowaną procedurę badawczą dotyczącą jakościowego i ilościowego oznaczania QUIN. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono szereg parametrów fizykochemicznych (współczynniki dyfuzji, współczynnik podziału woda-1,2-dichloroetan, czy standardowa energia Gibbsa przeniesienia QUIN z fazy wodnej do fazy organicznej) i elektroanalitycznych (zakresy liniowości, a także limity wykrywalności i oznaczalności). Najważniejsze wyznaczone parametry zostały zebrane i przedstawione w **Tabelach 2 i 3**, umieszczonych pod koniec tego rozdziału. Elektrochemiczne zachowania QUIN na ITIES zostało także zbadane w szerokim spektrum działania buforu Brittona-Robinsona (BRB). Na podstawie uzyskanych wyników sporządzone zostały diagramy frakcji stężeńowych oraz diagramy podziału jonowego. Dodatkowo, szczegółowo omówione zostały mechanizmy przejścia QUIN poprzez spolaryzowaną granicę cieczową, w zależności od pH fazy wodnej. W końcowym etapie, sprawdzona została użyteczność proponowanej metody elektroanalitycznej poprzez wyznaczenie zawartości QUIN w próbkach napojów typu tonic zakupionych od trzech niezależnych dostawców. Przeprowadzone badania wykazały, że w dwóch z tych próbek pochodzących od wiodących producentów stwierdzono znaczące stężenia QUIN, które mieszczą się w normach określonych

w dyrektywie UE. W przypadku ostatniej badanej próbki, pochodzącej od mniej znanego producenta oferującego napój typu tonic w cenie niższej o około 45% w porównaniu z produktami wiodących marek, nie wykryto obecności QUIN. Przedstawione wyniki okazały się istotnym źródłem informacji podkreślającym problem nieuczciwych praktyk producentów, które w dzisiejszych czasach stają się coraz bardziej powszechne. W przypadku QUIN sprawa budzi szczególne kontrowersje, ponieważ zapisy dyrektywy UE określają jedynie jej maksymalne dopuszczalne stężenie, jakie powinien zawierać produkt sprzedawany na rynku jako tonic. Niestety w przepisach, które reguluje UE nie znajdziemy żadnej informacji, która wskazuje na to jaką minimalną zawartość QUIN powinien zawierać produkt pod nazwą tonic. Celem prowadzonych eksperymentów było elektrochemiczne zbadanie QUIN na ITIES w układzie makro- i mikroskopowym. Opracowana procedura badawcza okazała się wysoce użyteczna i pozwoliła na jej wykorzystanie w przypadku analizy próbek rzeczywistych, które nie wymagały żadnego wcześniejszego przygotowania.

Kolejna publikacja [H4] opisuje elektrochemiczne badania nad cefotaksymem (CTX, **Rys. 5**) – jednym z antybiotyków z grupy cefalosporyn, który jest niezwykle ważnym lekiem. CTX ze względu na swoją szeroką aktywność wobec bakterii, zwłaszcza Gram-ujemnych oraz jego znaczenie w leczeniu poważnych chorób znajduje wiele zastosowań w praktyce medycznej [34,35].

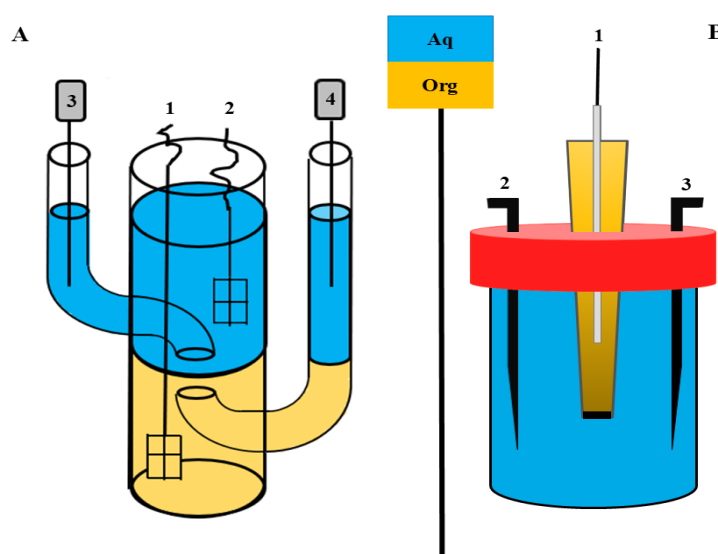


Rys. 5. Struktura chemiczna cefotaksymu.

Niemniej jednak, pomimo ważnych właściwości terapeutycznych antybiotyków są one jednocześnie substancjami niosącymi niezwykle duże zagrożenie dla organizmów żywych. Jednym z najpoważniejszych skutków działań współczesnej cywilizacji jest rosnące zjawisko antybiotykoodporności [36,37]. Problem ten zdaniem specjalistów jest jednym

z kluczowych wyzwań medycznych XXI wieku, stanowi on bowiem poważne zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Podstawowymi przyczynami narastania oporności bakterii na antybiotyki jest ich nadmierne i niewłaściwe stosowanie w medycynie i rolnictwie oraz nieodpowiedzialna utylizacja (często w środowisku naturalnym). Jednym z bardzo częstych środowisk, w których antybiotyki masowo się akumulują, są zbiorniki wodne [38]. Niestety w związku z tym bardzo poważnym problemem jest możliwość przedostania się wody skażonej antybiotykami do wodociągów, a jednocześnie rozlewni wody pitnej. Jak dotąd zdarzało się już odnotować obecność antybiotyków zarówno w środowisku wodnym jak i wodzie spożywczej w kilku miejscach na świecie [39–41]. Mając na uwadze fakt, że zarówno antybiotyki jak i inne leki są masowo stosowane w niepokojących ilościach, bardzo ważnym jest opracowywanie nowych metod analitycznych, pozwalających na monitorowanie ich obecności w środowisku, a także umożliwiających ich wykrywanie już w bardzo niskich stężeniach. W związku z powyższym w trakcie mojego stażu post-doc na Uniwersytecie Lotaryńskim (Nancy, Francja) zdecydowałem się podjąć badania związane z opracowaniem elektrochemicznej metody wykrywania i oznaczania CTX. W tym celu zastosowałem elektrochemię granic cieczowych w układzie makro- i mikroskopowym (**Rys. 6**) w połączeniu z dwiema technikami woltamperometrycznymi, takimi jak woltamperometria przeniesienia jonu (ITV) oraz woltamperometria prądu przemiennego (ACV). Pomiary prowadzone były w 10 mM roztworze HCl o pH = 2, w którym CTX występował w postaci praktycznie całkowicie sprotonowanej molekule (96%). Ciekawym zjawiskiem w przypadku tego analitu był brak możliwości badania CTX na ITIES w roztworach o wyższym pH z uwagi na fakt, iż zmiana tego parametru powodowała jego przekształcenie w nieaktywny elektrochemicznie zwitterjon. Eksperymenty w układzie mikroskopowym prowadzone były także przy użyciu mikrosensorów na bazie kapilek krzemionkowych (**Rys. 4**). Przeprowadzone badania dostarczyły szeregu informacji dotyczących zachowania elektrochemicznego CTX na ITIES, parametrów elektroanalitycznych oraz szeregu deskryptorów fizykochemicznych (**Tabela 2 i 3**). Wyniki uzyskane techniką ACV w porównaniu z tymi uzyskanymi techniką ITV w układzie makroskopowym wykazały lepsze parametry elektroanalityczne (niższe wartości LOD i LOQ). Pomimo, iż technika ACV zapewnia lepszą wydajność, wymaga czasochłonnej analizy uzyskanych danych, a pomiary same w sobie są długotrwałe. Zastosowanie zminiaturyzowanych nośników ITIES przy użyciu ITV spowodowało uzyskanie lepszych parametrów elektroanalitycznych, porównywalnych do tych uzyskanych techniką ACV

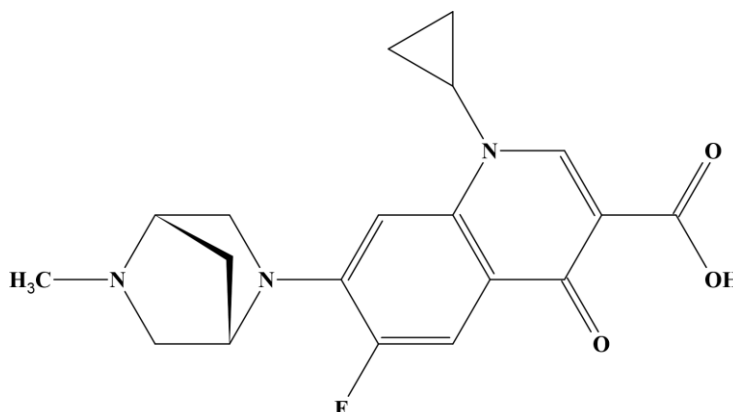
w układzie makroskopowym. Dodatkowo zastosowanie systemu μ ITIES umożliwiło użycie minimalnej objętości (kilka mikrolitrów) fazy organicznej, która bazuje na toksycznym 1,2-DCE oraz jest najbardziej kosztochłonnym elementem całego układu (związane jest to z kosztem przygotowania elektrolitu podstawowego fazy organicznej). Ponadto opracowane metody oparte na dwóch technikach woltamperometrycznych z powodzeniem zastosowano do oznaczania CTX w próbkach rzeczywistych takich jak woda kranowa oraz woda mineralna po zaszczepieniu analitem. W tym przypadku eksperymenty wykazały dodatkowo lepszą stabilność układu opartego na μ ITIES względem procedury bazującej na ACV.



Rys. 6. A – Tradycyjne naczynko elektrochemiczne do badań ITIES w układzie makroskopowym. 1, 2 – elektrody pomocnicze (Pt) do fazy organicznej i wodnej; 3, 4 – elektrody odniesienia (Ag/AgCl) do fazy organicznej i wodnej; **B** – Schemat naczynka do badań ITIES w układzie mikroskopowym. 1 – elektroda Pt pełniąca jednocześnie rolę elektrody pomocniczej i odniesienia w fazie organicznej; 2 – elektroda odniesienia (Ag/AgCl) do fazy wodnej; 3 – elektroda pomocnicza (Pt) do fazy wodnej; Aq – faza wodna; Org – faza organiczna.

Pozostając w tematyce elektrochemicznego badania antybiotyków rozpocząłem kolejny projekt naukowy. Tym razem był on poświęcony danofloksacynie (DANO, **Rys. 7**) – antybiotykowi z rodziny fluorochinolonów, który podobnie jak CTX może występować w roztworze jako kation (ładunek dodatni zlokalizowany jest na atomie azotu pierścienia piperazynowego), anion (ładunek ujemny zlokalizowany jest na grupie

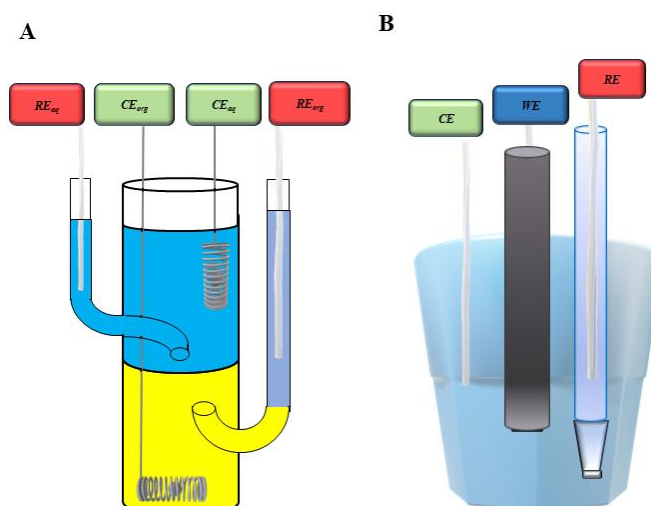
karboksylowej) lub zwiterjon (frakcja obecna w roztworze dla pH pomiędzy $pK_a I$ i $pK_a II$ ze sprotowaną grupą piperazynową i zdysocjowaną grupą karboksylową) [H5].



Rys. 7. Struktura chemiczna danofloksacyny.

Rozpoczynając prace eksperymentalne, zdecydowałem się podjąć nieco inny kierunek badań, mianowicie postanowiłem porównać użyteczność oraz skuteczność elektrochemii cieczowych granic fazowych vs. tradycyjne techniki elektrochemiczne w połączeniu z komercyjnie dostępną elektrodą z węgla szklistego (GCE), w elektroanalizie DANO (**Rys. 8**). W literaturze często możemy spotkać teoretyczne opisy porównujące te dwa układy elektroanalityczne, jednak zazwyczaj nie opierają się one na jednoczesnych badaniach eksperymentalnych. Innymi słowy, brakuje doniesień literaturowych jednoznacznie porównujących parametry elektroanalityczne uzyskane przy pomocy ITIES i elektrod stałych w odniesieniu do konkretnego analitu. W efekcie opracowane zostały dwie procedury umożliwiające elektrochemiczne badanie i oznaczanie DANO. Na podstawie uzyskanych wyników badań wyznaczono szereg parametrów fizykochemicznych i elektroanalitycznych. Ponadto sprawdzona została aplikacyjność obu opracowanych procedur badawczych poprzez oznaczenie stężenia DANO w zaszczerpionych próbkach mleka krowiego, gdzie jej obecność jest zdecydowanie prawdopodobna poprzez znaczącą rolę tego antybiotyku w medycynie weterynaryjnej. Ostatnim etapem badań było sprawdzenie selektywności obu opracowanych procedur badawczych poprzez próby oznaczania DANO w obecności innych substancji, potencjalnie interferujących. W gronie wybranych interferentów znalazły się typowe składniki mleka krowiego, takie jak: kwas cytrynowy, galaktoza, laktoza, glukoza, chlorek wapnia, chlorek potasu, chlorek magnezu, chlorek żelaza (III), mleczan sodu oraz kwas ortofosforowy (V). Analiza uzyskanych wyników wykazała, że obie opracowane metody oznaczania DANO przy użyciu metod elektrochemicznych są niezwykle przydatne i obiecujące. Niemniej

