

PROGRESS

JOURNAL OF YOUNG RESEARCHERS

NR 12/2023

Wszystkie teksty w niniejszym numerze ukazują się w ramach licencji
CC BY 4.0 International



PROGRESS

JOURNAL OF YOUNG RESEARCHERS

NR 12/2023

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU GDAŃSKIEGO

GDAŃSK 2023

Rada naukowa

prof. dr hab. Bernard Lammek (Uniwersytet Gdański)
prof. dr hab. Maria Mendel (Uniwersytet Gdański)
dr hab. Joanna Fac-Beneda, prof. nadzw. (Uniwersytet Gdański)
dr hab. Arnold Klónczyński, prof. nadzw. (Uniwersytet Gdański)
dr hab. Alicja Węgrzyn, prof. nadzw. (Instytut Biochemii i Biofizyki Polskiej Akademii Nauk)
dr hab. Katarzyna Wojan, prof. nadzw. (Uniwersytet Gdański)
dr Angelika Kędzierska-Szczepaniak (Uniwersytet Gdański)
dr Maja Maciejewska-Szałas (Uniwersytet Gdański)
dr Magdalena Markiewicz (Uniwersytet Gdański)

Redaktor naczelny

Dominik Bień

Sekretarz redakcji

Dominik Walczak

Redakcja działu *Naukowe*

Mateusz Baluk, Patrycja E. Laszuk, Damian Makowski

Redaktorzy

Maciej Ciemny, Sylwia Dudkowska-Kafar, Andrzej Gierszewski, Piotr Kitowski, Anna Krajewska, Tomasz Pupacz, Bartłomiej Rosenkiewicz, Piotr Syczak, Piotr Zieliński

Redaktorzy językowi

Przemysław Mitura, Krzysztof Dmochowski

Koncepcja graficzna serii

Karolina Johnson

Projekt okładki i stron tytułowych

Łukasz Gwizdała

Zdjęcie wykorzystane na okładce

Omid Roshan (z zasobów Unsplash, na prawach wolnego dostępu)

Redaktor Wydawnictwa

Jerzy Toczek

Skład i łamanie

Mariusz Szewczyk

Publikacja sfinansowana ze środków własnych czasopisma „Progress. Journal of Young Researchers”

Adres redakcji czasopisma

Uniwersytet Gdański
ul. Polanki 63/29
80-306 Gdańsk
e-mail: progress@ug.edu.pl
www.progress.ug.edu.pl

Pierwotną wersją czasopisma jest wersja papierowa

© Copyright by Uniwersytet Gdański
Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego

ISSN 2543-8638
ISSN 2543-9928 (on-line)

Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego
ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot
tel. +48 58 523 11 37, tel. kom. +48 725 991 206
e-mail: wydawnictwo@ug.edu.pl
wydawnictwo.ug.edu.pl

Księgarnia internetowa: wydawnictwo.ug.edu.pl/sklep/

Spis treści

7 Wstęp

NAUKOWE

- 10 **Daniel Słowiński, Radosław Podsiadły**
Fizjologiczne znaczenie siarkowodoru i sposoby jego detekcji w układach biologicznych
- 26 **Milena Czeszejko, Kamil Klimkowski, Emilia Hłowska**
Badania fibrylizacji, stabilności i aktywności przeciwdrobnoustrojowej nowych samoorganizujących się peptydów przeciwdrobnoustrojowych zawierających krótkie sekwencje fibrylogenne
- 45 **Emilia Mykowska**
Charakterystyka oraz mechanizmy powstawania chwilowych zjawisk świetlnych – artykuł przeglądowy
- 56 **Damian Makowski, Daria Łada, Mateusz A. Baluk**
Nanośmieci, czyli zagrożenia związane z obecnością nanocząstek w środowisku – wpływ na wybrane organizmy żywe
- 68 **Beata Kizior, Bartłomiej M. Szyja, Aneta Jezierska**
Charakterystyka wybranych właściwości fizykochemicznych parabenów z wykorzystaniem metod chemii obliczeniowej
- 88 **Marta Podgórnay, Anita Dawes**
A temperature study of methanol interstellar ice analogues
- 103 **Aneta Lewandowska, Piotr Gajewski, Agnieszka Marcinkowska**
Otrzymywanie i właściwości jonożeli opartych na imidazoliowych cieczach jonowych
- 115 **Szymon Zdybel**
Rola żelazowych szkieletów metaloorganicznych w procesach fotokonwersji dwutlenku węgla

HISTORIA UG

- 128 **Antoni Śliwiński**
Fizyka na Uniwersytecie Gdańskim w latach 1970–2022.
Wspomnienia emeryta UG



Wstęp

Pandemia COVID-19 spowodowała całkowity lockdown środowiska naukowego na przełomie 2020 i 2021 roku. W związku z panującym zagrożeniem epidemiologicznym zostały odwołane wszystkie wydarzenia naukowe – konferencje, sympozja, kongresy. Aby nie zostać odizolowanym od świata naukowego, trzy organizacje: Bałtyckie Stowarzyszenie Chemików, Naukowe Koło Chemików Uniwersytetu Gdańskiego i Rada Samorządu Studentów Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego postanowiły zorganizować jedną z pierwszych w kraju konferencji w trybie zdalnym. Pierwsze Pomorskie Studenckie Sympozjum Chemiczne odbyło się w dniach 26–27.09.2020 roku i zyskało wielkie uznanie wśród biorących udział prelegentów, jak i instytucji akademickich i samorządowych. Organizując pierwszą edycję Sympozjum, organizatorzy chcieli zachować jak najlepszy format, zbliżony do stacjonarnej konferencji. W związku z tym konferencja została zorganizowana na platformie Microsoft Teams, gdzie oprócz głównej sesji, podczas której prelegenci przedstawiali prezentacje, w oddzielnych pokojach uczestnicy prezentowali postery i przeprowadzali dyskusje.

Pomorskie Studenckie Sympozjum Chemiczne to cykl ogólnopolskich konferencji naukowych, które mają na celu zwiększenie potencjału naukowego młodych ludzi. Jest to bezpłatna konferencja organizowana w trybie zdalnym, w której prelegenci (studenci, doktoranci i młodzi naukowcy) mogą przedstawiać wyniki swoich badań lub komunikaty o tematyce popularnonaukowej. W każdej dotychczasowej edycji zaprezentowało się ponad 100 prelegentów z około 20 instytucji z całej Polski. Nad poprawnością i rzetelnością przedstawianych komunikatów czuwali członkowie komitetu naukowego związanego z trzema szkołami wyższymi zrzeszonymi w Związku Uczelni Fahrenheita. Podczas każdej edycji Sympozjum nagradzane są najlepsze wystąpienia – prezentacje i postery.

Najnowszy numer „Progressu” jest specjalnym numerem, w którym uczestnicy Pomorskiego Studenckiego Sympozjum Chemicznego mogli opisać swoje badania naukowe lub przeglądowe związane z naukami ścisłymi, a zwłaszcza z chemią, biotechnologią i ochroną środowiska.

W pierwszym artykule, którego autorami są Daniel Słowiński oraz Radosław Podsiadły, przedstawiono fizjologiczne znaczenie siarkowodoru i sposoby detekcji tego związku chemicznego w układach biologicznych. Autorzy opisują wpływ H_2S na działanie enzymów, ciśnienie krwi, aktywność neuronalną i gospodarkę glukozowo-insulinową. W pracy szeroko zaprezentowano metody fluorescencyjne identyfikacji tego związku oraz główne reakcje chemiczne, które są wykorzystywane w wymienianych technikach.

Emilia Hłowska, Milena Czeszejko oraz Kamil Klimkowski w swoim artykule skupiają się na badaniu nowych samoorganizujących się peptydów przeciwdrobnoustrojowych. Opiswane są zastosowania fibryli do modyfikacji peptydów o działaniu przeciwdrobnoustrojowych, które umożliwiają uzyskanie jednorodności oraz stabilności tych związków, a także możliwość łatwego sfunkcjonalizowania bionośników, w tym modyfikacje w związki posiadające aktywność biologiczną. Badania skupiają się na wykorzystaniu fibryli peptydowych (tworzących motyw zamka sterycznego) i fragmentu ludzkiej katelicydyny (LL-37) do otrzymania nowych samoorganizujących się peptydów przeciwdrobnoustrojowych.

Kolejny tekst, autorstwa Emilii Mykowskiej, jest artykułem przeglądowym o charakterystyce i mechanizmach powstawania chwilowych zjawisk świetlnych. Autorka opisuje wiele rodzajów zjawisk świetlnych (m.in. zorze polarne, wiatr słoneczny, pioruny) i tłumaczy ich fizykochemiczną naturę. Oprócz najpopularniejszych zjawisk analizuje także rzadkie zjawiska, których nazwy choć wydają się przypadkowe, to pochodzą od pierwszych liter pełnych nazw ewenementów, np. duszki – stratosferyczne mezosferyczne zaburzenia wynikające z elektryzacji intensywnej burzy z piorunami – lub elfy – emisje światła i zaburzeń o bardzo niskiej częstotliwości, wywołanych przez źródła impulsów elektromagnetycznych.

Artykuł Damiana Makowskiego, Darii Łady oraz Mateusza Baluka to kolejna praca, w której zostały opisane oddziaływania nanocząstek na wybrane organizmy żywe (rośliny i kręgowce). Autorzy podkreślają problem zanieczyszczenia wód i gleb nanocząstkami, np. srebra, złota, ditlenku tytanu i innymi. Głównymi źródłami tych nanozanieczyszczeń jest przemysł kosmetyczny, farbiarski, gumowy oraz spożywczy. Materiały te ze względu na swoje bardzo małe rozmiary mogą w łatwy sposób przedostawać się do środowiska, powodując ich bioakumulację w organizmach. Ze względu na swoją naturę mogą być wzbudzone promieniowaniem słonecznym, generując ze środowiska reaktywne formy tlenu, które odpowiadają za tzw. stres oksydacyjny i w konsekwencji niszczyć zdrowe komórki organizmów.

Kolejny artykuł, autorstwa Beaty Kizior, Bartłomieja M. Szyi oraz Anety Jezierskiej, opisuje wykorzystanie metod chemii obliczeniowej do charakterystyki wybranych właściwości fizykochemicznych parabenów. Opisane badania polegały na określeniu wpływu zmiany parametrów geometrycznych, podstawników, aromatyczności, momentu dipolowego, polaryzowalności i hydrofobowości na właściwości referencyjnego parabenu – kwasu 4-hydroksybenzoesowego. W pracy zostały zaprezentowane wyniki analiz opartych na parametrach metrycznych, energetycznych i termodynamicznych oraz strukturze elektronowej.

Problem wpływu temperatury na metanolowe analogi lodu międzygwiazdowego został podjęty w artykule Marty Podgórznej oraz Anity Dawes. Autorki podejmują temat metanolu w postaci lodu, który jest obiektem badań astrochemicznych od wielu lat. W pracy przedstawiono charakterystykę form stałych metanolu oraz wyniki przeprowadzonych badań wpływu temperatury na spektroskopię oscylacyjną lodu metanolowego. Autorki wskazują, jak warunki krystalizacji lodu mają wpływ na ostateczną strukturę lodu metanolowego. Największe różnice (w analizie spektroskopii w podczerwieni) są widoczne w przypadku osadzenia metanolu w temperaturze zbliżonej do przejścia fazowego.

Artykuł Anety Lewandowskiej, Piotra Gajewskiego oraz Agnieszki Marcinkowskiej opisuje otrzymywanie i właściwości jonożeli opartych na imidazoliowych cieczach jonowych. Autorzy pracy otrzymują jonozele o dużym powinowactwie jonowym, które mogą być zastosowane jako żelowe elektrolity polimerowe w kondensatorach elektrochemicznych. W pracy scharakteryzowano fizykochemicznie materiały m.in. pod kątem morfologii, jak również przewodnictwa jonowego.

Artykuł autorstwa Szymona Zdybla opisuje charakterystykę i właściwości szkieletów metaloorganicznych opartych na jonach żelaza, jako centrach metalicznych. Przedstawiony przegląd zawiera metody otrzymywania i charakterystykę fizykochemiczną wspomnianych materiałów. Autor wspomina również o potencjalnym wykorzystaniu szkieletów do zastosowań w ochronie środowiska, m.in. jako fotokatalizatorów do redukcji dwutlenku węgla do użytecznych paliw.

Ostatni tekst, jaki pojawia się w numerze, dotyczy ponad 50 lat historii fizyki na Uniwersytecie Gdańskim. Jego autorem jest Antoni Śliwiński, emerytowany profesor UG, były dyrektor Instytutu Fizyki Doświadczalnej, dziekan Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii oraz prorektor UG w zespole rektora Karola Taylora. Autor w swoim omówieniu odnosi się zarówno do spraw naukowych, organizacyjnych, jak i dydaktycznych. Nie unika również opisu kontekstu politycznego działania gdańskiej fizyki, zwłaszcza w latach 80. XX wieku.

Redaktor: mgr Mateusz A. Baluk

Redaktorzy pomocniczy: mgr Patrycja E. Laszuk i lic. Damian Makowski



Fizjologiczne znaczenie siarkowodoru i sposoby jego detekcji w układach biologicznych

Daniel Słowiński | Politechnika Łódzka
<https://orcid.org/0000-0003-1398-1525>

Radosław Podsiadły | Politechnika Łódzka
<https://orcid.org/0000-0002-7822-8182>

Streszczenie

Słowa kluczowe:
siarkowódor,
gazowa cząsteczka
sygnałowa,
donory H₂S,
detekcja, próbniiki
fluorescencyjne

Siarkowódor (H₂S) jest bezbarwnym gazem o nieprzyjemnym zapachu. Został uznany za trzecią obok tlenku azotu (NO) i tlenku węgla (CO) gazową cząsteczkę sygnalizacyjną. Dowiedziono, że H₂S syntetyzowany jest enzymatycznie w komórkach ssaków z L-cysteiny. Do tych procesów niezbędne są enzymy: γ -liaza cystationiny (CSE), β -syntaza cystationiny (CBS) oraz siarkotransferaza 3-merkaptopirogronianowa (3-MST). Stężenie H₂S we krwi u ssaków mieści się w przedziale 30–100 μ M. W mózgu natomiast ilość tego transmitera może wynosić nawet 150 μ M. Endogenny H₂S, jako cząsteczka sygnałowa, moduluje ciśnienie krwi i aktywność neuronalną, rozluźnia mięśnie gładkie naczyń, hamuje sygnalizację insulinową oraz ma właściwości przeciwzapalne i antyapoptotyczne. Nieprawidłowe stężenie tego biotiolu w organizmie człowieka jest związane z różnymi chorobami, takimi jak choroby Alzheimera, zespół Downa czy przewlekła choroba nerek. Niemniej jednak biologiczne role H₂S nadal pozostają w znacznej mierze nieznanne. Wykrywanie siarkowodoru w żywych komórkach to wciąż problem i duże wyzwanie. Opracowano wiele metod detekcji siarkowodoru z wykorzystaniem różnych technik: elektrochemicznych, spektroskopii absorpcyjnej UV-vis czy fluorescencyjnych. I właśnie metoda oparta na fluorescencji, wykorzystująca próbniiki fluorescencyjne, nabrała w ostatnich latach ogromnego znaczenia ze względu na wydajne wykrywanie H₂S w czasie rzeczywistym. Wyróżnia się cztery główne strategie zastosowane do detekcji siarkowodoru: 1) redukcja azydów, 2) reakcje tiolizy, 3) reakcje wytrącania siarczku miedzi (II), 4) reakcje addycji.

Physiological importance of hydrogen sulfide and methods of its detection in biological systems (Summary)

Keywords:
hydrogen sulfide,
gaseous signal
molecule, H₂S
donors, detection,
fluorescent probes

Hydrogen sulfide (H₂S) is a gas with the characteristic smell of rotten eggs. It has been recognized as the third gaseous signaling molecule besides nitric oxide (NO) and carbon monoxide (CO). It has been proven that H₂S is synthesized enzymatically in mammalian cells from L-cysteine. These processes require

the following enzymes: cystathionine γ -lyase (CSE), cystathionine β -synthase (CBS) and 3-mercaptopyruvate sulfur-transferase (3-MST). The concentration of H_2S in the blood of mammals is in the range of 30–100 μM . In the brain, the concentration of this transmitter can be as high as 150 μM . Endogenous H_2S , as a signal molecule, modulates blood pressure and neuronal activity, relaxes vascular smooth muscle, inhibits insulin signaling, and possesses anti-inflammatory and anti-apoptotic properties. The abnormal concentration of this biothiol in the human body is associated with various diseases, such as Alzheimer's disease, Down's syndrome and chronic kidney disease. Nonetheless, the biological roles of H_2S still remain largely unknown. The detection of H_2S in living cells is still a problem and a big challenge. Many methods for detecting hydrogen sulfide have been developed using various techniques, including electrochemical assay, absorption spectroscopy UV-vis and fluorescence assay. The fluorescence-based method using fluorescent probes has become of great importance in recent years due to the efficient detection of H_2S in real-time. Four main strategies used in probe development for H_2S detection include 1) azide reduction, 2) thiolysis reactions, 3) precipitation of copper sulfide (CuS), and 4) addition reactions.

Podstawowe informacje o siarkowodorze

Siarkowódor (H_2S) jest najprostszym związkiem siarki i wodoru. Ten bezbarwny, rozpuszczalny w wodzie palny gaz charakteryzuje się łatwo wyczuwalnym, nieprzyjemnym zapachem zgniłych jaj (Cao i in. 2019: 1–3). Związek ten zachowuje się jak słaby kwas ($pK_a = 6,9$) i dysocjuje w środowisku wodnym dwustopniowo, dając jony H_3O^+ , HS^- , a w kolejnym etapie dodatkowo jony S^{2-} . W warunkach fizjologicznych, tj. w wodnych roztworach przy pH ok. 7,4, aż 1/3 siarkowodoru pozostaje niezdysoncjowana, a 2/3 dysocjuje przede wszystkim na jony HS^- i niewielką ilość S^{2-} . Aniony siarczkowe powstają dopiero przy wyższym pH, więc w konsekwencji w warunkach *in vivo* nie obserwuje się znacznych ilości tego jonu (Zivanovic i Filipovic 2016: 12–15).

Siarkowódor charakteryzuje się dosyć długim okresem półtrwania, rzędu kilku minut. Wchłania się do organizmu przez drogi oddechowe oraz w mniejszym stopniu przez skórę. Metabolizowany jest głównie w mitochondrium, gdzie następuje utlenianie siarkowodoru do tiosiarczanu, który już w tej postaci jest wydalany wraz z moczem. Rozkład siarkowodoru może również zachodzić w cytoplazmie, gdzie wskutek procesu metylacji, w obecności S-metylotransferazy tiolowej, powstaje siarczek dimetylu, który usuwany jest z organizmu (Łowicka i Bełtowski 2007: 4–24).

Efekty toksyczne siarkowodoru są uzależnione od stężenia i dotyczą układu nerwowego oraz krążeniowo-oddechowego. Osoby narażone na niewielkie dawki H_2S mogą odczuwać lekkie bóle głowy czy nudności. Po przekroczeniu najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) gaz ten działa drażniąco na spojówki oraz błony śluzowe. Wysokie stężenie siarkowodoru w powietrzu (powyżej 1000 mg/m^3) powoduje utratę przytomności, a po kilku minutach może doprowadzić do zgonu na skutek

uduszenia (Kotarba i in. 2017: 9–34). Do śmierci dochodzi poprzez blokowanie aktywności enzymów oddechowych, głównie oksydazy cytochromowej w mitochondriach oraz skutek uszkodzenia ośrodka oddechowego w mózgu. Zaburzone oddychanie komórkowe przyczynia się do nieprawidłowego rytmu pracy serca. H_2S nie ma powinowactwa do hemoglobiny tak jak tlenek węgla (CO), ale łączy się z methemoglobiną, co skutkuje powstawaniem sulfhemoglobiny. Taki proces doprowadza do niedoboru tlenu zarówno w tkankach, jak i komórkach. To co jest niebezpieczne podczas przebywania w miejscach narażonych na wdychanie siarkowodoru to tak zwane zjawisko zmęczenia węchu (ang. *olfactory fatigue*), czyli tymczasowa niezdolność do rozróżnienia zapachu H_2S po dłuższej ekspozycji. Próg wyczuwalności tego gazu jest niski i wynosi $0,0007 \text{ mg/m}^3$, a powyżej stężenia 100 mg/m^3 odczuwanie może być nieadekwatne do jego realnego poziomu. Co więcej, szybko przyzwyczajamy się do jego zapachu, przez co zwiększa się nasza tolerancja na ten gaz. W związku z silnym działaniem neurotoksycznym podczas każdej pracy z siarkowodorem należy zwrócić szczególną uwagę na odpowiednią wentylację pomieszczeń oraz szczelność aparatury (Tadeusiewicz i Olas 2014: 125–135).

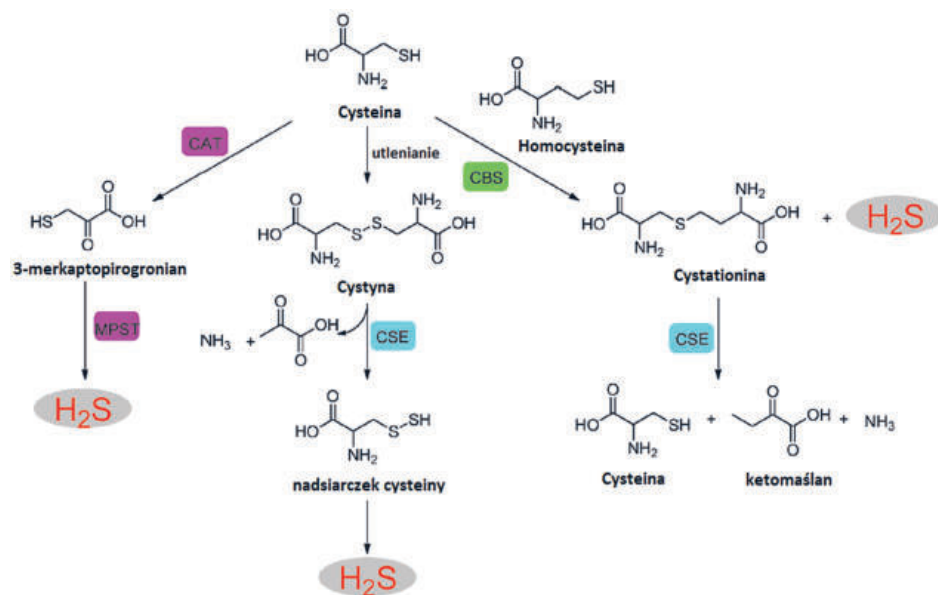
Należy jednak pamiętać, że siarkowodor powszechnie występuje w żywych organizmach. Obecność tego związku po raz pierwszy wykryto w mózgu w 1989 roku, a po kilku latach zasugerowano, że cząsteczka ta może być istotna dla człowieka, pełniąc funkcję przekąźnika nerwowego. W niskich stężeniach wywiera korzystny efekt na układ nerwowy, krążeniowy, pokarmowy (Zhang i in. 2017: 113–119).

Enzymatyczne i nieenzymatyczne szlaki powstawania H_2S

Obecne badania wskazują, że H_2S wytwarzany jest w organizmach żywych szlakami enzymatycznymi i nieenzymatycznymi (rys. 1). Co najmniej trzy enzymy są odpowiedzialne za powstawanie siarkowodoru w komórkach ssaków, w tym dwa cytozolowe enzymy zależne od pirydoksalo-5-fosforanu (potocznie zwanego witaminą B_6). Mowa tutaj o β -syntazie cystationinowej (CBS) oraz o γ -liazie cystationinowej (CSE). Trzecim enzymem biorącym udział w tworzeniu siarkowodoru jest transferaza siarkowa 3-merkaptopirogronianu (3-MST lub MPST). Wszystkie te biokatalizatory wykorzystują najprostszy aminokwas siarkowy: L-cysteinę jako substrat do wytwarzania H_2S (Xin i in. 2022: 121007).

CBS katalizuje reakcję wymiany, w której cysteina, reagując z seryną, wytwarza cystationinę i H_2S , a następnie enzym CSE rozszczepia wiązanie C-S w cystationinie, dostarczając cysteinę, amoniak oraz α -ketomaślan jako produkty uboczne. Druga droga syntezy opiera się na utworzeniu cystyny, czyli aminokwasu, który jest dime-rem powstałym wskutek połączenia dwóch molekuł cysteiny mostkiem disiarczkowym. CSE w dalszym etapie przekształca nowo utworzony aminokwas w tiocysteinę oraz pirogronian. Szlak ten kończy się na rozkładzie tiocysteiny z uwolnieniem siarkowodoru. W ostatnim szlaku enzymatycznym L-cysteina musi najpierw zostać

przekształcona w 3-merkaptopirogronian (3MP) przez transferazę cysteinową (CAT) w obecności α -ketoglutaranu, który jest akceptorem grupy aminowej. Następnie enzym 3-MST przenosi atom siarki z 3MP, co prowadzi do powstawania tiosiarczanu. H_2S jest uwalniany w obecności czynnika redukującego, takiego jak glutation. Warto nadmienić, że 3-MST działa wydajniej przy bardzo wysokim pH. W warunkach fizjologicznych udział tego enzymu w endogennej produkcji H_2S jest znikomy w porównaniu z CBS i CSE (Liu i in. 2016: 8108549).



Rysunek 1. Enzymatyczne szlaki powstawania H_2S

Źródło: (Zhao, Biggs, Xian 2014: 11778–11805).

Oprócz szlaków syntezy enzymatycznej endogenna produkcja H_2S może również zachodzić w innych, mniej poznanych procesach nieenzymatycznych. Nieenzymatyczna produkcja H_2S odbywa się poprzez glukozę, glutation, nieorganiczne i organiczne polisulfidki oraz siarkę elementarną. H_2S może być generowany z glukozy poprzez glikolizę lub z fosfoglukonianu poprzez oksydazę NADPH. Glukoza reaguje z metioniną, homocysteiną lub cysteiną, tworząc gazowe związki siarki – metanotiol i siarkowodor. H_2S jest również produkowany poprzez bezpośrednią redukcję glutationu i siarki elementarnej. Redukcja siarki do H_2S odbywa się za pośrednictwem redukcji równoważników szlaku utleniania glukozy, takich jak NADH lub NADPH (Sun i in. 2021: 127–135).

Rola siarkowodoru w organizmie człowieka

Prawidłowe stężenie siarkowodoru w organizmie różni się w zależności od analizowanej tkanki, układu i narządu. Z przeprowadzonych badań wynika, że najwyższe fizjologiczne stężenie wynosi ok. 150 μM w miejscach jego wytwarzania, tj. w mózgu, nerkach, wątrobie. Natomiast w pozostałych miejscach oraz osoczu stężenie tego gazu powinno być niższe i oscylować w granicach 50 μM . Wiedza na temat biologicznej roli endogenego H_2S stale się poszerza. Wiele doniesień literaturowych wskazuje, że H_2S wywołuje efekty fizjologiczne w szerokim zakresie stężeń od 10 do 300 μM (Brodek i Olas 2016: 820–829). Obok tlenku węgla (II) (CO) oraz tlenku azotu (II) (NO) siarkowodor należy do gazotransmiterów, czyli cząsteczek, które dzięki właściwościom lipofilowym potrafią dyfundować przez błony komórkowe bez dodatkowych transporterów. Oznacza to, że molekuła ta reguluje szereg procesów biochemicznych zachodzących w komórkach (Ou i in. 2021: 118886).

Liczne badania przeprowadzone *in vivo* oraz *in vitro* dowodzą, że siarkowodor w stężeniu fizjologicznym reguluje funkcje układu krążenia. Odgrywa on ważną rolę w homeostatycznej regulacji ciśnienia krwi. Siarkowodor powoduje bezpośrednie otwieranie kanałów potasowych wrażliwych na adenylozotryfosforan (ATP), polepszając przy tym przepływ jonów, co skutkuje rozszerzeniem naczyń krwionośnych oraz obniżeniem ciśnienia krwi (Zhao i in. 2021: 627336). Dzięki temu H_2S jako modulator chroni organizm przed zwiększoną częstotliwością skurczy mięśni gładkich oraz zapobiega nadciśnieniu tętniczemu. Należy jednak pamiętać, że właściwości naczyniorozszerzające zależne są nie tylko od samego stężenia siarkowodoru, ale także od ilości obecnego w komórkach tlenku azotu (NO), który usprawnia syntezę γ -liazy cystationiny, a więc i produkcję H_2S (Szłęczak i in. 2022: 130–138).

Siarkowodor ma również zdolność do hamowania aktywności nadtlenoazotynu (ONOO^-), cząsteczki, która powstaje w komórkach w wyniku reakcji tlenku azotu z anionorodnikiem ponadtlenkowym. Nadtlenoazotyn powoduje utlenianie tioli, zaburza proces transportu elektronów w mitochondriach. W chorobach neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Alzheimera czy Parkinsona, obserwuje się zwiększoną aktywność tej reaktywnej formy azotu. Nitruje grupy fenolowe zawarte w cząsteczkach tyrozyny i tryptofanu (Reynolds, Berry, Binder 2005: 1690–1700). Siarkowodor w znaczący sposób hamuje oddziaływanie ONOO^- z tyrozyną, nie dopuszczając przy tym do powstawania nitrowych produktów. Dodatkowo H_2S wykazuje zdolność do inhibicji innych reaktywnych form tlenu, azotu czy chloru (m.in. nadtlenu wodoru czy HOCl) (Xiao i in. 2018: e13065).

Badania na organizmach modelowych wskazują, że suplementacja siarkowodorem może prowadzić do stanu głębokiego hipometabolizmu, czyli stanu zbliżonego do hibernacji. Po kilku godzinach przebywania w umiarkowanym stężeniu siarkowodoru (około 80 ppm) zaobserwowano u ssaków ogólny spadek metabolizmu oraz spadek temperatury ciała do około 15°C. Po usunięciu H_2S ze środowiska stan badanych

zwierząt wracał do normy bez zaobserwowania żadnych zmian w zachowaniu czy funkcjonowaniu. Sztuczne indukowanie stanu hibernacji może znaleźć wiele zastosowań, między innymi w celu regulowania hipotermii czy w celu regulowania niewydolności narządowej (Jensen i Fago 2021: 215764).

Aktywność enzymów wytwarzających siarkowodor jest widoczna także w nerkach. H_2S pełni kilka ważnych funkcji biologicznych w tym narządzie: działa jako przeciwutleniacz, ma właściwości cytoprotekcyjne, stymuluje procesy filtracyjne, aktywuje wydalanie sodu i potasu z moczem oraz redukuje aktywność układu hormonalno-enzymatycznego: renina-angiotensyna-aldosteron (RAA), który przyczynia się do powstawania patologicznych zmian w nerkach. Przewlekła choroba nerek wiąże się z zaburzeniami metabolizmu siarkowodoru. Aktywność enzymów wytwarzających H_2S przy tym schorzeniu zmniejsza się nawet o ok. 35%, a szybkość wykorzystania egzogennej H_2S w nerkach może wzrosnąć nawet o 34% w porównaniu z grupą kontrolną. Postępująca utrata czynności nerek, w tym zaburzenia kanalikowe i kłębuszkowe, są ściśle skorelowane z zawartością H_2S w nerkach (Koniukh i in. 2020: 289–297). Doniesienia literaturowe wskazują także, że siarkowodor, jak i jego prekursor – L-cysteina wpływają korzystnie na układ pokarmowy. Są one ważnym czynnikiem gastroprotekcyjnym. Ochroniają błonę śluzową żołądka, wykazując mechanizmy obronne i zapewniają integralność tych błon (Shen i in. 2019: 88–92).

Jak wcześniej wspomniano, obecność H_2S skutkuje aktywacją kanałów potasowych (K_{ATP}) w komórkach mięśni gładkich. Okazało się także, że wpływa on dodatkowo na inne typy komórek, które mają funkcjonalne kanały K_{ATP} , na przykład komórki β trzustki. W zależności od stężenia siarkowodor może wykazywać cytoochronną bądź cytotoxyczną rolę w komórkach β trzustki podczas rozwoju cukrzycy (Chen i in. 2021: 704620). We wczesnym etapie tej choroby nadekspresja enzymu CSE w trzustce wywołana wysokim poziomem glukozy może służyć jako mechanizm ochronny, ponieważ może neutralizować stres oksydacyjny/nitrozowy oraz atak autoimmunologiczny. Jednak powstający produkt uboczny tego procesu, H_2S , prowadzi do zahamowania wytwarzania insuliny poprzez aktywację kanałów potasowych, co skutkuje wzrostem krążącej glukozy. Spekuluje się, że w miarę nasilania tego cyklu lokalne poziomy H_2S mogą osiągnąć stężenie progowe, przy którym może zostać wywołana odpowiedź cytotoxyczna. Ostatecznie powyższe procesy będą prowadziły do postępującej destrukcji (apoptozy) komórek β , prowadzącej do hiperglikemii (Szabo 2012: 68–80).

Metody detekcji H_2S w układach biologicznych

W ciągu ostatnich kilku lat opracowano wiele metod wykrywania H_2S , od podstawowych do bardziej złożonych analitycznie technik, takich jak: wysokociśnieniowa chromatografia cieczowa (HPLC), spektrofotometria, chromatografia gazowa (GC), oznaczenia elektrochemiczne i metody polarograficzne, techniki fluorescencyjne

oraz sposoby wykorzystujące nanocząstki, które wykrywają formy siarczków z różnych niebiologicznych i biologicznych źródeł. Każda z powyższych metod ma liczne wady i pewne ograniczenia (Liu i in. 2022: 101–105).

Wykrywanie kolorymetryczne błękitu metylenowego (MB), często określanego jako metoda „pułapki cynkowej”, jest jedną z najczęściej stosowanych technik wykrywania H_2S . Ten test polega na wytworzeniu błękitu metylenowego w wyniku reakcji N,N-dimetylo-fenylenodiaminy (DMPD) w kwaśnym środowisku z jonami siarczkowymi zawartymi w próbce w obecności octanu cynku, a następnie zmierzeniu absorpcji za pomocą spektrofotometru przy długości fali 670 nm. Metoda ta początkowo miała na celu przede wszystkim pomiar poziomów siarczków w próbkach wodnych. Na przestrzeni lat wprowadzono wiele modyfikacji w celu analizowania próbek niebiologicznych. Istnieje kilka problemów związanych z tą metodą, m.in. interferencja z substancjami barwnymi powstałymi w wyniku reakcji siarczku z siarczanem N,N-dimetylo-p-fenylenodiaminy w obecności utleniających jonów Fe^{3+} , oznaczanie w silnie kwaśnym środowisku prowadzi do uwolnienia H_2S z innych form siarczków, które mogą przyczyniać się do błędnych pomiarów, brak wyraźnego pasma absorpcji przy 670 nm dla fizjologicznych stężeń (Kolluru i in. 2013: 5–20).

Elektrody jonoselektywne specyficzne dla siarczków (ISE) są również używane do wykrywania poziomów H_2S w próbkach biologicznych, z zakresem wykrywania od 1 do 10 μM . Choć ta metoda jest łatwo dostępna i prosta w obsłudze, również ma swoje wady w wykrywaniu biologicznego stężenia H_2S . ISE mierzą formę S^{2-} , która wymaga środowiska alkalicznego, aby sprzyjać równowadze, co może przyczyniać się do błędnych odczytów (Brown, Hall, Schoenfish 2019: 67–76).

Aby wykrywać H_2S w złożonych układach biologicznych z większą czułością i łatwością, stosuje się obecnie próbniki fluorescencyjne. Jest to jedno z najbardziej wydajnych narzędzi wykrywania ze względu na niski koszt, wysoką kompatybilność, selektywność oraz możliwość detekcji w czasie rzeczywistym. Ogólnie rzecz biorąc, małowcząsteczkowe próbniki fluorescencyjne składają się z fluoroforu, łącznika i grupy reaktywnej wrażliwej na siarkowodor. Istnieją dwa typy próbników: opierające się na pojawieniu się sygnału fluorescencyjnego (*turn on*) oraz bazujące na zaniku fluorescencji (*turn off*). Grupa reaktywna w cząsteczce sondy stosowana jest jako akceptor elektronów w celu wygaszenia fluoroforu. Pewne ograniczenia, takie jak niska wydajność kwantowa, słaba fotostabilność, rozpuszczalność w wodzie czy niezadawalająca czułość wykrywania w warunkach biologicznych, powodują, że większość barwników nie nadaje się do projektowania wrażliwych sond na H_2S . Do opracowania próbników stosowanych do detekcji siarkowodoru najczęściej wybieranymi fluoroforami są barwniki cyjaninowe, BODIPY, ksanteny oraz pochodne na bazie kumaryny (rys. 2) (Jose i in. 2020: 3365–3391).

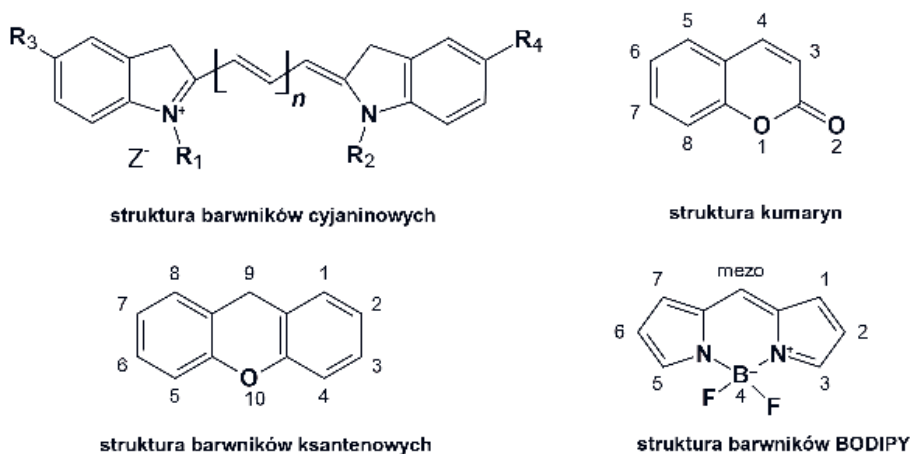
Barwniki cyjaninowe są często stosowane jako fluorofory ze względu na ich stosunkowo niską masę cząsteczkową, wysokie wydajności kwantowe czy wysokie

współczynniki ekstynkcji molowej. Związki te składają się z dwóch heterocykli zawierających azot, z których jeden jest naładowany dodatnio i przyłączony jest do drugiego fragmentu cząsteczki poprzez sprzężony łańcuch o nieparzystej liczbie atomów węgla. Większość barwników cyjaninowych ma dwie struktury mezomeryczne, które odpowiadają za intensywność koloru. W zależności od liczby grup metinowych ($-CH=$), dzielą się one na barwniki cyjaninowe monometyny (Cy1), barwniki cyjaninowe trimetyny (Cy3), barwniki cyjaniny pentametyny (Cy5) lub barwniki cyjaniny heptametyny (Cy7). Maksima absorpcji i emisji Cy5 i Cy7 znajdują się w zakresie bliskiej podczerwieni (NIR) i są wykorzystywane w rozwoju próbników do wykrywania H_2S (Jose i in. 2020: 3365–3391).

Pochodne kumaryny (benzo- α -pironu) posiadają bardzo interesujące właściwości spektroskopowe, mianowicie posiadają zdolność do emisji fluorescencji w zakresie od ultrafioletu do zakresu widzialnego na skutek wzbudzenia cząsteczki na wyższy poziom energetyczny. Dodatkowo charakteryzują się dużymi współczynnikami ekstynkcji molowej i dobrymi wydajnościami kwantowymi. Podstawienie pierścienia laktonowego w kumarynie różnymi ugrupowaniami wpływa w znaczący sposób na zmiany jej właściwości spektroskopowych. Wprowadzenie grupy elektronodonorowej w pozycji czwartej (C-4), szóstej (C-6) lub siódmej (C-7) lub grupy elektronoakceptorowej w pozycji trzeciej (C-3) powoduje przesunięcie pasma emisji w kierunku dłuższych fal w stosunku do układu niepodstawionego benzo- α -pironu (Niu i in. 2016: 498–504).

Barwniki ksantenowe zawierają w swojej strukturze rdzeń ksantenowy jako chromofor wraz z grupami aminowymi lub hydroksylowymi zlokalizowanymi w pozycji meta względem tlenu. Barwniki te posiadają znakomite właściwości spektroskopowe i fotofizyczne. Charakteryzują się wysokimi wydajnościami kwantowymi, wąskimi pasmami emisji, wysokimi molowymi współczynnikami absorpcji oraz są bardzo dobrze rozpuszczalne w środowisku wodnym. Fluoron, fluoresceina czy rodamina to tylko niektóre dobrze znane przykłady tych barwników (Ma i in. 2017: 20160024).

Barwniki BODIPY są z powodzeniem wykorzystywane do opracowania funkcjonalnych próbników fluorescencyjnych ze względu na stosunkowo wysoką fotostabilność, neutralny ładunek całkowity, wysoką wydajność kwantową fluorescencji. Wprowadzenie podstawników w pozycji *mezo* lub w pozycji czwartej nie wpływa znacząco na właściwości absorpcyjne i emisyjne cząsteczki. Jednak obecność ugrupowań w pozycji 2/6 lub 3/5 powoduje, że barwniki emitują w obszarze bliskiej podczerwieni NIR. Grupy hydrofilowe, takie jak sulfonowe, hydroksylowe, karboksylowe, obecne w pozycji 2 lub 6, polepszają rozpuszczalność w wodzie, co korzystnie wpływa na ich właściwości aplikacyjne w układach komórkowych (Ni i Wu 2014: 3774–3791).



Rysunek 2. Wybrane struktury barwników fluorescencyjnych wykorzystywanych do opracowywania próbników fluorescencyjnych

Źródło: Opracowanie własne.

Detekcja H_2S przy użyciu próbników fluorescencyjnych opiera się na różnych mechanizmach odpowiedzi fluorescencyjnej, w tym procesy oparte na: 1) redukcji elektronowych grup (azydkowej, nitrowej, hydroksyaminowej) do odpowiednich amin, 2) rozerwaniu wiązań eterowych, estrowych, sulfoestrowych, 3) wytrącaniu siarczków jonami miedzi, 4) reakcjach addycji (Słowiński i in. 2021: 109765). Już od ponad 10 lat grupa azydkowa ($-N_3$) jest najszerzej stosowaną funkcyjną grupą do projektowania próbników wykrywających H_2S . Wykorzystywane w tym procesie właściwości siarkowodoru redukują tę wyciągającą elektrony grupę do grupy aminowej ($-NH_2$), uzyskując w ten sposób związki o odmiennych właściwościach spektralnych (rys. 3) (Zhou i in. 2022: 34–63).

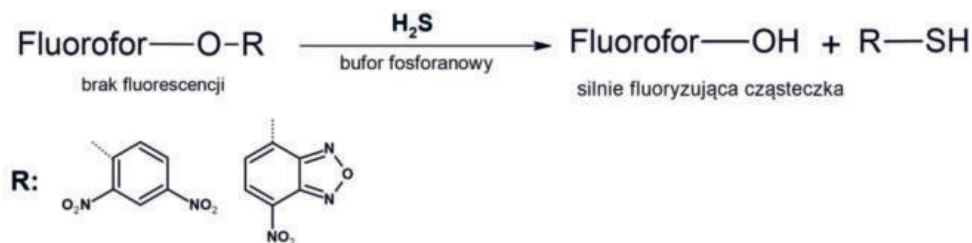


Rysunek 3. Ogólny schemat reakcji redukcji próbnika zawierającego grupę $-N_3$ w obecności H_2S

Źródło: Opracowanie własne.

Oprócz właściwości redukcyjnych sam H_2S posiada charakter nukleofilowy, znacznie silniejszy niż inne tiole, co wynika z jego mniejszego rozmiaru cząsteczkowego i niższego pKa. Takie właściwości zapewniają możliwość projektowania sond fluorescencyjnych na podstawie specyficznej reakcji między próbnikiem a H_2S . W zależności

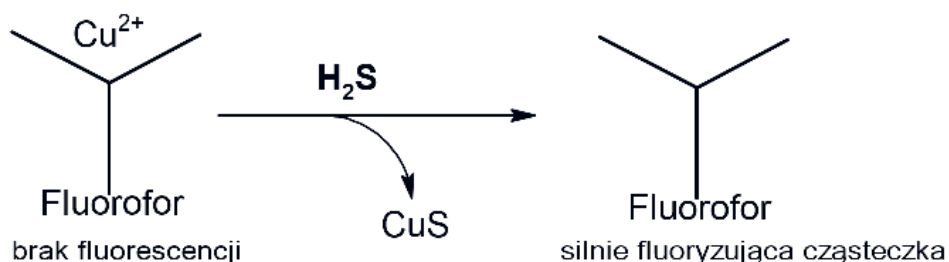
od lokalizacji części elektrofilowej w cząsteczce grupa tiolowa może ulegać reakcji addycji Michaela bądź spontanicznej cyklizacji, co w obu przypadkach prowadzi do zwiększenia intensywności fluorescencji. Dodatkowo siarkowodor może przyczyniać się do zerwania układu sprzężonego występującego w sondach, powodując zmianę długości fali emisyjnej. Kolejnym sposobem otrzymania próbników typu *turn on* może być usunięcie grupy elektroakceptorowej, co prowadzi do odtworzenia fluoroforu (rys. 4) (Yu, Han, Chen 2014: 12234).



Rysunek 4. Przykład reakcji tiolizy próbnika w obecności H_2S

Źródło: Opracowanie własne.

Wytrącanie siarczku miedzi (II) (CuS) jest klasyczną metodą jakościową wykrywania siarczków. Ten sposób został z powodzeniem zaadaptowany do wykrywania H_2S . Organiczne związki chelatowe nie wykazują fluorescencji. Dzieje się to za sprawą obecnej miedzi, której właściwości paramagnetyczne sprawiają, że wykazuje ona zdolność do przyjmowania elektronów fluoroforu. Po usunięciu jonów Cu^{2+} ze związku kompleksowego obserwowane jest zjawisko fluorescencji i na drodze reakcji uwalniany jest siarczek miedzi (rys. 5). Jony siarczkowe S^{2-} mają silne powinowactwo do jonów miedzi i na tej podstawie obecność H_2S w medium zawierającym roztwór próbnika przyczyni się do wyeliminowania miedzi z kompleksu, a tym samym do uzyskania zjawiska fluorescencji (Palanisamy i in. 2016: 445–447).



Rysunek 5. Ogólny schemat reakcji próbnika metalokompleksowego z H_2S

Źródło: Opracowanie własne.

Sposoby generowania H₂S w eksperymentach chemicznych

Do oceny skuteczności próbników fluorescencyjnych jako narzędzia do detekcji siarkowodoru wykorzystuje się różnorakie jego źródła, powszechnie nazywanymi donorami H₂S. Najpopularniejszym sposobem generowania H₂S do eksperymentów chemicznych jest użycie nieorganicznych soli sodowych, takich jak siarczek sodu (Na₂S) i wodorosiarczek sodu (NaHS). Stosowanie tych soli jest szeroko rozpowszechnione w literaturze i niewątpliwie znacznie przyczyniło się do zrozumienia złożonych skutków biologicznych H₂S. Najczęściej stosuje się wodne roztwory hydratów NaHS×H₂O lub Na₂S×9H₂O. Sole te szybko wytwarzają H₂S (gwałtownie dysocjują z wytworzeniem siarkowodoru w sposób natychmiastowy i zależny od pH). Oznacza to, że bardzo szybko zostanie wygenerowane „szczytowe” stężenie H₂S, które po chwili gwałtownie spadnie z powodu szybkiego ulatniania się tego gazu w warunkach laboratoryjnych. W związku z powyższym roztwory podstawowe tych soli należy zawsze przygotowywać na świeżo i używać natychmiast po sporządzeniu (Kashfi i Esmaili 2017: 105–142).

Okres półtrwania H₂S generowanego z siarczków wynosi od 5 do 30 minut, w zależności m.in. od temperatury czy jakości wody użytej do eksperymentów (zawartość metali w wodzie istotnie wpływa na końcowe stężenie siarkowodoru). Inny problem pojawiający się w przypadku soli siarczkowych dotyczy często nieznanego stopnia czystości. Żółte zabarwienie jest wymowną oznaką zanieczyszczeń. Niektóre z nich, np. siarczany, mogą być biologicznie nieaktywne, podczas gdy inne, np. tiosiarczany czy polisulfidy, mają swoje własne, odrębne działanie biologiczne. Fakt, że sole siarczków są higroskopijne, wprowadza dodatkowe źródło błędów przy próbie obliczenia dokładnego stężenia lub dawki H₂S, które należy zastosować do układu biologicznego lub w badaniach eksperymentalnych (Szabo i Papapetropoulos 2017: 597–564).

Kilka lat temu zaobserwowano, że tetratiomolibdenian amonu (TTM, (NH₄)₂MoS₄), związek klinicznie stosowany w leczeniu zatruc miedzią, działa jak rozpuszczalnik w wodzie donor H₂S, który prawdopodobnie uwalnia go poprzez prosty proces hydrolityczny, aczkolwiek ze stosunkowo długim, bo godzinnym okresem półtrwania. W kwaśnych środowiskach odnotowano większe ilości powstającego siarkowodoru. Dodatkowo TTM ma wiele różnych efektów biologicznych, w tym hamowanie proliferacji komórek nowotworowych. Wpływ ugrupowania molibdenianowego na uwalnianie H₂S nadal nie został dokładnie przebadany (Xu i inni 2016: 1585–1588).

Chociaż wspomniane wcześniej nieorganiczne sole siarczkowe są nadal wykorzystywane w niektórych badaniach chemicznych, to nie stanowią one już optymalnego punktu wyjścia dla analiz farmakologicznych oraz biologicznych, ze względu na przytoczony już powyżej problem krótkiego czasu półtrwania, niekontrolowanego uwalniania siarkowodoru oraz nieprzyjemnego zapachu. Obecnie poszukuje się innych związków, które potencjalnie mogłyby być wykorzystywane jako nowe donory H₂S. Idealnie byłoby, aby rozważana cząsteczka charakteryzowała się następującymi

właściwościami: 1) sam donor, jak i produkty uboczne powstające podczas reakcji nie mogą być toksyczne dla komórek, 2) dokładnie zbadany lub łatwo dostrajany profil uwalniania H_2S , który powinien być zdecydowanie wolniejszy niż w przypadku $Na_2S/NaHS$, 3) była dobrze rozpuszczalną cząsteczką w środowisku wodnym, 4) charakteryzowała się wysoką czystością oraz jak najwyższą stabilnością w różnych warunkach (Szabo i Papapetropoulos 2017: 597–564).

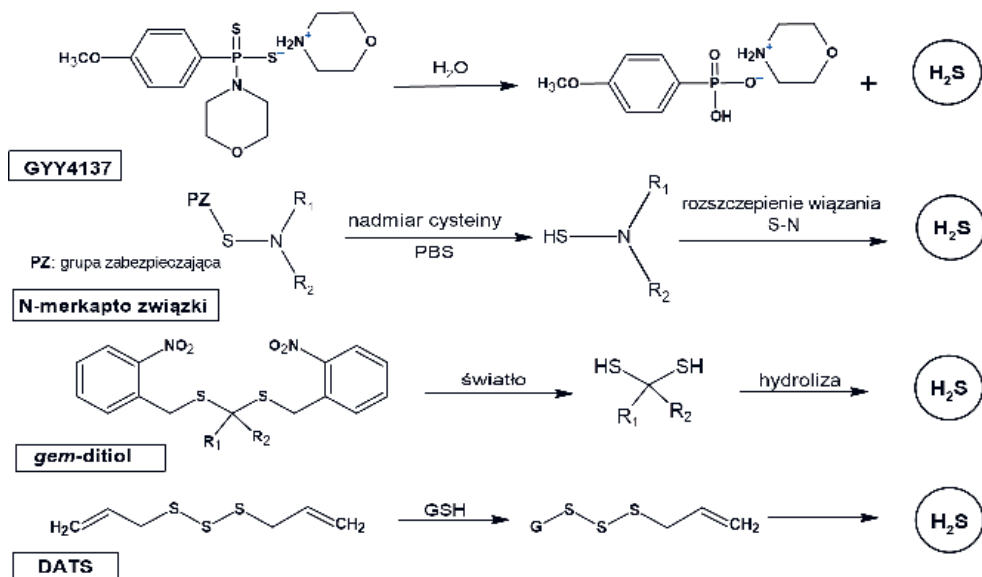
GY4137 jest pierwszym organicznym związkiem zgłoszonym i scharakteryzowanym jako wolno uwalniająca siarkowódor cząsteczka o względnie małej masie cząsteczkowej. Jest pochodną odczynnika Lawesson, która w swojej strukturze zawiera dodatkowo ugrupowanie morfoliny (rys. 6). Związek ten bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie (> 1 mg/ml przy $pH = 7,4$), uwalniając w wyniku hydrolizy siarkowódor (Powell, Dillon, Matson 2018: 110–123). Generowanie H_2S *in vitro* potwierdzono testami kolorymetrycznymi i amperometrycznymi. W porównaniu z solami siarczkowymi uwalnianie H_2S z GY4137 było znacznie wolniejsze, a stężenie tego gazu osiągało maksymalną wartość w ciągu 6–10 minut, ale na bardzo niskim poziomie. Według przeprowadzanych badań 1 mM GY4137 uwalnia 40 μM H_2S w ciągu pierwszych 10 minut, a kolejne 50 μM w ciągu kolejnych 90 minut w kwaśnym roztworze wodnym o pH 3,0. Uwalnianie siarkowodoru z GY4137 jest zależne od pH i temperatury, z większym powinowactwem do kwaśnego pH i wyższej temperatury. W warunkach fizjologicznych ($pH = 7,4$) produkcja H_2S z tego związku utrzymywała się na niskim poziomie (poniżej 10%) nawet po 7 dniach (Lee i in. 2011: e21077).

W ostatnim czasie zgłoszono po raz pierwszy donory H_2S aktywowane przez konkretne biotiole. Takie związki miały w kontrolowany sposób generować siarkowódor, jak również miały być stabilne po rozpuszczeniu w roztworach wodnych. Związki te były pochodnymi tiolowymi ($R-N-SH$). Zauważono, że $S-N$ wiązania są niestabilne i łatwe do zerwania w określonych warunkach, wobec czego wprowadzono dodatkowo resztę acylową zabezpieczającą grupę tiolową ($-SH$) w celu zwiększenia stabilności. Zabezpieczone związki okazały się stabilne w roztworach wodnych. Nie reagowały z potencjalnymi nukleofilami komórkowymi, takimi jak grupy $-OH$ i $-NH_2$. W obecności cysteiny lub glutationu zaobserwowano rozkład donorów w czasie, któremu towarzyszyło uwalnianie H_2S . Badania zależności między strukturą a aktywnością wykazały, że grupy elektronoakceptorowe (EWG) prowadziły do szybszego uwalniania H_2S , a grupy elektronodonorowe (EDG) skutkowały wolniejszym uwalnianiem siarkowodoru, wykazując w ten sposób osiągnięcie regulacji generowania tego gazu poprzez modyfikacje strukturalne. Badania mechanizmu reakcji dowiodły, że powstawanie H_2S jest inicjowane przez wymianę tiolową między cysteiną a donorem w celu wytworzenia S -acylowanej cysteiny, która ulega dalszym reakcjom z uwolnieniem siarkowodoru (Zhao, Wang, Xian 2011: 15–17).

W celu opracowania donorów H_2S niezależnych od tioli, a wrażliwych na światło wykorzystano układ *gem*-ditiolowy. Aby uzyskać stabilne donory oparte na *gem*-ditiolu, wprowadzono fotorozszczepialną grupę 2-nitrobenzylową jako grupę

zabezpieczającą –SH. Po napromieniowaniu tych związków światłem powstają pośrednie produkty, które w wyniku hydrolizy uwalniają siarkowodor (rys. 6). Testy wykazały, że po naświetleniu odpowiedniego donora o stężeniu 200 mM światłem o długości fali 365 nm uzyskano ok. 36 mM H₂S. Dla porównania nie wykryto żadnych ilości tego gazu, gdy próbka nie była wystawiona na działanie światła, co świadczy o wysokiej stabilności tych związków w roztworach wodnych (Zhao i in. 2014: 4536–4539).

Oprócz syntetycznych donorów H₂S istnieją jego naturalne odpowiedniki, które obficie występują w niektórych warzywach, np. w czosnku pospolitym. Jak wiadomo, roślina ta wykazuje wiele leczniczych właściwości, takich jak: działanie antybakteryjne, przeciwgrzybicze, przeciwwirusowe. Swoje prozdrowotne funkcje zawdzięcza licznej obecności związków zawierających siarkę. Mowa tutaj o allinie, allicyynie oraz trisiarczku diallilu (DATS). Okazuje się, że wszystkie te wymienione cząsteczki są jednocześnie substratami do wytwarzania H₂S. Największe znaczenie jako donor ma DATS, ze względu na generowanie dużych stężeń siarkowodoru. Uwalnianie H₂S z DATS zależy od jego reakcji z glutationem (GSH). Nukleofilowy atak GSH na centralny atom siarki w cząsteczce DATS może prowadzić do produkcji GSSA z uwolnieniem H₂S (rys. 6) (Corvino i in. 2021: 429).



Rysunek 6. Organiczne donory H₂S i ich mechanizmy generowania siarkowodoru

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Przez długi czas siarkowodor był wyłączenie za silnie toksyczny związek, negatywnie oddziałujący na organizmy żywe. Badania ostatnich lat wykazały korzystny wpływ H_2S w stężeniach fizjologicznych na funkcjonowanie zarówno zwierząt, jak i roślin. Potwierdzono także, że siarkowodor jest cząsteczką sygnałową, podobną do dwóch znanych gazowych transmiterów – tlenu azotu i tlenu węgla. Z tego też powodu tak ważne jest monitorowanie poziomu tej cząsteczki w komórkach. Jednak ocena ilościowa tego gazu to wciąż duże wyzwanie i przedmiot licznych badań. Obecne metody detekcji H_2S nie są w pełni zadawalające, charakteryzują się licznymi ograniczeniami. Obiecujące są techniki wykorzystujące spektroskopię fluorescencyjną ze względu na wysoką nieinwazyjność i czułość metody oraz możliwość detekcji siarkowodoru zarówno w próbkach biologicznych, jak i niebiologicznych.

Bibliografia

- Brodek P., Olas B., 2016, *Biochemistry and therapeutic potential of hydrogen sulfide – reality or fantasy?*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej”, nr 70.
- Brown M., Hall J., Schoenfish M., 2019, *A direct and selective electrochemical hydrogen sulfide sensor*, „Analytica Chimica Acta”, Vol. 1045.
- Cao X., Ding L., Xie Z., Yang Y., Whiteman M., Moore P., Bian J., 2019, *A review of hydrogen sulfide synthesis, metabolism, and measurement: is modulation of hydrogen sulfide a novel therapeutic for cancer?*, „Antioxidants & Redox Signaling”, Vol. 31.
- Chen H., Ngowi E., Qian L., Li T., Qin Y., Zhou J., Li K., Ji X., Wu D., 2021, *Role of hydrogen sulfide in the endocrine system*, „Frontiers in Endocrinology”, Vol. 12.
- Corvino A., Frecentese F., Magli E., Perissutti E., Santagada V., Scognamiglio A., Caliendo G., Fiorino F., Severino B., 2021, *Trends in H2S-donors chemistry and their effects in cardiovascular diseases*, „Antioxidants”, Vol. 429, No. 10.
- Jose D., Sakla R., Sharma N., Gadiyaram S., Kaushik R., Ghosh A., 2020, *Sensing and bioimaging of the gaseous signaling molecule hydrogen sulfide by near-infrared fluorescent probes*, „ACS Sensors”, Vol. 5.
- Jensen B., Fago A., 2021, *Sulfide metabolism and the mechanism of torpor*, „Journal of Experimental Biology”, Vol. 224, No. 17.
- Kashfi K., Esmaili M., 2017, *NO-H2S-releasing chimeras as a multifaceted approach to Cancer therapy*, „Nitric Oxide as a Chemosensitizing Agent”, Vol. 1.
- Kolluru G., Shen X., Bir S., Keil C., 2013, *Hydrogen sulfide chemical biology: pathophysiological roles and detection*, „Nitric Oxide”, Vol. 35.
- Koniukh S., Voloshchuk N., Melnyk A., Domin I., 2020, *Hydrogen sulfide metabolism and its role in kidney function in a rat model of chronic kidney disease*, „Health Problems of Civilization”, Vol. 14, No. 4.
- Lee Z., Zhou J., Chen C., Zhao Y., Tan C., Li L., Moore P., Den L., 2011, *The slow-releasing hydrogen sulfide donor, GYY4137, exhibits novel anti-cancer effects in vitro and in vivo*, „Plos One”, Vol. 6.
- Liu M., Wu L., Montaut S., Yang G., 2016, *Hydrogen sulfide signaling axis as a target for prostate cancer therapeutics*, „Prostate Cancer”, February.

- Liu W., Bu D., Zhang H., Zhang M., Ren H., Li Z., Yu M., 2022, *A mitochondrial and lysosomal targeted ratiometric probe for detecting intracellular H₂S*, „Analytical Methods”, Vol. 14.
- Łowicka E, Bełtowski J., 2007, *Hydrogen sulfide (H₂S) – the third gas of interest for pharmacologists*, „Pharmacological Reports”, Vol. 59.
- Ma S., Wang Y., She M., Wang S., Yang Z., Liu P., Zhang S., Li J., 2107, *Design strategies and progress on xanthenebased fluorescent probe for metal ions*, „Reviews in Analytical Chemistry”, Vol. 36, No. 2.
- Ni Y., Wu J., 2014, *Far-red and near infrared BODIPY dyes: synthesis and applications for fluorescent pH probes and bio-imaging*, „Organic and Biomolecular Chemistry”, Vol. 12.
- Niu G., Liu W., Xiao H., Zhang H., Chen J., Dai Q., Ge J., Wu J., Wang P., 2016, *Keto-benzo[h]-coumarin-based near-infrared dyes with large stokes shifts for bioimaging applications*, „Chemistry: An Asian Journal”, Vol. 11.
- Ou P., Wang Y., Hao C., Peng Y., Zhou L., 2021, *Naphthalimide-based a highly selective two-photon fluorescent probe for imaging of hydrogen sulfide in living cells and inflamed tissue of mouse model*, „Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy”, Vol. 245.
- Palanisamy S., Lee L., Wang Y., Chen Y., Chen C., Wang Y., 2016, *A water soluble and fast response fluorescent turn-on copper complex probe for H₂S detection in zebra fish*, „Talanta”, Vol. 147.
- Powell C., Dillon K., Matson J., 2018, *A review of hydrogen sulfide (H₂S) donors: chemistry and potential therapeutic applications*, „Biochemical Pharmacology”, Vol. 149.
- Reynolds M., Berry R., Binder L., 2005, *Site-Specific Nitration and Oxidative Dityrosine Bridging of the tau Protein by Peroxynitrite: Implications for Alzheimer's Disease*, „Biochemistry”, Vol. 44.
- Shen F., Zhao C., Shen M., Wang Z., Chen G., 2019, *The role of hydrogen sulfide in gastric mucosal damage*, „Medical Gas Research”, Vol. 9, No. 2.
- Słowiński D., Świerczyńska M., Grzelakowska A., Szala M., Kolińska J., Romański J., Podsiadły R., 2021, *Hymecromone naphthoquinone ethers as probes for hydrogen sulfide detection*, „Dyes and Pigments”, Vol. 196.
- Szabo C., 2012, *Roles of hydrogen sulfide in the pathogenesis of diabetes mellitus and its complications*, „Antioxidants & Redox Signaling”, Vol. 17, No. 1.
- Szabo C., Papapetropoulos A., 2017, *International union of basic and clinical pharmacology. CII: pharmacological modulation of H₂S levels: H₂S donors and H₂S biosynthesis inhibitors*, „Pharmacological Reviews”, Vol. 69.
- Sun H., Wu Z., Nie X., Wang X., Bian J., 2021, *Implications of hydrogen sulfide in liver pathophysiology: Mechanistic insights and therapeutic potential*, „Journal of Advanced Research”, Vol. 27.
- Szłęzak D., Hutsch T., Ufnal M., Wróbel M., 2022, *Heart and kidney H₂S production is reduced in hypertensive and older rats*, „Biochimie”, Vol. 199.
- Tadeusiewicz J., Olas B., 2014, *Siarkowodór – gaz nie tylko o właściwościach toksycznych*, „Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych”, t. 302.
- Xiao Q., Ying J., Xiang L., Zhang C., 2018, *The biologic effect of hydrogen sulfide and its function in various diseases*, „Medicine”, Vol. 97, No. 44.
- Xin Y., Wang M., Liu M., Chen Y., Zhao H., Zhang P., Li X., Wei C., 2022, *BODIPY-NBD dyad for highly selective and sensitive detection of hydrogen sulfide in cells and zebrafish*, „Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy”, Vol. 272.
- Xu S., Yang C., Meng F., Pacheco A., Chen L., Xian M., 2016, *Ammonium tetrathiomolybdate as a water-soluble and slow-release hydrogen sulfide donor*, „Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters”, Vol. 26.
- Yu F., Han X., Chen L., 2014, *Fluorescent probes for hydrogen sulfide detection and bioimaging*, „Chemical Communications”, Vol. 50.

- Zhang J., Ding Y., Wang Z., Kong Y., Gao R., Chen G., 2017, *Hydrogen sulfide therapy in brain diseases: from bench to bedside*, „Medical Gas Research”, Vol. 7, No. 2.
- Zhao Y., Biggs T., Xian M., 2014, *Hydrogen sulfide (H₂S) releasing agents: chemistry and biological applications*, „Chemical Communications”, Vol. 50.
- Zhao Y., Kang J., Park C., Bagdon P., Peng B., Xian M., 2014, *Thiol-activated gem-dithiols: a new class of controllable hydrogen sulfide donors*, „Organic Letters”, Vol. 16.
- Zhao Y., Wang H., Xian M., 2011, *Cysteine-activated hydrogen sulfide (H₂S) donors*, „Journal of the American Chemical Society”, Vol. 133.
- Zhou L., Chen Y., Shao B., Cheng J., Li X., 2022, *Recent advances of small-molecule fluorescent probes for detecting biological hydrogen sulfide*, „Frontiers of Chemical Science and Engineering”, Vol. 16, No. 1.
- Zivanovic J., Filipovic R., 2016, *Hydrogen sulfide: stench from the past as a mediator of the future*, „Biochemical Society”, Vol. 38, No. 5.

Biogramy

Daniel Słowiński – doktorant „InterChemMed” – interdyscyplinarnych studiów doktoranckich łódzkich uczelni publicznych; absolwent studiów magisterskich na kierunku Technologia Chemiczna, na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej. Tematyka jego pracy naukowej koncentruje się na poszukiwaniu nowych próbników fluorescencyjnych do wykrywania siarkowodoru (H₂S).

Radosław Podsiadły pracuje w Instytucie Technologii Polimerów i Barwników Politechniki Łódzkiej na stanowisku profesora uczelni. W roku 1999 uzyskał tytuł magistra chemii na Wydziale Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W 2004 roku na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej uzyskał tytuł doktora nauk chemicznych, a w roku 2013 tytuł doktora habilitowanego nauk technicznych. Obecnie jego zainteresowania naukowe obejmują syntezę i zastosowanie barwników do celów specjalnych, a w szczególności fluorogenne i luminogenne próbki do detekcji biologicznie ważnych utleniaczy.

Daniel Słowiński – PhD student at „InterChemMed” – interdisciplinary doctoral studies at Lodz public universities; He received his B.S and M.Sc. degrees in Chemical Technology from the Faculty of Chemistry of the Lodz University of Technology. His scientific work concentrates on searching a new turn on fluorescent probes to detect hydrogen sulfide (H₂S).

Radosław Podsiadły is an Associate Professor at the Institute of Polymer and Dyes Technology at the Lodz University of Technology. He received his M.Sc. in 1999 from the Nicolaus Copernicus University in Torun, Poland. He obtained a Ph.D. in Chemistry in 2004, and in 2013 he received his habilitation in Chemical Technology from the Faculty of Chemistry of the Lodz University of Technology in Poland. His current research interests focus on the synthesis and application of functional dyes and fluorogenic/luminogenic probes for the detection of cellular oxidizing species.



Badania fibrylizacji, stabilności i aktywności przeciwdrobnoustrojowej nowych samoorganizujących się peptydów przeciwdrobnoustrojowych zawierających krótkie sekwencje fibrylogenne

Milena Czeszejko | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0003-3060-6364>

Kamil Klimkowski | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0002-9199-7584>

Emilia Łowska | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0002-5774-3644>

Streszczenie

Słowa kluczowe:
fibryle peptydowe,
peptydy
samoorganizujące
się, biomateriały,
peptydy przeciw-
drobnoustrojowe

Poszukiwanie skutecznych substancji przeciwdrobnoustrojowych to bardzo ważny i aktualny temat, jednocześnie stanowiący ogromne wyzwanie dla naukowców. Związane jest to przede wszystkim z lekoopornością bakterii na antybiotyki i brakiem skutecznych terapii w walce z nimi. Jedną z możliwości jest wykorzystanie peptydów o działaniu przeciwdrobnoustrojowym (AMP). Swoją skuteczność zawdzięczają oddziaływaniu peptydów z błoną komórkową, jednak ograniczeniem w ich zastosowaniu jest relatywnie niska stabilność. Wśród metod, które prowadzą do zwiększenia trwałości tych związków, jest połączenie peptydów z nośnikami. Przykładem takiego nośnika mogą być fibryle peptydowe, czyli wysoce uporządkowane struktury o tendencji do samogrupowania. Wykorzystanie fibryli zapewnia jednorodność i stabilność związków, a także daje ogromne możliwości łatwego funkcjonalizowania bionośników. W naszych badaniach wykorzystaliśmy sekwencje fibrylogenne, tworzące motyw zamka sterycznego, i połączyliśmy je z fragmentem ludzkiej katelicyny (LL-37) – efektem tego było opracowanie nowych samoorganizujących się peptydów przeciwdrobnoustrojowych. Wszystkie zaprojektowane związki zostały przez nas zsyntezowane, a następnie przebadane pod kątem sprawdzenia ich tendencji do tworzenia fibryli, wykorzystania ich jako nośniki, jak również sprawdzenia ich aktywności przeciwdrobnoustrojowej. Przeprowadzone badania pozwoliły nam określić potencjał sekwencji fibrylogennych jako nośników, a także ich wpływ na aktywność przeciwdrobnoustrojową.

Research on the fibrilization, stability and antimicrobial activity of the new self-assembling antimicrobial peptides with short fibrillogenic sequences (Summary)

Keywords:
peptide fibrils,
self-assembly
peptides,
biomaterials,
antimicrobial
peptides

The search for effective antimicrobial active substances is a very important and current topic, but at the same time, it remains a big problem for modern medicine. This is caused by bacterial resistance to antibiotics, tumor's development and the lack of effective drugs for treatment. One possibility for a solution of these problems is that of peptides with antimicrobial activity (Antimicrobial peptides, AMPs). Their effectiveness is associated with the interaction between them and cell membranes. However, a significant challenge in their application is their relatively low stability. One of the methods that lead to increased stability is to combine bioactive peptides with scaffolds. An example of a scaffold is that of peptide fibrils, which are highly ordered structures that have a tendency to self-assembly, which ensures homogeneity and high stability. In addition, the scaffolds may be functionalized by different bioactive sequences. In our project, we connected fibrillogenic sequences, formed in a steric zipper, to antimicrobial sequences based on human cathelicidin (LL-37), which resulted in creation of new self-assembling antimicrobial peptides. We synthesized all peptides in the solid state using Fmoc-methodology. Many tests, such as to check the tendency to fibril formation as well as antimicrobial activity, were done. The conducted research allowed us to determine the potential of fibrillogenic sequences as carriers as well as their impact on antimicrobial activity.

Wstęp

Na świecie obserwuje się coraz więcej szczepów bakterii wykazujących oporność przeciw konwencjonalnym antybiotykom. Niegdyś uleczalne choroby bakteryjne dziś są coraz częstszą przyczyną śmierci. Z raportu *Tackling drug-resistant infections globally – final report and recommendations* opublikowanego w 2016 roku wynika, że już w 2050 roku przez infekcje wywołane lekoopornymi drobnoustrojami życie będzie tracić ok. 10 mln ludzi rocznie (O'Neill 2016). Analiza ta skłoniła naukowców do poszukiwań nowych alternatywnych terapii przeciwbakteryjnych.