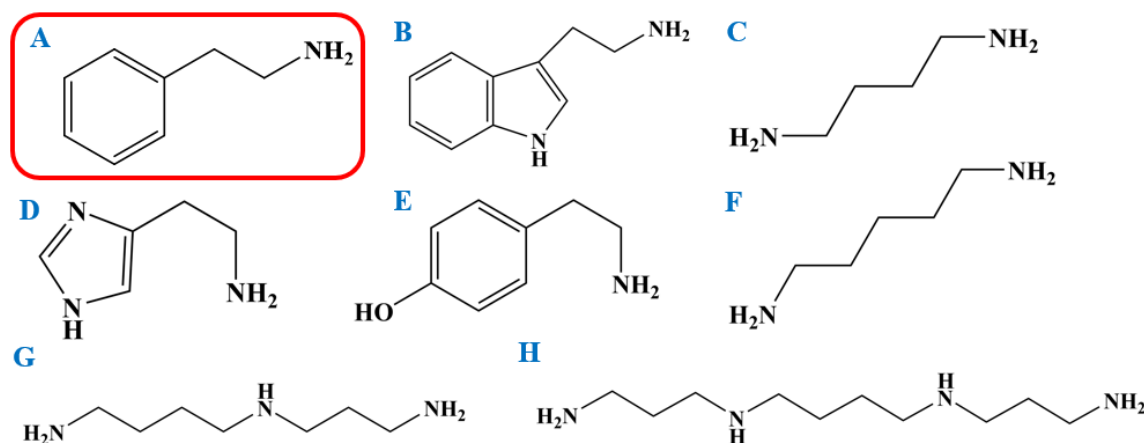
jednak, w oparciu o otrzymane wyniki można stwierdzić wyraźną przewagę systemu opartego na ITIES w porównaniu z tradycyjnymi technikami woltamperometrycznymi połączonymi z GCE. Warto zauważyć wyraźne różnice między techniką ITV w badaniach ITIES, stosowaną głównie jakościowo, a woltamperometrią fali prostokątnej (SWV) na GCE, uznawaną za wyjątkowo czułą metodę ilościową. Badania dowiodły także, iż system oparty na ITIES charakteryzuje się lepszymi parametrami elektroanalitycznymi (**Tabela 3**). Ponadto procedura badawcza oparta na elektrochemii cieczowych granic fazowych charakteryzuje się bardzo wysoką selektywnością w porównaniu do oznaczania DANO przy użyciu GCE. Istotnym faktem ogólnym, który warto podkreślić jest także to, iż artykuł, w którym opisałem powyższe badania naukowe związane z DANO, jest pierwszą tego typu opublikowaną pracą, która pokazuje porównanie tradycyjnych technik elektrochemicznych z elektrochemią cieczowych granic fazowych w elektroanalizie.



Rys. 8. A – Naczynko elektrochemiczne do badań ITIES w układzie makroskopowym ($CE_{aq/org}$ – elektrody pomocnicze (Pt) w obu fazach; $RE_{aq/org}$ – elektrody odniesienia (Ag/AgCl) w obu fazach. **B** – Tradycyjne naczynko do badań woltamperometrycznych w układzie trójelektrodowym (CE – elektroda pomocnicza; WE – elektroda pracująca; RE – elektroda odniesienia).

Dwa kolejne artykuły [**H6-H7**] związane z moim wnioskiem habilitacyjnym dotyczą elektrochemicznych badań nad aminami biogennymi (BA). BA to naturalnie występujące substancje, obecne zarówno w organizmach żywych, jak i w spożywanych przez ludzi pokarmach. Wspierają one przebieg wielu procesów metabolicznych, a także uczestniczą w syntezie hormonów, białek, kwasów nukleinowych oraz alkaloidów. Ta ważna grupa

związków bierze również udział w replikacji DNA, regulacji temperatury ciała i stabilizacji ciśnienia krwi. Ponadto, mają one istotny wpływ na aktywność mózgu i przepuszczalność błon komórkowych. Mimo swojego istotnego znaczenia, niewłaściwie zbilansowanie ich obecności w diecie może prowadzić do poważnych zatruc, zaburzeń funkcjonowania organizmu, a nawet rozwoju chorób nowotworowych. Zwiększona zawartość BA w produktach spożywczych często wynika z nadmiernej aktywności enzymów endogennych, mikrobiologicznej dekarboksylacji aminokwasów neutralnych i zasadowych podczas fermentacji – zarówno spontanicznej jak i kontrolowanej – a także z redukcyjnego aminowania i transaminacji aldehydów i ketonów [42,43]. Ich największe stężenia znajdują się przede wszystkim w dojrzewających oraz popsutych serach i mięsach, nabiale, kiszonkach, produktach fermentowanych, a także alkoholu, rybach i owocach morza [44–46]. W publikacji **H6** opisuję elektrochemiczne badania 8 amin biogennych [**Rys. 9**, fenyletyloaminy (PEA), tryptaminy (TRA), histaminy, sperminy, spermidyny, putrescyny, kadaweryny i tyraminy] na ITIES. Eksperymenty wstępne wykazały, że w dostępnym oknie potencjałów elektroaktywne na spolaryzowanej granicy fazowej typu ciecz-ciecz okazały się tylko dwie z nich: PEA i TRA. Szczegółowym badaniom elektroanalitycznym została poddana PEA z uwagi na jej wysokie znaczenie biologiczne [47,48], szereg ważnych zastosowań (poprawa nastroju i funkcji poznawczych, wsparcie w redukcji masy ciała czy zwiększenie energii) [49] oraz stosunkowo częstą obecność w produktach żywnościowych [50,51].

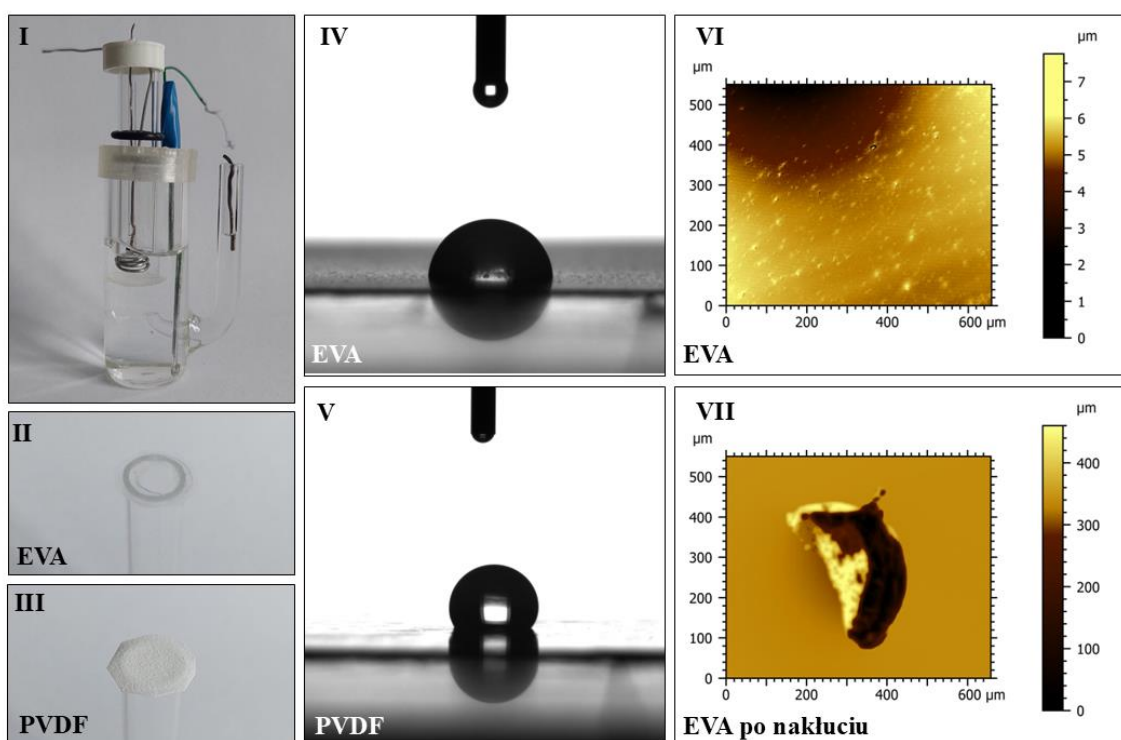


Rys. 9. Struktury chemiczne badanych BA: **A** – fenyletyloamina, **B** – tryptamina, **C** – putrescyna, **D** – histamina, **E** – tyramina, **F** – kadaweryna, **G** – spermidyna oraz **H** – spermina.

Opracowana procedura elektroanalityczna pozwoliła na jakościowe oraz ilościowe oznaczanie PEA na ITIES. Na podstawie uzyskanych wyników badań wyznaczono szereg parametrów elektroanalitycznych oraz fizykochemicznych, które zebrałem w **Tabeli 2** oraz **3**, zamieszczonych pod koniec tego rozdziału. Kolejnym etapem niniejszego projektu było zastosowanie proponowanej procedury w badaniach matrycy rzeczywistej. W tym celu PEA oznaczona została w próbkach mleka krowiego, w których występuje naturalnie, a jej zawartość w mleku wzrasta wraz z jego psuciem się, na skutek zachodzących procesów mikrobiologicznych i biochemicznych. Pierwsza część eksperymentu związana ze sprawdzeniem użyteczności opracowanej procedury związana była z oznaczaniem PEA w próbkach mleka przy użyciu metody wielokrotnego dodatku wzorca. Dodatkowo przeprowadzone zostały także eksperymenty polegające na wyznaczaniu zawartości PEA w trakcie procesu psucia się mleka, w przeciągu 10 dni. Wyniki badań dowiodły, iż proces starzenia się próbek mleka powoduje wzrost zawartości BA w mleku. W ramach niniejszych badań sprawdzona została także selektywność opracowanej procedury poprzez zbadanie wpływu pozostałych BA przedstawionych na **Rys. 8** na rejestrowane sygnały przejścia międzyfazowego PEA. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że wśród analizowanych związków jedynie obecność TRA może wpływać na elektrochemiczne wykrywanie bądź oznaczanie PEA na ITIES, dlatego też można stwierdzić iż proponowana metoda ma bardzo dobrą selektywność, zwłaszcza z uwagi na fakt, iż bardzo rzadko obie z tych BA występują w tych samych produktach.

Następna praca z cyklu habilitacyjnego [**H7**] dotyczyła także tematyki amin biogennych. W tej publikacji przedstawione zostały dwa typy mikrosensorów opartych na foliach polimerowych, które posłużyły jako nośniki μ ITIES (**Rys. 10**). Wytworzenie jednego z nich związane było z użyciem cienkiej warstwy makroporowatej membrany na bazie polifluorku winylidenu (PVDF), dla której ułożenie porów jest przypadkowe. Hydrofobowy charakter membrany zapewniał jej zwilżalność przez fazę organiczną i formowanie się wielu granic fazowych, z których kolektywnie szczytywano sygnały prądowe. Opracowanie drugiego czujnika wiązało się z zastosowaniem nieporowatego filmu na bazie etylenowego polioctanu winylu (EVA), poprzedzonego nakłuciem ostrą igłą przed konstrukcją układu dwufazowego. W celu wykonania precyzyjnych i odtwarzalnych nakłuc gwarantujących otwory o powtarzalnej geometrii wykorzystano nakłuwacz do glukometru (**Rys. 10-VII**). Oba z proponowanych nośników zminiaturyzowanej granicy cieczonej zostały scharakteryzowane pod kątem elektrochemicznym (ITV), właściwości zwilżania filmów

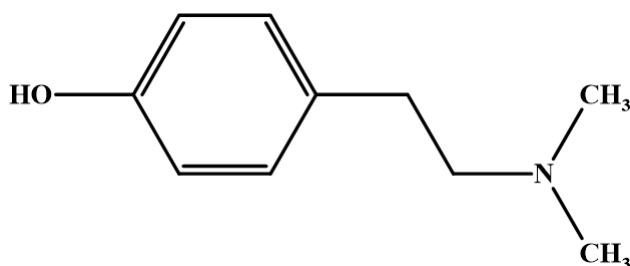
wodą oraz 1,2-DCE, z wykorzystaniem mikroskopii profilometrycznej oraz spektroskopowym (ATR-FTIR). Badania konta zwilżania kropli wody i 1,2-DCE wykazały, iż folia PVDF wykazuje wyższą hydrofobowość w porównaniu z EVA. Analiza profilometryczna przeprowadzona była w celu zobrazowania powierzchni obu membran i wykazała znacząco gładką powierzchnię foli EVA (**Rys. 10-IV**). Dodatkowo chemiczny charakter obu membran potwierdzono za pomocą spektroskopii ATR-FTIR. Zarejestrowane widma transmitancji porównane z bazą danych LabSolutions IR wykazały zgodność sygnału na poziomie 97% dla EVA i 84.3% dla PVDF. Następnie ich funkcjonalność w roli sensorów elektrochemicznych została sprawdzona podczas badań wstępnych na związku modelowym – chlorku tetraetyloamoniowym (TEA). W efekcie końcowym opracowane sensory μ ITIES zostały użyte w badaniach i oznaczaniu PEA. Zaprojektowane sensory podczas oznaczania PEA dostarczyły obiecujących wyników, których parametry elektroanalityczne są bardzo zadowalające: folia EVA (LOD = 1.68 μ M i LOQ = 5.59 μ M), folia PVDF (LOD = 3.21 μ M i LOQ = 10.59 μ M). Obecnie prowadzę dalsze badania nad zastosowaniem w/w sensorów pod kątem badania PEA i TRA w próbkach żywności, a także elektroanalizy innych molekuł o wysokim znaczeniu biologicznym.



Rys. 10. I – Naczynko elektrochemiczne ITIES do badań przy użyciu sensorów na bazie foli polimerowych; II, III – mikrosensory na bazie foli; IV, V – Obrazy wykonane

za pomocą goniometru przedstawiające zachowanie kropli wody na powierzchni badanych foli; **VI, VII** – Obrazy z profilometru 3D w funkcji konfokalnej wykonane dla folii EVA przed i po nakłuciu [**H7**].

Kolejna praca [**H8**] także wpisuje się w tematykę sensorów elektrochemicznych w kontroli jakości żywności. Obiektem badań tej publikacji była hordenina (HODE, **Rys. 11**) – związek o wysokim znaczeniu biologicznym z rodziny alkaloidów. Naturalnie występuje ona w niektórych gatunkach jęczmienia, kaktusów i akacji. HODE wykazuje działanie stymulujące [52,53], a także reguluje poziom noradrenaliny, wspomagając tym samym metabolizm tłuszczów.



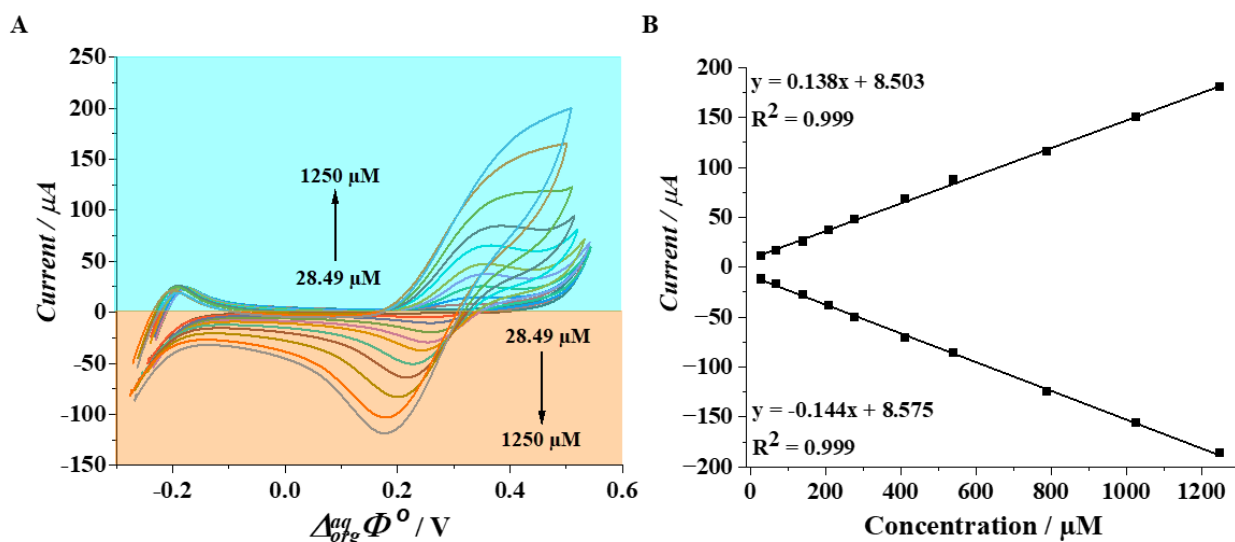
Rys. 11. Struktura chemiczna hordeniny.

W literaturze przedstawiono wiele doniesień, według których suplementacja HODE przynosi wiele korzyści, m.in.: zwiększenie poziomu energii, redukcję zmęczenia, senności i apetytu, a także poprawę koncentracji i wydolności fizycznej [54]. Niemniej jednak stosowanie HODE w sporcie ma pewne implikacje prawne, ponieważ niektóre agencje antydopingowe umieszczają ją na liście substancji zabronionych z powodu jej właściwości stymulujących [55]. Dodatkowo, monitorowanie poziomu tej substancji jest kluczowe dla zapewnienia zgodności z regulacjami dietetycznymi i zapobiegania niezamierzonemu przypadkowemu spożyciu przez sportowców [56,57]. Ponadto HODE stosowana jest także w terapiach choroby Parkinsona z uwagi na fakt, iż jej działanie powoduje wzrost stężenia dopaminy w ośrodkowym układzie nerwowym [58,59]. Związek ten wzbudził także wyjątkowe zainteresowanie, gdy zaobserwowano, że konie karmione jęczmieniem wykazywały znacznie wyższy poziom energii i osiągały znacznie lepsze wyniki fizyczne. Na skutek tych obserwacji przeprowadzone zostały liczne badania, które wykazały obecność HODE we krwi i moczu zwierząt [60,61]. W efekcie, wiele federacji wyścigów konnych, w tym Międzynarodowa Federacja Jeździecka (FEI), postanowiło dodać HODE do listy stymulantów dopingujących i zakazanych. Kolejnym ciekawym faktem dotyczącym tego alkaloidu, jest jego obecność w różnych gatunkach piwa [62]. W ostatnich latach niemieccy naukowcy wykazali obecność

HODE w piwach słodowych. Działanie HODE powoduje uwalnianie dopaminy w mózgu, co w efekcie poprawia nastrój i tłumaczy zjawisko dobrego samopoczucia po spożyciu piwa. Pomimo wielu korzyści, jakie może przynieść umiarkowane spożycie tej substancji, należy być świadomym wielu potencjalnych skutków ubocznych, jakie może ona powodować. Należą do nich zwiększone tętno, podwyższone ciśnienie krwi, napady drgawek oraz zwiększone ryzyko ataków epileptycznych. HODE jest także składnikiem niektórych odżywek kulturystycznych. W efekcie z uwagi na brak doniesień literaturowych przedstawiających badania tego analitu na ITIES opracowałem metodę analizy HODE. Istotnym faktem jest informacja, iż ilość opublikowanych prac przedstawiających metody oznaczania tego alkaloidu jest stosunkowo mała, a w literaturze istnieje jedynie jedna praca opisująca elektrochemiczne badanie HODE przy użyciu elektrody diamentowej domieszkowanej borem (BDDE) [63].

W publikacji **H8** przedstawiłem, elektrochemiczną procedurę badawczą opartą na ITIES do jakościowego i ilościowego oznaczania HODE. W tym celu zastosowałem technikę ITV. Badania prowadzone były w fazie wodnej o $\text{pH} = 2$, w którym HODE występowała w postaci kationu (sprotonowany atom azotu), co nadało jej elektrochemicznej aktywności na ITIES. Na **Rys. 12** przedstawiono wybrane woltamperogramy dla wzrastających stężeń HODE w zakresie 28.49-1250 μM . Sygnały przejścia HODE z fazy wodnej do organicznej dla wyższych stężeń tracą analityczny kształt pików, co wiąże się z hydrofilowym charakterem analitu i nakładaniem się sygnału przejścia HODE na prądy limitujące. Zachowanie HODE na spolaryzowanej granicy fazowej typu ciecz-ciecz zostało zbadane także w szerokim spektrum działania buforu BR. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczony został szereg istotnych parametrów fizykochemicznych, które przedstawiłem w **Tabeli 2**. Ponadto opracowana procedura analityczna została sprawdzona pod kątem jej praktycznego zastosowania poprzez oznaczanie HODE w suplemencie kulturystycznym oraz kilku rodzajach piwa. Uzyskane wyniki zostały poddane walidacji (**Tabela 3**). Dodatkowo zastosowane zostały dwie techniki chromatograficzne: wysokosprawna chromatografia cieczowa z detektorem z matrycą diodową (HPLC-DAD) oraz chromatografia gazowa (GC) w celu potwierdzenia wyników uzyskanych na drodze badań elektrochemicznych. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów wykazały, że, skład suplementów diety może się różnić od tego, co podane jest na opakowaniu, ponieważ nie podlega on tak rygorystycznym normom prawnym jak w przypadku leków. Badania pokazały, iż pomimo deklaracji producenta o 98% zawartości HODE w suplemencie, w każdej z analizowanych tabletek wyznaczono dużo niższe i niepowtarzalne stężenie analitu.

Ponadto, na podstawie analizy pięciu rodzajów piwa zaobserwowano, że piwo ciemne zawiera wyższą zawartość HODE w porównaniu do piw jasnych.



Rys. 12. A – Wybrane woltamperogramy zarejestrowane dla wzrastających stężeń HODE w zakresie: 28.49; 70.92; 140.8; 209.8; 277.8; 411.0; 540.5; 789.5; 1026 i 1250 μM . Warunki pomiarów: pH = 2.0; szybkość przemieszczania potencjałem 20 mV s⁻¹. **B** – Krzywe kalibracyjne dla przejścia HODE poprzez spolaryzowaną granicę cieczową [H8].

Tabela 2. Wyznaczone parametry fizykochemiczne dla badanych analitów.

Analit	z	$D_{aq \rightarrow org}$ [cm ² s ⁻¹]	$D_{org \rightarrow aq}$ [cm ² s ⁻¹]	$\Delta G'^{aq \rightarrow org}$ [kJ mol ⁻¹]	$\Delta_{org}^{aq} \Phi'$ [mV]	$\log P'_{DCE}$
QUIN	2	9.91×10^{-6}	7.17×10^{-6}	36.28	188	-6.36
CTX	1	2.55×10^{-6}	0.46×10^{-6}	25.57	265	-4.48
DANO	1	1.13×10^{-6}	0.14×10^{-6}	11.87	123	-2.08
PEA	1	1.29×10^{-6}	3.16×10^{-6}	24.46	254	-4.29
HODE	1	3.26×10^{-6}	4.16×10^{-6}	21.71	225	-3.80

z – ładunek; $D_{aq \rightarrow org} / D_{org \rightarrow aq}$ – współczynnik dyfuzji dla przejścia analitu z fazy wodnej do organicznej lub odwrotnie; $\Delta G'^{aq \rightarrow org}$ – formalna wolna energia Gibbsa reakcji przeniesienia jonu; $\Delta_{org}^{aq} \Phi'$ – formalny potencjał Galwaniego reakcji przeniesienia jonu; $\log P'_{DCE}$ – współczynnik podziału woda|1,2-DCE.

Tabela 3. Optymalne warunki analizy oraz wyznaczone parametry elektroanalityczne dla badanych analitów.

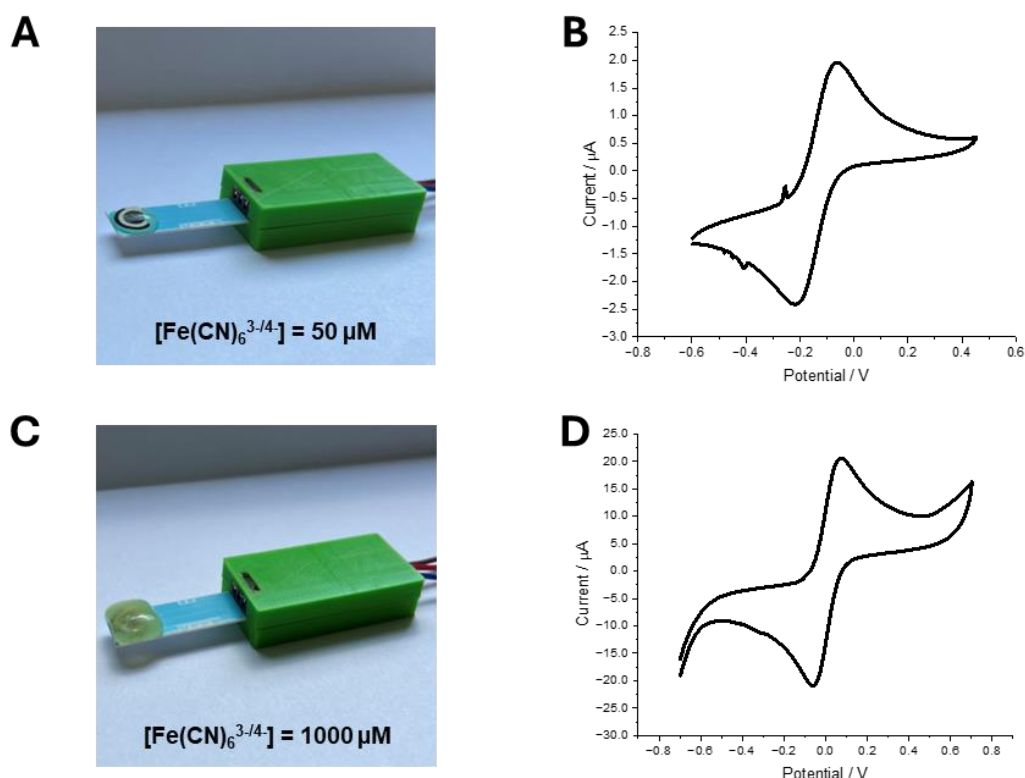
Analit	Metoda	Technika	pH	LDR [μM]	LOD [μM]	LOQ [μM]	Próbka rzeczywista
QUIN	ITIES	ITV	2	14.29 – 277.80	3.89	12.97	Napój tonic
QUIN	μITIES	ITV	2	0.50 – 29.13	0.49	0.52	
CTX	ITIES	ITV	2	21.4 – 909.1	2.71	9.03	Woda
CTX	ITIES	ACV	2	5.00 – 400.0	1.19	3.98	kranowa i woda mineralna
CTX	μITIES	ITV	2	13.4 – 476.2	1.46	4.86	
DANO	ITIES	ITV	2	7.13 – 333.3	2.02	6.74	Mleko krowie
DANO	GCE	SWV	2	13.71 – 373.6	10.37	13.71	
PEA	ITIES	ITV	2	5.03 – 99.04	2.29	5.03	
PEA	μITIES (EVA)	ITV	2	2.50 – 30.0	1.68	5.59	-
PEA	μITIES (PVDF)	ITV	2	10.0 – 80.0	3.21	10.59	-
HODE	ITIES	ITV	2	28.49 – 1250	20.11	28.49	Suplement kulturystyczny oraz próbki piwa

Ostatnia z publikacji [H9] zamykająca mój cykl habilitacyjny kreśli nowe kierunki badań, którymi już się zajmuję. Praca H9 przedstawia użycie żelatorów spożywczych (guma guar, żelatyna, agaroza i agar-agar), jako matrycy biotuszu (będącego jednocześnie nośnikiem elektrolitu podstawowego oraz analitu) w druku 3D (znanego jako z ang. direct ink writng lub bioprinting), a następnie zastosowania w elektroanalizie. W ostatnich latach technologia druku 3D (3DP) szeroko stosowana we wszystkich dziedzinach nauki, w tym w elektrochemii [64–66]. Technologia 3DP była wykorzystywana m.in. do druku: elektrod [67], naczynek elektrochemicznych [65] oraz urządzeń mikroprzepływowych [68]. Pomimo że oferuje ona wiele możliwości, połączenie druku bazującego na tuszu hydrożelowym z elektrochemią nie zostało dotychczas szeroko zbadane. Wymienione wyżej żelatory zastosowane zostały jako wypełniacze tuszu używanej drukarki. Głównym celem pracy była ocena właściwości

elektrochemicznych faz żelowanych będących mieszaniną elektrolitu podstawowego (NaCl), markera redoks ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$) i prekursora żelu (**Rys. 13**). Typ użytego żelatora oraz jego stężenie były głównymi zmiennymi eksperymentalnymi a proces wstępnej optymalizacji przeprowadzono poprzez umieszczenie elektrod układu trójelektrodowego w zlewce wypełnionej roztworem żelu. Pomiary prowadzono po 12 godzinach od zakończenia procedury nastawiania naczynka elektrochemicznego. W tym miejscu należy zauważyć czasochłonność prowadzonych badań. Ze względu na brak możliwości zmiany stężenia składników układu żelowanego w czasie prowadzonych eksperymentów (stężenie badanego układu redoks oraz stężenie żelatora), każda zmienna eksperymentalna wymagała przygotowania nowego naczynia elektrochemicznego.