Z ogromu wiedzy o naturalnych mechanizmach obrony immunologicznej roślin i zwierząt na szczególną uwagę zasługują związki peptydowe, zbudowane z naturalnych aminokwasów. Wśród nich bardzo ważną grupę stanowią peptydy przeciwdrobnoustrojowe (ang. *antimicrobial peptide*, AMP), które pomagają w walce z mikroorganizmami powodującymi infekcje. Peptydy przeciwdrobnoustrojowe wytwarzane są przez niemal wszystkie żyjące organizmy, nawet takie, jak archeony czy protisty (Makowska i in. 2019: 65). Niezależnie od tego, z którego organizmu pochodzą, peptydy w organizmach żywych syntezowane są na dwa sposoby, poprzez rybosomalną translację mRNA oraz nierybosomalną syntezę peptydów w systemach bakteryjnych (Hancock, Chapple 1999: 43; Brogden 2005: 3; Mahlapuu i in. 2016: 6). Związki te zawierają od 2 do 50 reszt aminokwasowych (Mahlapuu i in. 2016: 6) i dzięki obecności reszt

argininy, lizyny czy histydyny posiadają wypadkowy ładunek w przedziale od +2 do +9 (Makowska i in. 2019: 65). Kationowy fragment odpowiedzialny jest za oddziaływanie z zewnętrzną częścią ujemnie naładowanej błony fosfolipidowej bakterii. Natomiast hydrofobowy fragment peptydów pozwala na wnikięcie do wnętrza błony. Taki mechanizm powoduje destabilizację błony biologicznej, prowadząc w efekcie do śmierci bakterii (Brogden 2005: 3). Na chwilę obecną naukowcy nie są w stanie określić jednego, dokładnego mechanizmu interakcji peptyd – błona komórkowa. Niemniej jednak przyjmuje się trzy najbardziej prawdopodobne modele, tj. model typu klepek beczki, model toroidalny i model dywanowy (Huang i in. 2010: 1; Henc i in. 2013: 7).

Peptydy przeciwdrobnoustrojowe mogą również dezaktywować kwasy nukleinowe i białka cytoplazmatyczne, co prowadzi do zaburzenia podstawowych funkcji życiowych bakterii (Dürr i in. 2006: 1758). Patogeny, mając do czynienia z tak silnym, szybkim i niespecyficznym mechanizmem działania, znacznie wolniej nabierają lekooporności. Dodatkowymi atutami AMP są: biokompatybilność, praktyczny brak odpowiedzi układu immunologicznego, stosunkowo niewielka masa cząsteczkowa; często są to związki naturalne, które można relatywnie łatwo otrzymać również na drodze syntezy chemicznej. Tych kilka cech pokazuje, że peptydy przeciwdrobnoustrojowe mogą być bardzo dobrą alternatywą dla antybiotyków. Niestety, dużym problemem w ich zastosowaniu jest jednak fakt, iż bardzo szybko ulegają degradacji enzymatycznej w organizmie. Jednym z proponowanych rozwiązań jest strategia łączenia sekwencji przeciwdrobnoustrojowych z bardzo trwałymi sekwencjami fibrylogennymi, posiadającymi zdolność do samoorganizacji (Lombardi i in. 2019: 11).

Fibryle peptydowe posiadają unikatowe właściwości, takie jak: duża stabilność, wysokie uporządkowanie struktury, wytrzymałość zbliżona do wytrzymałości stali (Goldschmidt i in. 2010: 107; Smith i in. 2006: 103), dzięki którym możliwe jest wykorzystanie ich jako nośników dla substancji aktywnych. Za powyższe cechy fibryli odpowiedzialnych jest kilka czynników. Pierwszym z nich jest obecność specyficznych oddziaływań pomiędzy łańcuchami peptydowymi, wśród których kluczową rolę odgrywają oddziaływania niekowalencyjne: hydrofobowe, van der Waalsa, elektrostatyczne oraz wiązania jonowe. Pomimo że energia pojedynczych oddziaływań jest niewystarczająca do stworzenia i utrzymania trwałych struktur, to ich duża liczba powoduje, że ostatecznie tworzą stabilne struktury, czyli fibryle (Rajagopal i Schneider 2004: 14). Kluczową rolę odgrywa zaś sekwencja aminokwasowa, nie tylko ze względu na obecność poszczególnych reszt aminokwasowych, ale przede wszystkim ze względu na ich odpowiednią kolejność (Iłowska i in. 2022). Dzięki obecności naturalnych komponentów podobnie jak AMP charakteryzują się biokompatybilnością, niską toksycznością, nie wywołują odpowiedzi immunologicznej i mogą być swego rodzaju rezerwuarem substancji aktywnych. Ponadto dzięki wysokiej stabilności charakteryzują się większą odpornością na degradację enzymatyczną w krążeniu ogólnoustrojowym (Sawicka i in. 2021: 22; Chen i in. 2019: 11). Ich charakter pozwala

w kontrolowany sposób odłączać przyłączone do nich inne fragmenty peptydowe bądź aktywnie biologicznie cząstki, których skuteczność wykazywana jest dopiero po odłączeniu od fibryli. Dzięki zaś temu, że są one bardzo sztywne i stosunkowo łatwo można je otrzymywać, istnieje możliwość wykorzystania ich jako rusztowania (ang. *scaffold*) lub podłoża do hodowli komórek macierzystych. Fibryle amyloidowe tworzą bardzo cienki stelaż, podobny do biofilmu, na którym możliwe jest osadzenie, różnicowanie się i proliferacja komórek. Tak przygotowane rusztowanie, wraz z namnożonymi komórkami, może być aplikowane pacjentowi w celu uzupełnienia na przykład ubytków tkanki (Mankar i in. 2011: 2).

Wszystkie te właściwości fibryli, które warunkują ich tendencję do samoorganizacji, spowodowały, że znacząco zmienił się obraz postrzegania fibryli peptydowych. Nie są to tylko patogeny w chorobach neurodegeneracyjnych, ale są to związki, które mogą być nośnikami dla substancji aktywnych czy też mogą być wykorzystywane jako systemy dostarczania leków. Badania nad procesem samoorganizacji peptydów cieszą się obecnie dużym zainteresowaniem. Jako jedna z możliwości tworzenia nowych, bardziej stabilnych związków czy substancji o długoterminowym działaniu tworzy szansę wykorzystania związków samoorganizujących się w biomedycynie, nanotechnologii czy innych dziedzinach życia i nauki (Hosseinkhani, Hong i Yu 2013: 113; Wei i in. 2017: 46; Lee i in. 2019: 20).

Wykorzystanie fibryli peptydowych jako potencjalnych farmaceutyków o przedłużonym działaniu po raz pierwszy zostało zaproponowane przez szwajcarską grupę badaczy (Maji i in. 2008: 6). Wykorzystali oni gonadotropinę do zaprojektowania aktywnej biologicznie fibryli peptydowej jako jej analogu i zaproponowali wykorzystanie tego rozwiązania w leczeniu raka piersi, raka prostaty czy też jako środka antykoncepcyjnego. Przedstawione wyniki badań agregacyjnych, strukturalnych oraz zdolności uwalniania tych analogów pokazują, iż zaprojektowane sekwencje swój potencjał terapeutyczny wykazują dopiero w momencie uwolnienia części aktywnej farmaceutyku od pozostałej części fibryli (Maji i in. 2008: 6).

Inną drogą wykorzystywania potencjału samoorganizacji peptydów jest połączenie sekwencji fibrylogennej odpowiadającej za samoorganizację z sekwencjami wykazującymi aktywność biologiczną. Przykładem takiego rozwiązania jest połączenie sekwencji QIVAGV z sekwencją o działaniu proregeneracyjnym i specyficzną dla enzymu elastazy (Sawicka 2021: 22). Udowodniono, że otrzymana osiemnastaminokwasowa hybryda peptydowa ulega procesowi fibrylizacji, pomimo że sekwencja odpowiadająca za samoorganizację to zaledwie sześć aminokwasów (Sawicka i in. 2021: 22; Iłowska i in. 2022: 23). Jednocześnie związek ten wykazuje aktywność biologiczną nieodbiegającą od natywnego peptydu.

Innym przykładem wykorzystania fibryli jest połączenie fragmentu meltoiny o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych z fragmentem fibrylogennym $(QL)_6$ (Chen i in. 2019: 11). Zarówno połączenie kowalencyjne tych dwóch fragmentów peptydowych,

jak i dodatkowa inkubacja z samym fragmentem fibrylogennym warunkują samoorganizację, wysoką stabilność, zapewniając przy tym skuteczną aktywność przeciwdrobnoustrojową zaprojektowanej molekuly. Dodatkowo istotne są odpowiednie warunki, w których dochodzi do uwolnienia fragmentu aktywnego.

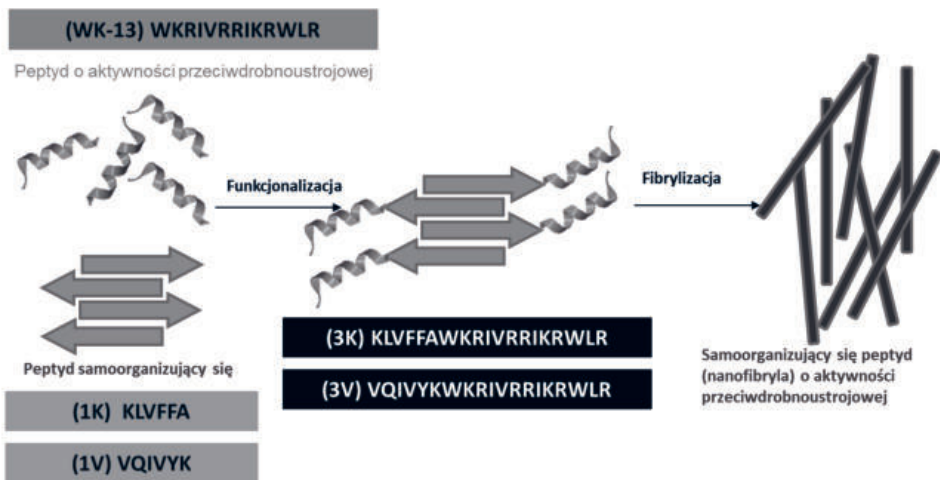
Kolejną grupą związków, które ulegają samoorganizacji, są hydrożele peptydowe, tworzące stabilne struktury nanorurek (Bolhassani 2011: 1816; Singh i in. 2019: 6). Hydrożele peptydowe to wyjątkowa grupa biomateriałów, których budowa oparta jest na oddziaływaniach elektrostatycznych oraz wodorowych pomiędzy łańcuchami grup bocznych w aminokwasach (Bolhassani 2011: 1816). Tworzą one materiały, które swoją strukturą przypominają tkanki lub macierze pozakomórkowe (Bolhassani 2011: 1816). Są one złożone z powtarzających się dodatkowo i ujemnie naładowanych reszt aminokwasowych, które oddzielone są resztami hydrofobowymi (Marini i in. 2002: 2; Yang i Zhang 2006: 18). Związki te tworzą zorganizowaną i uporządkowaną strukturę – rusztowanie, które dalej może być stosowane jako nośnik substancji aktywnej. Stworzone w taki sposób struktury wykazują niezwykłą stabilność w szerokim zakresie temperatur, pH oraz czynników denaturujących (Zhang 2002: 20). Jednym z najlepiej przebadanych i poznanych peptydów, który tworzy hydrożele, jest komercyjnie dostępny peptyd RADA16-I (Ac-RADARADARADARADA-NH₂) (Kumada, Zhang 2010: 5; Chaberska i in. 2017: 71). Peptyd tworzy stabilną strukturę β-kartki w roztworach wodnych. Cechuje się wysoką ilością hydrofobowych oraz hydrofilowych reszt aminokwasowych, w wyniku czego tworzy wysoce uporządkowane struktury supramolekularne wykazujące stabilność zarówno na czynniki fizyczne, jak i chemiczne. Jonowe peptydy ulegające samoorganizacji można podzielić na kilka podtypów w zależności od sposobu ułożenia dodatkowo i ujemnie naładowanych reszt aminokwasowych tworzących hydrofilową powierzchnię peptydu.

Przykłady pozytywnego wykorzystania zarówno fibryli peptydowych, jak i hydrożeli, które poniekąd wykazują podobieństwo do fibryli, skłoniły nas do poszukiwania nowych, stabilnych sekwencji fibrylogennych, które moglibyśmy wykorzystać jako nośniki dla peptydów przeciwdrobnoustrojowych. Zaprojektowaliśmy sekwencje, które następnie połączyliśmy z peptydem przeciwdrobnoustrojowym, dokładnie z fragmentem ludzkiej katelicydyny LL-37 (fragment WK13) (Wang 2008: 283; Wang i in. 2019), w celu zwiększenia jej stabilności, nie tracąc przy tym potencjału przeciwdrobnoustrojowego. W kolejnym etapie przeprowadziliśmy testy agregacyjne z wykorzystaniem testu kolorymetrycznego z tioflawiną T (ThT) oraz transmisyjnego mikroskopu elektronowego (TEM). Sprawdziliśmy też stabilność otrzymanych peptydów w osoczu oraz wykonaliśmy testy biologiczne weryfikujące ich aktywność przeciwdrobnoustrojową.

1. Wyniki

1.1. Projektowanie i synteza peptydów

Celem naszego projektu było zaprojektowanie i otrzymanie sekwencji fibrylogennych, posiadających silne właściwości agregacyjne, oraz sekwencji hybrydowych, będących połączeniem wspomnianych fragmentów z peptydem przeciwdrobnoustrojowym (rys. 1). Wszystkie sekwencje peptydowe przedstawione zostały w tabeli 1. Pierwszy z zaproponowanych przez nas fragmentów fibrylogennych: 1K o sekwencji $^{16}\text{KLVFFA}^{21}$ jest fragmentem peptydu β -amyloidowego, który tworzy motyw zamka sterycznego i posiada silną tendencję do tworzenia fibryli (Nelson i in. 2005: 435). Drugi z zaproponowanych przez nas fragmentów, o nazwie 1V, jest sekwencją pochodzącą z białka Tau i również tworzy ten sam motyw strukturalny charakteryzujący się silną tendencją do fibrylizacji (Perez i in. 2007: 103). Kolejny krok badań polegał na otrzymaniu hybryd peptydowych, czyli połączenia peptydu 1K i 1V z sekwencją WK13 (tab. 1), będącą zmodyfikowanym analogiem fragmentu ludzkiej katelicyny (LL-37) $^{17}\text{WKRIVQRIKDFLR}^{29}$ (Wang i in. 2019: 283) – nowe hybrydowe peptydy nazwaliśmy odpowiednio 3K oraz 3V. Zaproponowane związki otrzymano drogą syntezy na nośniku stałym, zgodnie z metodologią chemii Fmoc. Dla wszystkich pięciu peptydów w celu ich charakterystyki wykonane zostały analizy z wykorzystaniem chromatografii cieczowej oraz spektrometrii mas.



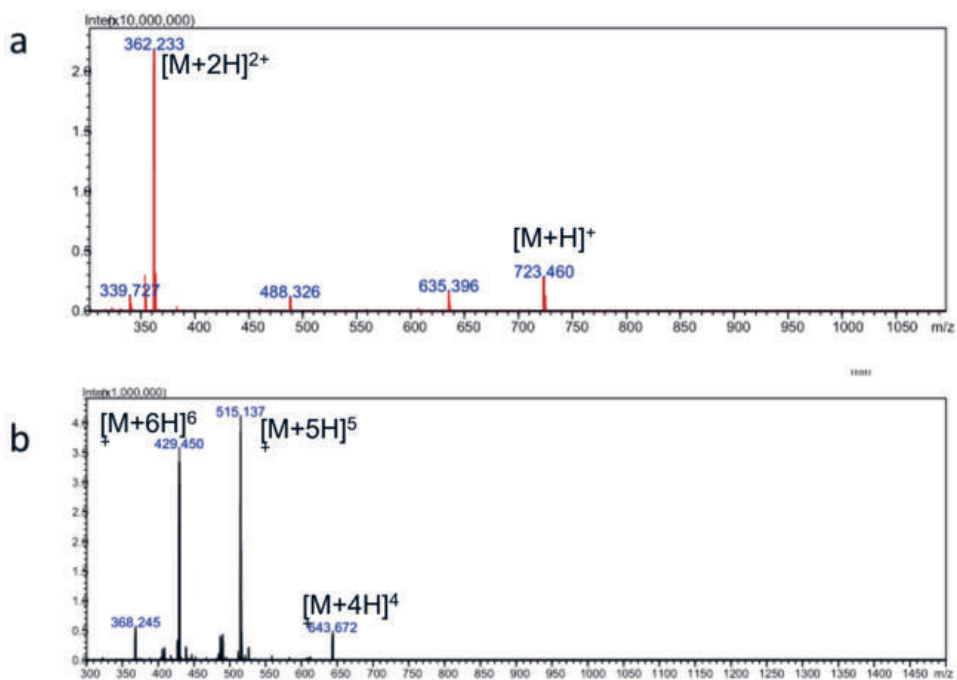
Rysunek 1. Schemat powstawania samoorganizujących się peptydów przeciwdrobnoustrojowych

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 1. Sekwencje zaprojektowanych i otrzymanych peptydów

Nazwa peptydu	Sekwencja aminokwasowa	Masa molowa obliczona	Masa molowa – eksperymentalna (rysunek 2, 3)
1K	KLVFFA-NH ₂	722,929	723,460
3K	KLVFFAWKRIVRRRIKRWLR-NH ₂	2571,253	2570,688
1V	VQIVYK-NH ₂	747,936	748,490
3V	VQIVYKWKRIVRRRIKRWLR-NH ₂	2596,103	2595,771
WK13	WKRIVRRRIKRWLR-NH ₂	1865,355	1865,291

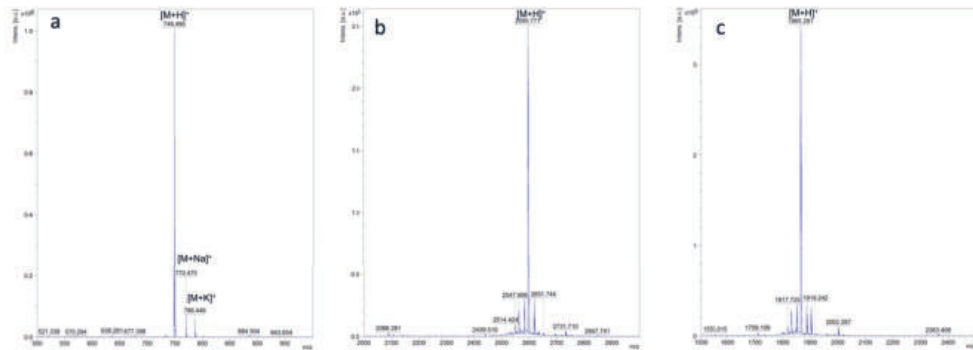
Źródło: Opracowanie własne.



Rysunek 2. Widma mas dla peptydów

a) 1K oraz b) 3K zarejestrowane techniką LCMS ESI IT ToF

Źródło: Opracowanie własne.



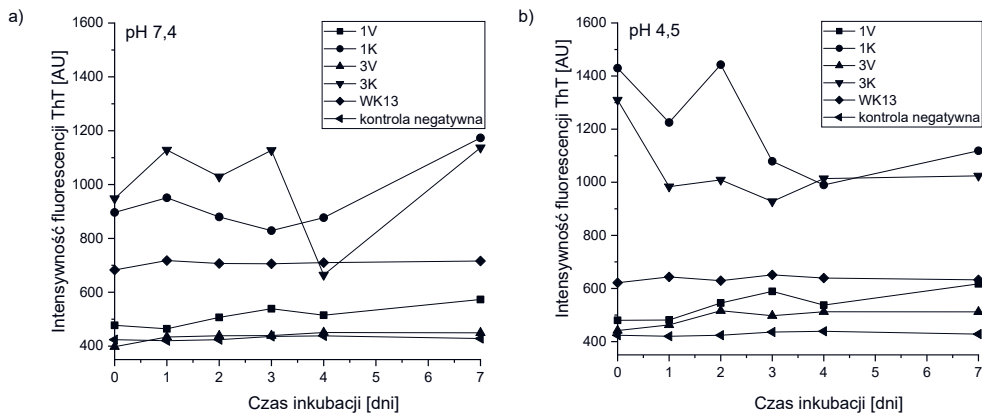
Rysunek 3. Widma mas dla peptydów

a) 1V; b) 3V oraz c) WK13 zarejestrowane techniką MALDI TOF

Źródło: Opracowanie własne.

1.2. Testy kolorymetryczne z tioflawiną T

W celu sprawdzenia, czy zaprojektowane związki tworzą fibryle peptydowe w pierwszej kolejności wykonano podstawowe testy kolorymetryczne z tioflawiną T. Barwnik ten w połączeniu z fibrylami, a dokładnie strukturami β , tworzy kompleks, który posiada charakterystyczne pasmo emisji przy około 482 nm (Xue i in. 2017: 4). Wszystkie związki inkubowano przez siedem dni w dwóch różnych buforach: a) PBS o pH 7,4 oraz b) octanie amonu pH 4,5. Następnie mieszaniny analizowano w obecności tioflawiny T. Następnie przeprowadzono proces fibrylizacji, monitorując jego przebieg testem kolorymetrycznym. W teście tym jako barwnik wykorzystuje się Tioflawiny T, natomiast kontrola procesu przebiega na podstawie pomiaru intensywności fluorescencji barwnika. Na rysunku 4 przedstawiono zależność intensywności fluorescencji tioflawiny T od czasu inkubacji dla wszystkich pięciu peptydów. W pH obojętnym najsilniej fibrylizują peptydy 1K, czyli peptyd zawierający sekwencję KLVFFA, oraz jego analog 3K, będący połączeniem sekwencji KLVFFA z sekwencją przeciwdrobnoustrojową. Natomiast drugi z zaprojektowanych związków (1V) oraz jego analog praktycznie nie tworzą fibryli. Podobna sytuacja występuje w środowisku kwaśnym, przy czym wartości intensywności fluorescencji ThT są nieco wyższe, co sugeruje większą ilość fibryli lub ich większe uporządkowanie. W pH kwaśnym obserwujemy również spadek wartości w siódmym dniu inkubacji, co wynika z wytrącania się fibryli z inkubowanych roztworów.

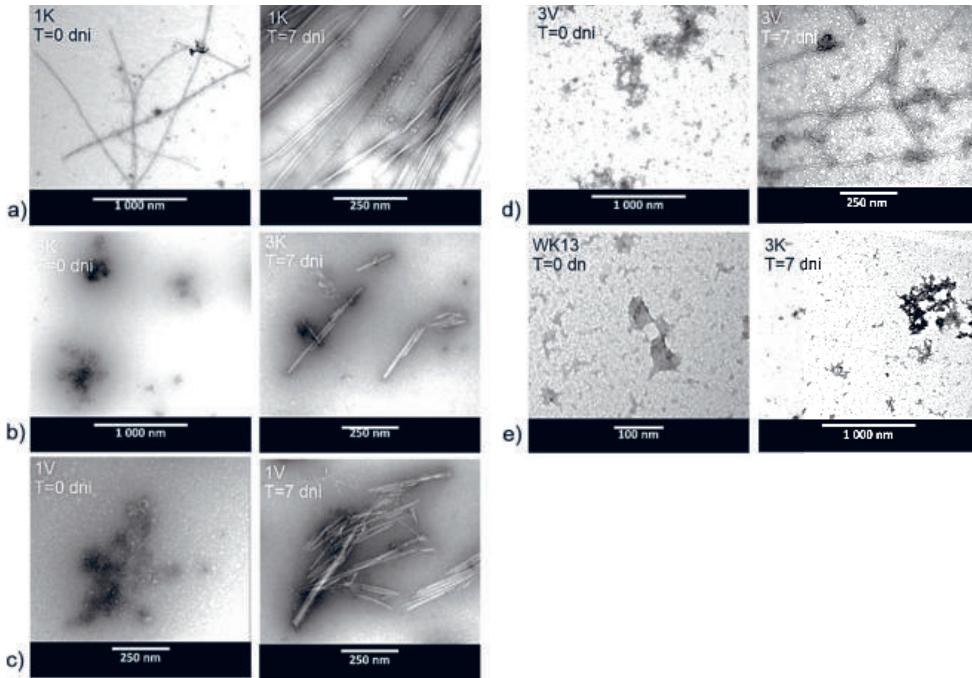


Rysunek 4. Wykres zależności intensywności fluorescencji kompleksu peptyd-tioflawina T od czasu inkubacji względem kontroli, w pH a) 7,4, b) 4,5

Źródło: Opracowanie własne.

1.3. Badania z wykorzystaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej

Drugą metodą wykorzystaną do sprawdzenia, czy zaprojektowane związki tworzą uporządkowane struktury fibrylarne była transmisyjna mikroskopia elektronowa. Na rysunku 5 przedstawiono uzyskane obrazy mikroskopowe dla wszystkich pięciu peptydów bezpośrednio po rozpuszczeniu (dzień „0”) oraz po siedmiodniowej inkubacji. Dla peptydu 1K już bezpośrednio po rozpuszczeniu obserwujemy powstawanie cienkich fibryli o średnicy 25 nm, dalsza inkubacja prowadzi do utworzenia większej ilości fibryli. Są one poskręcane lub połączone (posklejane) ze sobą, a dodatkowo są zdecydowanie dłuższe. Peptyd 3K tworzy fibryle, niemniej nie obserwujemy ich bezpośrednio po rozpuszczeniu a dopiero po upływie siedmiu dni inkubacji. Podobnie zachowują się dwa pozostałe peptydy, czyli 1V oraz analog 3V. Przy czym pierwszy z nich tworzy bardzo nieregularne, posklejane ze sobą, krótkie fibryle o średnicy 17 nm. Natomiast ilość fibryli obserwowanych na zdjęciu zarejestrowanym dla peptydu 3V jest niewielka, a utworzone fibryle są bardzo cienkie (średnica 11 nm) i długie do ok. 480 nm. Dla peptydu WK13 nie obserwujemy praktycznie żadnych uporządkowanych struktur. Zaciemnienia na obrazach TEM są najprawdopodobniej pozostałością octanu uranylu wykorzystywanego do wybarwienia próbek.



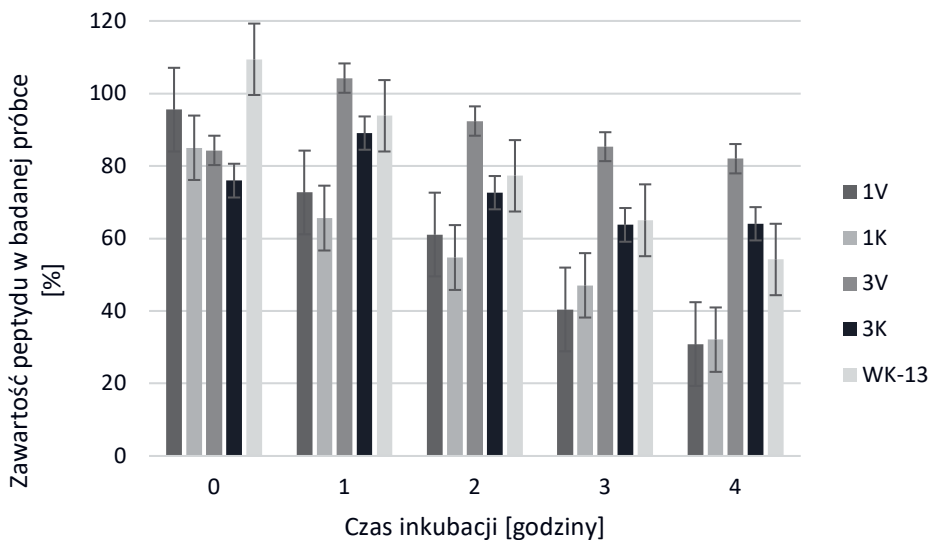
Rysunek 5. Obrazy z transmisyjnego mikroskopu elektronowego zarejestrowane dla:
a) peptydu 1K, b) 3K, c) 1V, d) 3V oraz e) WK13 w pH 7,4 w dniu „0” (początek inkubacji) –
lewa strona, po 7 dniach inkubacji – prawa strona

Źródło: Opracowanie własne.

1.4. Testy stabilności peptydów w ludzkim osoczu

W kolejnym etapie badań sprawdzono stabilność wszystkich związków, aby zweryfikować, czy połączenie sekwencji przeciwdrobnoustrojowej z fibrylogenną zwiększy stabilność tej pierwszej. W tym celu peptydy rozpuszczono w wodzie, a następnie dodano 25% roztwór ludzkiego osocza i inkubowano w ciągu 4 godzin w temperaturze 37°C z jednoczesnym wytrząsaniem. Następnie próbki analizowano za pomocą RP-UFLC (ang. Reverse Phase – Ultra Fast Liquid Chromatography). Z uzyskanych rezultatów (rys. 6) wynika, iż zawartość procentowa peptydów stanowiących fragment fibrylogenny (1K oraz 1V) wynosi około 30% w stosunku do kontroli. Procentowy spadek zawartości tych peptydów w badanych próbkach może wynikać nie tylko z degradacji enzymatycznej, ale również z oddziaływań peptydów z białkami osocza bądź ich precypitacji. Niemniej bez dodatkowych badań (np. chromatografia powinowactwa) nie mamy co do tego całkowitej pewności. Zdecydowanie większą stabilnością charakteryzują się potencjalne peptydy samoorganizujące się, czyli 3V oraz 3K, a nawet peptyd przeciwdrobnoustrojowy WK13. Przy czym stężenie tego

ostatniego zmniejsza się niemal o połowę w stosunku do kontroli (rys. 6). Połączenie sekwencji WK13 z fragmentami posiadającymi tendencję do tworzenia fibryli wpływa zatem na zwiększenie stabilności i mniejszą podatność na degradację enzymatyczną.



Rysunek 6. Wykres stabilności peptydów pokazujący zależność pomiędzy zawartością procentową peptydów w badanych próbkach od czasu oddziaływania z ludzkim osoczem, kolejno dla 1V, 1K, 3V, 3K oraz WK13 w trakcie czterogodzinnej inkubacji w temperaturze 37°C

Źródło: Opracowanie własne.

1.5. Analiza aktywności przeciwdrobnoustrojowej

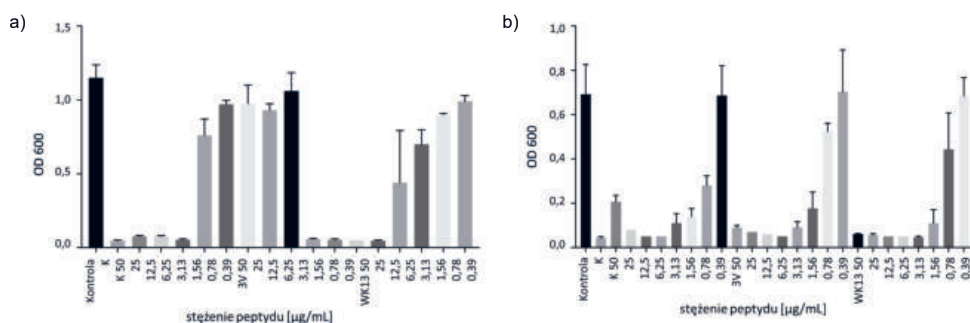
W celu sprawdzenia potencjału przeciwdrobnoustrojowego wykonano analizę aktywności przeciwdrobnoustrojowej dla wszystkich peptydów. W tym celu wyznaczono wartość minimalnego stężenia hamującego (ang. *minimal inhibitory concentration*, MIC) w stosunku do szczepów bakterii *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* z zastosowaniem procedury zalecanej przez Clinical Laboratory Standards Institute. Peptydy rozpuszczono w wodzie w zakresie stężeń od 50 do 0,39 $\mu\text{g}/\text{mL}$, stosując odpowiednie rozcieńczenia, a następnie dodawano do 96-dołkowej płytki wysianej odpowiednimi bakteriami. Wyniki analiz przedstawione zostały w tabeli 2. Z uzyskanych danych wynika, iż peptydy 1K oraz 1V nie powodują zahamowania wzrostu ilości obu szczepów bakterii. Natomiast zarówno peptyd 3K, jak i 3V posiadają takie właściwości przy stężeniu odpowiednio 12,5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ dla szczepu *E.coli* oraz 6,25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ dla *S.aureus*. Sama sekwencja przeciwdrobnoustrojowa – peptyd WK13 – powoduje zahamowanie wzrostu *E.coli* przy stężeniu 6,25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ a *S.aureus* 3,13 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

Tabela 2. Analiza aktywności przeciwdrobnoustrojowej dla peptydów 1K, 3K, 1V, 3V WK13

Nr	Peptyd	MIC [$\mu\text{g/mL}$]	
		<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>
1	1K	>50	>50
2	3K	12,5	6,25
3	1V	>50	>50
4	3V	12,5	6,25
5	WK13	6,25	3,13

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 7 przedstawiono dokładne badania MIC w zależności od stężenia dla peptydów wykazujących aktywność przeciwdrobnoustrojową, czyli peptydów: 3K, 3V oraz WK13 w stosunku do szczepu *E. coli* (rys. 7a) oraz *S. aureus* (rys. 7b) w czasie 24-godzinnej inkubacji.



Rysunek 7. Minimalne stężenie inhibicji dla (a) peptydów 3V oraz WK13 względem *E.coli*; (b) peptydów 3K, 3V oraz WK13 względem *S.aureus*

Źródło: Opracowanie własne.

2. Dyskusja

Wszystkie pięć zaprojektowanych peptydów poddano procesowi fazylizacji, który miał na celu utworzenie przez każdy ze związków fibryli peptydowych. Kontrola procesu za pomocą testu kolorymetrycznego z ThT pokazała jednak, że nie wszystkie peptydy tworzyły fibryle. W zależności od pH środowiska reakcji proces zachodził z różną wydajnością. W warunkach zbliżonych do fizjologicznych (pH 7,4) oraz w buforze PBS o pH 4,5 tylko peptydy 1K i 3K tworzyły silne kompleksy z ThT, co potwierdzają również obrazy mikroskopowe (rys. 6.). Obserwujemy na nich fibryle

peptydowe już bezpośrednio po rozpuszczeniu w przypadku 1K oraz po 7 dniach inkubacji dla peptydu 3K. Z kolei pozostałe peptydy według testu z Tioflawiną T nie tworzą stabilnych fibryli peptydowych. Obrazy z transmisyjnego mikroskopu elektronowego pokazują jednak, że w przypadku peptydu 1V oraz 3V dochodzi do utworzenia fibryli peptydowych. Rozbieżność pomiędzy wynikami najprawdopodobniej wynika z faktu, iż do testów z ThT użyto głównie supernatantu z nad wytrąconych fibryli, natomiast druga z wykorzystanych technik daje nam pełniejszy obraz tego, co znajduje się w całej mieszaninie. Obniżenie pH środowiska spowodowało, iż proces fibrylizacji w przypadku peptydów 1K oraz 3K zachodził szybciej i z lepszą wydajnością, co sugerują wyższe wartości intensywności fluorescencji ThT. Jest to zgodne z doniesieniami literaturowymi, które pokazują, że istotnie kwaśne środowisko sprzyja procesowi zarówno agregacji, jak i fibrylizacji. Jest to również czynnik wykorzystywany podczas projektowania nośników, ponieważ zmiana pH środowiska nie tylko może wpływać na szybkość i trwałość fibryli, ale również od niego zależy proces uwalniania substancji aktywnej (Cao i in. 2017: 7; Pranantyo i in. 2019: 20; Carratalá i in. 2020: 44).

Równoległe wykonywaliśmy testy agregacyjne, ThT oraz mikroskopowe dla samej sekwencji aktywnej. Z otrzymanych danych wynika, że niezmodyfikowana sekwencja WK13 praktycznie nie wykazuje właściwości fibrylogennych.