Dodatkowo wykorzystano sześć elektrod sitodrukowanych o podobnych właściwościach elektrochemicznych. Po przebadaniu wielu elektrod, wybrano te które wykazywały zbliżone wartości prądów pików anodowego i katodowego dla stałego stężenie $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$. Następnie, na każdą z elektrod nadrukowano warstwę hydrożelu o zmiennym stężeniu wybranego układu redoks ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$). Wytworzone układy badano z wykorzystaniem techniki woltamperometrii cyklicznej. Wykazano iż odpowiedź prądowa układu żelowanego jest niższa w porównaniu z układem pozbawionym żelatora dla tego samego stężenia układu redoks. Zależność tą powiązano ze zmianami lepkości, które w sposób bezpośredni wpływają na proces transferu masy do powierzchni elektrody (spadek współczynnika dyfuzji). Najlepszą odpowiedź elektrochemiczną w badaniach markera redoks zaobserwowano dla żelatyny i agar-agar (dobrze ukształtowane woltamperogramy, wysoka odtwarzalność i powtarzalność pomiarów oraz wartości współczynnika korelacji R^2 najbardziej zbliżone do wartości 1). W przypadku badań pod kątem użyteczności żeli jako biotuszy 3D, najlepszym materiałem okazała się guma guar, która umożliwiała drukowanie obiektów zachowujących swój kształt do 24h po wytworzeniu. Ten początkowy zestaw danych pokazuje, że drukowalne żełe mogą być wykorzystywane w zastosowaniach elektrochemicznych, a szczególnie w badaniach elektroanalitycznych. W przyszłości planuję wykorzystać techniki bazujące na druku 3D do wytwarzania czujników żelowanych, w szczególności do wytwarzania układów bazujących na spolaryzowanej granicy fazowej typu żel-żel. Niniejsza praca stanowi wstęp do wytwarzania składowej tych układów (żelowana faza wodna). W chwili obecnej, jako kierownik grantu OPUS zatytułowanego „eCS(S)I - sensory elektrochemiczne bazujące na miękkich granicach cieczowych do kontroli jakości żywności”, koordynuję prace, w których skupiam się na optymalizacji żelowania fazy organicznej, wytwarzania bazującego na druku 3D układów typu

ciecz-ciecz (żel-żel) o różnych geometriach oraz stosowaniu wytworzonych układów do badania barwników spożywczych.



Rys. 13. **A** – Układ elektrochemiczny zawierający elektrodę drukowaną, na którą naniesiono kroplę roztworu $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$. **B** – Woltamperogram cykliczny (CV) zarejestrowane dla $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}] = 50 \mu\text{M}$ w 250 mM roztworze NaCl. **C** – Układ elektrochemiczny zawierający elektrodę drukowaną, na którą naniesiono kostkę hydrożelową wydrukowaną w 3D z 4% żelu gumy guar guar. **D** – CV zarejestrowany w 4% hydrożelu na bazie gumy guar guar dla $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}] = 1000 \mu\text{M}$ w 250 mM roztworze NaCl [H9].

4.3.3. Podsumowanie osiągnięcia naukowego

Przedstawione w niniejszej dysertacji osiągnięcie naukowe opiera się na 9 pracach. Jedną z nich jest polski patent [H2], zaś 8 prac [H1, H3-H9] to artykuły naukowe opublikowane w renomowanych czasopismach z listy JCR, pośród których pierwsza publikacja [H1] to artykuł przeglądowy. Za najważniejsze osiągnięcia przedłożonego do oceny dorobku naukowego, mogę uznać:

1. Przeprowadzenie obszernego badania literaturowego, które zaowocowało powstaniem zauważonej przez środowisko naukowe przeglądowej publikacji (72 cytowania w przeciągu 5 lat) mogącej mieć wpływ na rozwój dyscypliny nauki chemiczne (chemia analityczna i elektrochemia).
2. Elektrochemiczne zbadanie kilkunastu ważnych związków o znaczeniu biologicznym należących do grup: antybiotyków (cefotaksym i danofloksacyna), alkaloidów (chinina i hordenina) oraz amin biogennych (fenyloetyloamina, tryptamina, histamina, spermina, spermidyna, putrescyna, kadaweryna i tyramina). Większość z tych związków była badana na spolaryzowanych granicach cieczowych po raz pierwszy, dla pozostałych zaproponowałem nowe sposoby ich elektrochemicznego oznaczania.
3. Opracowanie szeregu procedur analitycznych umożliwiających badanie i oznaczanie 5 analitów (chinina, hordenina, cefotaksym, danofloksacyna oraz fenyloetyloamina) przy użyciu różnych metod (ITIES lub elektrody węglowe) oraz technik (CV/ITV, SWV, ACV) elektrochemicznych. Opracowane procedury stanowią świetną alternatywę dla istniejących już, droższych i bardziej skomplikowanych rozwiązań opartych na np. metodach chromatograficznych. O wysokiej wartości naukowej opracowanych przeze mnie procedur może świadczyć prestiż czasopism, w których zostały opublikowane.
4. Zastosowanie opracowanych procedur w badaniu próbek rzeczywistych reprezentujących próbki żywnościowe (napój tonic, woda mineralna, woda kranowa, mleko krowie, piwo) oraz suplement kulturystyczny. Niebywale ważnym aspektem jest fakt, iż żadna z badanych próbek nie wymagała nawet minimalnego przygotowania do analizy – eliminacja najtrudniejszego i najbardziej czasochłonnego etapu opracowania procedury analitycznej.
5. Opracowanie dwóch nowych sensorów elektrochemicznych na bazie folii polimerowych. Oba zaprojektowane czujniki bardzo dobrze sprawdziły się w badaniu zarówno jonu modelowego jak i fenyloetyloaminy, dostarczając zadowalających parametrów analitycznych. Opracowane sensory z powodzeniem można zastosować do analizy innych ważnych analitów, co świadczy o znaczącym wpływie na rozwój dyscypliny.
6. Opatentowanie jednej z opracowanych procedur analitycznych, umożliwiającej oznaczanie zawartości chininy w próbkach napojów typu tonic. Zaproponowane rozwiązanie będące podstawą niniejszego patentu może znaleźć zastosowanie w produkcyjnej lub konsumenckiej kontroli jakości. Dodatkowo, prowadzone były

rozmowy z jedną z firm zajmujących się produkcją napoju tonic, która rozważa wprowadzenie opracowanej metody w swoim laboratorium kontroli jakości.

7. Zweryfikowanie możliwości wykorzystania żelowanej fazy wodnej w badaniach elektroanalitycznych. Badania pilotażowe pokazały korelację pomiędzy użytecznością żelatorów w badaniach procesów redoks, a możliwością ich zastosowań jako biotusze w druku 3D.
8. Zastosowanie druku oraz biodruku 3D w elektrochemii, pod kątem wytwarzania żelowanych roztworów elektrolitów o szerokim zastosowaniu elektroanalitycznym. Przeprowadzone eksperymenty stanowią wartościowy wstęp do dalszych badań nad projektowaniem innowacyjnych, żelowanych sensorów elektrochemicznych.
9. Zdobywanie znaczącego doświadczenia oraz udoskonalenie warsztatu badawczego, w pracy wieloma technikami, takimi jak: elektrochemiczne (woltamperometria cykliczna, woltamperometria fali prostokątnej, woltamperometria prądu przemiennego); obrazowania (mikroskopia konfokalna, profilometria optyczna, skaningowa mikroskopia elektronowa, goniometria kontaktowa) spektroskopowymi (spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera z techniką osłabionego całkowitego odbicia) oraz chromatograficznymi (wysokosprawną chromatografią cieczową oraz chromatografią gazową). Interdyscyplinarny podejście oraz umiejętności pracy różnorodnymi metodami analizy umożliwiły mi kompleksowe badania złożonych zagadnień naukowych, zwiększenie precyzji i wiarygodności wyników oraz skuteczniejsze rozwiązywanie problemów badawczych.

4.3.4. Obecna działalność, plany naukowe i perspektywy badań

Moje dotychczasowe zainteresowania badawcze dotyczyły opracowywania, optymalizacji, oraz weryfikacji użyteczności sensorów elektrochemicznych oraz procedur badawczych umożliwiających jakościowe i ilościowe badania związków o wysokim znaczeniu biologicznym w żywności. Obecnie jestem kierownikiem grantu OPUS i nadzoruję prace badawcze całego zespołu (kilku naukowców i studentów) związane z zastosowaniem metod elektrochemicznych oraz druku 3D do wytwarzania układów pomiarowych o potencjalnym zastosowaniu w analizie barwników spożywczych. Eksperymenty prowadzone w ramach tego grantu będą prowadzone przez minimum najbliższe 2 lata.

Ponadto jestem opiekunem naukowym dwóch grantów PRELUDIUM związanych z nieco innymi wątkami naukowymi. Tematyka jednego z nich wiąże się z zastosowaniem

elektrochemii ITIES w do opracowania metod elektroanalizy diagnostyki moczu, a jego kierowniczką jest mgr Karolina Marciniak, doktorantka, w przewodzie której jestem powołany jako promotor pomocniczy. Drugi z nich dotyczy badań związanych z redukcją tlenu w układach na bazie dwuskładnikowej mieszaniny rozpuszczalników, a kieruje nim dr inż. Katarzyna Szwabińska – adiunkt w zespole, w którym pracuję. Badania w ramach pierwszego z w/w grantów prowadzone będą jeszcze minimum przez rok, zaś drugiego z nich, co najmniej przez najbliższe 2 lata.

Jestem także zatrudniony w grantie SONATA zatytułowanym „Drukowanie 3D i elektrochemicznie wspomagana modyfikacja powierzchni do połączonego elektroanalizy i kolorymetrycznego wykrywania psychoaktywnych substancji chemicznych (3D-Dual-Sens)”, którego kierowniczką jest dr Karolina Kwaczyński. W ramach tego projektu zajmuję się pracą naukową związaną z opracowywaniem nowatorskich metod oznaczania substancji psychoaktywnych. Ponadto w ramach współpracy z otoczeniem, na zlecenie biegłego sądowego, wykonuję analizy próbek ulicznych narkotyków, które wykorzystywane są w sprawach sądowych.

Dodatkowo, jestem również wykonawcą w interdyscyplinarnym grantie z funduszy Uniwersytetu Łódzkiego w ramach projektu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” (IDUB), który zatytułowany jest „DarkBacLight. Bakteryjny system konwersji energii słonecznej oparty o piomelaninowe ogniwa fotowoltaiczne”, a jego kierownikiem jest dr Karolina Rudnicka prof. UŁ (zbieżność nazwisk), z Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego. W ramach tego projektu jestem odpowiedzialny za prowadzenie elektrochemicznych badań nad piomelaniną – pigmentem, który wytwarzany jest przez niektóre mikroorganizmy takie jak bakterie, czy grzyby.

Od strony dydaktycznej poza prowadzonymi zajęciami naukowymi i pełnieniem funkcji promotora pomocniczego w 2 przewodach doktorskich, jestem obecnie promotorem 3 prac magisterskich, a także jednej pracy licencjackiej o charakterze eksperymentalnym. Opieka oraz promotorstwo nad tymi pracami z pewnością dostarczy kolejnych ciekawych wyników naukowych, zwłaszcza z uwagi na to, iż każda z prowadzonych prac porusza nieco inne problemy badawcze. Na podstawie moich doświadczeń i dokonań naukowych można także stwierdzić, iż każda z kierowanych przeze mnie prac w roli promotora dostarczyła jak dotąd istotnych wyników, wpływających na rozwój dyscypliny, które zostały już opublikowane lub są na etapie przygotowania do publikacji w renomowanych czasopismach z listy JCR.

Jestem także zaangażowany w tworzenie międzynarodowego konsorcjum we współpracy z Centrum Nauk Fizycznych i Technologicznych (FTMC) w Wilnie (Litwa), które będzie starać się o pozyskanie grantu europejskiego w tematyce opracowywania sensorów do oznaczania poziomu hormonów u zwierząt. W tym miejscu chciałbym podkreślić, iż działanie to jest pokłosiem mojego 2-miesięcznego stażu post-doc w w/w jednostce naukowej w ubiegłym roku. FTMC to wiodąca jednostka naukowa na Litwie.

Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia naukowe oraz plany na przyszłość, uważam, że uzyskanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie nauki chemiczne pozwoli mi osiągnąć pełną samodzielność naukową oraz stworzyć i kierować własnym zespołem badawczym, na co jestem w pełni przygotowany, czego dowodem jest moje doświadczenie, w tym realizacja grantu OPUS. Interdyscyplinarność prowadzonych przeze mnie badań, a także sprawowanie naukowej opieki nad grantami obejmującymi różnorodne aspekty mojej wiodącej dyscypliny, nie tylko umożliwią mi dalszy rozwój, ale także otworzą drogę do podejmowania nowych, istotnych wyzwań badawczych. Dzięki temu będę mógł doskonalić swoje umiejętności jako naukowiec.

4.3.5. Literatura

- [1] E. Pietraś, 8 powodów, dla których warto czytać etykiety, (2021).
<https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywienia/8-powodow-dla-ktorych-warto-czytac-etykiety/>.
- [2] Cost a concern for EU consumers, with food safety close behind, (2022).
<https://www.efsa.europa.eu/en/news/cost-concern-eu-consumers-food-safety-close-behind>.
- [3] M. Siuba-Strzelińska, Świadomość konsumenta w świetle raportu EFSA, (2020).
<https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywienia/swiadomosc-konsumenta-w-swietle-raportu-efsa/>.
- [4] P. Yammine, H. El-Nakat, R. Kassab, A. Mansour, B. El Khoury, D. Koumeir, Z. Matar, A. Chmaysem, Recent Advances in Applied Electrochemistry: A Review, Chem. 6 (2024) 407–434. <https://doi.org/10.3390/chemistry6030024>.
- [5] D. Song, Y.G. Zhou, From ensemble electrochemistry to nanoparticle-impact electrochemistry: Altered reaction process and possible applications, Curr. Opin. Electrochem. 34 (2022) 101011. <https://doi.org/10.1016/j.COEELEC.2022.101011>.
- [6] U. Ulissi, R. Raccichini, Past, present, and future of electrochemical energy storage: A

- brief perspective, *Front. Nanosci.* 19 (2021) 1–28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821434-3.00013-2>.
- [7] J.H. Zhang, D.M. Song, Y.G. Zhou, Impact electrochemistry for biosensing: advances and future directions, *Analyst.* 149 (2024) 2498–2506. <https://doi.org/10.1039/d4an00170b>.
- [8] M. Annalakshmi, T.S.T. Balamurugan, K. Czarny-Krzywińska, K. Marciniak, L. Poltorak, Straightforward electroanalytical sensing of nitrate in cyanobacteria growth media at electrified liquid-liquid interface, *Sensors Actuators B Chem.* 423 (2025) 136863. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2024.136863>.
- [9] H. Han, D. Pan, Voltammetric methods for speciation analysis of trace metals in natural waters, *Trends Environ. Anal. Chem.* 29 (2021) e00119. <https://doi.org/10.1016/J.TEAC.2021.E00119>.
- [10] J.C. Abbar, N.P. Shetti, S.T. Nandibewoor, Development of Voltammetric Method for the Determination of an Anticancer Drug, 5-Fluorouracil, at a Multiwalled Carbon Nanotubes Paste Electrode, *Synth. React. Inorganic, Met. Nano-Metal Chem.* 46 (2016) 814–820. <https://doi.org/10.1080/15533174.2014.989586>.
- [11] E.N. Chaney, R.P. Baldwin, Electrochemical Determination of Adriamycin Compounds in Urine by Preconcentration at Carbon Paste Electrodes, *Anal. Chem.* 54 (1982) 2556–2560. <https://doi.org/10.1021/ac00251a034>.
- [12] K. Rudnicki, M. Brycht, A. Leniart, S. Domagała, K. Kaczmarek, K. Kalcher, S. Skrzypek, A sensitive sensor based on single-walled carbon nanotubes: its fabrication, characterization and application in the electrochemical determination of drug clorsulon in milk samples, *Electroanalysis.* (2019).
- [13] S. Sudalaimani, K. Sanjeev Kumar, A. Esokkiya, C. Suresh, K. Giribabu, Electrified liquid-liquid interface as an electrochemical tool for the sensing of putrescine and cadaverine, *Analyst.* 146 (2021) 3208–3215. <https://doi.org/10.1039/d1an00019e>.
- [14] S.M. Ghoreishi, M. Behpour, M. Golestaneh, Simultaneous determination of Sunset yellow and Tartrazine in soft drinks using gold nanoparticles carbon paste electrode, *Food Chem.* 132 (2012) 637–641. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.103>.
- [15] K. Kowalewska, K. Sipa, A. Leniart, S. Skrzypek, L. Poltorak, Electrochemistry at the

- liquid–liquid interface rediscovers interfacial polycondensation of nylon-6,6, *Electrochem. Commun.* 115 (2020) 106732.
<https://doi.org/10.1016/j.elecom.2020.106732>.
- [16] H.H.H. Girault, Electrochemistry at the interface between two immiscible electrolyte solutions, *Electochim. Acta.* 43 (1986) 383–385. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(87\)85002-8](https://doi.org/10.1016/0013-4686(87)85002-8).
- [17] L. Poltorak, A. Gamero-Quijano, G. Herzog, A. Walcarius, Decorating soft electrified interfaces: From molecular assemblies to nano-objects, *Appl. Mater. Today.* 9 (2017) 533–550. <https://doi.org/10.1016/j.APMT.2017.10.001>.
- [18] J.A. Ribeiro, C.M. Pereira, Applications of Electrochemistry at the ITIES in Drug Discovery and Development – A Review, *ChemElectroChem.* 11 (2024).
<https://doi.org/10.1002/celec.202400134>.
- [19] J.A. Ribeiro, A.F. Silva, H.H. Girault, C.M. Pereira, Electroanalytical applications of ITIES – A review, *Talanta.* 280 (2024) 126729.
<https://doi.org/10.1016/j.TALANTA.2024.126729>.
- [20] G. Herzog, V. Kam, D.W.M. Arrigan, Electrochemical behaviour of haemoglobin at the liquid/liquid interface, *Electrochim. Acta.* 53 (2008) 7204–7209.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.04.072>.
- [21] S. Ulmeanu, Hye Jin Lee, H.H. Girault, Voltammetric characterisation of polyelectrolyte adsorption/transfer at the water|1,2-DCE interface, *Electrochem. Commun.* 3 (2001) 539–543. [https://doi.org/10.1016/S1388-2481\(01\)00209-0](https://doi.org/10.1016/S1388-2481(01)00209-0).
- [22] Z. Samec, Electrochemistry at the interface between two immiscible electrolyte solutions (IUPAC technical report), *Pure Appl. Chem.* 76 (2004) 2147–2180.
- [23] K. Rudnicki, K. Sipa, M. Brycht, P. Borgul, S. Skrzypek, L. Poltorak, Electrochemical sensing of fluoroquinolone antibiotics, *Trends Anal. Chem.* 128 (2020) 115907.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115907>.
- [24] K. Rudnicki, L. Poltorak, K. Sobczak, S. Skrzypek, M. Zieliński, Polish patent, P436383, 2020.
- [25] K. Rudnicki, K. Sobczak, P. Borgul, S. Skrzypek, L. Poltorak, Determination of quinine in tonic water at the miniaturized and polarized liquid–liquid interface, *Food Chem.*

- 364 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130417>.
- [26] K. Rudnicki, E. Powalka, K. Marciniak, M. Rizwan, P. Stelmaszczyk, R. Wietecha-Posłuszny, L. Poltorak, Determination of hordenine in beer samples and bodybuilding supplement at the electrified liquid-liquid interface, *Food Chem.* (2025) 143734. <https://doi.org/10.1016/j.FOODCHEM.2025.143734>.
- [27] K. Rudnicki, K. Sobczak, M. Kaliszczyk, K. Sipa, E. Powalka, S. Skrzypek, L. Poltorak, G. Herzog, Voltammetric study of cefotaxime at the macroscopic and miniaturized interface between two immiscible electrolyte solutions, *Microchim. Acta.* (2021) 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00604-021-05072-w>.
- [28] K. Rudnicki, S. Budzyńska, S. Skrzypek, L. Poltorak, Comparative electrochemical study of veterinary drug danofloxacin at glassy carbon electrode and electrified liquid–liquid interface, *Sci. Rep.* 14 (2024) 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65246-3>.
- [29] K. Rudnicki, E. Powalka, K. Marciniak, L. Poltorak, Ready-to-use polymeric films used as the electrified liquid-liquid interface supports, *Talanta.* 285 (2025) 127256. <https://doi.org/10.1016/j.TALANTA.2024.127256>.
- [30] K. Rudnicki, K. Sobczak, R. Karpiński, P. Borgul, E. Powalka, S. Skrzypek, L. Poltorak, Phenylethylamine sensing at the electrified liquid–liquid interface. Can electrochemistry be used to follow the UHT milk spoilage process?, *Food Chem.* 442 (2024) 138407. <https://doi.org/10.1016/j.FOODCHEM.2024.138407>.
- [31] A. Krempiński, K. Rudnicki, W. Korzonek, L. Poltorak, 3D-printed gelled electrolytes for electroanalytical applications, (2025) 1–13.
- [32] T. Saeheng, K. Na-Bangchang, Clinical pharmacokinetics of quinine and its relationship with treatment outcomes in children, pregnant women, and elderly patients, with uncomplicated and complicated malaria: a systematic review, *Malar. J.* 21 (2022) 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12936-022-04065-1>.
- [33] K. Rudnicki, L. Poltorak, S.S. Skrzypek, E.J.R. Sudhölter, Fused silica micro-capillaries used for a simple miniaturization of the electrified liquid – liquid interface, *Anal. Chem.* 90 (2018) 7112–7116. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b01351>.
- [34] S. Masuyoshi, S. Arai, M. Miyamoto, S. Mitsuhashi, In vitro antimicrobial activity of cefotaxime, a new cephalosporin, *Antimicrob. Agents Chemother.* 18 (1980) 1–8.

<https://doi.org/10.1128/AAC.18.1.1>.

- [35] A.A. Gondane, D.B. Pawar, Activity of cefotaxime versus ceftriaxone against pathogens isolated from various systemic infections: A prospective, multicenter, comparative, in vitro Indian study, *J. Lab. Physicians*. 16 (2023) 97–104.
<https://doi.org/10.1055/s-0043-1772564>.
- [36] T. van Boeckel, J. Pires, R. Silvester, C. Zhao, J. Song, N. Criscuolo, M. Gilbert, S. Bonhoeffer, R. Laxminarayan, Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle-income countries, *Int. J. Infect. Dis.* 101 (2020) 19.
<https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.09.086>.
- [37] J.-L. Vincent, Antibiotic resistance: understanding and responding to an emerging crisis, *Lancet Infect. Dis.* 11 (2011) 670. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(11\)70234-1](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(11)70234-1).
- [38] K. Kümmerer, Antibiotics in the aquatic environment - A review - Part I, *Chemosphere*. 75 (2009) 417–434.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.086>.
- [39] A.R. Mahmood, H.H. Al-Haidari, F.M. Hassan, Detection of Antibiotics in Drinking Water Treatment Plants in Baghdad City, Iraq, *Adv. Public Heal.* 2019 (2019).
<https://doi.org/10.1155/2019/7851354>.
- [40] J. Lyu, Y. Chen, L. Zhang, Antibiotics in Drinking Water and Health Risks — China, 2017, *China CDC Wkly.* 2 (2020) 413–417. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2020.106>.
- [41] Z. Song, X. Zhang, H.H. Ngo, W. Guo, H. Wen, C. Li, Occurrence, fate and health risk assessment of 10 common antibiotics in two drinking water plants with different treatment processes, *Sci. Total Environ.* 674 (2019) 316–326.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.093>.
- [42] C. Ruiz-Capillas, A.M. Herrero, Impact of biogenic amines on food quality and safety, *Foods*. 8 (2019). <https://doi.org/10.3390/foods8020062>.
- [43] B. del Rio, M. Fernandez, B. Redruello, V. Ladero, M.A. Alvarez, New insights into the toxicological effects of dietary biogenic amines, *Food Chem.* 435 (2024).
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137558>.
- [44] G. Spano, P. Russo, A. Lonvaud-Funel, P. Lucas, H. Alexandre, C. Grandvalet, E.

- Coton, M. Coton, L. Barnavon, B. Bach, F. Rattray, A. Bunte, C. Magni, V. Ladero, M. Alvarez, M. Fernández, P. Lopez, P.F. de Palencia, A. Corbi, H. Trip, J.S. Lolkema, Biogenic amines in fermented foods, *Eur. J. Clin. Nutr.* 64 (2010) S95–S100. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.218>.
- [45] M. Moniente, D. García-Gonzalo, I. Ontañón, R. Pagán, L. Botello-Morte, Histamine accumulation in dairy products: Microbial causes, techniques for the detection of histamine-producing microbiota, and potential solutions, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 20 (2021) 1481–1523. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12704>.
- [46] D.M. Linares, B. Del Río, V. Ladero, N. Martínez, M. Fernández, M.C. Martín, M.A. Álvarez, Factors influencing biogenic amines accumulation in dairy products, *Front. Microbiol.* 3 (2012) 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00180>.
- [47] A. Ledonne, N. Berretta, A. Davoli, G.R. Rizzo, G. Bernardi, N.B. Mercuri, Electrophysiological effects of trace amines on mesencephalic dopaminergic neurons, *Front. Syst. Neurosci.* (2011). <https://doi.org/10.3389/fnsys.2011.00056>.
- [48] A. Szabo, E. Billett, J. Turner, Phenylethylamine, a possible link to the antidepressant effects of exercise?, *Br. J. Sports Med.* 35 (2001) 342–343. <https://doi.org/10.1136/bjbm.35.5.342>.
- [49] M. Nuñez, A. del Olmo, J. Calzada, Biogenic Amines, *Encycl. Food Heal.* (2015) 416–423. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00070-2>.
- [50] P. Pastore, G. Favaro, D. Badocco, A. Tapparo, S. Cavalli, G. Sacconi, Determination of biogenic amines in chocolate by ion chromatographic separation and pulsed integrated amperometric detection with implemented wave-form at Au disposable electrode, *J. Chromatogr. A.* 1098 (2005) 111–115. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.08.065>.
- [51] L. Gobbi, S. Ciano, M. Rapa, R. Ruggieri, Biogenic amines determination in “plant milks,” *Beverages.* 5 (2019). <https://doi.org/10.3390/beverages5020040>.
- [52] T. da Silveira Agostini-Costa, Bioactive compounds and health benefits of Pereskioideae and Cactoideae: A review, *Food Chem.* 327 (2020) 126961. <https://doi.org/10.1016/j.FOODCHEM.2020.126961>.
- [53] S.C. Kim, J.H. Lee, M.H. Kim, J.A. Lee, Y.B. Kim, E. Jung, Y.S. Kim, J. Lee, D. Park, Hordenine, a single compound produced during barley germination, inhibits