Oprócz potencjału fibrylogennego istotnym aspektem była odporność zaprojektowanych peptydów na degradację proteolityczną. Wykonane testy stabilności w ludzkim osoczu okazały się nieco zaskakujące. Fibryle peptydowe, czyli w tym przypadku peptydy 1K oraz 1V, powinny być bardzo stabilne i praktycznie nie ulegać degradacji, niemniej jednak podczas inkubacji z osoczem to dla nich obserwuje się największy spadek ilościowy w stosunku do kontroli. Może to być efektem asocjacji i oddziaływania z białkami osocza oraz silnej precypitacji tych związków. Odpowiedzią na tę hipotezę byłoby wykonanie testów powinowactwa, co jest planem dalszych badań. Niemniej Sawicka i in. (2021) pokazują, że dla krótkiego fragmentu fibrylogennego QAGIVV również obserwowano spadek stężenia w badaniach stabilności, a dodatkowo przeprowadzone testy powinowactwa pokazały, iż fibryle rzeczywiście oddziałują z białkami osocza i dochodzi do silnej precypitacji (Sawicka i in. 2021: 22). Przyglądając się stabilności pozostałych analogów, możemy zauważyć, że WK13 charakteryzuje się niewielką stabilnością (rys. 4), niemniej w połączeniu z sekwencjami fibrylogennymi (analog 3K oraz 3V) uzyskujemy znaczący wzrost stabilności w ludzkim osoczu (Wang 2008: 283). Uzyskany wynik jest bardzo istotny w kontekście aktywności przeciwdrobnoustrojowej. Przeprowadzone badania pokazują bowiem, że nowe hybrydowe związki prowadzą do zahamowania wzrostu bakterii podobnie jak peptyd natywny. Minimalne stężenie inhibicji jest nieco wyższe i mieści się w zakresie stężeń 12,5–50 µg/mL, jednak aktywność przeciwdrobnoustrojowa jest zasadniczo zachowana. Dla porównania wartości MIC dla cyklicznego peptydu bogatego w reszty lizyny (K) oraz leucyny (L) i potwierdzonej skuteczności hemolitycznej

znajduje się w wyższym przedziale stężeń (40–75 $\mu\text{g}/\text{mL}$), ale przeciwko aż 20 szczepom *A. baumannii* (Huang i in. 2012: 33; Chen i in. 2021: 12).

3. Podsumowanie

Dzięki przedstawionym badaniom udało nam się ustalić, że rzeczywiście krótkie, zaledwie sześćoaminokwasowe peptydy o odpowiednio dobranej i zweryfikowanej sekwencji aminokwasowej mogą determinować właściwości zdecydowanie dłuższych związków peptydowych. Są one na tyle znaczące, stabilne i trwałe, iż warunkują utrzymanie właściwości fibrylogennych ze związkami przeciwdrobnoustrojowymi. Szczególnie jeden z zaproponowanych przez nas analogów zasługuje na szczególną uwagę. Mianowicie sekwencja KLVFFA, czyli peptyd 1K, który ma silną tendencję do tworzenia fibryli, a tym samym determinuje właściwości fibrylogenne peptydu 3K. Trwałe fibryle warunkują poprawę stabilności i zwiększoną odporność na degradację enzymatyczną w stosunku do pojedynczego peptydu przeciwdrobnoustrojowego, jakim jest fragment ludzkiej katelicyny – WK13. Nasze badania wykazały, iż zaprojektowany związek 3K, który posiada jednocześnie zdolność do samoorganizacji, mimo modyfikacji nie traci zasadniczo aktywności przeciwdrobnoustrojowej.

4. Metody

4.1. Synteza peptydów

Synteza została przeprowadzona przy użyciu automatycznego syntezyzatora mikrofalowego Initiator+ Alastra (Biotage®) z przepływem ciągłym na nośniku stałym i użyciu w tym celu żywicy TentaGel S RAM (Rapp Polymere) o stopniu sadzenia 0,25 mmol/g żywicy. Fmoc chronione aminokwasy użyte do syntezy zostały zakupione z firmy GL Biochem. Do reakcji sprzęgania aminokwasy rozpuszczono do stężenia 0,5 mol/dm³ w DMF (*N,N*-dimetyloformamid, POCH), a jako odczynników sprzęgających użyto 1,0 M roztwór OxymaPure (AmBeed) oraz 0,5 M roztwór DIC (*N,N'*-Diizopropylkarbodiimid, Sigma Aldrich) w DMF. Do deprotekcji wykorzystano 20% roztwór piperydiny w DMF, natomiast do przemywania peptydyżywicy podczas kolejnych etapów syntezy użyto DMF, a w finalnym etapie również DCM (chlorek metylenu, EUROCHEM BGD Sp. z o.o.). Odszczepianie peptydów od nośnika stałego wykonano z jednoczesnym usunięciem osłon w łańcuchach bocznych poszczególnych aminokwasów. Procedura została wykonana z założeniem, że na zdjęcie peptydu z 1 g żywicy potrzebne jest 10 mL roztworu ściągającego. W tym celu przygotowano łącznie 16 mL roztworu o podanym składzie: 88% TFA (kwas trifluorooctowy, Sigma Aldrich) + 2% TIPSI (triizopropyllosilan, Sigma Aldrich) + 5% fenol (Sigma Aldrich) + 5% woda (v:v:v). Ponieważ peptydy 3V, 3K oraz WK13, posiadał w swoim składzie kilka reszt arginin, proces odszczepienia peptydu od żywicy prowadziliśmy

przez 4,5 godziny. Dla 1V oraz 1K proces ten trwał 2 godziny. Następnie roztwór TFA odparowano, strącono zimnym eterem dietylowym i zliofilizowano. Oczyszczenie przeprowadzono z wykorzystaniem preparatywnego systemu wysokosprawnej chromatografii cieczerwowej w fazach odwróconych (RP-HPLC, Shimadzu) na kolumnie Kromasil C8 100 Å o wymiarach 250 mm × 16 mm, wielkość ziarna 5 µm, przy przepływie 10 mL/min. i detekcji przy długości fali $\lambda = 226$ nm. Rozdział chromatograficzny prowadzono w liniowym gradiencie, dobranym w zależności od charakteru peptydu. Fazę ruchomą stanowił układ rozpuszczalników: A = 0,1% TFA w wodzie (v:v) i B = 80% ACN w wodzie z 0,1% TFA (v:v). Następnie peptydy scharakteryzowano, wykorzystując RP-HPLC (Shimadzu) z kolumną analityczną Jupiter 4 µm Proteo 90 Å o wymiarach 250 × 4,6 mm (Phenomenex) w gradiencie 5-100% układu B przy przepływie 1 ml/min oraz długości fali 223 nm oraz spektrometrii mas (LC-MS) ESI IT ToF (Shimadzu) na kolumnie Kromasil C8, 5 µm 100 Å o wymiarach 1 mm × 250 mm (Phenomenex), przy długości fali 223 nm w gradiencie 3-100% układu B przy przepływie 1 mL/min w czasie 30 min lub MALDI-TOF/TOF Autoflex[®]maX (Bruker).

4.2. Fibrylizacja peptydów

Wszystkie peptydy rozpuszczono w probówkach typu Eppendorf w roztworach: PBS pH 7,4 lub octanie amonu o pH 4,5 w zależności od eksperymentu do stężenia 1,0 mg/mL. Następnie peptydy inkubowano w temperaturze 37°C z ciągłym wytrząsaniem.

4.3. Test fluorescencji z Tioflawiny T

Z roztworów peptydów inkubowanych w warunkach podanych w punkcie 4.2 po upływie 0, 1, 2, 3, 4 oraz 7 dni inkubacji pobierano po 20 µL i dodano 10 µL 1,6 mM ThT w wodzie oraz 80 µL PBS pH 7,4 lub 80 µL octanu amonu pH 4,5 w zależności od warunków fibrylizacji. 96-dołkową płytkę (Costar 96 Flat Black[®]) inkubowano przez 1 godzinę w temperaturze 37°C, a następnie poddawano pomiarowi intensywności fluorescencji ThT w czytniku płytek Infinite 200 Pro firmy TECAN[®], wykorzystując pasmo wzbudzenia przy 420 nm i emisji w zakresie od 455 do 599 nm. Maksimum emisji przy 480 nm. Inkubacje wykonano trzykrotnie, a prezentowane wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z przeprowadzonych pomiarów.

4.4. Transmisyjna mikroskopia elektronowa

Próbki peptydów (1 µL) o stężeniu 1 mg/ml pobranych bezpośrednio po rozpuszczeniu w roztworze PBS o pH 7,4 (T = 0 dni) oraz po 7 dniach inkubacji (T = 7 dni) nałożono na siatkę celulozową (FCU300Cu, Microshop), a następnie wybarwiono 1,5% (v/v) wodnym roztworem octanu uranylu i analizowano w aparacie TECNAI

SPIRIT BIO TWIN FEI przy 120 kV. Zdjęcia zostały zarejestrowane na Wydziale Biologii Uniwersytetu Gdańskiego w Laboratorium Mikroskopii Elektronowej.

4.5. Test stabilności peptydów w ludzkim osoczu

Testy stabilności peptydów wykonano za pomocą dwóch procedur: a) z wykorzystaniem 15% kwasu trichlorooctowego (TCA) i b) mieszaniny 6 M mocznika w kwasie mrówkowym i wodzie jako odczynników strącających. Procedurę a) wykorzystano dla peptydów 1V i 1K, procedurę b) dla 3V, 3K oraz WK13. Wszystkie peptydy rozpuszczono w wodzie do stężenia 0,625 mg/mL, a następnie dodano 300 μ L 25% serum i inkubowano w termomikserze Thermomixer comfort (Eppendorf) w temperaturze 37°C z jednoczesnym wytrząsaniem (400 RPM). Po upływie 0, 1, 2, 3, 4 godzin inkubacji pobierano po 100 μ L inkubowanego peptydu, dodając:

- a) 25 μ L 15% roztworu TCA, tak aby stężenie końcowe peptydów wynosiło 0,3125 μ L/mL;
- b) 25 μ L mieszaniny 6 M mocznika/kwasu mrówkowego/wody (70:20:8 v:v:v).

Pobierane próbki następnie pozostawiano na 10 min w lodzie i wirowano przy użyciu wirówki BECKMAN COULTER (Microfuge[®]) przy obrotach wynoszących 14 000 RPM w czasie 10 min. Kolejno pobrano 80 μ L supernatantu i analizowano przy użyciu RP-UFLC (Shimadzu) na kolumnie Jupiter 4 μ , 90 Å o wymiarach 150 mm \times 2 mm w gradiencie 1-80% układu B w 20 min dla peptydów 1V, 1K oraz 1-50% układu B w 20 min dla 3V, 3K, WK13 z detekcją przy $\lambda = 223$ nm. Jako kontrolę stanowiły roztwory peptydów w wodzie bez dodatku osocza. Inkubację wykonano trzykrotnie, a prezentowane wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z przeprowadzonych pomiarów. Wyniki przedstawiono jako zależność procentowej zawartości badanych związków od czasu inkubacji.

4.6. Minimalne stężenie inhibicyjne

Ocenę aktywności przeciwdrobnoustrojowej związków (peptydów) przeprowadzono, opierając się na metodzie seryjnych rozcieńczeń z wykorzystaniem sterylnych płytek 96-dołkowych. Badania przeprowadzono dla wybranych referencyjnych szczepów bakterii *Escherichia coli* PCM 2057 oraz *Staphylococcus aureus* PCM 2054. Do badań zastosowano pożywkę Mueller-Hinton. Wpływ peptydów w stężeniach od 0,78 do 100 μ g/ml na mikroorganizmy analizowano po 24 godzinach inkubacji związków w temperaturze 37°C z zawiesiną bakterii (10^5 CFU/ml; ang. *colony forming units*, CFU). Ilościową ocenę właściwości przeciwdrobnoustrojowych przeprowadzono, wykonując pomiar absorbancji przy długości fali 600 nm z wykorzystaniem czytnika mikropłytek Perkin Elmer. Jako kontrolę pozytywną wykorzystano hodowlę bakteryjną bez dodatku peptydów, z kolei niezaszczepioną pożywkę wykorzystano jako kontrolę negatywną. Wszystkie pomiary wykonano co najmniej trzykrotnie.

Aktywność przeciwdrobnoustrojową przedstawiono jako minimalne stężenie hamujące w 100% widoczny rozwój mikroorganizmów (MIC).

Bibliografia

- Bolhassani A., 2011, *Potential efficacy of cell-penetrating peptides for nucleic acid and drug delivery in cancer*, „Biochimica et Biophysica Acta – Reviews on Cancer”, Vol. 1816.
- Brogden K.A., 2005, *Antimicrobial peptides: Pore formers or metabolic inhibitors in bacteria?*, „Nature Reviews Microbiology”, Vol. 3.
- Cao J., Zhang Y., Shan Y., Wang J., Liu F., Liu H., Xing G., Lei J., Zhou J., 2017, *A pH-dependent Antibacterial Peptide Release Nano-system Blocks Tumor Growth in vivo without Toxicity*, „Scientific Reports”, Vol. 7.
- Carratalá J.V., Serna N., Villaverde A., Vazquez E., Ferrer-Miralles N., 2020, *Nanostructured antimicrobial peptides: The last push towards clinics*, „Biotechnology Advances”, Vol. 44.
- Chaberska A., Rosiak P., Kamiński Z.J., Kolesińska B., 2017, *Rusztowania scaffolds stosowane w medycynie Regeneracyjnej*, „Wiadomości Chemiczne”, Vol. 71.
- Chen S.P., Chen E.H-L., Yang S.Y., Kuo P.S., Yang T.C., Hsieh M.Y., Lee K.T., Lin C.H., 2021, *A Systematic Study of the Stability, Safety, and Efficacy of the de novo Designed Antimicrobial Peptide PepD2 and Its Modified Derivatives Against Acinetobacter baumannii*, „Frontiers in Microbiology”, Vol. 12.
- Chen W., Yang S., Li S., Lang J.C., Mao C., Kroll P., Tang L., Dong H., 2019, *Self-Assembled Peptide Nanofibers Display Natural Antimicrobial Peptides to Selectively Kill Bacteria without Compromising Cytocompatibility*, „ACS Applied Materials and Interfaces”, Vol. 11.
- Dürr U.H.N., Sudheendra U., Ramamoorthy A., 2006, *LL-37, the only human member of the cathelicidin family of antimicrobial peptides*, „Biochimica et Biophysica Acta – Biomembranes”, Vol. 1758.
- Fjell C.D. Hiss J., Hancock R., Schneider G., 2012, *Designing antimicrobial peptides: form follows function*, „Nature Reviews Drug Discovery”, Vol. 11.
- Goldschmidt L., Teng P., Riek R., Eisenberg D., 2010, *Identifying the amyloids, proteins capable of forming amyloid like fibrils*, „PNAS USA”, Vol. 107.
- Gonçalves S., Silva P., Felício M., de Medeiros L., Kurtenbach E., Santos N., 2017, *Psd1 effects on Candida albicans planktonic cells and biofilms*, „Frontiers in Cellular and Infection Microbiology”, Vol. 7.
- Hancock R.E.W. i Chapple D.S., 1999, *Peptide Antibiotics*, „Antimicrobial Agents and Chemotherapy”, Vol. 43 (6).
- Henc I., Bryl E., 2013, *Chemokiny jako ważne mediatory stanu zapalnego*, „Forum Medycyny Rodzinnej”, Vol. 7.
- Hosseinkhani H., Hong P.D., Yu D.-S., 2013, *Self-Assembled Proteins and Peptides for Regenerative Medicine*, „Chemical Reviews”, Vol. 113.
- Huang Y., Wiradharma N., Xu K., Ji Z., Bi S., Li L., Yang Y.Y., Fan W., 2012, *Cationic amphiphilic alpha-helical peptides for the treatment of carbapenem-resistant Acinetobacter baumannii infection*, „Biomaterials”, Vol. 33.
- Huang Y., Huang J., Chen Y., 2010, *Alpha-helical cationic antimicrobial peptides: Relationships of structure and function*, „Protein and Cell”, Vol. 1.
- Iłowska E., Barciszewski J., Jaskólski M., Moliński A., Kozak M., Szymańska A., 2022, *Identification of a Steric Zipper Motif in the Amyloidogenic Core of Human Cystatin C and Its Use for the Design of Self-Assembling Peptides*, „International Journal of Molecular Sciences”, Vol. 23.

- Kumada Y., Zhang S., 2010, *Significant type I and type III collagen production from human periodontal ligament fibroblasts in 3d peptide scaffolds without extra growth factors*, „PLOS ONE”, Vol. 5.
- Lee S., Trinh T.H.T., Yoo M., Shin J., Lee H., Kim J., Hwang E., Lim Y.B., Ryou C., 2019, *Self-assembling peptides and their application in the treatment of diseases*, „International Journal of Molecular Sciences”, Vol. 20.
- Mahlapu M., Hakansson J., Ringstad L., Bjorn C., 2016, *Antimicrobial Peptides: An Emerging Category of Therapeutic Agents*, „Frontiers in Cellular and Infection Microbiology”, Vol. 6.
- Maji S.K., Schubert D., Rivier C., Lee S., Rivier J., Riek R., 2008, *Amyloid as a depot for the formulation of long-acting drugs*, „PLOS Biology”, Vol. 6.
- Makowska M., Prahł A., Małuch I., 2019, *Charakterystyka peptydów przeciwdrobnoustrojowych oraz wpływ modyfikacji chemicznych na modulowanie ich aktywności biologicznej*, „Postępy Biochemii”, Vol. 65.
- Magana M., Pushpanathan M., Santos A.L., Leanse L., Fernandez M., Ioannidis A., Giulianotti M.A., Apidianakis Y., Bradfute S., Ferguson A.L., Cherkasov A., Seleem M.N., Pinilla C., Fuente-Nunez C., Lazaridis T., Dai T., Houghten R.A., Hancock R.W., Tegos G.P., 2020, *The value of antimicrobial peptides in the age of resistance*, „The Lancet Infectious Diseases”, Vol. 20.
- Mankar S., Anoop A., Sen S., Maji S., 2011, *Nanomaterials: amyloids reflect their brighter side*, „Nano Reviews”, Vol. 2.
- Marini D.M., Hwang W., Lauffenburger D.A., Zhang S., Kamm R.D., 2002, *Left-Handed Helical Ribbon Intermediates in the Self-Assembly of a β -Sheet Peptide*, „Nano Letters”, Vol. 2.
- Nelson R., Sawaya M.R., Balbirnie M., Madsen A., Riekel C., Grothe R., Eisenberg D., 2005, *Structure of the cross- β spine of amyloid-like fibrils*, „Nature”, Vol. 435.
- O'Neill J., 2016, *Tackling drug – resistant infections globally: final report and recommendations*, „Review on Antimicrobial Resistance”, May.
- Perez M., Santa-María I., Tortosa E., Cuadros R., Valle M.D., Hernández F., Moreno F.J., Avila J., 2007, *The role of the VQIVYK peptide in tau protein phosphorylation*, „Journal of Neurochemistry”, Vol. 103.
- Pranantyo D., Liu P., Zhong W., Kang E.T., Chan-Park M.B., 2019, *Antimicrobial Peptide-Reduced Gold Nanoclusters with Charge Reversal Moieties for Bacterial Targeting and Imaging*, „Biomacromolecules”, Vol. 20.
- Rajagopal K., Schneider J.P., 2004, *Self-assembling peptides and proteins for nanotechnological applications*, „Current Opinion in Structural Biology”, Vol. 14.
- Sawicka J., Iłowska E., Deptuła M., Sosnowski P., Sass P., Czerwiec K., Chmielewska K., Szymańska A., Pietralik-Molińska Z., Kozak M., Sachadyn P., Pikuła M., Rodzewicz-Motowidło S., 2021, *Functionalized peptide fibrils as a scaffold for active substances in wound healing*, „International Journal of Molecular Sciences”, Vol. 22.
- Singh A., Bhattacharya R., Shakeel A., Sharma A.K., Jeevanandham S., Kumar A., Chattopadhyay O.S., Bohidar H.B., Ghosh S., Chakrabarti S., Rajput S.K., Mukherjee M., 2019, *Hydrogel nanotubes with ice helices as exotic nanostructures for diabetic wound healing*, „Materials Horizons”, Vol. 6.
- Smith J.F., Knowles T., Dobson C., Macphee C., Weland M., 2006, *Characterization of the nanoscale properties of individual amyloid fibrils*, „PNAS”, Vol. 103 (43).
- Wang G., 2008, *Structures of human host defense cathelicidin LL-37 and its smallest antimicrobial peptide KR-12 in lipid micelles*, „The Journal of Biological Chemistry”, Vol. 283.
- Wang G., Narayana J.L., Mishra B., Zhang Y., Wang F., Wang C., Zarena D., Lushnikova T., Wang X., 2019, *Design of antimicrobial peptides: Progress made with human cathelicidin LL-37*, „Advances in Experimental Medicine and Biology”, Vol. 1117.

Wei G., Su Z., Reynolds N.P., Arosio P., Hamley I.W., Gazitf E., Mezzenga R., 2017, *Self-assembling peptide and protein amyloids: From structure to tailored function in nanotechnology*, „Chemical Society Reviews”, Vol. 46.

Xue C., Lin T.Y., Chang D., Guo, Z. 2017, *Thioflavin T as an amyloid dye: Fibril quantification, optimal concentration and effect on aggregation*, „Royal Society Open Science”, Vol. 4(1).

Yan S.J., Zhan S., 2006, *Self-assembling Behavior of Designer Lipid-like Peptides*, „Supramolecular Chemistry”, Vol. 18.

Zhang S., 2002, *Emerging biological materials through molecular self-assembly*, „Biotechnology Advances”, Vol. 20.

Biogramy

Milena Czeszejko – absolwentka studiów magisterskich Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego (Analityka i Diagnostyka). Swoje badania z zakresu chemii peptydów prezentowała na międzynarodowej konferencji „Scientific-professional conference on Environmental protection” w Splicie. Jej zainteresowania naukowe to chemia organiczna oraz farmakologia.

Kamil Klimkowski – absolwent studiów magisterskich Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego, jego zainteresowania naukowe skupione są wokół chemicznych syntez peptydów, ich analiz oraz możliwości wykorzystania w medycynie. Autor kilku wystąpień ustnych oraz prezentacji posterowych z dziedziny chemii organicznej.

Emilia Howska – doktor inżynier, adiunkt w Katedrze Chemii Organicznej na wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego. Absolwentka wydziału Chemii UG (kierunek Chemia) oraz Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej (kierunek Technologia Chemiczna). Kierownik grantu PRELUDIUM, beneficjentka wielu grantów dedykowanych młodym naukowcom. Interesuje się chemią peptydów, w szczególności peptydowymi, fibrylogennymi systemami dostarczania leków, medycyną regeneracyjną oraz chorobami neurodegeneracyjnymi.

Milena Czeszejko – a graduate of the Master’s studies at the Faculty of Chemistry at the University of Gdańsk (Analytics and Diagnostics). She presented her research in the field of peptide chemistry at the international conference „Scientific-professional conference on Environmental protection” in Split. Her scientific interests include organic chemistry and pharmacology.

Kamil Klimkowski – a graduate of the Master’s studies at the Faculty of Chemistry at the University of Gdańsk. His research interests are focused on chemical syntheses of peptides, their analyzes and the possibilities of their use in medicine. Author of several oral and poster presentations in the field of organic chemistry.

Emilia Howska – PhD in engineering; an assistant professor at the Department of Organic Chemistry at the Faculty of Chemistry UG. MSc Graduate from the Faculty of Chemistry UG (majoring in Chemistry) and the Faculty of Chemistry, the Gdansk University of Technology (majoring in Chemical Technology). Principal Investigator and leader of the PRELUDIUM project, beneficiary of many grants dedicated to young scientists. She is interested in peptide chemistry, especially in peptide-based fibrillogenic drug delivery systems, regenerative medicine and neurodegenerative diseases.



Charakterystyka oraz mechanizmy powstawania chwilowych zjawisk świetlnych – artykuł przeglądowy

Emilia Mykowska | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0003-3173-4413>

Streszczenie

Słowa kluczowe:
jonosfera, pioruny,
duszki, elfy,
strumienie

Plazma zawarta w jonosferze jest jedną z przyczyn powstawania wielu zjawisk świetlnych. Oprócz zorzy polarnej zaobserwować w niej można barwne i różnorodnie chwilowe zjawiska świetlne, których wystąpienie bardzo często towarzyszy chmurom burzowym oraz piorunom. Wśród rodzajów wyładowań piorunowych wyróżnić można dosyć rzadkie dodatnie wyładowania doziemne, których część prowadzi do pojawienia się duszków o czerwonym kolorze. Jeśli wyładowanie doziemne będzie wystarczająco silne, może skutkować powstaniem impulsu elektromagnetycznego wywołującego elfy, widoczne jako kręgi rozchodzącego się czerwonego światła. Wśród dobrze poznanych chwilowych zjawisk świetlnych wyróżnić można również strumienie, których powstanie związane jest z wystąpieniem niezrównoważonego ładunku w chmurze burzowej. Innymi, nadal słabo zbadanymi, zjawiskami świetlnymi jonosfery są m.in. gnomy, wróżki, trolle oraz duchy.

Characteristics and mechanisms of generation of transient luminous events – a review (Summary)

Keywords:
ionosphere,
lightnings, sprites,
elves, jets

The plasma contained in the ionosphere enables the formation of many light phenomena. Apart from the aurora borealis, colourful and diverse transient luminous events can be observed in the ionosphere, the formation of which is very often associated with thunderstorm clouds and lightning. Among the types of discharges, we can distinguish quite rare positive ground discharges, some of which lead to the appearance of red-coloured sprites. If the discharge is strong enough, it can lead to an electromagnetic pulse causing elves, visible as circles of propagating red light. Among the well-studied transient luminous events, one can also distinguish jets, whose origin is related to the occurrence of an unbalanced charge in a storm cloud. Other, still poorly studied, light phenomena of the ionosphere include gnomes, pixies, trolls, and ghosts.

Wstęp

Chwilowe (przejściowe) zjawiska świetlne (*transient luminous events*) są stale odkrywaniem i badaniem obszarem nauki dotyczącym jonosfery. Jest to dziedzina stosunkowo nowa, gdyż pierwsze chwilowe zjawisko świetlne zostało zarejestrowane w 1989 roku (Franz, Nemzek, Winckler 1990: 48), jednak stale rozwijająca się. Dzięki swoim niezwykłym kształtom oraz różnorodnym barwom, przechodzącym przez rozmaite odcienie czerwieni, fioletu, niebieskiego czy zielonego, są to zjawiska bardzo interesujące, o czym świadczy wiele wydawanych publikacji dotyczących tego tematu. Kolejne ewenementy odkrywane są do dnia dzisiejszego, czego przykładem są duchy o zielonej barwie odkryte w 2020 roku (Phillips 2020).

Podstawowe informacje dotyczące jonosfery

Atmosferę ziemską podzielić można na kilka warstw, różniących się między sobą temperaturą, składem chemicznym mieszaniny występujących gazów oraz stopniem jonizacji cząsteczek (Rybka 1975: 101–102). Jonosfera rozciąga się na wysokości około 50–500 km, co oznacza, że jest ona poddana działaniu promieniowania słonecznego oraz kosmicznego. Zarówno promieniowanie słoneczne, jak i kosmiczne są w stanie jonizować atomy oraz cząsteczki znajdujące się w atmosferze, czego produktami są aniony oraz kationy. Skutkiem tego zjawiska jest występowanie w jonosferze znacznych ilości plazmy (Kelley 2009: 5–6). Plazma jest mieszaniną dodatnich, ujemnych, a także elektrycznie obojętnych cząstek znajdujących się w stanie quasi-równowagi. Mimo że plazma w istotnym stopniu składa się ze zjonizowanych indywidualów, w skali makroskopowej jest elektrycznie obojętna. Materia ta powstaje nieustannie w wyniku działania promieniowania wysokoenergetycznego oraz ulega unicestwieniu na skutek zachodzących reakcji rekombinacji (Sedlak 1972: 125–126). Zależnie od tego, który z tych procesów jest procesem przeważającym, zmienia się gęstość plazmy. Gęstość jest parametrem, ze względu na który jonosferę podzielono na trzy warstwy. Warstwę najwyższą stanowi warstwa F, znajdująca się na wysokości około 150–500 km. Ze względu na swoje położenie jest ona najbardziej narażona na jonizujące działanie promieniowania słonecznego oraz kosmicznego. Z tego powodu warstwa F charakteryzuje się największą gęstością plazmy. W regionie tym znaczną część występujących indywidualów stanowią kationy O^+ powstające w wyniku fotodysocjacji cząsteczkowego tlenu. Poniżej, na wysokości 90–150 km, rozciąga się warstwa E charakteryzująca się niższą gęstością plazmy. Warstwę znajdującą się na wysokości 50–90 km stanowi warstwa D, której gęstość plazmy, ze względu na malejącą intensywność dochodzącej wiązki promieniowania, jest zdecydowanie najmniejsza. W warstwie E oraz D znacznie bardziej istotną rolę niż atomy odgrywają zjonizowane cząsteczki – m.in. NO^+ , O_2^+ oraz N_2^+ . W ciągu nocy, kiedy jonosfera nie jest narażona na działanie promieniowania słonecznego, gęstość plazmy maleje ze względu na przeważające procesy rekombinacji. Jako że zjonizowane cząsteczki znacznie łatwiej

ulegają rekombinacji niż zjonizowane atomy, gęstość plazmy w strefie F maleje nieznacznie, natomiast warstwa D praktycznie zanika (Kelley 2009: 5–11).

Rodzaje zjawisk świetlnych występujących w jonosferze

Najbardziej znanymi zjawiskami świetlnymi występującymi w jonosferze są zorze polarne, spowodowane wzbudzeniem indywidualów chemicznych przez wiatr słoneczny. Wiatr słoneczny to strumień plazmy składający się głównie z protonów oraz cząstek α . Na wiatr słoneczny docierający do Ziemi wpływa jej silne pole magnetyczne, co może powodować jego przyspieszenie (Jaugey 2007: 2–7). Zderzający się z występującymi w górnej atmosferze atomami i cząstkami strumień plazmy powoduje ich wzbudzenie. Następnie indywiduala znajdujące się w stanie wzbudzonym wracają do stanu podstawowego, emitując energię w postaci światła. Światło to ma różną barwę, zależnie od tego, na który stan elektronowy została wzbudzona dana cząsteczka lub atom. Przykładowo, atomowy tlen może emitować promieniowanie o długości fali około 556 oraz 630 nm, co skutkuje obserwowaniem kolejno zielonej lub czerwonej barwy zorzy polarnej (Kivelson, Russell 1995: 459–469).

Innymi, zdecydowanie mniej znanymi, zjawiskami świetlnymi są tzw. chwilowe zjawiska świetlne. Są to trudno zauważalne ludzkim okiem krótkotrwałe błyski światła powstające w jonosferze. Zaliczyć do nich można m.in. duszki, elfy, niebieskie strumienie, trolle czy gnomy. Są to zjawiska stale odkrywane, dlatego mechanizm powstawania części z nich nie został jeszcze zbadany. Niejednokrotnie możliwość ich zaobserwowania związana jest z występowaniem chmur burzowych oraz piorunów (Phillips 2020).

Chmury burzowe oraz pioruny

Chmurami burzowymi odpowiedzialnymi za powstawanie piorunów są najczęściej kłębiaste chmury deszczowe Cumulonimbus. Zazwyczaj rozciągają się one na szerokość do 20 km i mają od 8 do 12 km wysokości (Uman 1984: 1–2). Chmury te powstają na skutek unoszenia się masy ciepłego, wilgotnego powietrza. Wznosząca się para wodna napotyka gęste, zimne powietrze, co powoduje jej skroplenie, a także zamarzanie, czego efektem jest powstanie kryształków lodu. Większe kryształki, ze względu na swoją masę, zaczynają opadać, natomiast kryształki małe unoszone są wraz z kroplami wody. Między przenoszonymi w przeciwnych kierunkach ciałami stałymi prawdopodobnie dochodzi do tarcia, co skutkuje utratą elektronów przez mniejsze kryształki i ułożeniem ich na kryształkach większych (Sokołowska 2009: 15–16). Proces ten powoduje ujemne naelektryzowanie się dolnej warstwy chmury burzowej znajdującej się na wysokości około 7 km n.p.m. oraz dodatnie naelektryzowanie się warstwy górnej rozciągającej się na wysokości około 10 km n.p.m. Na skutek oddziaływań elektrostatycznych elementy znajdujące się na

ziemi pod chmurą burzową zostają naelektryzowane dodatnio, natomiast te występujące w dalszej odległości od chmury burzowej – naelektryzowane ujemnie (Dwyer 2014: 149–150) – rysunek 1.



Rysunek 1. Rozkład ładunków elektrycznych powstałych na skutek uformowania się chmury burzowej

Źródło: (Dwyer 2014: 150–151).

Wyładowania piorunowe można podzielić ze względu na ośrodki, między którymi występują. Znane są m.in. wyładowania występujące w obrębie jednej chmury (wewnątrzchmurowe), między dwiema chmurami (międzychmurowe), czy też wyładowania występujące pomiędzy chmurą a ziemią (Uman 1984: 1). Wyładowanie chmura – ziemia powstaje, gdy między chmurą burzową a powierzchnią Ziemi powstaje silne pole elektrostatyczne mogące prowadzić do wyładowania pilotującego. Wyładowanie to prowadzi do zmniejszenia oporności elektrycznej powietrza, a także do powstania zjonizowanego kanału, co skutkuje wystąpieniem wyładowania głównego. Wyładowanie główne charakteryzuje się mniejszą prędkością (10 000 km/h) niż wyładowanie pilotujące (30 000 km/h), niesie natomiast znacznie większy ładunek – natężenie przepływającego prądu może wynieść od 30 do 50 kA (Sokołowska 2009: 16). Ze względu na kierunek wyładowania pioruny można podzielić na doziemne oraz oddolne, natomiast biorąc pod uwagę ładunek przenoszony przez wyładowania, wyróżnić można wyładowania ujemne oraz dodatnie. Zdecydowaną większość wszystkich wyładowań między chmurą a powierzchnią, bo aż 90%, stanowią wyładowania ujemne (Dwyer 2014: 150–151).

Duszki – charakterystyka i powstawanie

Pierwszym, chwilowym zjawiskiem świetlnym były duszki (*sprites*), zarejestrowane w 1989 roku podczas burzy z piorunami (Franz, Nemzek, Winckler 1990: 48). Są to widoczne gołym okiem błyski światła trwające zaledwie kilka milisekund.

Pojawiają się one nad chmurami burzowymi w dolnej jonosferze, na wysokości 50–90 km. Zależnie od wysokości zjawisko to charakteryzuje się barwą od czerwonej do fioletowoniebieskiej. Duszki składają się z wielu struktur o kształcie pionowych kolumn lub stożków posiadających średnicę do 100 m i mogących rozciągać się na szerokość nawet 40 km (Neubert 2003: 747). Początkowo pojawiają się one na wysokości około 70–75 km, a następnie, zależnie od typu duszka, rozprzestrzeniają się w kierunku dolnym lub dolnym oraz górnym (Cummer i in. 2006: 2) z prędkością 10^7 – 10^8 m/s (McHarg, Haaland 2002: 9). Powstanie duszków najczęściej związane jest z wystąpieniem silnego dodatniego wyładowania doziemnego (Valdivia, Milikh, Papadopoulos 1997: 3169). Wyładowania te stanowią około 10% wszystkich wyładowań między chmurą a ziemią i powodują obniżenie dodatniego ładunku chmury (Dwyer 2014: 150). Przy takim wyładowaniu górna, dodatnio naładowana, część chmury burzowej oddziałuje z ujemnie naelektryzowanymi elementami znajdującymi się na ziemi. Elementy te oddalone mogą być nawet o 50 km od chmury burzowej, dlatego wyładowanie to często charakteryzuje się początkowo poziomym kształtem (Cieślak 2017: 8).

W ciągu kilkudziesięciu lat od zarejestrowania duszków zaprezentowanych zostało wiele teorii ich powstawania, jednak mechanizm ten nie został jeszcze do końca poznany (Singh, Kumar, Pathak 2017: 486). Pewne jest jednak, że duszki powstają na skutek wytworzenia się pola elektrycznego wywołanego przez burzę z piorunami oraz plazmę znajdującą się w jonosferze. Jedną z nowszych teorii jest powstawanie duszków ze sferycznej plazmy o niejednorodnie rozłożonym ładunku. Według tej teorii silne dodatnie wyładowanie doziemne powoduje wytworzenie się niezerównoważonego ładunku ujemnego w chmurze burzowej, co prowadzi do powstania pola elektrycznego między chmurą a plazmą zawartą w jonosferze. W efekcie w jonosferze tworzy się plazma o sferycznym kształcie i niejednorodnie rozłożonym ładunku, co skutkuje powstaniem kolejnego pola elektrycznego, kilkukrotnie silniejszego niż wytworzonego wcześniej między jonosferą a chmurą burzową (Surkov, Hayakawa 2016: 725) – rysunek 2.