- melanogenesis in human melanocytes, *Food Chem.* 141 (2013) 174–181.
<https://doi.org/10.1016/j.FOODCHEM.2013.03.017>.
- [54] M. Agrawal, M. Singhal, B.C. Semwal, S. Arora, B. Singh, V. Sikarwar, P. Sethi, H. Chaudhary, W. Akram, S. Bhargava, B. Kumar, S. Saha, S. Kumar, Neuroprotective action of hordenine against the Aluminium Chloride (AlCl₃) induced Alzheimer's diseases & associated memory impairment in experimental rats, *Pharmacol. Res. - Mod. Chinese Med.* 12 (2024) 100492. <https://doi.org/10.1016/j.PRMCM.2024.100492>.
- [55] K. Jędrejko, O. Catlin, T. Stewart, A. Anderson, B. Muszyńska, D.H. Catlin, Unauthorized ingredients in “nootropic” dietary supplements: A review of the history, pharmacology, prevalence, international regulations, and potential as doping agents, *Drug Test. Anal.* 15 (2023) 803–839. <https://doi.org/10.1002/dta.3529>.
- [56] J.R. Hoffman, J. Kang, N.A. Ratamess, S.L. Rashti, C.P. Tranchina, A.D. Faigenbaum, Thermogenic effect of an acute ingestion of a weight loss supplement, *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 6 (2009) 1–9. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-6-1>.
- [57] J. Jitomir, E. Nassar, J. Culbertson, J. Moreillon, T. Buford, G. Hudson, M. Cooke, R. Kreider, D.S. Willoughby, The acute effects of the thermogenic supplement Meltdown on energy expenditure, fat oxidation, and hemodynamic responses in young, healthy males, *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 5 (2008) 1–7. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-5-23>.
- [58] J. Ma, S. Wang, X. Huang, P. Geng, C. Wen, Y. Zhou, L. Yu, X. Wang, Validated UPLC–MS/MS method for determination of hordenine in rat plasma and its application to pharmacokinetic study, *J. Pharm. Biomed. Anal.* 111 (2015) 131–137.
<https://doi.org/10.1016/j.JPBA.2015.03.032>.
- [59] Y. Su, Y. Liu, D. He, G. Hu, H. Wang, B. Ye, Y. He, X. Gao, D. Liu, Hordenine inhibits neuroinflammation and exerts neuroprotective effects via inhibiting NF-κB and MAPK signaling pathways in vivo and in vitro, *Int. Immunopharmacol.* 108 (2022) 108694.
<https://doi.org/10.1016/j.INTIMP.2022.108694>.
- [60] M. Frank, T.J. Weckman, T. Wood, W.E. Woods, C.L. Tai, S. Chang, A. Ewing, T. Toblnt, Hordenine : pharmacology, pharmacokinetics and behavioural effects in the horse, 22 (1991) 437–441.
- [61] A.K. Singh, K. Granley, U. Misrha, K. Naeem, T. White, Y. Jiang, Screening and

- confirmation of drugs in urine: Interference of hordenine with the immunoassays and thin layer chromatography methods, *Forensic Sci. Int.* 54 (1992) 9–22.
[https://doi.org/10.1016/0379-0738\(92\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0379-0738(92)90076-9).
- [62] T. Sommer, G. Dlugash, H. Hübner, P. Gmeiner, M. Pischetsrieder, Monitoring of the dopamine D2 receptor agonists hordenine and N-methyltyramine during the brewing process and in commercial beer samples, *Food Chem.* 276 (2019) 745–753.
<https://doi.org/10.1016/j.FOODCHEM.2018.10.067>.
- [63] S. Allahverdiyeva, E. Keskin, P.T. Pınar, Y. Yardım, Z. Şentürk, First Electroanalytical Methodology for the Determination of Hordenine in Dietary Supplements using a Boron-doped Diamond Electrode, *Electroanalysis*. 31 (2019) 2283–2289.
<https://doi.org/10.1002/elan.201900365>.
- [64] M. Rizwan, K. Rudnicki, P. Gwenin, L. Poltorak, 3D-printed Low-cost Electroanalytical Diagnostic Platforms: Basics, Materials, Fabrication, and Applications, in: Mohammad Rizwan; Minhaz Uddin Ahmed; Guobao Xu (Ed.), *Low-Cost Diagnostics Fabr. Mater. Appl.*, Royal Society of Chemistry, 2024: pp. 233–261.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1039/9781837673216>.
- [65] L. Poltorak, K. Rudnicki, V. Kolivoška, T. Sebechlebská, P. Krzyczmonik, S. Skrzypek, Electrochemical study of ephedrine at the polarized liquid-liquid interface supported with a 3D printed cell, *J. Hazard. Mater.* 402 (2021) 123411.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123411>.
- [66] P. Borgul, K. Sobczak, K. Sipa, K. Rudnicki, S. Skrzypek, A. Trynda, L. Poltorak, Heroin detection in a droplet hosted in a 3D printed support at the miniaturized electrified liquid-liquid interface, *Sci. Rep.* 12 (2022) 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21689-0>.
- [67] K. Kwaczyński, O. Szymaniec, D.M. Bobrowska, L. Poltorak, Solvent-activated 3D-printed electrodes and their electroanalytical potential, *Sci. Rep.* 13 (2023) 1–14.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-49599-9>.
- [68] S.K. Balavandy, F. Li, F. Maya, M.C. Breadmore, 3D printed monolithic microfluidic device with an integrated porous filter: Application to pH measurement of water, *Talanta Open*. 9 (2024) 100280. <https://doi.org/10.1016/J.TALO.2023.100280>.

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

5.1. Lista staży i wyjazdów naukowych oraz efekty aktywności realizowanej w innych ośrodkach badawczych

Staze i wyjazdy naukowe odbyte przed uzyskaniem stopnia doktora:

- **15.05.2015 - 06.06.2015 - University of Ljubljana, Lublana, Słowenia** – udział w międzynarodowej szkole chemii organizowanej przez prof. Polonce Trebše, w ramach programu CEEPUS;

- **12.06.2016 - 30.06.2016 - University of Novi Sad, Nowy Sad, Serbia** – odbycie stażu w laboratorium naukowym prof. Valerii Guzsvany związanego z elektrochemicznym badaniem pestycydów, w ramach programu CEEPUS. Efektem stażu jest publikacja naukowa:
M. Brycht*, O. Vajdle, K. Sipa, J. Robak, **K. Rudnicki**, J. Piechocka, A. Tasić, S. Skrzypek, V. Guzsvány*; “ β -Cyclodextrin and multiwalled carbon nanotubes modified boron-doped diamond electrode for voltammetric assay of carbendazim and its corrosion inhibition behavior on stainless steel”; Ionics 24 (2018) 923–934.

- **24.10.2016 – 24.11.2016 – Brno University of Technology, Brno, Czechy** – odbycie stażu w laboratorium naukowym prof. Josepha Čáslavský’ego związany z chromatograficznymi badania antybiotyku jonoforowego – monenzyna, w ramach programu CEEPUS. Efektem stażu jest publikacja naukowa:
K. Rudnicki*, P. Landová, M. Wrońska, S. Domagała, J. Čáslavský, M. Vávrová, S. Skrzypek**”; “Quantitative determination of the veterinary drug monensin in forage for horses samples by square wave voltammetry (SWV) and direct infusion electrospray ionization tandem mass spectrometry (DI-ESIMS/MS)”; Microchem. J. 141 (2018) 220–228.

- **10.06.2017 – 30.06.2017 - University of Ljubljana, Lublana, Słowenia** – udział w międzynarodowej szkole chemii organizowanej przez prof. Polonce Trebše, w ramach programu CEEPUS. Efektem kolejnej wizyty na Uniwersytecie Lublańskim nawiązało moją stałą współpracę z prof. Trebše, na skutek której regularnie do udziału w międzynarodowych szkołach chemii wysyłam swoich

dypłomantów i innych studentów z Zespołu Electrochemistry@Soft Interfaces, w którym na co dzień pracuję.

-
- **13.11.2017 – 17.11.2017 – University of Pardubice, Pardubice, Czechy** – krótki staż naukowy w laboratorium dr. Inż. Radovana Metelki, w ramach programu CEEPUS.
-
- **08.01 – 12.03.2018 – Delft University of Technology, Delft, Holandia** – Staż naukowy w ramach praktyk Erasmus+ w laboratorium naukowym prof. Ernsta J. R. Sudhölter'a związany z badaniami antybiotyków fluorochinolonowych na spolaryzowanej granicy fazowej typu ciecz-ciecz. Staż odbyłem pod opieką dr hab. Łukasza Półtoraka, w którego zespole obecnie pracuję. Efektem stażu były dwie publikacje naukowe oraz grant Preludium, którym kierowałem:
K. Rudnicki, L. Poltorak*, S. Skrzypek, E.J.R. Sudhölter; "Fused silica microcapillaries used for a simple miniaturization of the electrified liquid – liquid interface"; Anal. Chem. 90 (2018) 7112–7116.
K. Rudnicki, L. Poltorak*, S. Skrzypek, E.J.R. Sudhölter; "Ion transfer voltammetry for analytical screening of fluoroquinolone antibiotics at the water – 1,2-dichloroethane interface"; Anal. Chim. Acta 1085 (2019) 75–84.
Grant Preludium – "Porowate membrany na bazie polimerowych folii termokurczliwych jako nowoczesne sensory oparte na spolaryzowanych granicach cieczowych."
-
- **11.06 – 09.07.2018 – University of Graz, Graz, Austria** – odbycie stażu w laboratorium naukowym prof. Kurta Kalchera związanego z elektrochemicznym badaniem leku weterynaryjnego – clorsulon, w ramach programu CEEPUS. Efektem stażu jest publikacja naukowa:
K. Rudnicki*, M. Brycht, A. Leniart, S. Domagała, K. Kaczmarek, K. Kalcher, S. Skrzypek; „A sensitive sensor based on single-walled carbon nanotubes: its fabrication, characterization and application in the electrochemical determination of drug clorsulon in milk samples”; Electroanal. 32(2) (2020) 375-383.
-
- **24.08 – 09.09.2018 – “Transilvania” University of Brasov, Braszów, Rumunia** – udział w międzynarodowej szkole chemii organizowanej przez prof. Mihaele Badea, w ramach programu CEEPUS;
 - **12.11.2018 – 16.11.2018 – University of Pardubice, Pardubice, Czechy** – krótki staż naukowy w laboratorium dr. Inż. Radovana Metelki, w ramach programu

CEEPUS. Dzięki nawiązanej współpracy moja magistrantka wraz z inną ze studentek z naszego zespołu, wiosną tego roku wyjeżdża na miesięczny staż naukowy do dr. Inż. Metelki, gdzie przeprowadzi badania naukowe związane z elektroanalizą barwników spożywczych.

Staż i wizyty naukowe odbyte po uzyskaniu stopnia doktora:

Z uwagi na fakt, iż jak dotąd zachowuję ciągłość w kierowaniu projektami ze środków zewnętrznych (5.12.2022r. złożyłem raport końcowy związany z grantem Preludium zaś 6.12.2022r. przyznany został mi grant OPUS) możliwość odbywania przeze mnie długoterminowych staży jest utrudniona. W związku z powyższym po uzyskaniu stopnia doktora udało mi się odbyć dwa dwumiesięczne staże typu post-doc w renomowanych ośrodkach zagranicznych.

- **01.10.2020 – 30.11.2020 – University of Lorraine, Nancy, Francja** – staż post-doc w Laboratorium Chemii Fizycznej i Mikrobiologii Materiałów i Środowiska (LCPME) pod opieką dr. Grégoire Herzoga. Staż odbyty jako beneficjent stypendium Ambasady Francuskiej i Rządu Francuskiego dla wybitnie uzdolnionych, młodych naukowców. Efektem stażu są dwie publikacje naukowe:
K. Rudnicki*, K. Sobczak, M. Kaliszczak, K. Sipa, E. Powalka, S. Skrzypek, L. Poltorak**, G. Herzog***; „Voltammetric study of cefotaxime at the macroscopic and miniaturized interface between two immiscible electrolyte solutions”; Microchim. Acta 188 (2021) 1-9.
 K. Sipa*, **K. Rudnicki**, N. Vilà, G. Herzog, S. Skrzypek, L. Poltorak**, A. Walcarius***; „Switchable voltammetric response of electrodes modified with a mesoporous silica thin film and a polyelectrolyte multilayer”; Electrochem. commun. 132 (2021) 107142.
- **06.05.2024 – 30.06.2024 – Center for Physical Sciences and Technology, Wilno, Litwa** – staż post-doc w Centrum Nauk Fizycznych i Technologicznych (FTMC) pod opieką prof. Rasy Pauliukaitė. FTMC to wiodący ośrodek naukowy na Litwie, a staż został odbyty w ramach grantu OPUS, którego jestem kierownikiem. W ramach stażu zrealizowana została część badań założonych w grantie OPUS, a obecnie w trakcie przygotowania jest manuskrypt związany z prowadzonymi

podczas pobytu eksperymentami. Obecnie pracujemy nad stworzeniem międzynarodowego konsorcjum i wspólną aplikacją o granty z funduszy europejskich.

- **26-28.01.2023 i 8-10.02.2024** – dwie krótkie wizyty naukowe w **Katedrze Chemii, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu**, na zaproszenie dr Sylwii Budzyńskiej, z którą współpracuję. W latach 2021-2024 pełniłem także rolę opiekuna naukowego podczas trzech tygodniowych staży dr Budzyńskiej na Wydziale Chemii, Uniwersytetu Łódzkiego. Dotychczasowa współpraca z dr Budzyńską zaowocowała dwoma artykułami z listy JCR, które zostały już opublikowane, zaś kolejna wspólna praca jest w trakcie przygotowań:

K. Rudnicki*, S. Budzyńska, S. Skrzypek, Ł. Półtorak*; „Comparative electrochemical study of veterinary drug danofloxacin at glassy carbon electrode and electrified liquid–liquid interface”; Sci. Rep. 14, (2024) 14489.

S. Budzyńska*, **K. Rudnicki**, A. Budka, P. Niedzielski, M. Mleczek; „Dendroremediation of soil contaminated by mining sludge: A three-year study on the potential of *Tilia cordata* and *Quercus robur* in remediation of multi-element pollution”; Sci. Total Environ. 944, (2024) 173941.

5.2. Lista publikacji z afiliacją uczelni macierzystej i dodatkową afiliacją innej jednostki (nie ujętych w podrozdziale 5.1.)

Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora:

- M. Brycht*, A. Nosal–Wiercińska, K. Sipa, **K. Rudnicki**, S. Skrzypek; “Electrochemical determination of closantel in the commercial formulation by square–wave adsorptive stripping voltammetry”; Monatsh. Chem. 148 (2017) 463–472.

Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora:

- P. Borgul, **K. Rudnicki**, L. Chu, A. Leniart, S. Skrzypek, E.J.R. Sudhölter, L. Półtorak*; „Layer-by-layer (LbL) assembly of polyelectrolytes at the surface of a fiberglass membrane used as a support of the polarized liquid–liquid interface”; Electrochim. Acta 363 (2020) 137215.

- L. Poltorak*, **K. Rudnicki**, V. Kolivoška*, T. Sebechlebská, P. Krzyczmonik, S. Skrzypek; „Electrochemical study of ephedrine at the polarized liquid-liquid interface supported with a 3D printed cell”; *J. Hazard. Mater.* (2021) 123411.
- P. Borgul, P. Pawlak, **K. Rudnicki**, K. Sipa, P. Krzyczmonik, A. Trynda, S. Skrzypek, G. Herzog, L. Poltorak*; „Ephedrine sensing at the electrified liquid-liquid interface supported with micro-punched self-adhesive polyimide film”; *Sens. Actuators B-Chem.* 344 (2021) 130286.
- P. Borgul, K. Sobczak, **K. Rudnicki**, P. Glazer, P. Pawlak, A. Trynda, S. Skrzypek, L. Poltorak; „Electrochemical behavior of cocaine cutting agents at the polarized liquid-liquid interface” *Electrochim. Acta* 402 (2022) 139553.
- A. Żubrycka, A. Kwaśnica, M. Haczekiewicz, K. Sipa, **K. Rudnicki**, S. Skrzypek, L. Poltorak*; „Illicit drugs street samples and their cutting agents. The result of the GC-MS based profiling define the guidelines for sensors development”; *Talanta* 237 (2022) 122904.
- K. Sobczak, **K. Rudnicki**, L. Jedinak, M. Zatloukalova, J. Vacek, L. Poltorak; „Oleic and nitro-oleic acid behavior at an electrified water-1, 2-dichloroethane interface”; *J. Mol. Liq.* 365 (2022) 120110.
- M. Brycht, L. Poltorak, S. Baluchová, K. Sipa, P. Borgul, **K. Rudnicki**, S. Skrzypek; „Electrochemistry as a Powerful Tool for Investigations of Antineoplastic Agents: A Comprehensive Review”; *Crit. Rev. Anal. Chem.* 54(5) (2022) 1017-1108.
- P. Borgul, K. Sobczak, K. Sipa, **K. Rudnicki**, S. Skrzypek, A. Trynda; „Heroin Detection in a Droplet Hosted in a 3D Printed Support at the Miniaturized Electrified Liquid-Liquid Interface”; *Sci. Rep.* (2022) 4137984.
- P. Stelmaszczyk, K. Kwaczyński, **K. Rudnicki**, S. Skrzypek, R. Wietecha-Posłuszny, L. Poltorak; „Nitrazepam and 7-aminonitrazepam studied at the macroscopic and microscopic electrified liquid-liquid interface”; *Microchim. Acta* 190(5) (2023) 182.
- K. Sobczak, **K. Rudnicki**, D. M. Bobrowska, V. Kolivoška, L. Poltorak; „Bilirubin determination at the electrified liquid-liquid interface supported with a 3D printed capillary”; *Sens. Actuators B-Chem.* 394 (2023) 134360.
- P. Borgul, K. Sobczak, M. Rizwan, G. Kowalski, M. Poltorak, P. Banatkiewicz, I. Walecka, **K. Rudnicki**, S. Skrzypek, L. Poltorak; „Electrochemical detection of cocaine metabolites (benzoylecgonine and ecgonine) at the miniaturized electrified liquid-liquid interface”; *Sens. Actuators B-Chem.* 414 (2024) 135895.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

6.1.1. Wykaz prowadzonych lub koordynowanych przedmiotów

Od 2015 prowadzę zajęcia laboratoryjne dla studentów Wydziału Chemii oraz Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego. W latach 2015-2019 prowadziłem zajęcia jako doktorant. Od 1.10.2019 roku jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego w Katedrze Chemii Nieorganicznej i Analitycznej na Wydziale Chemii, Uniwersytetu Łódzkiego. Zestawienie prowadzonych przeze mnie przedmiotów przedstawiam poniżej:

1. Studia I stopnia

- Podstawy metod analizy instrumentalnej
- Chemiczne metody analizy jakościowej
- Chemia ogólna i analityczna
- Chemia nieorganiczna
- Specjalistyczna warsztaty chemiczne
- Chemia analityczna
- Elektrochemia granic cieczowych – *Koordynator i twórca przedmiotu*
- Podstawy technik nieseparacyjnych
- Analiza instrumentalna
- Chemia ogólna
- Warsztaty z analizy chemicznej jakościowej
- Warsztaty z analizy chemicznej jakościowej. Analiza chemiczna jakościowa - analiza mieszanin i stopów
- Warsztaty z analizy chemicznej. Warsztaty analizy objętościowej

2. Studia II stopnia

- Nowoczesne techniki analizy instrumentalnej
- Zajęcia specjalistyczne
- Nowoczesne metody badań substancji chemicznych
- Zastosowanie granic cieczowych w analityce chemicznej – *Koordynator i twórca przedmiotu*

- Wybrane techniki separacyjne w analizie kosmetyków i farmaceutyków

6.1.2. Opieka naukowa i promotorstwo prac dyplomowych

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

Przed uzyskaniem stopnia doktora pełniłem rolę opiekuna 4 prac magisterskich, których rolę promotora pełniła prof. dr hab. Sławomira Skrzypek. Prace te przedstawiam poniżej:

- **2016** – mgr Marta Gawlak (z d. Grzeszczyk) – „Woltamperometryczne oznaczanie salinomycyny”.
- **2017** – dr Monika Wieczorek (z d. Wrońska) – „Woltamperometryczne oznaczanie momemzyny”.
- **2018** – mgr Emilia Pietruszka (z d. Banaszczyk) – „Woltamperometryczne oznaczanie leku weterynaryjnego klorsulon”.
- **2019** – mgr Patrycja Andrzejczak-Dąbek – „Elektrochemiczne badanie wybranego leku weterynaryjnego na elektrodzie z węgla szklanego”.

Po uzyskaniu stopnia doktora:

Po uzyskaniu tytułu doktora pełniłem/pełnię rolę promotora w **9 pracach magisterskich** oraz **7 pracach licencjackich**. W części z tych prac pełniłem także jednocześnie rolę opiekuna naukowego. Ważnym faktem jest to, iż wszystkie kierowane przeze mnie prace były/są pracami eksperymentalnymi.

Ponadto pełniłem/pełnię także rolę promotora pomocniczego w **3 przewodach doktorskich**. Pracę, o których wspomniałem wymieniam poniżej:

Prace licencjackie:

- **2021** – mgr Robert Karpiński – „Elektrochemiczne badanie fenylloetyloaminy na spolaryzowanych granicach cieczowych”.
- **2021** – mgr Natalia Gaczyńska – „Wpływ potencjalnych substancji interferujących na rejestrowane sygnały danofloksacyny”.
- **2022** – mgr Julita Serafińska – „Elektrochemiczne badanie rodminy B na spolaryzowanych granicach cieczowych”.
- **2022** – mgr Joanna Korzeniewska – „Elektrochemiczne badanie błękitu brylantowego na spolaryzowanych granicach cieczowych”.

- **2023** – lic. Emilia Powałka – „Wytwarzanie membran z tworzyw sztucznych jako potencjalnych sensorów elektrochemicznych w badaniach amin biogennych”.
- **2024** – lic. Aleksandra Grzeszczak – „Elektrochemiczne badanie procesu kompleksowania danofloksacyny z jonami metali wielowartościowych”.
- **2025** – Weronika Korzonek – „Wpływ użytego żelatora na właściwości elektrochemiczne układu pomiarowego”.

Prace magisterskie:

- **2021** – mgr Karolina Marciniak (z d. Sobczak) – „Analiza elektrochemiczna chininy na spolaryzowanej granicy dwóch niemieszających się cieczy” – **Praca wygrała w konkursie „Nagroda im. ‘Profesora Romualda Skowrońskiego’ za najlepszą pracę magisterską przygotowaną na Wydziale Chemii Uniwersytetu Łódzkiego w 2021 roku”.**
- **2021** – mgr Izabela Nowek – „Elektrochemiczne badanie leku weterynaryjnego - danofloksacyna na elektrodzie z węgla szklanego”.
- **2021** – mgr Aneta Zakrzewska – „Elektrochemiczne badanie antybiotyku weterynaryjnego - danofloksacyna, na spolaryzowanej granicy cieczowej dwóch niemieszających się elektrolitów”.
- **2021** – mgr Aneta Zakrzewska – „Wpływ nauczania zdalnego w trakcie pandemii SARS-CoV-2 na efektywność nauki wśród studentów Wydziału Chemii Uniwersytetu Łódzkiego” – **Praca nagrodzona nagrodą Dziekana Wydziału Chemii za najlepszą pracę magisterską wśród studentów kierunku „Nauczanie Chemii”.**
- **2022** – mgr Joanna Pawłowska – „Elektrochemiczne oznaczanie hordeniny w odżywcze kulturystycznej”.
- **2023** – mgr Natalia Gaczyńska – „Badanie wpływu rozpuszczalnika fazy organicznej na elektrochemiczne zachowanie żółci pomarańczowej na spolaryzowanych granicach cieczowych”.
- **2024** – mgr Julita Serafińska – „Zminiaturyzowane platformy elektrochemiczne w badaniu Rodaminy B”.
- **2025*** – lic. Emilia Powałka – „Badania żelowanych granic cieczowych przy użyciu profilometrii optycznej 3D”.
- **2026*** – lic. Aleksandra Grzeszczak – „Elektrochemiczne badanie biomas”.

Prace doktorskie:

- **2022** – dr Paulina Antosik (z d. Borgul) – „Oznaczanie substancji psychoaktywnych na zminiaturyzowanych granicach fazowych typu ciecz-ciecz”, Promotor: dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ.
- **2025*** – mgr Karolina Marciniak – „Polaryzowalne granice fazowe typu żel-żel połączone z technologią druku 3D do diagnostyki moczu”, Promotor: dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ.
- **2027*** – mgr Andrzej Krempiński – „Elektrochemiczne sensory do kontroli jakości żywności”, Promotor: dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ.

*Planowany termin obrony.

6.1.3. Recenzje prac dyplomowych

Prace licencjackie:

- **2021** – Patrycja Pawlak – „Elektrochemiczne oznaczanie efedryny w obecności kofeiny na zminiaturyzowanych granicach cieczowych” – promotor dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ, Wydział Chemii UŁ.
- **2022** – Alicja Mejsak – „Elektrochemia w tekstyliach” – promotor dr Karolina Kwaczyński, Wydział Chemii UŁ.
- **2022** – Dominika Kraszevska – „Inteligentne materiały w elektrochemii” – promotor dr Karolina Kwaczyński, Wydział Chemii UŁ.
- **2022** – Natalia Dybczak – „Elektrochemiczne badania różu bengalskiego na spolaryzowanych granicach fazowych typu ciecz-ciecz” – promotor dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ, Wydział Chemii UŁ.
- **2023** – Olga Szymaniec – „Aktywowane elektrody drukowane w elektroanalizie toniku kosmetycznego” – promotor dr Karolina Kwaczyński, Wydział Chemii UŁ.

Prace magisterskie:

- **2023** – Zuzanna Molka – „Druk 3D do wytworzenia naczynka spektroelektrochemicznego do zastosowań analitycznych” – promotor dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ, Wydział Chemii UŁ.

- **2024** – Bartłomiej Hurny – „Wytwarzanie elektrod drukowanych w technologii bezpośredniego drukowania tuszem” – promotor dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ, Wydział Chemii UŁ.
- **2024** – Natalia Dybczak – „Elektroanalityczne badanie liposomów” – promotor dr hab. Łukasz Półtorak, prof. UŁ, Wydział Chemii UŁ.

6.1.4. Opieka naukowa nad studentami w ramach różnych programów

Opieka w ramach Indywidualnego Programu Studiów (IPS):

- **2020 – 2021** – mgr Robert Karpiński (I stopień studiów)
- **2020 – 2021** – mgr Karolina Marciniak (z d. Sobczak) (II stopień studiów)
- **2021 – 2022** – mgr Julita Serafińska (I stopień studiów)
- **2021 – 2022** – mgr Joanna Pawłowska (II stopień studiów)
- **2022 – 2023** – lic. Emilia Powalka (I stopień studiów)
- **2023 – 2024** – mgr Julita Serafińska (II stopień studiów)
- **2023 – 2024** – lic. Aleksandra Grzeszczak (I stopień studiów)
- **2024 – 2025** – lic. Emilia Powalka (II stopień studiów)

Opieka w ramach nieobligatoryjnych praktyk studenckich:

- **2020** – mgr Robert Karpiński (I stopień studiów, 3 miesiące praktyk)
- **2021** – lic. Emilia Powalka (I stopień studiów, 3 miesiące praktyk)
- **2022** – Weronika Korzonek (I stopień studiów, 3 miesiące praktyk)
- **2022** – lic. Aleksandra Grzeszczak (I stopień studiów, 3 miesiące praktyk)

Opieka w ramach Programu Students' Power (240 godzin praktyk):

- **2020** – mgr Karolina Marciniak (z d. Sobczak) (II stopień studiów)
- **2020** – mgr Robert Karpiński (I stopień studiów)
- **2021** – mgr Aneta Zakrzewska (II stopień studiów)
- **2021** – mgr Natalia Gaczyńska (I stopień studiów)
- **2021** – mgr Joanna Pawłowska (II stopień studiów)
- **2021** – lic. Emilia Powalka (I stopień studiów)
- **2021** – mgr Julita Serafińska (II stopień studiów)
- **2022** – mgr Joanna Korzeniewska (I stopień studiów)
- **2022 – 2023** – Weronika Korzonek (I stopień studiów)
- **2022 – 2023** – lic. Aleksandra Grzeszczak (I stopień studiów)

- **2022 – 2023** – lic. Rozalia Cieciorowska (I stopień studiów)
- **2022 – 2023** – lic. Aleksandra Mikołajczyk (I stopień studiów)
- **2023** – lic. Oliwia Błaszczak (I stopień studiów)
- **2023** – lic. Weronika Podgórska (I stopień studiów)