Na skutek powstałego w jonosferze pola elektrycznego następuje wzrost szybkości znajdujących się na tym obszarze elektronów, które przez zderzenia wzbudzają sąsiadujące cząstki (Kelley 2009: 365–366). Wracając do poziomu podstawowego, cząstki te emitują energię w postaci światła o konkretnej długości fali. Górna część duszków ma barwę czerwoną, natomiast dolna – fioletowoniebieską. Oba kolory są związane z przeważającym udziałem cząsteczkowego azotu w składzie powietrza na tej wysokości. Zmiana barwy duszków w miarę niższych wysokości jest spowodowana szybko zwiększającą się wartością ciśnienia, które determinuje emisję niebieskiej barwy światła przez cząsteczki wzbudzonego azotu (Pasko, Inan, Bell 1997: 4532). Część duszków może zostać zaobserwowana gołym okiem, jednak, przez niewielką intensywność, postrzeganie ich czerwono-niebieskiej barwy może być zaburzone (Füllekrug, Mareev, Rycroft 2004: 35).



Rysunek 2. Rozkład ładunków przed oraz w trakcie wyładowania doziemnego dodatniego (po lewej) oraz po wystąpieniu wyładowania (po prawej), wraz z utworzeniem się plazmy o niejednorodnym rozkładzie ładunków oraz sferycznym kształcie

Źródło: (Dwyer 2014: 151; Surkov, Hayakawa 2016: 725).

Charakterystyka i powstawanie elfów

Elfy (*elves*) są to rozprzestrzeniające się z ogromną prędkością okręgi o czerwonej barwie (Neubert 2003: 747). Jest to zjawisko występujące w dolnej jonosferze, na wysokości około 90 km, a szerokość powstałego okręgu światła może dochodzić do 300 km (Siingh i in. 2009: 513–514). Przez bardzo dużą szybkość poszerzania się elfów ich czas trwania wynosi zaledwie około 1 ms. Fakt ten, w połączeniu z niewielką intensywnością zjawiska, powoduje, iż elfy nie są widoczne gołym okiem, a ich obserwacja za pomocą aparatury jest trudniejsza niż w przypadku duszków (Barrington-Leigh, Inan 2001: 1741). Mimo trudności w obserwacji elfów jest to chwilowe zjawisko świetlne rejestrowane najczęściej. Większość elfów zarejestrowana została nad oceanami, co spowodowane jest dziesięciokrotnie częstszym występowaniem w tych obszarach wyładowań o wysokiej wartości prądu szczytowego (Chen i in. 2008: 3–4). Takie silne doziemne wyładowania, zarówno dodatnie, jak i ujemne, prowadzą do wytworzenia impulsu elektromagnetycznego, który rozprzestrzenia się w górę w kształcie stożka. Gdy impuls dotrze na wysokość około 90 km, powoduje zwiększenie szybkości znajdujących się w tym obszarze elektronów, a także zwiększenie gęstości elektronowej, co skutkuje wzmożonymi zderzeniami indywidualów chemicznych. Zderzenia te mogą prowadzić do jonizacji oraz wzbudzenia znajdujących się w warstwie D jonosfery cząstek, prowadząc do emisji światła (Nagano i in. 2003: 619–620; Mende i in. 2005: 10). Kształt elfów jest zdeterminowany przez fakt, że środkowa część stożka powstałego impulsu elektromagnetycznego dojdzie na określoną wysokość szybciej niż jego boki.

Prędkość rozprzestrzeniania się elfów jest równa prędkości światła (Barrington-Leigh, Inan, Stanley 2001: 1741–1744) – rysunek 3.



Rysunek 3. Schemat powstawania elfów

Źródło: (Barrington-Leigh, Inan, Stanley 2001: 1741–1744).

Jako że elfy powstają na wysokości około 80–90 km, podobnie jak górne części duszków charakteryzują się barwą czerwoną związaną z emisją energii w postaci światła przez cząsteczki azotu wracające do stanu podstawowego (Nagano i in. 2003: 619–620; Mende i in. 2005: 10).

Niebieskie strumienie oraz gigantyczne strumienie – charakterystyka i powstawanie

Niebieskie strumienie (*blue jets*) mają postać szybko wznoszących się z górnych partii chmur burzowych stożków niebieskiego światła (Neubert 2003: 747). Zjawisko to osiąga prędkość ponad 10^5 m/s i wznosi się na wysokość około 40 km, dlatego trwa ułamki sekund (Wescott i in. 2001: 21549; Pasko 2008: 3). Kolor niebieskich strumieni, podobnie jak w przypadku duszków czy elfów, wynika z wysokiej zawartości cząstkowego azotu na tych wysokościach. Zjawisko to charakteryzuje się barwą podobną do koloru niskich partii duszków. Energia niebieskich strumieni jest wystarczająca, aby nie tylko wzbudzić, ale także częściowo zjonizować występujące w atmosferze cząsteczki azotu (Wescott i in. 1998: 718–719). Dzięki dosyć intensywnej barwie oraz niskiej, w porównaniu do innych chwilowych zjawisk świetlnych, wysokości występowania niebieskie strumienie w idealnych warunkach są widoczne dla ludzkiego oka przystosowanego do ciemności (Füllekrug, Mareev, Rycroft 2004: 38).

Zjawiskiem przypominającym niebieskie strumienie są gigantyczne strumienie (*gigantic jets*). Osiągają one jednak wysokość nawet 90 km n.p.m., a więc dochodzą do dolnej jonosfery. Gigantyczne strumienie w początkowej fazie przypominają niebieskie strumienie, natomiast ich najwyższe partie, ze względu na kształt, podzielono

na dwa typy: „drzewa” oraz „marchewki” (Su i in. 2003: 974). Dolne części tego zjawiska charakteryzują się kolorem niebieskim, natomiast górne (powyżej około 50 km n.p.m.) – kolorem czerwonym. Barwa gigantycznych strumieni jest więc, analogicznie do duszków, zależna od ciśnienia, a co za tym idzie – wysokości. W początkowej fazie zjawiska jego prędkość wynosi około 10^5 m/s, natomiast wraz z osiągnięciem coraz wyższej wysokości prędkość ta rośnie do 10^6 m/s (da Silva 2015: 5). Podobnie do elfów, ze względu na fakt, że nad oceanami występują silniejsze burze niż nad lądem, jest to obszar, nad którym gigantyczne strumienie są obserwowane zdecydowanie najczęściej. Gigantyczne strumienie są zjawiskiem niezwykle rzadkim, stanowiącym około 0,2% łącznej ilości najczęściej występujących chwilowych zjawisk świetlnych (Chen i in. 2008: 3–4).

Oba typy strumieni występują między szybko powstającymi chmurami burzowymi a jonosferą, ale ich wystąpienie nie jest wywoływane bezpośrednio przez wyładowania piorunowe (Lyonsi in. 2003: 452–453). Prawdopodobnie strumienie powstają na skutek wytworzenia się niezrównoważonych ładunków w chmurze burzowej, spowodowanych wyładowaniem doziemnym lub wewnątrzchmurowym. W takiej sytuacji, na skutek oddziaływań kulombowskich, do górnej części chmury przyciągane są ładunki o przeciwnym znaku, co prowadzi do powstania warstwy ekranującej (Krehbiel i in. 2008: 233–235) – rysunek 4.



Rysunek 4. Wytworzenie się nadmiaru ładunku dodatniego w chmurze burzowej po wystąpieniu wyładowania ujemnego oraz powstanie ujemnej warstwy ekranującej

Źródło: (Krehbiel i in. 2008: 233–235).

Niebieskie strumienie mogą powstać po kilku sekundach po wystąpieniu wyładowania ujemnego, skutkującego powstaniem w chmurze nadmiaru ładunków dodatnich, natomiast gigantyczne strumienie są wywoływane przewagą ładunków ujemnych, spowodowanych wyładowaniem dodatnim. W przypadku niebieskich strumieni między chmurą burzową a powstałą ujemną warstwą ekranującą powstaje silne pole elektryczne, które, po przekroczeniu odpowiedniej wartości, prowadzi do wystąpienia dodatniego wyładowania skierowanego do góry (Krehbiel i in. 2008).

Wystąpienie dodatniego niebieskiego strumienia skutkuje usunięciem nadmiaru ładunku dodatniego z chmury burzowej, a co za tym idzie – prowadzi do wyrównania ładunków. Fakt ten powoduje również redukcję warstwy ekranującej. Przeciwnie wyładowanie dodatnie doziemne lub wewnątrzchmurowe prowadzi do zmniejszenia się ładunku dodatniego w górnej części chmury, a powstała warstwa ekranująca potęguje ten efekt. Zdarzenia te prowadzą do konieczności usunięcia nadmiaru ładunku ujemnego przez chmurę, co może zająć na skutek wyładowania ujemnego skierowanego do góry, widocznego jako gigantyczny strumień (Riousset i in. 2010: 6–9).

Inne chwilowe zjawiska świetlne

Do innych poznanych zjawisk świetlnych zaliczyć można m.in. gnomy (*gnomes*), wróżki (*pixies*), trolle (*trolls*) oraz duchy (*ghosts*). Gnomy powstają nad intensywnymi chmurami burzowymi i mają postać wznoszących się wiązek światła, trwających od kilkudziesięciu do kilkuset milisekund. Mogą osiągać około 200 m szerokości i wznosić się na wysokość 1 kilometra. Innym, podobnie jak gnomy, słabo poznanym zjawiskiem świetlnym są wróżki. Mają one postać wielu kropek światła o średnicy około 100 metrów. Zarówno kolor, jak i mechanizm powstawania gnomów i wróżek nie został jeszcze poznany, jednak prawdopodobnie ich pojawienie się nie jest bezpośrednio związane z wyładowaniami piorunowymi (Lyons i in. 2003: 450). Powstawanie trolli i duchów jest uwarunkowane wystąpieniem silnych duszków (Mirzayeva 2022: 30; Phillips 2020). Trolle charakteryzują się czerwonym kolorem, a kształtem przypominają dolne części duszków. Pojawiają się one w seriach wznoszących się na wysokość około 50 km nad chmury burzowe błysków (Surkov, Hayakawa 2020: 1030). Duchy zostały zarejestrowane w 2019 roku, są zatem do tej pory najpóźniej odkrytym chwilowym zjawiskiem świetlnym. Mają one postać zielonej poświaty występującej nad intensywnymi duszkami, są więc wytwarzane na wysokości około 90 km (Phillips 2020).

Nazewnictwo chwilowych zjawisk świetlnych

Mimo że terminologia chwilowych zjawisk świetlnych wydaje się być przypadkowa, okazuje się, że w niektórych przypadkach powstała ona od pierwszych liter pełnych nazw tych ewenementów. Pełna nazwa duszków brzmi więc stratosferyczne/mezoferyczne zaburzenia wynikające z elektryzacji intensywnej burzy z piorunami (Stratospheric/Mesospheric Perturbations Resulting from Intense Thunderstorm Electrification), elfy wzięły swoją nazwę od emisji światła i zaburzeń o bardzo niskiej częstotliwości, wywołanych przez źródła impulsów elektromagnetycznych (Emission of Light and Very Low Frequency perturbations due to Electromagnetic Pulse Sources) (Herzog 1997), trolle są akronimem od krótkotrwałych czerwonych świecących lineamentów (Transient Red Optical Luminous Lineaments) (Surkov, Hayakawa 2020: 1030), a skrót duchy oznacza zielone emisje ze wzbudzonego tlenu z górnych części duszków (Green emissions from excited Oxygen in Sprite Tops) (Phillips 2020).

Bibliografia

- Barrington-Leigh C., Inan U., 2001, *Identification of sprites and elves with intensified video and broadband array photometry*, „Journal of Geophysical Research”, Vol. 106, No. A2.
- Chen ., Kuo C., Lee Y., Su H., Hsu R., Chern J., Frey H., Mende S., Takahashi Y., Fukunishi H., Chang Y., Liu T., Lee L., 2008, *Global distributions and occurrence rates of transient luminous events*, „Journal of Geophysical Research”, Vol. 113, No. A8.
- Cieślak K., 2017, *Duszki, elfy i niebieskie strumienie, czyli o egzotycznych wyładowaniach elektrycznych*, „Neutrino”, nr 38.
- Cummer S., Jaugey N., Li J., Lyons W., Nelson T., Gerken E., 2006, *Submillisecond imaging of sprite development and structure*, „Geophysical Research Letters”, Vol. 33, No. 4.
- Da Silva C., 2015, *Numerical Modeling of Leader Discharge Mechanisms in Lightning, Blue Jets, Gigantic Jets, And Sprites*, A Dissertation in Electrical Engineering.
- Dwyer J., 2014, *The physics of lightning*, „Physics Reports”, Vol. 534, No. 4.
- Franz R., Nemzek R., Winckler J., 1990, *Television Image of a Large Upward Electrical Discharge Above a Thunderstorm System*, „Science”, Vol. 249, No. 5964.
- Füllekrug M., Mareev E., Rycroft M., 2004, *Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges*, „NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry”, Vol. 225.
- Herzog C., *Sprites and Elves in the Atmosphere*, PennState, 1.09.1997, <https://www.psu.edu/news/research/story/sprites-and-elves-atmosphere>.
- Jaugey G., 2007, *Space Physics: Aurora Borealis*, AUSpace.
- Kelley M., 2009, *The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics*, USA.
- Kivelson M., Russell C., 1995, *Introduction to Space Physics*, Cambridge.
- Krehbiel P., Riousset J., Pasko V., Thomas R., Rison W., Stanley M., Edens H., 2008, *Upward Electrical Discharges From Thunderstorm*, „Nature Geoscience”, Vol. 1, No. 4.
- Lyons W., Nelson T., Armstrong R., Pasko V., Stanley M., 2003, *Upward Electrical Discharges From Thunderstorm Tops*, „Bulletin of the American Meteorological Society”, Vol. 84, No. 4.
- McHarg M., Halland R., 2002, *Altitude-time development of sprites*, „Journal of Geophysical Research”, Vol. 107, No. A11.
- Mende S., Frey H., Hsu R., Su H., Chen A., Lee L., Sentman D., Takahashi Y., Fukunishi H., 2005, *D region ionization by lightning-induced electromagnetic pulses*, „Journal of Geophysical Research”, Vol. 110, No. A11.
- Nagano I., Yagitani S., Miyamura K., Makino S., 2003, *Full-wave analysis of elves created by lightning-generated electromagnetic pulses*, „Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics”, Vol. 65, No. 5.
- Neubert T., 2003, *On Sprites and Their Exotic Kin*, „Science”, Vol. 300, No. 5620.
- Pasko V., 2008, *Blue jets and gigantic jets: transient luminous events between thunderstorm tops and the lower ionosphere*, „Plasma Physics And Controlled Fusion”, Vol. 50, No. 12.
- Pasko V., Inan U., Bell T., 1997, *Sprites produced by quasi-hyphen; electrostatic heating and ionization in the lower ionosphere*, „Journal of Geophysical Research”, Vol. 102, No. A3.
- Phillips T., 2020, *Introducing, The Green Ghost*, Space Weather, 31.05.2020, <https://spaceweatherarchive.com/2020/05/31/introducing-the-green-ghost/>
- Riousset J., Pasko V., Krehbiel P., Rison W., Stanley M., 2010, *Modeling of thundercloud screening charges: Implications for blue and gigantic jets*, „Journal of Geophysical Research”, Vol. 1015, No. A1.

- Rybka E., 1975, *Astronomia Ogólna*, Warszawa.
- Sedlak W., 1972, *Plazma fizyczna jako podstawa bioenergetyki*, „Roczniki Filozoficzne”, t. 20, nr 3.
- Siingh D., Singh A., Patel R., Singh R., Singh R., Veenadhari B., Mukherjee M., 2009, *Thunderstorms, lightning, sprites and magnetospheric whistler-mode radio waves*, „Surveys in Geophysics”, Vol. 29, No. 6.
- Singh M., Kumar A., Pathak P., 2017, *Review of various findings about sprites*, „Journal of Environment and Bio-Sciences”, Vol. 31, No. 2.
- Sokołowska D., 2009, *Piorunujące wrażenie*, „Neutrino”, nr 5.
- Su H., Hsu R., Chen A., Wang Y., Hsiao W., Lai W., Lee L., Sato M., Fukunishi H., 2003, *Gigantic jets between a thundercloud and the ionosphere*, „Nature”, Vol. 423, No. 6943.
- Surkov V., Hayakawa M., 2016, *Semianalytical Models of Sprite Formation from Plasma Inhomogeneities*, „Geomagnetism and Aeronomy”, Vol. 56, No. 6.
- Surkov V., Hayakawa M., 2020, *Progress in the Study of Transient Luminous and Atmospheric Events: A Review*, „Surveys in Geophysics”, Vol. 41, No. 5.
- Uman M., 1984, *Lightning*, New York.
- Valdivia J., Milikh G., Papadopoulos K., 1997, *Red sprites: Lightning as a fractal antenna*, „Geophysical Research Letters”, Vol. 24, No. 24.
- Wescott E., Sentman D., Heavner M., Hampton D., Vaughan Jr O., 1998, *Blue Jets: their relationship to lightning and very large hailfall, and their physical mechanisms for their production*, „Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics”, Vol. 60, No. 7–9.
- Wescott E., Sentman D., Stenbaek-Nielsen H., Huet P., Heavner M., Moudry D., 2001, *New evidence for the brightness and ionization of blue starters and blue jets*, „Journal of Geophysical Research”, Vol. 106, No. A10.

Biogram

Emilia Mykowska – studentka studiów drugiego stopnia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego na kierunku chemia oraz specjalności analityka i diagnostyka chemiczna. Zainteresowania autorki dotyczą radiosensybilizatorów biologicznych oraz astronomii.

Emilia Mykowska – a student of the second degree studies at the Faculty of Chemistry, University of Gdańsk, in the field of chemistry and specialisation in analytics and chemical diagnostics. Her interests include biological radiosensitizers and astronomy.



Nanośmieci, czyli zagrożenia związane z obecnością nanocząstek w środowisku – wpływ na wybrane organizmy żywe

Damian Makowski | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0001-8118-016X>

Daria Łada | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0002-4380-0636>

Mateusz A. Baluk | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0003-1174-5182>

Streszczenie

Słowa kluczowe:
nanocząstki,
środowisko,
toksyczność, rośliny,
zwierzęta

Nanocząstki są to materiały, które charakteryzują się bardzo małymi rozmiarami (poniżej 100 nm, przynajmniej w jednym wymiarze), specyficznymi właściwościami optycznymi, chemicznymi oraz elektrycznymi. Wiele nanocząstek metalicznych wykazuje toksyczność w stosunku do patogenów (bakterie, wirusy, grzyby). Obecnie materiały te są szeroko wykorzystywane w katalizowaniu reakcji chemicznych, w kosmetyce jako środki antybakteryjne i w medycynie m.in. jako transportery leków. Ze względu na bardzo mały rozmiar nanocząstek mogą one z łatwością przedostawać się do środowiska, powodując ich bioakumulację w roślinach oraz organizmach żywych. W pracy przedstawiono problematykę toksyczności i negatywnych skutków obecności nanocząstek w środowisku i ich wpływu na rośliny i zwierzęta (kręgowce).

Nanowaste, or risks associated with the presence of nanoparticles in the environment – effects on selected living organisms (Summary)

Keywords:
nanoparticles,
environment,
toxicity, plants,
animals

Nanoparticles are materials characterized by their tiny size (less than 100 nm, at least in one dimension), and distinctive optical, chemical and electrical properties. Many metallic nanoparticles exhibit toxicity to pathogens (bacteria, viruses, fungi). Nowadays, these materials are widely used in catalyzing chemical reactions, cosmetics as antibacterial agents, and medicine as drug transporters. Due to the very small size of nanoparticles, they can easily get into the environment causing bioaccumulation in plants and living organisms. The paper presents the problem of toxicity and adverse effects of nanoparticles in the environment and their impact on plants and animals (vertebrates).

Wstęp

Obecnie jednym z największych zagrożeń idących w parze z intensywnym rozwojem gospodarczym jest niekontrolowana emisja coraz to większych ilości zanieczyszczeń do środowiska naturalnego. Największymi emitentami zanieczyszczeń są takie gałęzie przemysłu, jak transport, rolnictwo, przemysł energetyczny oraz elektroniczny. Brak odpowiedniego nadzoru oraz świadomości ekologicznej sprawia, że duża część zanieczyszczeń w sposób niekontrolowany oraz nadmierny trafia do środowiska. Bariery stosowania rozwiązań o mniejszym wpływie na środowisko jest również często kwestia finansowa bądź brak alternatywnych technologii. Najpowszechniej trafiającymi do środowiska naturalnego szkodliwymi substancjami są metale ciężkie, różnego rodzaju leki, nawozy, tlenki siarki, tlenki azotu, fenole, dwutlenek węgla, metan, lotne związki organiczne (LZO) oraz substancje promieniotwórcze. Pomimo wieloletniej świadomości emisji zanieczyszczeń do środowiska oraz ich negatywnego wpływu nadal niewiele wiadomo o ich faktycznych mechanizmach oddziaływania na ekosystemy, do których trafiają. Jednym z najmniej poznanych rodzajów zanieczyszczeń są nanocząstki, których wpływ na środowisko, sposób rozprzodzenia przedostawania się do organizmów żywych oraz tego skutki są bardzo słabo poznane. Ze względu na charakterystyczne właściwości, wynikające z efektów kwantowych, rozwiniętej powierzchni właściwej oraz zdolności do samoorganizacji (tworzenia większych ugrupowań), nanocząstki odnalazły szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach przemysłu, jak np.: przemysł farbiarski, kosmetyczny, gumowy czy nawet hodowlany i spożywczy. Ich rozmiar, kształt, powierzchnia właściwa i reaktywność stanowią czynniki decydujące często o ich przewadze nad innymi materiałami, ale mogą być też źródłem potencjalnej toksyczności (Li i in. 2016). Toksyczność nanocząstek wynika między innymi z ich zdolności do agregacji, oddziaływania z enzymami oraz białkami. Powodują powstawanie szkodliwych rodników, a w sprzyjających warunkach nanocząstki mogą być źródłem jonów metali, które przedostając się do środowiska, są również często toksyczne (Khan i in. 2019). Zmienność efektów biologicznych utrudnia ocenę ryzyka wpływu nanocząstek na organizmy żywe, ponieważ w dużym stopniu zależne są od wielkości dawki, czasu ekspozycji, gatunków i szczepów organizmów, które miały kontakt z nanocząstkami, a także warunków środowiskowych. Z uwagi na niewielki rozmiar i zwiększoną aktywność powierzchniową są w stanie z łatwością przenikać do systemów biologicznych przez błony biologiczne, a także ściany komórkowe, przez co mogą zaburzać naturalną homeostazę organizmów, prowadząc często do zaburzeń oraz powikłań ze skutkiem śmiertelnym lub znacząco wpływającym na funkcjonowanie organizmów (Corredor i in. 2009).

Wpływ na roślinność

Nanocząstki zaczęto stosować w rolnictwie w celu poprawy fizjologii, wydajności produkcji oraz wartości odżywczych roślin uprawnych (Fraceto i in. 2016). Mimo licznych sukcesów w tym zakresie w niektórych przypadkach odnotowano również efekty toksyczne ich działania. Zdarza się jednak, że nanocząstki nie wywołują żadnych zmian fizjologicznych i ich obecność zdaje się nie oddziaływać na organizm roślinny (Ahmad i in. 2022).

Do najczęściej stosowanych w przemyśle należą nanocząstki metali i tlenków metali, wśród których możemy wymienić ditlenek tytanu, tlenek cynku, srebro i tlenki miedzi (Khan i in. 2021; Ahmad i in. 2022). Mogą przedostawać się one do gleby drogą bezpośrednią bądź pośrednią. Najważniejszymi bezpośrednimi źródłami nanocząstek są nawozy oraz pestycydy i fungicydy zawierające w swoim składzie dodatki w skali nano. Ważny pośredni szlak dostarczania nanocząstek do środowiska naturalnego stanowią osady ściekowe, niekiedy stosowane do kondycjonowania gleby lub jako nawóz. Znajdujące się w nich nanocząstki pochodzą z degradacji matryc produktów, w których pierwotnie się znajdowały (Chen 2018). Po przeniknięciu do gleby nanocząstki mogą ulegać licznym bio- i geotransformacjom, co ma wpływ na ich ostateczną biodostępność, a także toksyczność. Istnieje wiele czynników determinujących sposób interakcji pomiędzy nanocząstkami a komórkami oraz strukturami komórek. Takie cechy, jak rozmiar, kształt, ładunek, obecność grup funkcyjnych oraz hydrofobowość bądź hydrofilowość mogą wpływać na ich mechanizm wchłaniania. Główne drogi wychwytu nanocząstek angażują procesy endocytozy, fagocytozy i mikropinoocytozy (Augustine i in. 2020). Po absorpcji przez korzenie nanocząstki przemieszczają się do części nadziemnych roślin, gdzie najczęściej ulegają bioakumulacji (Rajput i in. 2020). W celu oceny wpływu nanocząstek na fizjologię roślin obserwacji poddaje się takie zmienne, jak kiełkowanie nasion, morfologia korzeni oraz pędów, zawartość chlorofilu i wydajność fotosyntezy (Chen 2018).

Nanocząstki dwutlenku tytanu (TiO_2 NPs) należą obecnie do jednych z najczęściej stosowanych nanocząstek. Wykorzystywane są na przykład w procesach oczyszczania powietrza, farmacji, przemyśle spożywczym oraz kosmetycznym i dość łatwo mogą przenikać do środowiska naturalnego (Rashid i in. 2021). Badania nad fitotoksycznym działaniem nanocząstek ditlenku tytanu przeprowadzone na koprze włoskim (*Foeniculum vulgare* Mill) wykazały, iż stężenie powyżej 40 ppm utrudnia kiełkowanie nasion i zmniejsza biomasę pędów nawet do 50% w odniesieniu do próby kontrolnej (Feizi i in. 2013). W przypadku nasion pomidora (*Solanum lycopersicum* L.) stężenie w zakresie do 750 mg/kg nie miało wpływu na proces kiełkowania, jednak procent kiełkujących nasion spadł do poziomu około 70% po zwiększeniu dawki nanocząstek do 1000 mg/kg. Dolistne dostarczanie TiO_2 NPs, w dawce do 250 mg/kg, skutkowało istotnym zmniejszeniem długości korzeni, przy jednoczesnym stymulowaniu

wysokości pędu (Raliya i in. 2015). Widoczne są więc wyraźne zmiany morfologiczne w przypadku upraw mających bezpośredni kontakt z TiO_2 NPs.

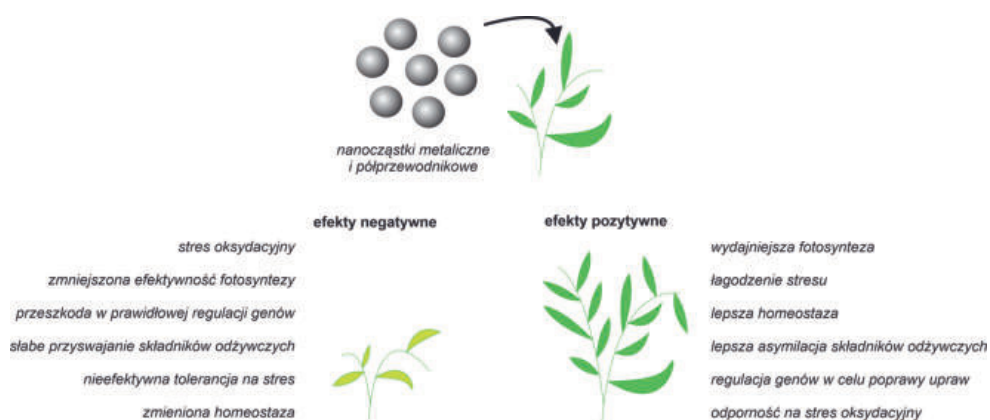
Nanocząstki tlenku cynku (ZnO NPs) stosowane są w kosmetyce, absorbentach chemicznych, dodatkach polimerowych i katalizatorach. Wykazują również, budzące duże zainteresowanie, potencjalne działanie przeciwbakteryjne. Główny mechanizm powiązany z tą aktywnością polega na indukcji wewnątrzkomórkowego wytwarzania reaktywnych form tlenu. Dodatkowo uwalnianie kationów cynkowych i ich adhezja na błonie komórkowej bakterii doprowadzają do jej mechanicznych uszkodzeń. Przejawiają też istotny wpływ na hamowanie transportu aktywnego i zaburzenia metabolizmu aminokwasów. Z zastosowaniem potencjalnego działania przeciwbakteryjnego ZnO NPs wiązane są duże nadzieje (Sirelkhatim i in. 2015). W wyższych stężeniach wykazują jednak toksyczność wobec licznych gatunków roślin uprawnych. W przypadku sadzonek pomidorów (*Solanum lycopersicum* L.) poziom nanocząstek sięgający wartości 50 mg/l doprowadza do zwiększenia produkcji enzymów antyoksydacyjnych, co wpływa na redukcję zawartości chlorofilu, spadek intensywności fotosyntezy i zmniejszenie plonów (Li i in. 2016). Badania wykorzystujące zielony groszek (*Pisum sativum* L.) jako roślinę modelową, przy ekspozycji odpowiednio na 250 i 1000 mg/kg, wskazały na zahamowanie procesu wzrostu korzenia i zwiększoną peroksydację lipidów, która prowadzi do uszkodzeń błon biologicznych i zmian ich przepuszczalności (Mukherjee i in. 2016).

Nanocząstki srebra (Ag NPs) również mają wpływ na procesy fizjologiczne roślin. Jak dowiedziono, może on różnić się w zależności od gatunku wykorzystanego w badaniu, a także charakterystyki stosowanych nanocząstek (Ahmad i in. 2022). W przypadku badań nad pędami rącznika pospolitego (*Ricinus communis* L.) stężenia Ag NPs nie miały wyraźnego wpływu na proces kiełkowania nasion. Również wzrost siewek pozostał niezakłócony, nawet przy zastosowaniu stężenia na poziomie 4000 mg/l (Yasur, Rani 2013). Odmienne wyniki przyniosły badania na takich gatunkach, jak kukurydza (*Zea mays*), cukinia (*Cucurbita pepo* var. *giromontiina*) i arbuz (*Citrullus lanatus*). Pozytywny wpływ nanocząstek srebra na procent i szybkość kiełkowania nasion odnotowano w przypadku nasion arbuza i cukinii. Dla nasion kukurydzy stwierdzono jedynie wystąpienie przyspieszonego kiełkowania (Almutairi, Alharbi 2015). Pojawiają się także przypadki negatywnego wpływu Ag NPs na przykład na uprawy rzepaku (*Brassica campestris*), ryżu (*Oryza sativa*) i fasoli mung (*Vigna radiata*). Różnice pomiędzy uprawą kontrolną a badawczą widoczne były w obszarze kiełkowania nasion, wzrostu korzeni oraz rozwoju pędów. Inkubacja w stężeniu na poziomie 1000 $\mu\text{g/ml}$ powodowała pierwsze widoczne zahamowania we wzroście siewek (Mazumdar, Ahmed 2011).

Jednym z istotnych dla roślin mikroelementów jest miedź, wchodząca w skład określonych metaloenzymów (Wang i in. 2019). Jednak większość publikowanych badań prezentuje niekorzystny wpływ nanocząstek tlenku miedzi (CuO NPs) na kiełkowanie nasion. Wykazano na przykład ich hamujący wpływ na kiełkowanie soi (*Glycine max* L.)

i ciecierzycy (*Cicer arietinum* L.). Wraz ze wzrostem stężenia nanocząstek powyżej 500 ppm następuje wyraźne obniżenie wydłużania korzenia, a nawet dochodzi do jego martwicy (Khodakovskaya i in. 2009). Analizom poddano również rozwój roślin strączkowych, takich jak bób (*Vicia faba*), fasola zwyczajna (*Phaseolus vulgaris*) oraz lucerna (*Medicago sativa*). Stężenie na poziomie poniżej 40 mg/l sprzyjało kiełkowaniu nasion, wzrostowi siewek i zawartości chlorofilu w roślinach. Dowiedziono jednak, że przy wyższych stężeniach występuje wysokie potencjalnie toksyczne działanie nanocząstek. W przypadku upraw badawczych odnotowano redukcję liczby nasion, które wykiełkowały, oraz spadek tempa rozwoju siewek, w porównaniu z uprawami kontrolnymi (Hamuda 2015).

Nanocząstki uwolnione do środowiska, które uległy wychwytowi i bioakumulacji w organizmach roślinnych, w zależności od struktury troficznej ekosystemu, mogą przedostać się do łańcucha pokarmowego i zostać włączone w procesy związane z naturalnym obiegiem materii w przyrodzie. Pod wpływem czynników środowiskowych podlegają procesom, takim jak przemiany chemiczne, agregacja i dezagregacja. Dodatkowo niektóre nanocząstki podatne są na uwalnianie jonów ze swojej powierzchni, przez co organizmy glebowe i wodne narażone są na wpływ ich zwiększonego stężenia. Z uwagi na ograniczoną pojemność asymilacyjną środowiska naturalnego i występującą w pewnych granicach jego zdolność do samoregulacji wzrastające stężenie nanocząstek może spowodować długoterminowe skutki, których nie jesteśmy w stanie przewidzieć, kierując się obecnym stanem wiedzy (Bundschuh i in. 2018). Dostępne wyniki dowodzą różnorodnego wpływu nanocząstek na organizmy roślinne. Podstawowe pozytywne i negatywne efekty oddziaływania nanocząstek metalicznych i półprzewodnikowych na roślinność omówione w tej części artykułu zostały przedstawione na rysunku 1.



Rysunek 1. Negatywne i pozytywne efekty fizjologiczne wpływu nanocząstek na organizmy roślinne

Źródło: Opracowanie własne.

Wpływ na organizmy (kręgowce)

Ze względu na łatwe przemieszczanie się odpadów w środowisku wodnym oraz poprzez spływy gleb organizmy zasiedlające takie ekosystemy są szczególnie narażone na ekspozycję na zanieczyszczenia również w bardzo wczesnych fazach rozwoju.

Najczęściej stosowanym organizmem modelowym wykorzystywanym do badania wpływu różnorodnych zanieczyszczeń na rozwój embrionalny w środowisku wodnym jest danio pręgowany (*Danio rerio*). Są to ryby łatwe w hodowli, a ich wykorzystanie pozwala na bardzo dokładne śledzenie wpływu zanieczyszczeń, jak i obserwacje długofalowych skutków ekspozycji na daną substancję, w małej skali, którą z powodzeniem można przyrównać do bardziej skomplikowanych układów. Ryby te wykazują bardzo duże podobieństwo pod względem fizjologii, struktury komórkowej oraz anatomii do kręgowców wyższego rzędu, nawet ludzi (Den Hertog 2005; Scholz i in. 2008). Danio pręgowany jest również powszechnie stosowany w badaniach wpływu toksyczności nanocząstek (Johnston i in. 2018; Jia i in. 2019).

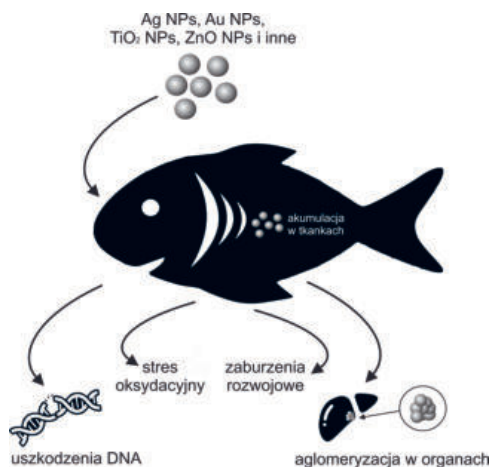
Jednym z badanych rodzajów nanoodpadów są nanocząstki złota, powszechnie stosowane w medycynie, przy obrazowaniu czy znakowaniu molekularnym. Badania ich wpływu na rozwój embrionalny kręgowców jasno wskazują na toksyczność tych materiałów. Stężenia powyżej 16 ppb mogą powodować obumieranie embrionów danio pręgowanego oraz powstawanie wad w późniejszych stadiach rozwoju. Upośledzenia dotyczyły głównie rozwoju oczu, płetw, skrzelii czy szczęk (Harper i in. 2011). Niebagatelny wpływ na toksyczność nanocząstek złota ma rodzaj grup funkcyjnych, za pomocą których modyfikuje się powierzchnie nanocząstek. Dowiedziono, że modyfikacje kationowe, takie jak TMAP (Tosylan tetrametyloamoni), wykazują dużo wyższą toksyczność niż anionowe czy obojętne modyfikacje, które wykazują bardzo mały wpływ na rozwój embrionalny (Harper i in. 2011; Kim i in. 2013). Rozmiar nanocząstek jest istotnym czynnikiem ich toksyczności. Obiekty o rozmiarach ~1,5 nm cechują się dużo wyższą toksycznością niż nanocząstki o wymiarach 14, 15 nm oraz poniżej 1 nm. Związane jest to z ich zdolnością przenikania przez błony biologiczne oraz aglomeracji w tkankach (Harper i in. 2011; Senut i in. 2016).

Innym rodzajem nanocząstek metalicznych, które stanowią coraz to większe zagrożenie jako nanoodpady w środowisku, są Ag NPs (*silver nanoparticles*), szeroko stosowane w medycynie, przemyśle kosmetycznym czy farmaceutycznym. Wpływ na embriony dania pręgowanego jest bardzo podobny jak w przypadku nanocząstek złota. Największy wpływ na upośledzenia mają wyższe stężenia oraz mniejsze wielkości nanocząstek, jednakże Ag NPs są bardzo toksyczne już przy mniejszych stężeniach (Bar-Ilan i in. 2009). Jednak mimo dużej toksyczności w stosunku do rybich embrionów nanocząstki srebra wykazują bardzo niską przenikalność przez błony płodowe ssaków. Badania przeprowadzone na ciężarnych myszach wykazały, że jedynie bardzo niewielkie części aplikowanych ciężarnym myszom przez żyłę ogonową nanocząstek przenikały do płodu, nie powodując problemów z jego rozwojem. Większość Ag NPs

akumulowało się w woreczku żółciowym, najprawdopodobniej przez wzgląd na dużą ilość protein obecnych w tym organie, mających zdolność do wiązania metali (Austin i in. 2012). Dowiedziono również, że nanocząstki srebra o rozmiarach pomiędzy 2 a 35 nm obecne w paszy używanej do karmienia drobiu mogą powodować u tych zwierząt osłabienie, zmniejszanie masy, brak apetytu, spadek odporności, a nawet śmierć. Nanocząstki w paszy powodowały również uszkodzenia wątroby, a efekt był tym większy, im większe było stężenie Ag NPs. Większość negatywnych skutków przypisuje się antybakteryjnym właściwościom nanocząstek srebra, które to wprowadzane do organizmu wraz z pokarmem powodują zaburzenia we florze bakteryjnej (Gangadoo i in. 2016).

Jednym z rodzajów materiałów powodujących zagrożenie u kręgowców są nanocząstki półprzewodników, takich jak TiO_2 , które ze względu na szerokie zastosowanie w przemyśle przedostają się w dużych ilościach do środowiska. W przypadku nanocząstek ditlenku tytanu szczególnie niebezpieczne jest ich osadzanie w akwenach wodnych oraz akumulacja w organizmach wodnych. Szczególnie podatne na działanie nanocząstek są początkowe stadia rozwojowe ryb, gdzie podobnie jak w przypadku nanocząstek srebra czy złota TiO_2 NPs (*titanium dioxide nanoparticles*) powoduje uszkodzenia embrionów ryb. Istnieją doniesienia łączące obecność zakumulowanych TiO_2 NPs w organizmach ze zwiększonym stężeniem reaktywnych form tlenu, powodującym stres oksydacyjny, szczególnie w przypadkach ekspozycji na promieniowanie UV. Wówczas dochodzi do wzbudzenia nanocząstek ditlenku tytanu, w wyniku czego powstają reaktywne pary elektron – dziura, a w wyniku zachodzących reakcji redukcji oraz utlenienia powstają reaktywne formy tlenu, takie jak rodniki hydroksylowe czy aniony ponadtlenkowe. Kolejnym zagrożeniem, jakie powodują TiO_2 NPs, szczególnie w środowisku wodnym, jest osadzanie się ich na organach oddechowych zwierząt, powodujące ich zapychanie czy nawet uszkodzenia mechaniczne. Nie jest znany wpływ zmiennych warunków środowiskowych na zdolność do aglomeracji, osadzania czy penetracji błon biologicznych, przez co nie jest możliwe z całą pewnością przewidzenie wpływu obecności tych materiałów w środowisku naturalnym na organizmy żywe (Clemente i in. 2014). Nanocząstki ditlenku tytanu, obecne w spożywanej wodzie czy przyjmowane wraz z pokarmem, mogą dostawać się do krwioobiegu, a wraz z nim pokonywać barierę krew-mózg, zwiększając ryzyko udaru, a przy długotrwałej ekspozycji osadzają się w organach, powodując upośledzenie ich pracy. Obecne w powietrzu TiO_2 NPs przy wdychaniu powodują zaburzenia mikrocyrkulacji, przedostają się również do krwioobiegu. W przypadku dostawania się nanocząstek TiO_2 do embrionów ssaków mogą one powodować deformacje kończyn, głowy czy spadek przyrostu masy (Luo i in. 2020). Istotny wpływ na toksyczność nano- TiO_2 w przypadku osadzania się ich w organach ma rozmiar (Jia i in. 2017). Innym materiałem półprzewodnikowym będącym często nanoodpadem są nanocząstki tlenku cynku (ZnO NPs). Substancja ta jest szeroko wykorzystywana na skalę przemysłową w procesach wulkanizacji opon, jako wypełniacz oraz pigment w kosmetykach oraz farbach, a także substancja absorbująca

promieniowanie UV w kremach przeciwsłonecznych z filtrem. W przypadku człowieka główną drogą dostawania się nanocząstek tlenku cynku do organizmu są płuca, są one z tego powodu głównym organem narażonym na ich szkodliwe działanie. ZnO NPs powodują wówczas silny kaszel, gorączkę oraz dreszcze (Gautam i in. 2021). Po wnikięciu do płuc nanocząstki tlenku cynku mogą penetrować w głąb organizmu, przedostając się wraz z krwią do narządów wewnętrznych, powodując stany zapalne. Największe zagrożenie jednak powodują, gdy przedostaną się do nerek, które to w głównej mierze odpowiadają za oczyszczanie krwi w organizmie z produktów przemian metabolicznych, takich jak mocznik czy amoniak. Nanocząstki tlenku cynku, przedostając się do komórek nerek, w środowisku wewnątrzkomórkowym łatwo wytwarzają jony Zn^{2+} . Powstają również reaktywne formy tlenu, zwiększa się stres oksydacyjny, na który w szczególności narażone są mitochondria. Dowiedziono, że część nanocząstek tlenku cynku może penetrować do jąder komórkowych i uszkadzać cząsteczki DNA (V.G.i in. 2017). W środowisku wodnym ZnO NPs są tym bardziej toksyczne im są mniejsze. Toksyczność nanocząstek tlenku cynku w środowisku wodnym jest związana z wytwarzaniem się jonów Zn^{2+} , podobnie jak ma to miejsce w przypadku ich działania w środowisku wewnątrzkomórkowym, jednak kationy cynkowe wytwarzają się w środowisku wodnym dużo łatwiej niż ZnO NPs penetrują przez błony komórkowe, gdzie dochodzi do wytwarzania reaktywnych form tlenu, które odpowiadają za zwiększenie stresu oksydacyjnego oraz upośledzenie funkcjonowania mitochondriów. W ekstremalnych przypadkach, gdy wszelkie sposoby usuwania reaktywnych form tlenu w komórce zawodzą, dochodzi nawet do lizy mitochondriów, co prowadzi do dalszych procesów rozkładowych wewnątrz komórek (Hou i in. 2018). Na rysunku 2 przedstawiono negatywne skutki, jakie opisywane materiały powodują w kontakcie z organizmami wodnymi.



Rysunek 2. Negatywny wpływ nanocząstek na kręgowce wodne

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Wszechobecne stosowanie nanocząstek powoduje coraz ich większą zawartość we wszelkiego rodzaju ściekach i zanieczyszczeniach. Negatywny wpływ różnego rodzaju nanocząstek na jakość funkcjonowania ekosystemów nie ulega wątpliwości. Obecne w środowisku nanocząstki często w nieprzewidywalny i nie do końca poznany sposób rozprzestrzeniają się oraz oddziałują z organizmami żywymi. Ich wpływ dotyczy każdego z poziomów troficznych. Dostając się do wnętrza organizmów, nanoodpady mogą się akumulować, powodować zaburzenia szlaków metabolicznych, upośledzenia rozwojowe czy często niebezpieczny wzrost stresu oksydacyjnego. Szczególnie narażone są ekosystemy wodne, gdzie nanośmieciami z łatwością się rozprzestrzeniają oraz ulegają często niebezpiecznym reakcjom wtórnym. Nanoodpady nie są również obojętne dla zdrowia człowieka. Wchłanianie wielu z nich powoduje stany zapalne oraz akumulację w organizmie. Wiele ze skutków nadmiernej ekspozycji na nanośmieciami tak skomplikowanego organizmu jak ludzki jest bardzo trudnych do przewidzenia. Z pomocą przychodzą badania na organizmach modelowych, takich jak *Danio rerio*, jednak wciąż nie pozwala to na precyzyjne określenie wszystkich zagrożeń.

Nanośmieciami są tylko jednym z niewielu nowo pojawiających się zanieczyszczeń środowiska, stanowiących coraz to większy problem. Brak jest odpowiednich rozwiązań legislacyjnych dotyczących gospodarowania nanoodpadami, a także ich dopuszczalnych zawartości w środowisku. Niezbędne jest również ciągłe uświadamianie społeczeństwa o zagrożeniach, jakie płyną z nadmiernego, niezrównoważonego rozwoju gospodarczego, będącego źródłem szkodliwych substancji w środowisku. Niezbędne jest również opracowanie oraz jak najszybsze wdrożenie technologii, które pozwolą zmniejszyć szkodliwe emisje oraz ograniczyć ilości, a także rozprzestrzenianie się nowo pojawiających się zanieczyszczeń.

Badania zostały wykonane w ramach projektu studencko-doktoranckiego „Projekt NKCh UG: KLIMATYCZNI” Naukowego Koła Chemików Uniwersytetu Gdańskiego.

Bibliografia

- Ahmad A., Hashmi S.S., Palma J.M., Corpas F.J., 2022, *Influence of metallic, metallic oxide, and organic nanoparticles on plant physiology*, „Chemosphere”, Vol. 290, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.133329.
- Almutairi Z., Alharbi A., 2015, *Effect of Silver Nanoparticles on Seed Germination of Crop Plants*, „Journal of Advances in Agriculture”, Vol. 4, No. 1, doi: 10.24297/JAA.V4I1.4295.
- Augustine R., Hasan A., Primavera R., Wilson R.J., Thakor A.S., Kevadiya B.D., 2020, *Cellular uptake and retention of nanoparticles: Insights on particle properties and interaction with cellular components*, „Materials Today Communications”, Vol. 25, doi: 10.1016/J.MTCOMM.2020.101692.

- Austin C.A., Umbreit T.H., Brown K.M., Barber D.S., Dair B.J., Francke-Carrol S., Feswick A., Saint-Luis M.A., Hikawa H., Siebein K.N., Goering P.L., 2012, *Distribution of silver nanoparticles in pregnant mice and developing embryos*, „Nanotoxicology”, Vol. 6, No. 8, doi: 10.3109/17435390.2011.626539.
- Bar-Ilan O., Albrecht R.M., Fako V.E., Furgeson D.Y., 2009, *Toxicity assessments of multisized gold and silver nanoparticles in zebrafish embryos*, „Small (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)”, Vol. 5, No.16, doi: 10.1002/SMLL.200801716.
- Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., McKee M., Metreveli G., Schaumann G.E., Schulz R., Wagner S., 2018, *Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to?*, „Environmental Sciences Europe”, Vol. 30, No.1, doi: 10.1186/S12302-018-0132-6.
- Chen, H., 2018, *Metal based nanoparticles in agricultural system: behavior, transport, and interaction with plants*, „Chemical Speciation & Bioavailability”, Vol. 30, No. 1, doi: 10.1080/09542299.2018.1520050.
- Clemente Z., Castro V.L.S.S., Moura M.A.M., Jonsson C.M., Fraceto L.F., 2014, *Toxicity assessment of TiO₂ nanoparticles in zebrafish embryos under different exposure conditions*, „Aquatic Toxicology”, Vol. 147, doi: 10.1016/J.AQUATOX.2013.12.024.
- Corredor E., Testillano P.S., Coronado M.J., González-Melendi P., Fernández-Pacheco R., Marquina C., Ibarra M.R., de la Fuente J.M., Rubilae D., Pérez-de-Luque A., Risueño M.C., 2009, *Nanoparticle penetration and transport in living pumpkin plants: In situ subcellular identification*, „BMC Plant Biology”, Vol. 9, No. 1, doi: 10.1186/1471-2229-9-45/FIGURES/9.
- Feizi H., Kamali M., Jafari L., Moghaddam P.R., 2013, *Phytotoxicity and stimulatory impacts of nano-sized and bulk titanium dioxide on fennel (Foeniculum vulgare Mill)*, „Chemosphere”, Vol. 91, No. 4, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2012.12.012.
- Fraceto L.F., Grillo R., de Medeiros G.A., Scognamiglio V., Rea G., Bartolucci C., 2016, *Nanotechnology in agriculture: Which innovation potential does it have?*, „Frontiers in Environmental Science”, Vol. 4, doi: 10.3389/FENV.2016.00020/ABSTRACT.
- Gangadoo S., Stanley D., Hughes R.J., Moore R.J., Chapman J., 2016, *Nanoparticles in feed: Progress and prospects in poultry research*, „Trends in Food Science & Technology”, Vol. 58, doi: 10.1016/J.TIFS.2016.10.013.
- Gautam R., Yang S.J., Maharjan A., Jo J.H., Acharya M., Heo Y., Kim C.Y., 2021, *Prediction of Skin Sensitization Potential of Silver and Zinc Oxide Nanoparticles Through the Human Cell Line Activation Test*, „Frontiers in Toxicology”, Vol. 3, doi: 10.3389/FTOX.2021.649666.
- Hosam E.A.F., Hamuda H., 2015, *Influence of Engineered Metal Oxide Nanoparticles on Seed Germination, Seedling Development and Chlorophyll Content*, „Óbuda University e-Bulletin”, Vol. 5 No. 1.
- Harper S.L., Carriere J.L., Miller J.M., Hutchison J.E., Maddux B.L.S., Tanguay R.L., 2011, *Systematic Evaluation of Nanomaterial Toxicity: Utility of Standardized Materials and Rapid Assays*, „ACS Nano”, Vol. 5, No. 6, doi: 10.1021/NN200546K.
- Den Hertog J., 2005, *Chemical genetics: Drug screens in Zebrafish*, „Bioscience reports”, Vol. 25, No. 5–6, doi: 10.1007/S10540-005-2891-8.
- Hou J., Wu Y., Li X., Wei B., Li S., Wang X., 2018, *Toxic effects of different types of zinc oxide nanoparticles on algae, plants, invertebrates, vertebrates and microorganisms*, „Chemosphere”, Vol. 193, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2017.11.077.
- Jia H.R., Zhu Y.X., Duan Q.Y., Chen Z., Wu F.G., 2019, *Nanomaterials meet zebrafish: Toxicity evaluation and drug delivery applications*, „Journal of Controlled Release”, Vol. 311–312, doi: 10.1016/J.JCONREL.2019.08.022.
- Jia X., Wang S., Zhou L., Sun L., 2017, *The Potential Liver, Brain, and Embryo Toxicity of Titanium Dioxide Nanoparticles on Mice*, „Nanoscale Research Letters”, Vol. 12, doi: 10.1186/S11671-017-2242-2.

Johnston H.J., Verdon R., Gillies S., Brown D.M., Fernandes T.F., Henry T.B., Rossi A.G., Tran L., Tucker C., Tyler C.R., Stone V., 2018, *Adoption of in vitro systems and zebrafish embryos as alternative models for reducing rodent use in assessments of immunological and oxidative stress responses to nanomaterials*, „Critical Reviews in Toxicology”, Vol. 48, No. 3, doi: 10.1080/10408444.2017.1404965.

Khan I., Saeed K., Khan I., 2019, *Nanoparticles: Properties, applications and toxicities*, „Arabian Journal of Chemistry”, Vol. 12, No. 7, doi: 10.1016/j.arabjc.2017.05.011.

Khan M., Khan M.S.A., Borah K.K., Goswami Y., Hakeem K.R., Chakrabarty I., 2021, *The potential exposure and hazards of metal-based nanoparticles on plants and environment, with special emphasis on ZnO NPs, TiO₂ NPs, and AgNPs: A review*, „Environmental Advances”, Vol. 6, doi: 10.1016/J.ENVADV.2021.100128.

Khodakovskaya M., Dervishi E., Mahmood M., Xu Y., Li Z., Watanabe F., Biris A.S., 2009, *Carbon Nanotubes Are Able To Penetrate Plant Seed Coat and Dramatically Affect Seed Germination and Plant Growth*, „ACS Nano”, Vol. 3, No. 10, doi: 10.1021/NN900887M.

Kim K.T., Zaikova T., Hutchison J.E., Tanguay R.L., 2013, *Gold nanoparticles disrupt zebrafish eye development and pigmentation*, „Toxicological Sciences: an Official Journal of the Society of Toxicology”, Vol. 133, No. 2, doi: 10.1093/TOXSCI/KFT081.

Li M., Ahammed G.J., Li C., Bao X., Yu J., Huang C., Yin H., Zhou J., 2016, *Brassinosteroid Ameliorates Zinc Oxide Nanoparticles-Induced Oxidative Stress by Improving Antioxidant Potential and Redox Homeostasis in Tomato Seedling*, „Frontiers in Plant Science”, Vol. 7, doi: 10.3389/FPLS.2016.00615/BIBTEX.

Luo Z., Li Z., Xie Z., Sokolova I. M., Song L., Peijnenburg W.J.G.M., Hu M., Wang Y., 2020, *Rethinking Nano-TiO₂ Safety: Overview of Toxic Effects in Humans and Aquatic Animals*, „Small”, Vol. 16, No. 36, doi: 10.1002/SMLL.202002019.

Mazumdar H., Ahmed G.U., 2011, *Synthesis of silver nanoparticles and its adverse effect on seed germinations in Oryza sativa, Vigna radiate and Brassica campestris*, „International Journal of Advanced Biotechnology and Research”, Vol. 2.

Mukherjee A., Sun Y., Morelius E., Tamez C., Bonydopadhyay S., Niu G., White J.C., Peralta-Videa J.C., Garedea-Torresdey J.L., 2016, *Differential toxicity of bare and hybrid ZnO nanoparticles in Green pea (Pisum sativum L.): A life cycle study*, „Frontiers in Plant Science”, Vol. 6, doi: 10.3389/FPLS.2015.01242.

Rajput V., Minkina T., Mazarji M., Shende S., Sushkova S., Mandzhieva S., Burachevskaya M., Chaplygin V., Singh A., Jatav H., 2020, *Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health*, „Annals of Agricultural Sciences”, Vol. 65, No. 2, doi: 10.1016/J.AOAS.2020.08.001.

Raliya R., Nair R., Chavalmane S., Wang W.N., Biswas P., *Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (Solanum lycopersicum L.) plant*, „Metallomics: Integrated Biometal Science”, Vol. 7, No. 12, doi: 10.1039/C5MT00168D.

Rashid M.M., Tavčer P.F., Tomšič B., 2021, *Influence of Titanium Dioxide Nanoparticles on Human Health and the Environment*, „Nanomaterials”, Vol. 11, No. 9(2354), doi: 10.3390/NANO11092354.

Scholz S., Fisher S., Gündel U., Küster E., Luckenbach T., Voelker D., 2008, *The zebrafish embryo model in environmental risk assessment—applications beyond acute toxicity testing*, „Environmental Science and Pollution Research International”, Vol. 15, No. 5, doi: 10.1007/S11356-008-0018-Z.

Senut M.C., Zhang Y., Liu F., Sen A., Ruden D.M., Mao G., 2016, *Size-dependent Toxicity of Gold Nanoparticles on Human Embryonic Stem Cells and Their Neural Derivatives*, „Small”, Vol. 12, No. 5, doi: 10.1002/SMLL.201502346.

Sirelkhatim A., Mahmud S., Seeni A., Kaus N.H.M., Ann L.C., Bakhori S.K.M., Hasan H., Mohamad D., 2015, *Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism*, „Nano-micro letters”, Vol. 7, No. 3, doi: 10.1007/S40820-015-0040-X.

Reshma V.G., Mohanan P.V., 2017, *Cellular interactions of zinc oxide nanoparticles with human embryonic kidney (HEK 293) cells*, „Colloids and Surfaces B: Biointerfaces”, doi: 10.1016/J.COLSURFB.2017.05.069.

Wang W., Paschalidis K., Feng J.C., Song J., Liu J. H., 2019 *Polyamine catabolism in plants: A universal process with diverse functions*, „Frontiers in Plant Science”, Vol. 10, doi: 10.3389/FPLS.2019.00561.

Yasur J., Rani P.U., 2013, *Environmental effects of nanosilver: Impact on castor seed germination, seedling growth, and plant physiology*, „Environmental Science and Pollution Research”, Vol. 20, No. 12, doi: 10.1007/S11356-013-1798-3.

Biogramy

Damian Makowski – student kierunku chemia o specjalności analityka i diagnostyka chemiczna na Wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego. Członek Naukowego Koła Chemików Uniwersytetu Gdańskiego i przewodniczący Rady Samorządu Studentów Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w roku akademickim 2020/2021 i 2021/2022. Zainteresowania naukowe: nanotechnologia.

Daria Łada – studentka kierunku chemia o specjalności chemia biomedyczna na Wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego. Wiceprezes Naukowego Koła Chemików Uniwersytetu Gdańskiego w roku akademickim 2019/2020, 2020/2021 i 2021/2022. Zainteresowania naukowe: aktywność związków biologicznie czynnych.

Mateusz Adam Baluk – doktorant w Szkole Doktorskiej Nauk Ścisłych i Przyrodniczych Uniwersytetu Gdańskiego. Członek wspierający Naukowego Koła Chemików Uniwersytetu Gdańskiego, inicjator i koordynator projektu studencko-doktoranckiego „Projekt NKCh UG: KLIMATYCZNI”. Wieloletni radny w Samorządzie Studentów Wydziału Chemii UG oraz obecnie przewodniczący Rady Doktorantów Nauk Ścisłych i Przyrodniczych Uniwersytetu Gdańskiego. Zainteresowania naukowe: nanotechnologia, ekologia i ochrona środowiska.

Damian Makowski – a student of chemistry with a specialization in analytics and chemical diagnostics at the Faculty of Chemistry, University of Gdańsk. A member of the Scientific Circle of Chemists of the University of Gdańsk and the President of the Student Government Council of the Faculty of Chemistry of the University of Gdańsk in the academic years 2020/2021 and 2021/2022. Interests related to nanotechnology.

Daria Łada – a student of chemistry with a specialization in biomedical chemistry at the Faculty of Chemistry, University of Gdańsk. Vice President of the Scientific Circle of Chemists of the University of Gdansk in the academic years 2019/2020, 2020/2021 and 2021/2022. Interests related to the activity of biologically active compounds.

Mateusz Adam Baluk – PhD student at the Doctoral School of Science and Natural Sciences, University of Gdansk. Supporting member of the Scientific Circle of Chemists of the University of Gdansk, initiator and coordinator of the student-doctoral project „Projekt NKCh UG: KLIMATYCZNI”. For many years a councillor in the Students' Government of the Faculty of Chemistry UG. Currently the chairman of the Council of Doctoral Students of the Natural and Scientific Sciences, University of Gdańsk. Interests in nanotechnology, ecology and environmental protection.



Charakterystyka wybranych właściwości fizykochemicznych parabenów z wykorzystaniem metod chemii obliczeniowej

Beata Kizior | Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny
<https://orcid.org/0000-0001-8090-9721>

Bartłomiej M. Szyja | Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny
<https://orcid.org/0000-0002-0690-9341>

Aneta Jezierska | Uniwersytet Wroclawski, Wydział Chemii
<https://orcid.org/0000-0001-6601-9124>

Streszczenie

Słowa kluczowe:
parabeny, chemia obliczeniowa, deskryptor molekularny, hydrofobowość

Chemia obliczeniowa jest jedną z wielu gałęzi chemii teoretycznej. Jednym z licznych zastosowań metod chemii obliczeniowej jest badanie właściwości fizykochemicznych związków, zarówno znanych, jak i jeszcze nieotrzymanych na drodze eksperymentalnej. W niniejszym artykule zostały przedstawione rezultaty badań teoretycznych 12 związków (analizowany kwas 4-hydroksybenzoesowy (PHBA) oraz jego 11 estrów, nazywanych potocznie parabenami), które znalazły zastosowanie jako substancje konserwujące preparaty kosmetyczne czy żywność. Symulacje kwantowo-chemiczne wykonano, opierając się na Teorii Funkcjonału Gęstości (Density Functional Theory – DFT) z zastosowaniem funkcjonału B3LYP i bazy funkcyjnej 6-311+G(d,p). Zbadano zmiany parametrów geometrycznych, wpływu podstawnika, aromatyczności, momentu dipolowego, polaryzowalności, a także hydrofobowości. Związkiem referencyjnym był kwas 4-hydroksybenzoesowy (PHBA). W tym celu zastosowano deskryptory: długość wiązań, wartości kątów walencyjnych, indeks aromatyczności HOMA (Harmonic Oscillator Model of Aromaticity), parametry otrzymane z analizy Atomów w Cząsteczkach (AIM), ładunek aktywnego obszaru podstawnika cSAR (Charge of the Substituent Active Region), moment dipolowy, polaryzowalność, energia stabilizacji efektu podstawnikowego SESE (Substituent Effect Stabilization Energy) oraz logP. W pracy zostały zaprezentowane wyniki analiz opartych na parametrach metrycznych, energetycznych i współczynniku podziału n-oktanol/woda oraz strukturze elektronowej wybranych parabenów.

Characteristics of selected physicochemical properties of parabens with computational chemistry methods (Summary)

Keywords:
parabens,
computational
chemistry, molecular
descriptor,
hydrophobicity

Computational chemistry is one of the many branches of theoretical chemistry. Theoretical methods have many applications, e.g. in studies of the physicochemical properties of known compounds and those not yet synthesized. Theoretical results are presented for 12 compounds (for 4-hydroxybenzoic acid (PHBA) and its 11 esters known as parabens), which have already found an application as preservatives of cosmetics or food. Quantum-chemical simulations were carried out on the basis of Density Functional Theory (DFT) at the B3LYP/6-311+G(d,p) level of theory. Geometric parameters, physicochemical properties, substituent effect, aromaticity, dipole moment, polarizability, and hydrophobicity were investigated. For this purpose, descriptors such as the Harmonic Oscillator Model of Aromaticity (HOMA), parameters obtained from Atoms in Molecules (AIM) theory, Charge of the Substituent Active Region (cSAR), dipole moment, polarizability, Substituent Effect Stabilization Energy (SESE), and logP were computed. In the current study, the results obtained based on geometric, energetic and logP (o/w) parameters as well as electronic structure are presented.

Wstęp

Wykorzystanie komputerów dużej mocy obliczeniowej HPC (High Performance Computing) w dziedzinie chemii stwarza olbrzymie możliwości opisu teoretycznego pojedynczych cząsteczek, dimerów, trimerów, większych kompleksów, a także makroukładów (Leach 2001; Lide 2003). W artykule zaprezentowane zostały wyniki badań teoretycznych wykonanych dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego oraz jego 11 estrów. Niektóre z nich znalazły zastosowanie jako środki konserwujące w przemyśle kosmetycznym, farmaceutycznym, jak również spożywczym.

Struktura molekularna i właściwości fizykochemiczne substancji konserwujących preparaty kosmetyczne

Kosmetyki dostępne na rynku to preparaty wieloskładnikowe. W ich składzie występują między innymi witaminy A, E, C bądź białka. Substancje te bardzo szybko ulegają procesom degradacyjnym. W celu zahamowania tych procesów producenci preparatów kosmetycznych wykorzystują stabilizatory oraz przeciwutleniacze (Bojarowicz 2012: 647–653; Marwicka 2017: 561–567). Poza procesami degradacyjnymi preparaty kosmetyczne bardzo często narażone są jednak na zanieczyszczenia, co w efekcie może doprowadzić do niepożądanego rozkładu substancji leczniczych i pomocniczych (Muszyński 2009: 132–137), a także do zmiany zapachu, barwy oraz konsystencji danego produktu (Bojarowicz 2018: 124–131; Bojarowicz 2008: 30–33; Stewart 2016: 634–645; Halla 2018: 1571). Skażony produkt przez mikroorganizmy może powodować różnego rodzaju jednostki chorobowe (Bojarowicz 2018: 124–131;

Bojarowicz 2008: 30–33). Dlatego też tak ważna jest rola środków konserwujących w preparatach kosmetycznych, leczniczych czy spożywczych (Rastogi 1995: 28–30; Nes 1983: 237–242).

Środki konserwujące są definiowane jako substancje mające predyspozycje do spowolnienia rozwoju mikroorganizmów, które mogą wpływać na pogorszenie jakości produktu, a także eliminację punktowych nadkażeń powstałych w wyniku użytkowania danego preparatu (Bojarowicz 2018: 124–131; Bojarowicz 2008: 30–33; Mołski 2012). Wynika to z faktu, że trwałość kosmetyków, a także produktów spożywczych w dużym stopniu zależy od skutecznej ochrony przed mikroorganizmami, jak również przed procesami utleniania substancji (Malinka 1999; Davidson, Sofos, Branen 2005; Bojarowicz 2012: 647–653). Związki o właściwościach konserwujących powinny posiadać następujące cechy: być bezzapachowe oraz bezbarwne, nie powinny ulegać procesowi rozkładu w czasie terminu przeznaczonego do użycia, nie powinny być toksyczne dla człowieka, powinny wykazywać lepszą rozpuszczalność w środowisku wodnym niż w tłuszczach, być stabilne w szerokim zakresie temperatur oraz w różnych środowiskach, wykazywać aktywność biologiczną w kierunku mikroorganizmów; nie naruszać naturalnego pH skóry, nie powinny przenikać przez skórę, posiadać szerokie spektrum działania, być odporne na dezaktywujące działanie innych składników w kosmetyku, a także wykazywać działanie w niewielkich ilościach (Muszyński 2009: 132–137). Pierwszymi substancjami, które znalazły zastosowanie jako środki konserwujące, były kwasy: salicylowy, sorbinowy, benzoesowy, siarkowy oraz ich sole (Malinka 1999). Obecnie w składzie preparatów kosmetycznych można spotkać m.in. estry kwasu 4-hydroksybenzoesowego (parabeny), a także fenole, alkohole, aldehydy oraz pochodne kwasów organicznych, których głównym działaniem jest konserwacja produktu (Bojarowicz 2012: 647–653; Marwicka 2017: 561–567). Według danych przedstawionych przez Amerykańską Agencję Żywności i Leków (Food Drug Administration, FDA) parabeny występują w ponad 27 tys. kosmetyków (tab. 1) (Steinberg 2016). Dzięki nim preparaty kosmetyczne oraz lecznicze mogą posiadać dłuższe terminy ważności oraz nie trzeba ich przechowywać w ściśle określonych warunkach (Cashman 2005: 57–66). Do tych substancji należą: metyloparaben (E218), etyloparaben (E214), propyloparaben (E216), butyloparaben oraz benzyloparaben (Rastogi 1995: 28–30; Nes 1983: 237–242).

Tabela 1. Zestawienie najczęściej stosowanych substancji konserwujących w preparatach kosmetycznych

Substancja konserwująca	Agencja Żywności i Leków (Food And Drug Administration)		
	2007	2010	2014
Metyloparaben (MP)	11 609	13 434	13 821
Etyloparaben (EP)	3 789	4 869	4 950

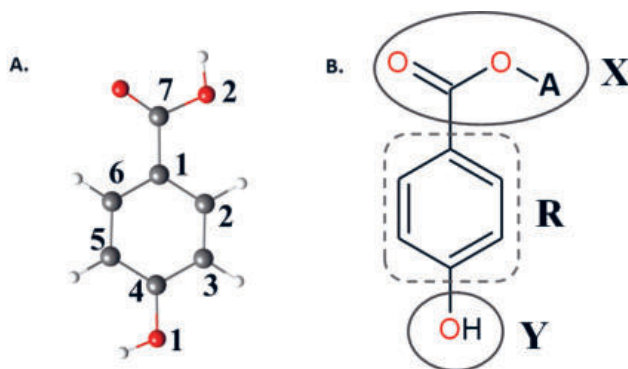
Substancja konserwująca	Agencja Żywności i Leków (Food And Drug Administration)		
	2007	2010	2014
Propyloparaben (PP)	9 329	10 421	10 615
Butyloparaben (BP)	2 784	5 289	5 081
Izobutyloparaben (IZP)	1 684	2 693	2 600
Alkohol benzylowy	1 125	1 991	3 702
Kwas benzoesowy	1 153	604	958
Kwas sorbowy	1 259	1 027	1 599
Σ preparatów kosmetycznych	27 771	36 881	48 423

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Steinberg 2016).

Parabeny zostały zsyntezowane po raz pierwszy przez Teodora Sabalitschaka w 1942 roku (Bojarowicz 2012: 647–653). Otrzymano je w reakcji estryfikacji kwasu 4-hydroksybenzoesowego z alkoholem alifatycznym w środowisku kwaśnym (Malinka 1999; Bojarowicz 2012: 647–653). Do chwili obecnej reakcja ta jest wykorzystywana do otrzymywania parabenów. Estry kwasu 4-hydroksybenzoesowego są substancjami bezbarwnymi, bezzapachowymi oraz bezsmakowymi. Nie wpływają na wygląd oraz właściwości danego produktu (Bojarowicz 2008; Pons-Guiraud, Lafforgue 2012; Roden 2010: 195–197). Związki te wykazują szerokie spektrum aktywności wobec bakterii Gram-ujemnych (słabsza aktywność), Gram-dodatnich (większa aktywność), jak również innych mikroorganizmów (Giordano 1999: 1210–1216; Matwiejczuk 2020: 176–210). Mechanizm działania parabenów w dużej mierze zależy od budowy chemicznej cząsteczki, jednakże nie został on do tej pory dokładnie opisany (Bojarowicz 2012: 647–653). Uważa się, że substancje te wykazują działanie wielokierunkowe: hamują syntezę nici DNA i RNA (Nes 1983: 237–242), spowalniają działanie enzymów (fosfotransferazy, ATP-azy) u niektórych gatunków bakterii (Ma 1996: 329–333), a także blokują procesy transportu błonowego (Freese 1973: 321–325). Siła ich aktywności biologicznej w dużej mierze zależy od długości łańcucha alkilowego, który został przyłączony do grupy estrowej (–COOR). Najsilniejszą aktywność przeciwdrobnoustrojową wobec mikroorganizmów przejawiają one przy pH od 4 do 8 (Bojarowicz 2012: 647–653). Jednakże działanie parabenów może zostać osłabione przez substancje powierzchniowo czynne, które tworzą wiązania wodorowe bądź włączają cząsteczki w micelle (Bojarowicz 2012: 647–653; Bojarowicz 2008: 30–33; Pons-Guiraud, Lafforgue 2012; Roden 2010: 195–197). Większość tych cząsteczek wykazuje dobre właściwości hydrofobowe (lipofilowe), a także zdolność do bioakumulacji (Bojarowicz 2008: 30–33). Substancje o właściwościach hydrofobowych cechują się brakiem powinowactwa do cząsteczek wody, czyli są substancjami trudno rozpuszczalnymi w wodzie (Bojarowicz 2008; Pons-Guiraud, Lafforgue 2012). Warto

dodać, że wysoka aktywność przeciwdrobnoustrojowa parabenów może zostać zaobserwowana wyłącznie w środowisku wodnym, dlatego konieczne jest dodanie niewielkich ilości substancji, która przyspieszy ich rozpuszczanie. Do tych substancji zaliczamy między innymi: glikol propylenowy, glicerynę, a także etanol (Bojarowicz 2008; Pons–Guiraud, Lafforgue 2012; Roden 2010: 195–197; Giordano 1999: 1210–1216; Matwiejczuk 2020: 176–210). Jednakże coraz częściej producenci kosmetyków zastępują pojedyncze substancje mieszaninami parabenów (metyloparabenu i propyloparabenu) ze względu na otrzymanie o wiele szerszego spektrum działania w walce z mikroorganizmami (Soni 2005: 986–988; Bojarowicz 2018: 124–131). Rozporządzenie z 2009 roku opublikowane przez Parlament Europejski klasyfikuje izobutyloparaben, izopropyloparaben oraz ich sole, a także fenyloparaben i benzyloparaben jako substancje zakazane, które nie mogą być stosowane w preparatach kosmetycznych. Natomiast pozostałe estry kwasu 4-hydroksybenzoesowego mogą być zastosowane w kosmetykach tylko w niewielkich ilościach (Rozporządzenie z 2009 r. nr 1223).