6.1.5. Opieka naukowa nad Studenckimi Grantami Badawczymi UŁ

- **2021** – mgr Robert Karpiński „Elektrochemia cieczowych granic fazowych w badaniu toksycznego związku – (S)-(alfa)-metylo-4-karboksyfenyloglicyny”.
- **2021** – mgr Karolina Marciniak (z d. Sobczak) „Analiza elektrochemiczna chininy na spolaryzowanej granicy dwóch niemieszających się cieczy”.
- **2022** – mgr Joanna Pawłowska „Elektrochemiczne oznaczanie hordeniny w odżywcze kulturystycznej”.
- **2023** – mgr Julita Serafińska „Zminiaturyzowane platformy elektrochemiczne w badaniu Rodaminy B”.
- **2023** – lic. Emilia Powalka „Oznaczanie hordeniny w próbkach różnych gatunków piwa”.
- **2024** – lic. Aleksandra Grzeszczak „Badanie procesu kompleksowania danofloksacyliny z wybranymi jonami metali wielowartościowych”
- **2024** – lic. Emilia Powalka „Wytwarzanie membran z tworzyw sztucznych jako potencjalnych sensorów elektrochemicznych”.
- **2025** – lic. Aleksandra Grzeszczak „Elektrochemiczne badanie biomas”

6.1.6. Opieka nad stażystami w ramach programu Zdolny Uczeń – Świetny Student

- **2022 – 2023** – Maria Włodarczyk – Publiczne Liceum Ogólnokształcące Uniwersytetu Łódzkiego im. Sprawiedliwych wśród Narodów Świata.
- **2022 – 2023** – Ewa Dedecjus – Publiczne Liceum Ogólnokształcące Uniwersytetu Łódzkiego im. Sprawiedliwych wśród Narodów Świata.
- **2022 – 2023** – Paulina Wojciechowska – Publiczne Liceum Ogólnokształcące Uniwersytetu Łódzkiego im. Sprawiedliwych wśród Narodów Świata.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

6.2.1. Uczestnictwo w Komisjach i Zespołach

- **2020 – obecnie** – Członek Wydziałowej Komisji Jakości Kształcenia;
- **2020 – obecnie** – Członek Zespołu ds. Kontaktów z Pracodawcami;
- **2020 – obecnie** – Członek Zespołu ds. Promocji Wydziału Chemii UŁ;
- **2020 – obecnie** – Członek Zespołu ds. Mobilności Studentów Wydziału Chemii UŁ;
- **2020 – 2023** – Koordynator Programu Students' Power z ramienia Zakładu Elektroanalizy i Elektrochemii;
- **2022 – obecnie** – Członek Zespołu ds. Pozyskiwania Funduszy na Wyposażenie Laboratoriów Naukowych;

6.2.2. Organizacja Konferencji i spotkań o charakterze naukowym

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

- **2016** – Członek komitetu organizacyjnego konferencji ogólnopolskiej „IV Łódzkie Sympozjum Doktorantów Chemii”;
- **2017** – Członek komitetu organizacyjnego konferencji ogólnopolskiej „V Łódzkie Sympozjum Doktorantów Chemii”;
- **2018** – **Vice-Przewodniczący** komitetu organizacyjnego konferencji ogólnopolskiej „VI Łódzkie Sympozjum Doktorantów Chemii”;
- **2019** – **Przewodniczący** komitetu organizacyjnego konferencji ogólnopolskiej „VII Łódzkie Sympozjum Doktorantów Chemii”.

Po uzyskaniu stopnia doktora:

- **2019** – Organizator Seminarium Naukowego firmy KEYENCE na Wydziale Chemii UŁ, związanego z tematyką nowoczesnych mikroskopów i technik obrazowania;
- **2021** – Członek komitetu organizacyjnego konferencji ogólnopolskiej „VIII Łódzkie Sympozjum Doktorantów Chemii”;
- **2021** – Organizator Seminarium Naukowego firmy TECHNOLUTIONS na Wydziale Chemii UŁ, związanego z tematyką profilometrii 3D i obrazowania;
- **2022** – Członek komitetu organizacyjnego konferencji międzynarodowej „27th Young Investigators' Seminar on Analytical Chemistry (YISAC 2022)”.

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę

6.3.1. Wystąpienia w mediach, wywiady i audycje radiowe

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

- **2015** – Wywiad w Radio Żak Politechniki Łódzkiej na temat działalności „Studenckiego Koła Chemików UŁ ORBITAL”;
- **2019** – Wywiad związany z moją działalnością naukową dla tygodnika „Tydzień w Koluszkach”;
- **2019** – Wywiad w Polskie Radio Czwórka, Stacja Nauka, „Naukowcy z Łodzi projektują mikroczipy do badania żywności” związany z moimi badaniami w ramach grantu PRELUDIUM, którym kierowałem.
- **2019** – Wywiad dla Krajowej Reprezentacji Doktorantów (KRD) w ramach serii wywiadów „NCN winners” opublikowany na Funpage’u KRD.
- **2019** – Wywiad w Polskie Radio Czwórka, Stacja Nauka, „Woda utleniona”.
- **2019** – Wywiad Wielkanocny w Polskie Radio Czwórka, Stacja Nauka, „Woda utleniona”.

Po uzyskaniu stopnia doktora:

- **2020** – Wywiad związany z moją działalnością naukową dla tygodnika „Tydzień w Koluszkach”;
- **2020** – Wywiad w Polskie Radio Czwórka, Stacja Nauka, „Antybiotyki - nie nadużywaj i utylizuj”;
- **2023** – Uczestnik premierowego odcinka programu „Łódzka Nauka” emitowanego w telewizji TVP 3 Łódź.
- **2023 – 2024** – Udzielenie kilku wywiadów dla telewizji TVP Łódź i TOYA w związku z wydarzeniami biorącymi miejsce na Wydziale Chemii UŁ, takimi jak np. „Dni Otwarte Wydziału Chemii oraz Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska UŁ”.

6.3.2. Inne działania popularyzujące naukę

- **2021** – Współtwórca gry kognitywnej dla dzieci „Chemia w kostce”, która jest chroniona międzynarodowym świadectwem Zarejestrowanego Wzoru Wspólnotowego (nr 008711279-0001) wydanym przez Urząd Unii Europejskiej ds. Własności Intelektualnej. Powstanie gry bardzo przyczyniło się do promocji

Wydziału Chemii UŁ podczas „Festiwalu Nauki, Techniki i Sztuki 2022”, a także Pikniku Edukacyjnego z okazji dnia dziecka w Centrum Nauki i Techniki ECI.

- **2022** – Współtwórca projektu „Chemia kołem się toczy”, w ramach którego zakupiono dwa rowery wydziałowe umożliwiające poruszanie się po Kampusie UŁ przez pracowników i studentów. Rowery wyposażone są w emblematy wydrukowane technologią 3D, które reklamują Uniwersytet Łódzki.
- **2023** – Współtwórca gry kognitywnej dla dzieci „Atomówka”, która jest chroniona międzynarodowym świadectwem Zarejestrowanego Wzoru Wspólnotowego (nr 015012503-0001) wydanym przez Urząd Unii Europejskiej ds. Własności Intelktualnej. Powstanie gry bardzo przyczyniło się do promocji Wydziału Chemii UŁ podczas „Festiwalu Nauki, Techniki i Sztuki 2023”, a także zorganizowanej lekcji dla uczniów I i III klasy Publicznego Liceum Ogólnokształcącego UŁ.
- **2023** – Organizator „Dnia Otwartego na Wydziale Chemii UŁ”.
- **2024** – Organizator „Dni Otwartych Wydziału Chemii oraz Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska UŁ”.
- **2025** – Organizator „Dnia Otwartego Wydziału Chemii oraz Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska UŁ”.

7. Inne ważne osiągnięcia

7.1. Ekspertyzy

Od października 2024 roku wykonuję elektrochemiczne analizy próbek ulicznych narkotyków na zlecenie biegłego sądowego. Na podstawie uzyskanych analiz stwierdzam czy dana próbka zawiera amfetaminę, a w przypadku jej obecności wyznaczam jej zawartość.

7.2. Nagrody i stypendia

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

- Stypendium rektora UŁ dla najlepszych studentów (2012/2013, 2013/2014).
- List gratulacyjny Rektora UŁ za wyróżniające wyniki w nauce osiągnięte w roku akademickim 2012/2013.
- List gratulacyjny Rektora UŁ za wyróżniające wyniki w nauce osiągnięte w roku akademickim 2014/2015.

- Wyróżniony poster podczas „IX Międzyuczelnianego Seminarium Kół Naukowych”, Warszawa, 19–20.05.2016; (K. Rudnicki*, S. Domagała, S. Skrzypek, „Antybiotyki jonoforowe przyszłością medycyny?”).
- Stypendium Rektora UŁ dla najlepszych doktorantów w roku akademickim 2017/2018 oraz 2018/2019.
- Zwiększenie stypendium z dotacji projakościowej w trakcie trwania studiów doktoranckich w roku akademickim 2016/2017, 2017/2018 oraz 2018/2019.
- Nagroda Rektora UMCS zespołowa II stopnia za osiągnięcia naukowo–badawcze w 2017 roku; cykl publikacji na temat: Kinetyka i mechanizmy elektrodowe, oznaczanie wybranych związków organicznych oraz charakterystyka procesu adsorpcji na granicy faz elektroda/ roztwór i ciało stałe/ roztwór.
- Nagrodzone wystąpienie ustne (II miejsce) „International Conference of Natural and Medical Sciences, Young Scientists, PhD Students and Students”, Lublin, 01–03.12.2017; (K. Rudnicki*, S. Domagała, S. Skrzypek, "Voltammetric studies of the veterinary drug – clorsulon at a glassy carbon electrode").
- Nagroda Rektora UŁ zespołowa za szczególne osiągnięcia naukowo–badawcze w obszarze nauk ścisłych finansowanych z funduszu spójności za cykl publikacji opublikowanych w 2017 roku na temat: Nanomateriały węglowe w woltamperometrycznej analizie związków biologicznie czynnych – **NAJBARDZIEJ PRESTIŻOWA NAGRODA NAUKOWA UNIwersytetu Łódzkiego**.
- Nagroda Rektora UŁ zespołowa za szczególne osiągnięcia naukowo–badawcze w obszarze nauk ścisłych finansowanych z funduszu spójności za cykl publikacji opublikowanych w 2018 roku na temat: Wytwarzanie i charakterystyka elektrod nowej generacji i ich zastosowania w analizie woltamperometrycznej wybranych związków biologicznie czynnych – **NAJBARDZIEJ PRESTIŻOWA NAGRODA NAUKOWA UNIwersytetu Łódzkiego**.
- Nagroda „Travel award” Dywizji I International Society of Electrochemistry, której wręczenie odbędzie się w sierpniu podczas "70th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry" w Durbanie (RPA) za osiągnięcia naukowe w dziedzinie elektrochemii – **I miejsce wśród doktorantów z całego świata!**

Po uzyskaniu stopnia doktora:

- **2019** – Stypendium Ambasady i Rządu Francuskiego dla młodych, wybitnie uzdolnionych naukowców.
- **2020** – Nagroda Dziekana za najlepszą publikację przeglądową Wydziału Chemii UŁ – "Electrochemical sensing of fluoroquinolone antibiotics" opublikowana w *Trends in Analytical Chemistry*.
- **2020** – Zespołowa nagroda Rektora UŁ z Funduszu Rozwoju Naukowego Uczelni za cykl publikacji „Elektrochemiczne badania spolaryzowanych granic cieczowych” – **NAJBARDZIEJ PRESTIŻOWA NAGRODA NAUKOWA UNIwersYTETU ŁÓDZKIEGO**.
- **2021** – Nagroda Dziekana I stopnia za najlepszą publikację naukową Wydziału Chemii UŁ – "Determination of quinine in tonic water at the miniaturized and polarized liquid-liquid interface" opublikowana w *Food Chemistry*.
- **2021** – Nagroda Dziekana III stopnia za najlepszą publikację naukową Wydziału Chemii UŁ – „Electrochemical study of ephedrine at the polarized liquid-liquid interface supported with a 3D printed cel” opublikowana w *Journal of Hazardous Materials*.
- **2022** – Nagroda Rektora UŁ za istotny wpływ w ewaluację jakości działalności naukowej w Uniwersytecie Łódzkim w latach 2017-2021 w ramach dyscypliny „nauki chemiczne”.
- **2023** – Nagroda Indywidualna III stopnia Rektora UŁ za osiągnięcia organizacyjne.
- **2023** – Nagroda Zespołowa I stopnia Rektora UŁ za osiągnięcia naukowo-badawcze, dotyczące elektroanalizy i elektrochemicznego osadzania materiałów do zastosowań elektroanalitycznych.
- **2023** – Nagroda Indywidualna III stopnia Rektora UŁ za osiągnięcia organizacyjne.
- **2024** – Zespołowa nagroda Rektora UŁ z Funduszu Rozwoju Naukowego Uczelni za działalność publikacyjną, patentową i grantową – **NAJBARDZIEJ PRESTIŻOWA NAGRODA NAUKOWA UNIwersYTETU ŁÓDZKIEGO**.

7.3. Aparatura pozyskana dla Wydziału Chemii UŁ w ramach realizowanych grantów

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

- Potencjostat-gawanostat Autolab 128N zakupiony w ramach grantu PRELUDIUM, którego byłem kierownikiem (63 000 PLN).

Po uzyskaniu stopnia doktora:

- Profilometr optyczny 3D z jednostką sterującą RTEC UP 3000 zakupiony w ramach grantu OPUS, którego jestem kierownikiem (500 000 PLN);
- Stół z platformą antywibracyjną pod profilometr zakupiony w ramach grantu OPUS, którego jestem kierownikiem (65 000 PLN);
- Biodrukarka 3D zakupiona w ramach grantu OPUS, którego jestem kierownikiem (250 000 PLN);
- 3 obiektywy do profilometru optycznego o różnych powiększeniach zakupione w ramach grantu OPUS, którego jestem kierownikiem (47 100 PLN);

Ruchnicki Konrad

.....

(podpis wnioskodawcy)