Parabeny stanowią interesującą grupę związków do badań metodami chemii obliczeniowej ze względu na wykazywaną aktywność biologiczną (rys. 1). W badaniach kwantowo-chemicznych zastosowano metodę DFT (Hohenberg 1964; Kohn 1965), a następnie na podstawie uzyskanych geometrii cząsteczek i struktury elektronowej policzono deskrytory molekularne opisujące różne właściwości fizykochemiczne dla badanej serii związków. W literaturze można znaleźć różne typy klasyfikacji deskryptorów, ale jednym z najczęściej stosowanym w analizach SAR/QSAR/QSPR (Structure-Activity Relationships/Quantitative Structure-Activity Relationships/Quantitative Structure-Property Relationships) jest podział oparty na poziomach, tzw. 0D i 1D (nie wymagają optymalizacji struktury cząsteczki), 2D (bazują na topologii cząsteczki), 3D (związane są z kształtem cząsteczki) oraz 4D (opisywane są za pomocą pola skalarne) (Consonni 2010; Polański, Bąk 2018). Na podstawie powyższego podziału możemy wyróżnić deskrytory oparte na: 1) parametrach geometrycznych: indeks aromatyczności HOMA (Harmonic Oscillator Model of Aromaticity) (Kruszewski 1972: 3839–3842; Krygowski 1993: 70–78), 2) na strukturze elektronowej: parametry uzyskane z teorii Atomów w Cząsteczkach (Atoms in Molecules, AIM) (Bader 1990), deskrytor ładunku aktywnego obszaru podstawnika (Charge of the Substituent Active Region, cSAR) (Sadlej-Sosnowska 2007: 1123–1134; Sadlej-Sosnowska 2007: 192–196), moment dipolowy (μ) oraz polaryzowalność (α); 3) na parametrach energetycznych: deskrytor energii stabilizacji efektu podstawnikowego (Substituent Effect Stabilization Energy, SESE) (Pross 1980: 818–826) oraz 4) bazujące na współczynniku podziału n-oktanol/woda ($\log P$) (Lide 2003), które sprawdzają się w charakterystyce właściwości fizykochemicznych, czego przykładem mogą być badania efektu podstawnikowego (Szatyłowicz 2019: 3–4; Szatyłowicz 2019: 64–73; Stasyuk 2015: 905–913; Krygowski 2005: 3482–3512).



A = CH_3 (EP); C_2H_5 (MP); C_3H_7 (PP); C_4H_9 (BP); C_5H_{11} (PEP); C_6H_{13} (HP); C_7H_{15} (HEP); $\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ (IP); $\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ (IZP); C_6H_5 (FP); C_7H_7 (BEP)

Oznaczenia: X – podstawnik, R – przekaźnik oraz Y – centrum reakcyjne (podział ten został przedstawiony w pracy (Szatyłowicz 2019: 3–4). Kursywą zaznaczono skróty nazw chemicznych badanych cząsteczek.

Rysunek 1. Schematyczna prezentacja struktur (A) kwasu 4-hydroksybenzoesowego (PHBA) oraz (B) 11 parabenów wraz z numeracją atomów i podziałem cząsteczki na fragmenty istotne w analizach

Źródło: Opracowanie własne.

Głównym celem niniejszego artykułu było pokazanie, jak obecność grupy estrowej (X) moduluje właściwości w pozostałych fragmentach cząsteczki (rys. 1). Rezultaty tych badań dały odpowiedź na poniższe pytania:

1. Czy obecność podstawnika wpływa na zmiany aromatyczności badanych związków?
2. Czy obecność podstawnika wpływa na pojawienie się istotnych zmian w strukturze elektronowej?
3. Czy obecność podstawnika w znaczącym stopniu wpływa na zmianę właściwości hydrofobowych?
4. Czy zastosowane w badaniach deskryptory molekularne są w stanie opisać różnice w analizowanej serii związków?

Badania teoretyczne, oparte na ocenie parametrów fizykochemicznych, mają szczególne znaczenie w projektowaniu nowych związków o określonych właściwościach. W celu ilościowej analizy struktury elektronowej zastosowano teorię Atomów w Cząsteczkach (AIM) (Bader 1990). Do oszacowania hydrofobowości wykorzystano współczynnik podziału n-oktanol/woda, który został policzony w programie chemicznym Molinspiration Chemometrics (Program Molinspiration).

1. Metody oraz narzędzia obliczeniowe

Do symulacji kwantowo-chemicznych został wybrany kwas PHBA oraz jego 11 estrów przedstawionych na rysunku 1. Modele badanych cząsteczek zostały zbudowane w programie Molden (Schaffenaar 2000: 123–134). Otrzymane rezultaty badań

teoretycznych zostały porównane z dostępnymi danymi eksperymentalnymi (X-Ray) z bazy krystalograficznej CCDC (Cambridge Crystallographic Data Centre) (CCDC) (Devogelaer 2021: 3428–3437; Sugden 2022; Nicoli 2008: P4830–4839; Weyna 2012: 2377; Bhardwaj 2016: 53). Obliczenia zostały wykonane na podstawie metody DFT (Density Functional Theory) (Hohenberg 1964; Kohn 1965) z funkcjonałem B3LYP (Becke 1993: 5648–5652; Lee 1988: 785–789) w bazie funkcyjnej 6-311+G(d,p) (Ditchfield 1971: 724–728). W celu potwierdzenia, że cząsteczki znajdują się w minimum na powierzchni energii potencjalnej (Potential Energy Surface, PES) zostały policzone częstości harmoniczne. Dla wszystkich badanych cząsteczek policzono funkcje falowe, które posłużyły do dalszych analiz opartych na gęstości elektronowej (m.in. do otrzymania map topologicznych według teorii AIM oraz potencjałów elektrostatycznych). Następnie policzono deskryptory molekularne dla serii badanych związków, które były oparte na:

1) parametrach metrycznych badanych cząsteczek:

Geometryczny indeks aromatyczności HOMA (Harmonic Oscillator Model of Aromaticity), który można zdefiniować następującym wzorem (Kruszewski 1972: 3839–3842; Krygowski 1993: 70–78):

$$\text{HOMA} = 1 - \frac{\alpha}{n} \sum_{i=1}^n (d_{opt} - d_i)^2 \quad (1)$$

gdzie d_i – opisuje długość wiązania w rozpatrywanej cząsteczce; d_{opt} – charakteryzuje długość optymalną wiązania; n – numer rozpatrywanych wiązań CC w cząsteczce; α – współczynnik normalizacji, który jest stałą wartością równą 257,7. W układach aromatycznych parametr HOMA = 1, a jego wartość maleje w układach o niskim stopniu aromatyczności. Z kolei dla układów niearomatycznych indeks HOMA = 0.

2) parametrach otrzymanych ze struktury elektronowej:

Analiza topologiczna oparta na teorii AIM (Bader 1990) pozwoliła na opisanie gęstości elektronowej, wartości jej Laplasjanu (drugiej pochodnej gęstości elektronowej) w punktach krytycznych wiązań (Bond Critical Point, BCP) oraz w punkcie krytycznym pierścienia (Ring Critical Point, RCP), a także na policzenie wartości cząstkowych ładunków atomowych AIM. Natomiast deskryptor ładunku aktywnego obszaru podstawnika cSAR(X) (Charge of the Substituent Active Region) (Sadlej-Sosnowska 2007: 1123–1134; Sadlej-Sosnowska 2007: 192–196), który został zaproponowany przez N. Sadlej-Sosnowską, jest definiowany jako suma ładunków atomowych zlokalizowanych na podstawniku ($q(X)$) oraz przy atomie węgla (*Cipso*), do którego został przyłączony podstawnik. Wzór opisujący parametr cSAR(X) ma postać:

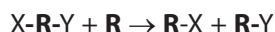
$$\text{cSAR}(X) = q(X) + q(C_{ipso}) \quad (2)$$

W obliczeniach deskryptora cSAR zostały wykorzystane ładunki atomowe policzone według schematu Hirshfelda (Hirshfeld 1977: 129–138). Kolejnymi przykładami deskryptorów, które bazują na parametrach otrzymanych ze struktury elektronowej, jest moment dipolowy i polaryzowalność. Moment dipolowy jest wektorową

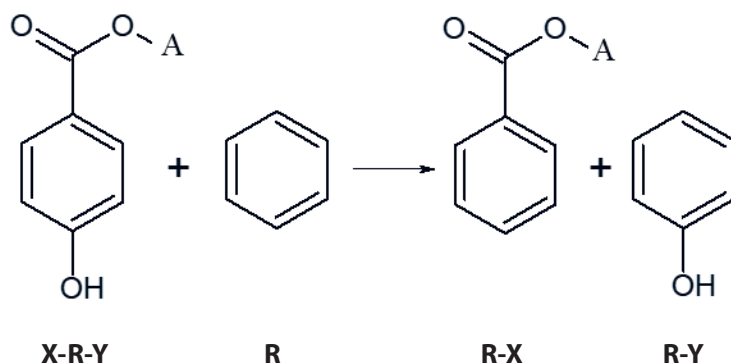
wielkością fizyczną wykorzystywaną jako miara do określenia orientacji cząsteczki w zewnętrznym polu elektrycznym. Z kolei polaryzowalność to również wielkość fizyczna, która opisuje zdolność rozkładu ładunku cząsteczki do deformacji pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego, co w efekcie prowadzi do utworzenia dipoli elektrycznych.

3) parametrach energetycznych:

Deskryptor energii stabilizacji efektu podstawnikowego (Substituent Effect Stabilization Energy, SESE) (Pross 1980: 818–826) bazuje na reakcji homodesmotycznej, którą można przedstawić w następujący sposób:



$$\text{SESE} = E(\text{R-X}) + E(\text{R-Y}) - E(\text{X-R-Y}) - E(\text{R})$$



Rysunek 2. Schematyczna prezentacja reakcji homodesmotycznej dla serii badanych związków

Źródło: Opracowanie własne.

4) parametrze podziału n-oktanol-woda:

Współczynnik podziału n-oktanol/woda ($\log P$) (Lide 2003) został wyznaczony „*in silico*” dla kwasu PHBA oraz 11 parabenów za pomocą milogP w programie Molinspiration Chemometrics (Program Molinspiration).

Symulacje kwantowo-chemiczne wykonano w programie Gaussian 16, Rev. C.01 (Program Gaussian). Wartości indeksu aromatyczności HOMA obliczono w programie Multiwfn 3.7 (Lu 2012: 580–592). Analiza AIM została wykonana w programie AIMAll (Program AIMAll), zaś grafy molekularne z zaznaczonymi wartościami ładunków atomowych i punktami krytycznymi przygotowano w programie AIMStudio. Wizualizacje analizowanych związków wykonano w programach Chimera 1.14 (Pettersen 2004: 1605–1612), Jmol (Program Jmol) oraz Gimp (Program Gimp). Oznaczenia atomów oraz skróty nazw kwasu 4-hydroksybenzoesowego oraz jego 11 parabenów zostały zdefiniowane tylko na potrzeby niniejszego artykułu.

2. Wyniki i dyskusja

Otrzymane z badań teoretycznych parametry geometryczne dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego oraz jego 11 estrów zestawiono w tabeli 2. We wszystkich cząsteczkach odległości pomiędzy atomami w pierścieniu aromatycznym charakteryzują się podobną długością wiązań. Kolejnym parametrem metrycznym, który został opisany, była to wartość kąta walencyjnego $\angle C1C7O2$. Wartości uzyskane dla $\angle C1C7O2$ były zbliżone we wszystkich molekułach.

Tabela 2. Zestawienia parametrów metrycznych kwasu 4-hydroksybenzoesowego (PHBA) oraz jego 11 estrów. Symulacje wykonano w oparciu o DFT na poziomie obliczeniowym B3LYP/6-311+G(d,p)

Parametry metryczne	Cząsteczka											
	PHBA	MP	EP	PP	BP	PEP	HP	HEP	IP	IZP	FP	BEP
Długości wiązań [Å]												
C1-C2	1,403 1,396	1,401 1,416	1,402 1,396	1,403 1,384	1,401 1,397	1,402	1,401	1,401	1,402	1,402	1,403	1,402
C2-C3	1,386 1,388	1,388 1,388	1,387 1,381	1,393 1,382	1,388 1,382	1,387	1,388	1,388	1,387	1,387	1,386	1,387
C3-C4	1,398 1,395	1,397 1,408	1,397 1,395	1,389 1,396	1,397 1,395	1,397	1,397	1,397	1,397	1,397	1,398	1,397
C4-C5	1,399 1,398	1,398 1,409	1,398 1,398	1,393 1,391	1,398 1,392	1,398	1,398	1,398	1,398	1,398	1,399	1,398
C5-C6	1,387 1,386	1,388 1,389	1,388 1,388	1,398 1,380	1,388 1,380	1,388	1,389	1,389	1,388	1,388	1,387	1,388
C1-C7	1,479 1,480	1,495 1,477	1,485 1,476	1,487 1,488	1,495 1,474	1,486	1,495	1,495	1,487	1,486	1,482	1,485
C4-O1	1,362 1,363	1,363 1,353	1,364 1,351	1,362 1,356	1,363 1,354	1,364	1,364	1,364	1,364	1,364	1,362	1,364
Wartości kątów [°]												
$\angle C1C7O2$	113,07	119,08	112,55	109,00	123,12	112,53	119,00	119,00	112,38	112,34	111,49	112,41

Wartości eksperymentalne zaznaczono kolorem szarym

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: (Devogelaer 2021: 3428–3437; Sugden 2022; Nicoli 2008: P4830–4839; Weyna 2012: 2377; Bhardwaj 2016: 53).

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że zastosowany w symulacjach kwantowo-chemicznych funkcjonal dobrze odtworzył parametry metryczne dla badanych cząsteczek. Otrzymane rezultaty badań teoretycznych są zgodne z danymi uzyskanymi z metody dyfrakcji rentgenowskiej (X-Ray), co zostało pokazane w tabeli 2. Następnie zostały przeprowadzone analizy właściwości fizykochemicznych

w oparciu o deskryptory molekularne (HOMA, SESE, cSAR(X), cSAR(Y) i logP, μ oraz α), które zestawiono w tabeli 3.

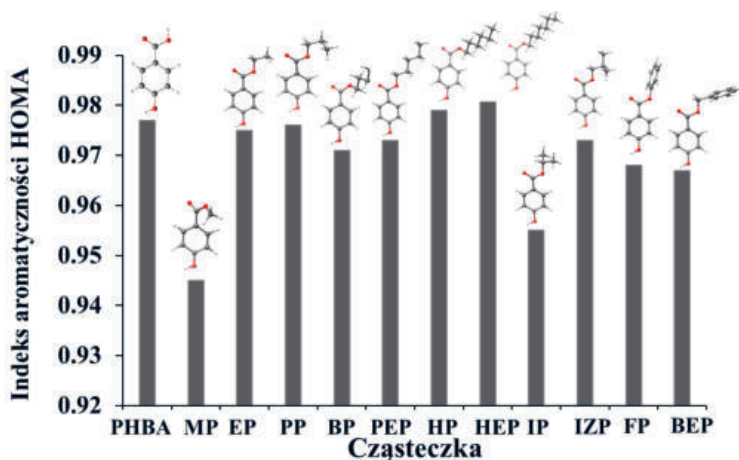
Tabela 3. Obliczone wartości deskryptorów HOMA, SESE, cSAR(X), cSAR(Y), logP, μ oraz α dla kwasu 4-hydroksybenzoesowy (PHBA) oraz 11 estrów tego kwasu

Cząsteczka	Indeks aromatyczności HOMA	SESE	cSAR(X)	cSAR(Y)	logP	μ [D]	α [a.u.]
PHBA	0,977	1,331	-0,118	0,075	1,37	1,927	93,53
MP	0,945	0,842	-0,093	0,072	1,63	4,553	104,79
EP	0,975	1,171	-0,094	0,071	2,00	1,129	119,11
PP	0,976	1,169	-0,096	0,071	2,51	1,181	131,19
BP	0,971	0,846	-0,096	0,068	3,07	4,427	142,63
PEP	0,973	1,153	-0,089	0,068	3,57	1,124	157,08
HP	0,979	0,844	-0,049	0,065	4,08	4,443	167,53
HEP	0,981	0,847	-0,097	0,064	4,58	4,374	179,97
IP	0,955	1,168	-0,090	0,068	2,37	0,970	131,77
IZP	0,973	1,169	-0,093	0,069	2,75	1,223	144,19
FP	0,968	1,309	-0,103	0,073	3,33	1,675	165,58
BEP	0,967	1,195	-0,097	0,074	3,22	1,352	176,25

Wartości deskryptorów zostały obliczone w oparciu o DFT (B3LYP/6-311+G(d,p))

Źródło: Opracowanie własne.

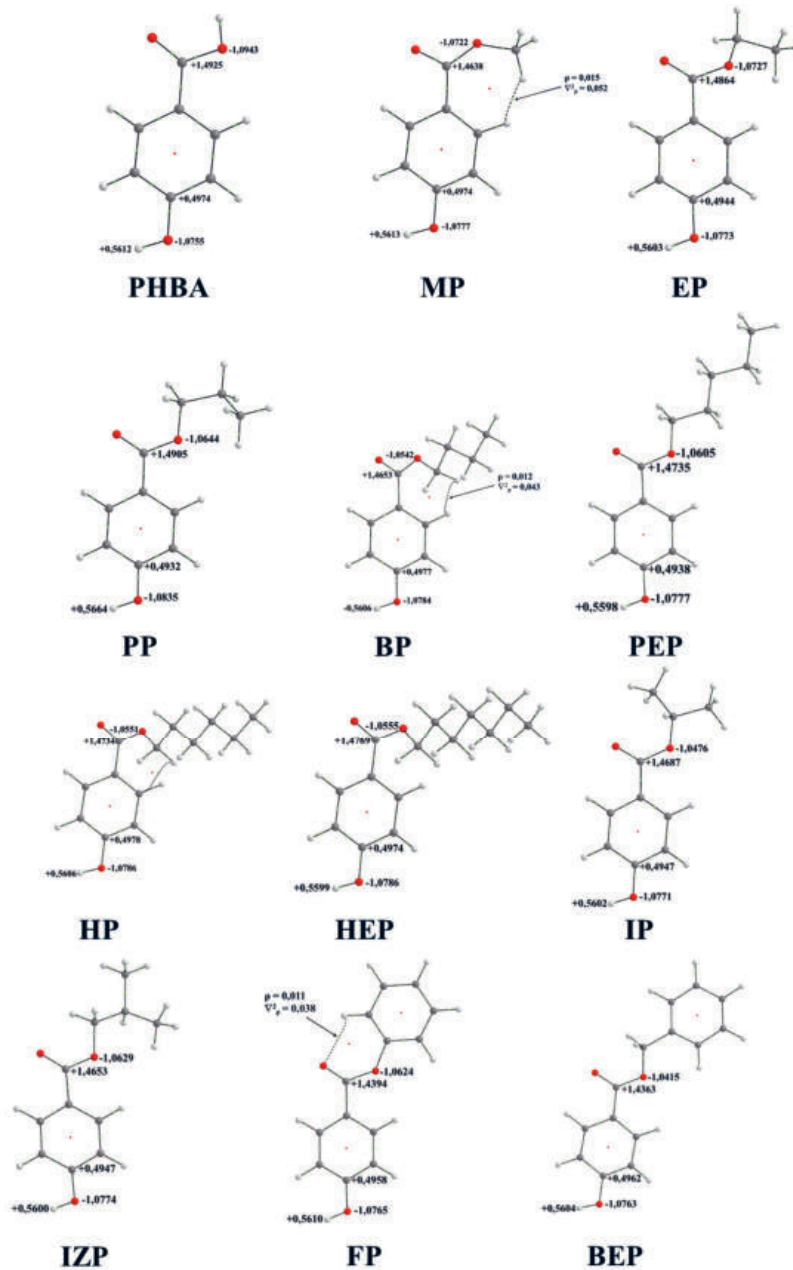
Zmiany wartości indeksu aromatyczności HOMA zostały zilustrowane na rysunku 3. Analiza wykazała, że wszystkie badane cząsteczki są aromatyczne. Odnotowano wąski przedział zmienności wahający się $\pm 0,04$, co wskazuje na wpływ podstawnika X i Y (różne grupy estrowe, a także obecność grupy hydroksylowej). Wartość indeksu HOMA dla PHBA wynosi 0,977 i jest ona porównywalna z wartościami otrzymanymi dla analizowanych parabenów. Wartość indeksu HOMA dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego stanowi wartość referencyjną w niniejszej pracy. Ponadto należy podkreślić, że przyłączenie grupy estrowej w niewielkim stopniu wpływa na zmiany w delokalizacji elektronów π w pierścieniu benzenowym. Jak wynika z tabeli 3 i rysunku 3, największą wartość indeksu HOMA, w porównaniu do kwasu 4-hydroksybenzoesowego, mają cząsteczki zawierające podstawniki $-C_6H_{13}$ i $-C_7H_{15}$.



Rysunek 3. Wykres zmian aromatyczności otrzymany za pomocą indeksu HOMA dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego oraz jego 11 estrów

Źródło: Opracowanie własne.

Otrzymane rezultaty z analizy topologicznej opartej na teorii AIM zostały przedstawione na rysunku 4 oraz w tabeli 4. Analizę rozkładu gęstości elektronowej rozpoczęto od zbadania ścieżek wiązania i zlokalizowania punktów krytycznych wiązań zdefiniowanych przez wartości własne w punkcie $(3, -1)$. Wartości gęstości elektronowej i jej Laplasjanu są parametrami opisującymi właściwości wiązań chemicznych.



Kolorami zostały zaznaczone wartości odpowiednich parametrów: punkty krytyczne wiązania (BCP) – zielone kulki oraz punkty krytyczne pierścienia (RCP) – czerwone kulki.

Rysunek 4. Grafy molekularne cząsteczki kwasu 4-hydroksybenzoesowego oraz jego 11 estrów wraz z ładunkami atomowymi otrzymanymi z teorii AIM

Źródło: Opracowanie własne.

Wiązania C4-O1 oraz C7-O2 mają gęstość elektronową mieszczącą się w przedziale od 0,28 do 0,30 [a.u.] oraz ujemne wartości Laplasjanu (∇^2_ρ) dla wszystkich badanych cząsteczek, co jednoznacznie wskazuje na kowalencyjny charakter wiązań (tab. 4). Warto zauważyć, że teoria Atomów w Cząsteczkach (AIM) wskazała na obecność wewnątrzcząsteczkowych oddziaływań niekowalencyjnych (obecność BCP w cząsteczkach MP, BP oraz FP). Skutkuje to utworzeniem tzw. quasi-pierścieni, które dodatkowo stabilizują konformację badanych cząsteczek. Oddziaływanie wewnątrzcząsteczkowe H...O w FP zostało opisane przez niewielką wartość ρ równą 0,011 [a.u.] oraz dodatnią wartość ∇^2_ρ 0,038 [a.u.] w punkcie krytycznym wiązania. Ponadto na rysunku 4 zostały zaobserwowane punkty krytyczne pierścienia (RCP), które są zdefiniowane przez wartości własne w punkcie (3, +1), zarówno w pierścieniu benzenowym, jak i w quasi-pierścieniu. Następnie przanalizowano rozkład ładunków atomowych policzonych według teorii AIM. Dla 12 przebadanych struktur wartości ładunków atomowych na wybranych atomach nieznacznie się od siebie różnią. Największą wartość ładunku atomowego zaobserwowano na atomie tlenu pochodzącego z grupy hydroksylowej (-OH) dla PHBA, a najniższą uzyskano dla PP (rys. 4). Na podstawie otrzymanych wartości można zauważyć, że taka dokładność całkowania ρ zapewnia możliwość uzyskania zadawalającego opisu przepływu ładunku w kwasie 4-hydroksybenzoesowym oraz jego 11 estrach.

Tabela 4. Wartości gęstości elektronowej w punkcie krytycznym wiązania (BCP) oraz w punkcie krytycznym pierścienia (RCP) otrzymane z analizy AIM dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego oraz jego 11 estrów

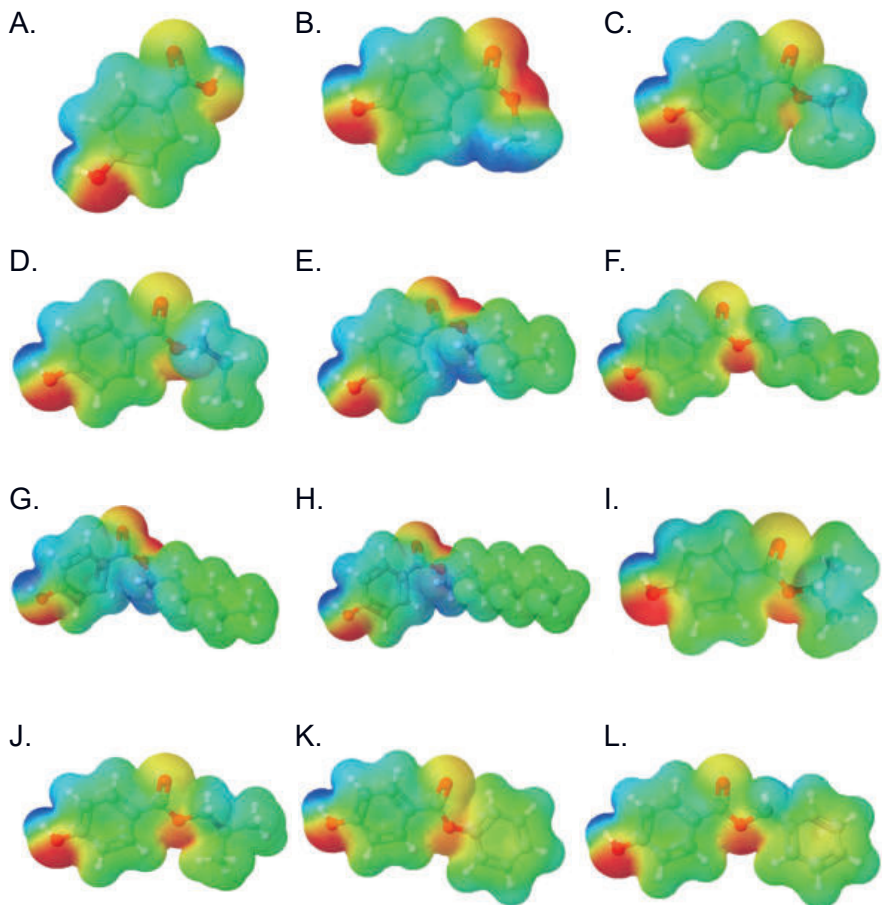
Cząsteczka	BCP				RCP	
	C4-O1		C7-O2		ρ [a.u.]	∇^2_ρ [a.u.]
	ρ [a.u.]	∇^2_ρ [a.u.]	ρ [a.u.]	∇^2_ρ [a.u.]		
PHBA	0,286	-0,372	0,303	-0,475	0,021	0,157
MP	0,287	-0,364	0,290	-0,372	0,021	0,156
					0,008	0,040
EP	0,286	-0,365	0,299	-0,517	0,021	0,157
PP	0,285	-0,361	0,298	-0,485	0,021	0,158
BP	0,286	-0,366	0,290	-0,474	0,021	0,156
					0,010	0,045
PEP	0,286	-0,364	0,297	-0,513	0,021	0,156
HP	0,286	-0,368	0,293	-0,492	0,021	0,157
HEP	0,286	-0,368	0,293	-0,505	0,021	0,157
IP	0,285	-0,367	0,294	-0,539	0,021	0,155

Cząsteczka	BCP				RCP	
	C4-O1		C7-O2			
	ρ [a.u.]	∇^2_{ρ} [a.u.]	ρ [a.u.]	∇^2_{ρ} [a.u.]	ρ [a.u.]	∇^2_{ρ} [a.u.]
IZP	0,286	-0,366	0,296	-0,508	0,021	0,156
FP	0,286	-0,366	0,269	-0,457	0,021	0,156
					0,009	0,045
BEP	0,286	-0,369	0,292	-0,537	0,021	0,156

Wartości liczbowe gęstości elektronowej w RCP quasi-pierścienia zaznaczono czcionką w kolorze szarym

Źródło: Opracowanie własne.

Z kolei zastosowanie deskryptora cSAR(X) umożliwiło dokonanie oceny wpływu grupy $-\text{COOH}$ (grupy karboksylowej) lub $-\text{COOR}$ (grupy estrowej) na zmianę właściwości pierścienia aromatycznego i grupy hydroksylowej ($-\text{OH}$). Na podstawie danych zestawionych w tabeli 3 widzimy, że wartości cSAR(X) wahają się od $-0,049$ (dla estru HP) do $-0,118$ (dla cząsteczki kwasu PHBA). W kwasie 4-hydroksybenzenowym, gdzie centrum reakcyjnym jest grupa $-\text{OH}$, zaobserwowano najniższą wartość deskryptora cSAR(X), a najwyższą dla cząsteczki HP. Natomiast wszystkie badane układy zostały scharakteryzowane przez dodatnie wartości parametru cSAR(Y). Najniższą wartość deskryptora cSAR(Y) uzyskano dla estru HEP. Dodatkowo rezultaty badań opartych na strukturze elektronowej zostały zilustrowane na mapach potencjału elektrostatycznego (rys. 5) dla wszystkich badanych związków. Kolorem czerwonym zaznaczono obszary odpowiadające ujemnemu (δ^-) potencjałowi elektrostatycznemu, natomiast kolorem niebieskim wskazano miejsca o dodatniej (δ^+) wartości potencjału elektrostatycznego. Obszary w kolorze niebieskim zostały zlokalizowane przy atomie wodoru należącym do grupy hydroksylowej przyłączonej w pozycji para do pierścienia benzenowego. Widoczne jednak jest, że na atomach tlenu skupiony został ładunek ujemny. Największe obszary w kolorze niebieskim (dodatni potencjał elektrostatyczny) zostały odnotowane dla cząsteczek HP, HEP oraz BP. Natomiast największe obszary ujemnego potencjału elektrostatycznego zaobserwowano dla cząsteczki MP. Badania struktury elektronowej pozwalają w prosty sposób zlokalizować oddziaływanie o charakterze elektrostatycznym. Analizy tego typu powszechnie stosowane są do badań kompleksów ligand-akceptor/receptor, w celu dopasowania miejsca wiążącego małej cząsteczki, takich jak ester kwasu 4-hydroksybenzoesowego (paraben) w białku, ale również do określenia właściwości kwasowo-zasadowych badanej cząsteczki.



Rysunek 5. Mapy potencjału elektrostatycznego kwasu 4-hydroksybenzoesowego (PHBA) oraz jego 11 estrów. (A. PHBA; B. MP; C. EP; D. PP; E. BP; F. PEP; G. HP; H. HEP; I. IP; J. IZP; K. FP; L. BEP) dla powierzchni czerwonej (δ^-) -0.05 jedn. at. oraz (δ^+) $+0.05$ jedn. at. dla powierzchni niebieskiej. Symulacje wykonano na poziomie obliczeniowym B3LYP/6-311+G(d,p)

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym z deskryptorów molekularnych wykorzystującym parametry otrzymane ze struktury elektronowej jest moment dipolowy (μ). Wartości tego parametru zależą w dużym stopniu od budowy chemicznej cząsteczki, a więc nawet niewielkie zmiany strukturalne (przyłączenie grupy $-\text{COOH}$ lub $-\text{COOR}$) mają wpływ na jego wartość. Na podstawie otrzymanych wyników symulacji kwantowo-chemicznych dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego oraz jego 11 estrów zaobserwowano, że badane cząsteczki charakteryzują się niezerowym momentem dipolowym (μ) (tab. 3). Największe wartości μ ok. 4,4 D zostały otrzymane dla cząsteczek MP, HP oraz HEP, natomiast najniższą wartość momentu dipolowego w badanej serii analizowanych związków

posiada IZ. Wyniki otrzymane dla deskryptora molekularnego α (polaryzowalności) zostały zestawione w tabeli 3. Parametr ten pozwala na ocenę siły oddziaływań, a także sprawdza się przy opisie nieliniowych właściwości optycznych układu (Ghiasi 2015: 2740–2746). Badane parabeny mają wysokie wartości polaryzowalności (α) i są one wyższe w porównaniu do kwasu PHBA. Jak wynika z tabeli 3, cząsteczki, które w grupie estrowej mają przyłączone nierozgałęzione łańcuchy powyżej 5 atomów węgla, mają wysoką wartość parametru polaryzowalności.

Wykorzystanie deskryptora molekularnego SESE pozwoliło zaobserwować stabilizujący wpływ podstawnika (wartości SESE > 0). Najsilniejszy efekt stabilizujący (największa wartość SESE) otrzymano dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego (PHBA), zaś najłagodniejszy efekt (najniższa wartość SESE) dla metyloparabenu.

Zastosowanie w badaniach deskryptora molekularnego – współczynnika podziału n-oktanol/woda w kwasie PHBA oraz parabenach pokazało, że wartości logP w dużym stopniu zależą od budowy chemicznej cząsteczki (tab. 3). Wartości logP zwiększają się wraz ze wzrostem masy cząsteczkowej badanego związku, co z kolei silnie wiąże się z łatwością rozpuszczania się parabenów w wodzie. Rozpuszczalność parabenów zależy od rodzaju podstawnika, która w większym bądź mniejszym stopniu przyczynia się do rozpuszczania substancji w rozpuszczalniku polarnym, takim jak np. woda. Otrzymane rezultaty badań są zgodne z danymi podanymi w literaturze (Bojarowicz 2008: 30–33; Pons–Guiraud 2012; Roden 2010: 195–197). Najniższą wartość logP otrzymano dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego, co oznacza, że cząsteczka wykazuje niewielką hydrofobowość, a także posiada niewielkie zdolności do bioakumulacji w przeciwieństwie do estrów tego kwasu. Najniższą wartość logP spośród wszystkich badanych parabenów uzyskano dla MP. Otrzymane wyniki pozwalają zauważyć, że cząsteczka MP posiada podobne właściwości do bioakumulacji jak PHBA. Z kolei najwyższą wartość logP = 4,58 otrzymano dla HEP, co potwierdza małe powinowactwo związku do łączenia się z cząsteczkami wody.

Podsumowanie

W pracy zostało zaprezentowane podejście teoretyczne, które pozwoliło opisać właściwości fizykochemiczne badanych związków. Symulacje kwantowo-chemiczne zostały wykonane dla kwasu 4-hydroksybenzoesowego (PHB) oraz jego 11 estrów z wykorzystaniem metody DFT. Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Aromatyczność w badanej serii związków zmienia się nieznacznie pod wpływem zmian w grupie estrowej.
2. Teoria AIM wskazała na istnienie wewnątrzcząsteczkowych oddziaływań niekowalencyjnych w cząsteczkach MP, BP oraz FP.
3. Mapy potencjałów elektrostatycznych wskazały najbardziej reaktywne fragmenty badanych cząsteczek.

4. Wartość parametru polaryzowalności oraz współczynnika logP otrzymanego dla parabenów silnie zależy od budowy cząsteczki.
5. Dla wszystkich badanych związków wartość deskryptora SESE była większa od zera, co świadczy o stabilizującym wpływie podstawników.

Jak pokazano w niniejszej pracy, metody teoretyczne okazały się być szybkim i efektywnym narzędziem w charakterystyce właściwości fizykochemicznych badanych związków o niewielkich różnicach strukturalnych. Otrzymane wyniki z badań teoretycznych są zbliżone do dostępnych danych eksperymentalnych.

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować Wrocławskiemu Centrum Sieciowo-Superkomputerowemu (WCSS) oraz Poznańskiemu Centrum Superkomputerowo-Sieciowemu (PCSS) za udostępnienie infrastruktury, czasu obliczeniowego i oprogramowania, a także wszelką pomoc w trakcie realizacji projektu.

Bibliografia

- Bader, R.F.W. 1990, *Atoms in molecules: a quantum theory*, Oxford.
- Becke A.D., 1993, *Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange*, „Journal of Chemical Physics”, Vol. 98.
- Bhardwaj R.M., Yang H., Florence A.J., 2016, *Crystal structure of the co-crystal butylparaben-isonicotinamide (1/1)*, „Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications”, Vol. 72.
- Bojarowicz H., Fronczak P., Krysiński J., 2018, *Czy kosmetyki mogą nie zawierać konserwantów?*, „Hygeia Public Health”, Vol. 53.
- Bojarowicz H., Wnuk M., Buciuński A., 2012, *Efektywność i bezpieczeństwo stosowania parabenów*, „Problemy Higieny i Epidemiologii”, t. 93.
- Bojarowicz H., Wojciechowska M., Gocki J., 2008, *Substancje konserwujące stosowane w kosmetykach oraz ich działania niepożądane*, „Problemy Higieny i Epidemiologii”, t. 89.
- Cashman A.L., Warshaw E.M., 2005, *Parabens: a review of epidemiology, structure, allergenicity, and hormonal properties*, „Dermatitis”, Vol. 16.
- CCDC. <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> [dostęp: 23.05.2022].
- Consonni V., Todeschini, R., 2010, *Molecular Descriptors*, w: T. Puzyn, J. Leszczynski, M. Cronin (eds), *Recent Advances in QSAR Studies. Challenges and Advances in Computational Chemistry and Physics*, Dordrecht.
- Davidson P.M., Sofos J.N., Branen A.L., 2005, *Antimicrobials in food, Third Edition*, London, New York, Singapore.
- Devogelaer J.-J., Charpentier M.D., Tijink A., Dupray V., Coquerel G., Johnston K., Meekes H., Tinne-mans P., Vlieg E., Horst ter J.H., Gelder de R., 2021, *Cocrystals of Praziquantel: Discovery by Network-Based Link Prediction*, „Crystal Growth & Design”, Vol. 21.
- Ditchfield R., Hehre W.J., Pople, J.A., 1971, *Self-Consistent Molecular-Orbital Methods. IX. An Extended Gaussian-Type Basis for Molecular-Orbital Studies of Organic Molecules*, „Journal of Chemical Physics”, Vol. 54.

- Freese E., Sheu C.W., Galliers E., 1973, *Function of lipophilic acids as antimicrobial food additives*, „Nature”, Vol. 241.
- Ghiasi R., Padsar H., Irajzadeh F., 2015, *Understanding the Structure Substituent Effect, Natural Bond Analysis and Aromaticity of Osmabenzene: A DFT study*, „Journal of the Chilean Chemical Society”, Vol. 60.
- Giordano F., Bettini R., Donini C., Gazzaniga A., Caira M.R., Zhang G.G.Z., Grant D.J.W., 1999, *Physical properties of parabens and their mixtures: Solubility in water, thermal behavior, and crystal structures*, „Journal of Pharmaceutical Sciences”, Vol. 88.
- Halla N., Fernandes I.P., Heleno S.A., Costa P., Boucherit-Otmani Z., Boucherit K., Rodrigues A.E., Ferreira I.C.F.R., Barreiro M.F., 2018, *Cosmetics preservation: a review on present strategies*, „Molecules”, Vol. 23.
- Hirshfeld F.L., 1977, *Bonded-atom fragments for describing molecular charge densities*, „Theoretica Chimica Acta”, Vol. 44.
- Hohenberg P., Kohn W., 1964, *Inhomogeneous Electron Gas*, „Physical Review”, Vol. 136.
- Kohn W., Sham L.J., 1965, *Self-consistent equations including exchange and correlation effects*, „Physical Review”, Vol. 140.
- Kruszewski J., Krygowski T.M., 1972, *Definition of Aromaticity Basing on the Harmonic Oscillator Model*, „Tetrahedron Letters”, Vol. 13.
- Krygowski, T.M., 1993, *Crystallographic Studies Of Inter- and Intramolecular Interactions Reflected in Aromatic Character of π Electron Systems*, „Journal of Chemical Information and Modeling”, Vol. 13.
- Krygowski T.M., Stepień B.T., 2005, *Sigma- and Pi-Electron Delocalization: Focus on Substituent Effects*, „Chemical Reviews”, Vol. 105.
- Leach A.R., 2001, *Molecular Modelling: Principles and Applications 2nd Edition*, England.
- Lee C., Yang W., Parr R.G., 1988, *Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density*, „Physical Review B”, Vol. 37.
- Lide D.R., (ed.), 2003, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, Cleveland.
- Lu T., Chen F., 2012, *Multifwf: a multifunctional wavefunction analyzer*, „Journal of Computational Chemistry”, Vol. 33.
- Malinka W., 1999, *Zarys chemii kosmetycznej*, Wrocław.
- Marwicka J., Niemyska K., Wieczorek M., 2017, *Parabeny jako substancje konserwujące stosowane w preparatach kosmetycznych oraz ich wpływ na apoptozę fibroblastów skóry człowieka*, „Kosmetologia Estetyczna”, t. 6.
- Matwiejczuk N., Galcka A., Brzóska M.M., 2020, *Review of the safety of application of cosmetic products containing parabens*, „Journal of Applied Toxicology”, Vol. 40.
- Ma Y., Marquis R.E., 1996, *Nieodwracalne parabenowe hamowanie glikolizy przez Streptococcus mutans GS-5*, „Listy z mikrobiologii stosowanej”, t. 23.
- Molski M., 2012, *Chemia piękna*, Warszawa.
- Muszyński Z., Ratajczak M., 2009, *Konserwacja przeciwdrobnoustrojowa leków*, „Farmacja Polska”, Tom LXV.
- Nes I.F., Eklund T., 1983, *The effect of parabens on DNA, RNA and protein synthesis in Escherichia coli and Bacillus subtilis*, „Journal of Applied Bacteriology”, Vol. 54.
- Nicoli S., Bilzi S., Santi P., Caira M., Li J., Bettini R., 2008, *Ethyl-paraben and nicotinamide mixtures: Apparent solubility, thermal behavior and X-ray structure of the 1:1 co-crystal*, „Journal of Pharmaceutical Sciences”, Vol. 97.

Pettersen E.F., Goddard T.D., Huang C.C., Couch G.S., Greenblatt D.M., Meng E.C., Ferrin T.E., 2004, *UCSF Chimera—a visualization system for exploratory research and analysis*, „Journal of Computational Chemistry”, Vol. 25.

Polański, J., Bąk A., 2018, *Podstawy chemoinformatyki leków Wydanie drugie rozszerzone*, Katowice.

Pons–Guiraud A., Lafforgue C., 2012, *Parabens: what to tell our patients*, www.dermocosmetologie.fr. [dostęp: 23.05.2022].

Program AIMAll. Keith, T.A., Gristmill, T.K. 2019, AIMAll (Version 19.10.12), Software, Overland Park KS, USA, (aim.tkgristmill.com).

Program Gaussian. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B., Scuseria G.E., Robb M.A., Cheeseman J.R., Scalmani G., Barone V., Petersson G.A., Nakatsuji H., Li X., Caricato M., Marenich A.V., Bloino J., Janesko B.G., Gomperts R., Mennucci B., Hratchian H.P., Ortiz J.V., Izmaylov A.F., Sonnenberg J.L., Williams-Young D., Ding F., Lipparini F., Egidi F., Goings J., Peng B., Petrone A., Henderson T., Ranasinghe D., Zakrzewski V.G., Gao J., Rega N., Zheng G., Liang W., Hada M., Ehara M., Toyota K., Fukuda R., Hasegawa J., Ishida M., Nakajima T., Honda Y., Kitao O., Nakai H., Vreven T., Throssell K., Montgomery Jr J.A., Peralta J.E., Ogliaro F., Bearpark M.J., Heyd, J.J., Brothers E.N., Kudin K.N., Staroverov V.N., Keith T.A., Kobayashi R., Normand J., Raghavachari K., Rendell A.P., Burant J.C., Iyengar S.S., Tomasi J., Cossi M., Millam J.M., Klene M., Adamo C., Cammi R., Ochterski J.W., Martin R.L., Morokuma K., Farkas O., Foresman J.B., Fox D.J., 2016, Gaussian 16, rev. B.01. Gaussian, Inc., Wallingford.

Program Gimp. The GIMP Development Team, 2019. GIMP, <http://www.gimp.org> [dostęp: 29.04.2022].

Program Jmol. Jmol: an open-source Java viewer for chemical structures in 3D, <http://www.jmol.org/> [dostęp: 29.04.2022].

Program Molinspiration, <https://www.molinspiration.com/cgi-bin/properties> [dostęp: 23.05.2022].

Pross A., Radom L., Taft R.W., 1980, *Theoretical approach to substituent effects. Phenols and phenoxide ions*, „Journal of Organic Chemistry”, Vol. 45.

Rastogi S.C., Schouten A., Kruijff N. de, Weijland J.W., 1995, *Contents of methyl-, ethyl-, propyl-, butyl- and benzylparaben in cosmetic products*, „Contact Dermatitis”, Vol. 22.

Roden K., 2010, *Preservatives in personal care products*, „Microbiology Australia”, Vol. 9.

Rozporządzenie Komisji (EU) Nr 358/2014 z dnia 9 kwietnia 2014 r. zmieniające załączniki II i V do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1223/2009 dotyczącego produktów kosmetycznych [dostęp: 23.05.2022].

Sadlej-Sosnowska N., 2007, *On the way to Physical Interpretation of Hammett Constants: How Substituent Active Space Impacts on Acidity and Electron Distribution in p-Substituted Benzoic Acid Molecules*, „Polish Journal of Chemistry”, Vol. 81.

Sadlej-Sosnowska N., 2007, *Substituent active region – a gate for communication of substituent charge with the rest of a molecule: Monosubstituted benzenes*, „Chemical Physics Letters”, Vol. 447.

Schaftenaar G., Noordik J.H., 2000, *Molden: a pre- and post-processing program for molecular and electronic structures*, „Journal of Computer-Aided Molecular Design”, Vol. 14.

Soni M.G., Carabin I.G., Burdock G.A., 2005, *Safely assessment of esters of p-hydroxybenzoic acid (parabens)*, „Food and Chemical Toxicology”, Vol. 43.

Stasyuk O.A., Szatylowicz H., Fonseca Guerra C., Krygowski T.M., 2015, *Theoretical study of electron-attracting ability of the nitro group: classical and reverse substituent effects*, „Structural Chemistry”, Vol. 26.

Steinberg D.C., 2016, Steinberg & Associates, *Frequency of preservative use update through*, „Cosmetics & Toiletries”, USA.

Stewart S.E., Parker M.D., Amezquita A., Pitt T.L., 2016, *Microbiological risk assessment for personal care products*, „International Journal of Cosmetic Science”, Vol. 38.

Sugden I.J., Braun D.E., Bowskill D.H., Adjiman C.S., Pantelides C.C., 2022, *Efficient Screening of Cofomers for Active Pharmaceutical Ingredient Cocrystallization*, „Crystal Growth & Design”, Vol. 22.

Szatyłowicz H., Domański M.A., Krygowski T.M., 2019, *Classical and Reverse Substituent Effects in Substituted Anthrol Derivatives*, „ChemistryOpen”, Vol. 8.

Szatyłowicz H., Krygowski T.M., 2019, *O zależnościach pomiędzy aromatycznością i efektem podstawnikowym w układach jednopierścieniowych*, „Wiadomości Chemiczne”, t. 78.

Weyna D.R., Cheney M.L., Shan N., Hanna M., Wojtas L., Zaworotko M.J., 2012, *Crystal engineering of multiple-component organic solids: Pharmaceutical cocrystals of tadalafil with persistent hydrogen bonding motif*, „CrystEngComm”, Vol. 14.

Biogramy

Beata Kizior – doktorantka III roku Szkoły Doktorskiej Politechniki Wrocławskiej. Studia I i II stopnia ukończyła na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Jej zainteresowania naukowe skupiają się wokół niekowalencyjnych oddziaływań wewnątrz- i międzycząsteczkowych w związkach organicznych.

Bartłomiej M. Szyja – ukończył studia magisterskie na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej w 2000 roku. Doktorat w zakresie modelowania zjawisk fizykochemicznych w katalizie obronił w 2005 roku. W 2006 roku rozpoczął staż postdoktorski na Uniwersytecie Technicznym w Eindhoven, gdzie zajmował się głównie wyjaśnieniem mechanizmów kierujących syntezą zeolitów oraz źródłem ich aktywności katalitycznej. Na Alma Mater powrócił w 2015 roku i od tamtej pory pracuje głównie na rzecz ochrony środowiska poprzez projektowanie układów do wytwarzania zeroemisyjnych paliw.

Aneta Jezierska – zatrudniona na stanowisku profesora na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Obecnie jej zainteresowania naukowe skupiają się wokół małych i dużych układów o znaczeniu biologicznym. W swoich badaniach stosuje zaawansowane metody nowoczesnej chemii obliczeniowej, zwłaszcza metody dynamiki molekularnej *ab initio*.

Beata Kizior – Ph.D. student in the third year of the Doctoral School at the Wrocław University of Science and Technology. She completed her MSc studies at the University of Wrocław. Her research interests focus on non-covalent intra- and intermolecular interactions in organic compounds.

Bartłomiej M. Szyja – graduated with a master's degree from the Faculty of Chemistry, the Wrocław University of Technology, in 2000. He defended his Ph.D. in modeling of physicochemical phenomena in catalysis in 2005. In 2006, he started a postdoctoral fellowship at the Eindhoven University of Technology, where he mainly worked on elucidating the mechanisms driving the synthesis and the source of the catalytic activity of zeolites. He returned to his alma mater in 2015 and has since worked mainly on environmental protection through the design of systems to produce zero-emission fuels.

Aneta Jezierska – employed as a professor at the Faculty of Chemistry, University of Wrocław. Currently, her research interests focus on small and large biologically relevant systems. In her research, she applies advanced methods of modern computational chemistry, especially *ab initio* molecular dynamics.



A temperature study of methanol interstellar ice analogues

Marta Podgórný | The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, MK7 6AA
<https://orcid.org/0000-0003-1950-8800>

Anita Dawes | The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, MK7 6AA
<https://orcid.org/0000-0003-2617-4036>

Summary

Keywords:
interstellar
ice analogues,
methanol, ice
crystallisation

Methanol ice has been studied in the field of astrochemistry for many years. As a simple organic compound, CH₃OH is extremely interesting in the study of ice formation and evolution. There are three forms of methanol ice – amorphous, α-crystalline, and β-crystalline. Although there are studies focused on the comparison of crystalline and amorphous phases in terms of chemical properties, there is a lack of systematic studies on phase transition. Factors such as pressure, temperature, and rate of ice formation have an influence on the process of phase transition. In this study, the influence of temperature on the vibrational properties of methanol ice is considered. For the experimental section, a Portable Astrochemistry Chamber (PAC) with the ability to control deposition pressure and temperature was used. The temperature of phase transition was experimentally determined at 103 K and for analysis of the ice structure, two vibrational modes were chosen – OH stretch and CH₃ in-plane rocking. Moreover, depositions at higher temperatures were performed with the result of different vibrational properties depending on ice formation conditions. This study presents the temperature-dependant properties of methanol ice in the mid-infrared spectrum and considers the possibility of thermal history determination.

Wpływ temperatury na metanolowe analogi lodu międzygwiazdowego (Streszczenie)

Słowa kluczowe:
analogi lodu
między-
gwiazdowego,
metanol,
krystalizacja lodu

Metanol w postaci lodu jest obiektem badań astrochemicznych od wielu lat. Jako prosty związek organiczny CH₃OH jest niezwykle interesujący w zakresie badań nad formowaniem i ewolucją lodu międzygwiazdowego. Wyróżnia się trzy formy stałe metanolu – lód w fazie amorficznej, α-krystalicznej oraz β-krystalicznej. Pomimo wielu badań nad porównaniem właściwości chemicznych metanolu w fazie amorficznej i krystalicznej widoczny jest brak systematycznych badań skupionych na przejściu fazowym. Czynniki takie jak ciśnienie,

temperatura czy tempo tworzenia lodu mają wpływ na proces przejścia fazowego. W ramach niniejszych badań rozpatrzono wpływ temperatury na spektroskopię oscylacyjną lodu metanolowego. W części eksperymentalnej wykorzystano przenośną komorę astrochemiczną (PAC) z możliwością kontroli temperatury oraz ciśnienia. Temperatura przejścia fazowego została eksperymentalnie oznaczona jako 103 K. Do analizy struktury badanego lodu wybrano dwa mody oscylacyjne metanolu – rozciągające OH oraz kołyszące w płaszczyźnie CH₃. Co więcej, dokonano nanoszenia lodu w wyższych temperaturach, co skutkowało otrzymaniem odmiennych właściwości oscylacyjnych w zależności od warunków formowania lodu. Niniejsza praca przedstawia właściwości metanolu w formie lodu w funkcji temperatury w zakresie średniej podczerwieni oraz wskazuje na możliwość wyznaczania historii temperaturowej CH₃OH.

1. Introduction

Astrochemistry is an interdisciplinary field that relies on combined astronomical observations, computational modelling, and laboratory experiments. Experimental results are necessary for the interpretation and analysis of spectra gained from telescopes as well as for providing empirical input into astrochemical models. Moreover, new observational data, especially from the recently launched James Webb Space Telescope (JWST), will give an opportunity for a more detailed study of the chemical and physical properties of the icy particles in the Interstellar Medium (ISM) where molecules are formed. Chemistry in space is unlike the chemistry we are familiar with on Earth, and it is necessary to carefully mimic the conditions in space (extremes of temperature, pressure, and gravity forces) under controlled laboratory conditions. Therefore, comparing in-situ experimental results with observational data is extremely valuable.

Depending on the temperature region of the ISM, both gas-phase and solid chemistry are applicable. However, if to look at the star formation process and evolution of solar systems, the chemistry of interstellar dust and ice is crucial (van Dishoeck 2017). The largest reservoir of chemicals in the interstellar medium is in the form of icy mantles that coat microscopic carbonaceous/silicate particles in the dense molecular cloud regions of the ISM. Knowledge about the chemical and physical properties of solid-phase particles will better the understanding of the origin of complex molecules. The most abundant molecule in ISM's ice is H₂O. A combination of heterogeneous processes and the adsorption of molecules from the gas phase onto dust grains results in the growth of a solid mixture where other simple compounds such as CO, CO₂, or NH₃ have been detected (Whittet et al. 1996). At some point in the evolution of the dense molecular cloud, gas phase CO accretes onto water ice, and methanol is formed via a successive hydrogenation process (Herbst and van Dishoeck 2009; Qasim et al. 2018). This results in the formation of layered ice

dominated by an H₂O-rich (polar phase) layer and a CO/CO₂-rich (non-polar phase) layer, with methanol in between (Papoular 2005; Garrod and Pauly 2011; James 2019). As a simple organic compound, CH₃OH is an interesting subject of study. When exposed to external radiation (e.g., cosmic rays, electrons, and ultraviolet photons), astrochemical reactions are initiated. This leads to the formation of new molecules, e.g., methane, glycol, or formaldehyde (Moore, Ferrante, and Nuth 1996; Schmidt, Swiderek and Bredehöft 2021) and gives an origin to organic chemistry under space conditions.

Although methanol's abundance varies greatly in different regions of space – from 4–17% in certain regions to 50–80% in other regions of ISM with respect to water (Palumbo, Castorina and Strazzulla 1999), an effective infrared (IR) analysis can be performed. With 12 vibrational modes, the methanol molecule is detectable in a wide spectral range (Moruzzi et al. 2018), enabling identification even when some of the bands overlap with other molecular absorptions. The most observed bands of solid methanol are at 3.53 μm (2832 cm⁻¹) and 9.7 μm (1030 cm⁻¹) which correspond to CH₃ symmetric stretch and CO stretch respectively (Gürtler et al. 2002; Pontoppidan et al. 2003). However, when focused on more bands in laboratory studies, their properties can also be identified. Solid methanol can occur in amorphous or crystalline forms depending on the temperature of the ice. There are two stable crystalline structures known for the methanol ice – α and β phase – with the temperature of transition at approximately 160 K (Torrie et al. 2002; Gálvez et al. 2009). An amorphous structure is formed at a lower temperature by vapor deposition. A crystalline structure is formed not only by deposition at a higher temperature but also by heating the amorphous phase. However, in the literature there are different values of phase transition temperature given: from 103 K (Torrie, Weng and Powell 1989; Dounce, Mundy and Dai 2007) to 128 K (Dempster and Zerbi 1971) and 133 K (Falk and Whalley 2004). This wide range of crystallisation temperatures implies the lack of detailed and comprehensive study in this field. What is more, not only temperature but also the pressure and thickness of ice could affect phase transition properties.

Despite research focused on methanol origin in ISM and its reactivity, there is a lack of systematic study on temperature-dependent ice structure. CH₃OH formation via hydrogenation is observed at the temperature of 20 K or below (Qasim et al. 2018). This solid-state mechanism leads to the formation of amorphous methanol ice. Moreover, CH₃OH molecules are scattered in CO₂ and H₂O ice, making it impossible to get a pure crystalline structure. However, methanol can be formed in the gas phase as well (Garrod et al. 2006; Wirström et al. 2011) leading to situations when vapours of CH₃OH can be deposited on the ice grain. Furthermore, desorption of methanol and re-adsorption can occur in the cycling of material in the temperature gradient around a protostar. Under those circumstances, it is worth considering the methanol ice structure depending on the temperature of deposition. Understanding the chemical

and physical properties of the different phases of methanol ice is therefore important in understanding the subsequent chemical pathways that lead to the formation of more complex organic molecules in star-forming regions.

From the authors' survey of the existing literature, studies considering the crystalline form of methanol ice are focused mainly on its reactivity, but not on the process of crystallisation. Comparisons of astrochemical reactions possible to detect in the amorphous and crystalline phase were performed with electron (Mifsud et al. 2022), ion (Palumbo, Castorina and Strazzulla 1999), or proton (Moore, Ferrante and Nuth 1996) irradiation. However, in all those cases, the crystalline phase was considered a constant structure that can be obtained by deposition at higher temperatures or by heating ice initially prepared at a temperature of approximately 20 K. Currently, there is no study focused on the dependence of crystallisation on the temperature of deposition. We believe that our study will help to better understand the influence of the temperature on the structure of methanol ice.

2. Experimental methodology

All the presented experiments were performed using The Open University Portable Astrochemistry Chamber (PAC) (James 2019) with the capability to achieve a base pressure of 10^{-9} mbar (Leybold TURBOVAC TMP 151 turbomolecular pump). Attached to a helium cryostat (Sumitomo DE-202B), Kapton flexible resistive heater (Omega), and temperature controller (Oxford Instruments Controller ITS 502), a base temperature of 20 K was attained by the substrate window in a spherical cube chamber. As a substrate for deposition, the ZnSe window was chosen for IR transmission. Liquid CH₃OH (Sigma-Aldrich >99.9% HPLC grade) was attached to the gas line and degassed with freeze-pump-thaw cycles. During deposition of the sample, temperature and pressure were set and controlled ensuring stable and repeatable conditions of the experiment.

The mid-IR analysis was performed in situ using a Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) spectrometer (Nicolet Nexus 670) connected to an external Mercury Cadmium Telluride (MCT) detector. All spectra were measured in absorbance in a range of 4000–800 cm^{-1} at a resolution of 1 cm^{-1} . Both deposition and mid-IR analysis were carried out at an angle of 90° to the substrate, by turning the substrate accordingly to face the vapour deposition ports and the IR beam, respectively.

2.1. Low-temperature deposition

Methanol ice films were grown on the ZnSe window at a temperature of approximately 20 K. With controlled deposition pressure inside the chamber (1×10^{-6} mbar) and constant time of deposition (15 minutes), the amount of methanol used was similar in each experiment. After each deposition, FT-IR spectra were collected

to control the quality of deposition. The temperature of the substrate was then slowly and sequentially raised using the Proportional Integral Derivative (PID) function of the temperature controller at an average rate of 1 Ks^{-1} , with a slower step around the temperature of phase transition. While heating up, FT-IR spectra were collected, after every step of temperature change (depending on the phase of the experiment, steps were equal to 10, 5, 2 or 1 K).

2.2. Phase transition temperature deposition

After establishing that 103 K is the temperature of the phase transition, which agrees with Dounce, Mundy and Dai (2007), a series of experiments with a higher temperature of deposition was performed. Both the deposition rate and time of deposition were kept the same for all samples. For the data presented in this paper, temperatures of 98 K, 103 K, 108 K, and 113 K were chosen, and isothermal spectra were collected every 5 to 10 minutes until no changes were visible.

2.3. Rate of deposition and formation of layered ice

For the last set of experiments, a slower rate of deposition was chosen. With a deposition pressure of 1×10^{-7} mbar inside the chamber, the time of deposition was extended to 60 minutes. A temperature of 103 K was chosen as the point of phase transition. Then, having obtained crystalline-phase ice, the next layers of methanol were deposited with a pressure of 10^{-7} , 10^{-6} , and 10^{-5} mbar. The same experiment was then performed at a temperature of 21 K.

2.4. Thickness of the ice layer

The thickness of astrophysical ice analogues – d (μm) presented in Table 1 was estimated by using equation 1 (Mifsud et al. 2022):

$$d = 10^4 \frac{NZ}{N_{\text{A}}\rho} \quad (1)$$

where N_{A} is the Avogadro constant, which equals 6.022×10^{23} (molecules mol^{-1}), Z is the molar mass of methanol – 32 (g mol^{-1}), ρ is the mass density of the ice which was assumed as 0.64 (g cm^{-3}) for the amorphous phase and 0.84 (g cm^{-3}) for the crystalline phase (Luna et al. 2018). N – molecular column density (molecules cm^{-2}) was calculated by equation 2 (Mifsud et al. 2022):

$$N = \frac{P \ln(10)}{A_{\text{v}}} \quad (2)$$

Where A_v is the absolute band strength for C-O stretch mode equal to $1.61 (10^{-17} \text{ cm molecule}^{-1})$ for the amorphous phase and $1.18 (10^{-17} \text{ cm molecule}^{-1})$ for the crystalline phase (Luna et al. 2018), and P is the peak area of the analysed band (cm^{-1}).

Table 1. The thickness of chosen CH₃OH ice layers for amorphous and crystalline phases

CH ₃ OH phase	Temperature (K)	N ($10^{18} \text{ molecule cm}^{-2}$)	d (μm)
Amorphous	21.3	3.2	2.6
	21.2	3.2	2.6*
	20.7	3.1	2.5 #
	Average 2.57		
Crystalline	110.0	3.8	2.4*
	103.1	3.7	2.3 #
	103.0	3.8	2.4
	103.2	3.7	2.3
	Average 2.35		

Source: Own elaboration.

For the methanol ice layer grown at a low temperature, the average thickness was $2.57 \mu\text{m}$. Values from Table 1 show that with the same time and pressure of deposition, the resulting samples were of thickness comparable to each other. What is more, when methanol ice is in its crystalline form, the calculated value is smaller. Decreasing thickness is visible both when the phase transition was initiated by heating amorphous ice (marked with * and # respectively) and when methanol was deposited at a higher temperature. This can be caused by calculation error due to the uncertainty of the A_v values reported for the amorphous and crystalline phases (estimated 20% experimental error – Luna et al. 2018). However, the second possibility is a reduction of ice layer volume due to a more efficient spatial configuration of molecules in the crystalline structure and the creation of new hydrogen bonds (Baber et al. 2011).

3. Results and discussion

Ten vibrational modes of methanol were observed in all the infrared spectra. The band positions and their assignments are summarised in Table 2. After the phase transition, the peak maximum positions were shifted, which allowed the identification of crystalline ice formation. All the bands apart from the CO stretch were found to blueshift, and the most significant shifts were observed for ν_4 and ν_7 bands. Due to the sharpening of bands, the ν_2 and ν_9 modes, which were overlapped in the amorphous phase, split. The same splitting was also observed for ν_4 , ν_{10} , and ν_5 . Moreover, a wide band

of O-H stretch at 3247 cm^{-1} splits after phase transition into two new peaks with maxima at 3287 and 3179 cm^{-1} . For more detailed analysis, O-H stretch (ν_1) and CH_3 in-plane rocking (ν_7) was chosen due to the most visible changes in peak positions.

Table 2. List of absorption bands (cm^{-1}) characteristic of CH_3OH ice for amorphous and crystalline phases

Mode		Amorphous ice (21 K)	Crystalline ice (110 K)
OH stretch	ν_1	3247	3287, 3179
CH asymm. stretch	ν_2	2980	2985
CH asymm. stretch	ν_9	2955	2957
CH symm. stretch	ν_3	2828	2831
	$2\nu_8$	2036	2035
CH asymm. bending	ν_4	1475	1509
CH asymm. bending	ν_{10}	1460	1473
CH symm. bending	ν_5	1446	1455
CH_3 in-plane rocking	ν_7	1130	1143
CO stretch	ν_8	1028	1020

Source: Own elaboration.

3.1. The temperature of phase transition

While heating up the amorphous methanol ice, the first visible changes in the FT-IR spectra due to the phase transition were observed at the temperature of 103 K. After 110 minutes, no changes in the isothermal spectra were detected, which was interpreted as the completion of the crystallisation process. By collecting spectra in 10-minute time intervals, it was possible to observe the process of phase transition (Figure 1). The most significant change visible is the splitting of OH stretch mode into two components with increasing intensity of peak at 3287 cm^{-1} . Of particular interest is CH_3 in-plane rocking mode due to the new position, shifting from 1130 cm^{-1} to 1143 cm^{-1} and the shape-changing from a very broad band in the spectrum of the amorphous ice, to a much narrower, intense band in the crystalline sample (Figure 1 b). This change shows potential for using the ν_7 band as an indicator for discriminating between the amorphous and crystalline forms and possibly quantifying the contribution of each in any mixed phases.

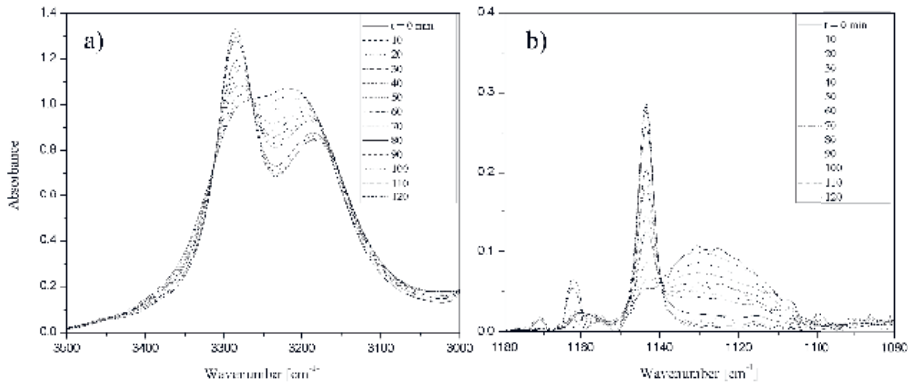


Figure 1. FT-IR spectra of CH_3OH ice layer initially deposited at 20 K and heated to 103 K. Spectra show isothermal phase transition at a temperature of 103 K: a) OH stretch; b) CH_3 in-plane rocking, collected in 10-minutes intervals for 120 minutes

Source: Own elaboration.

The lower temperature of phase transition observed in our samples in comparison with literature data could be due to differences in sample preparation conditions (e.g., pressure inside the chamber) and slower heating of the ice. For example, Dempster and Zerbi 1971, used conventional low-temperature cell without specifying the pressure or rate of deposition. Falk and Whalley, 2004, on the other hand, mentioned only using liquid nitrogen to freeze liquid methanol samples. However, at lower temperatures, the transition is slower which also could have an impact on experiment results. Without specific information about conditions of deposition, the thickness of the ice layer, and the time of isothermal measurements, it is hard to compare the temperature of crystallisation presented in the mentioned sources.

Upon heating of the amorphous CH_3OH ice, IR absorption bands have narrowed and some of the overlapped peaks have separated (Figure 2 a, b). Next to the CO stretch band, it was possible to observe a peak referring to the same mode but with respect to the ^{13}C isotope. Moreover, some new peaks appeared which have not been identified. Upon cooling down the crystalline methanol ice to 20 K (Figure 2 c), all the peaks except for ν_3 and ν_8 were found to blueshift slightly, which can be explained by the strengthening of the H-bonds (Góbi et al. 2020). In the case of CO stretch mode, when cooling down, the peak maxima is shifting to lower energies as was observed during crystallisation. The shape of the peaks did not change, which indicates that the crystalline form of methanol ice is stable and the transformation to the crystalline form is irreversible.

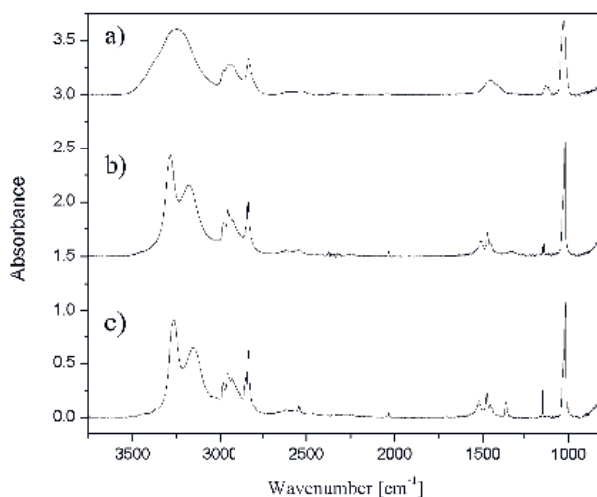


Figure 2. FT-IR spectra of CH_3OH ice layer: a) deposited at 20 K; b) heated up to 110 K; c) cooled down to 20 K after the phase transition. Spectra are offset vertically by 1.5 for clarity

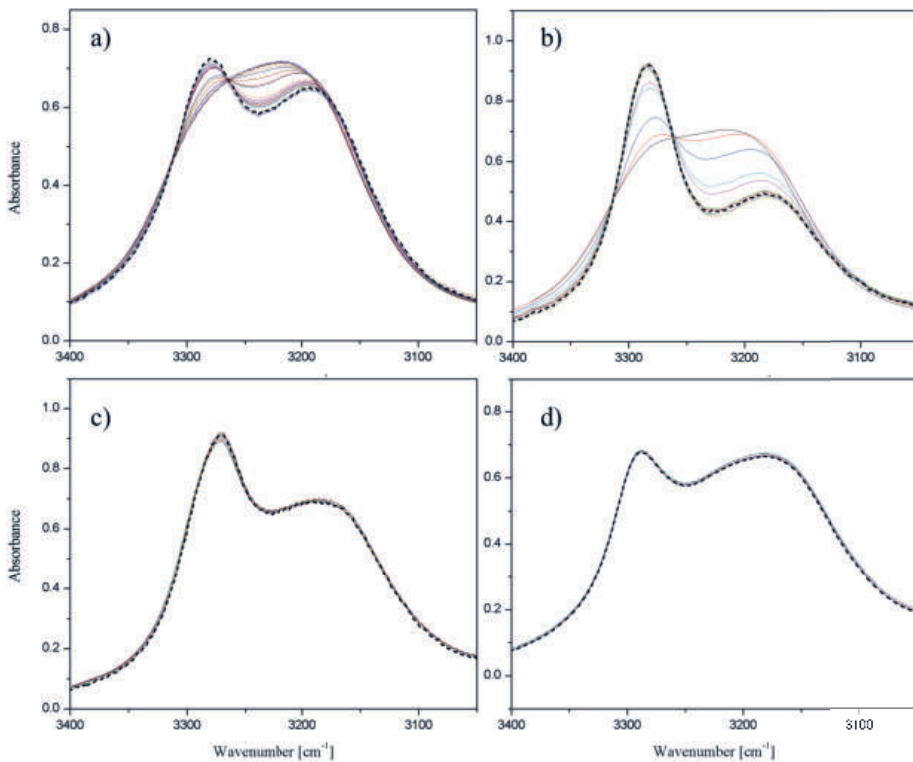
Source: Own elaboration.

3.2. The influence of temperature deposition on the methanol ice

We investigated the time taken for crystallisation to occur in the samples deposited at higher temperatures, close to the phase transition temperature. Depending on the temperature of deposition, different times of crystallisation were observed. For higher temperatures (108 K and 113 K) the crystalline structure was present already after deposition, but small changes in spectra were observed up to 160 minutes, which was interpreted as the end of phase transition. At the temperature of 103 K transition took 25 hours and at the temperature of 98 K changes in the spectra were visible up to 50 hours after ice formation. However, in the case of deposition at 98 K, although splitting of the OH stretch mode was observed, the CH_3 in-plane rocking band still contained a signal corresponding to the amorphous structure. Hence, changes at 98 K cannot be considered as full phase transition. This suggests, that even if some of the phase transition has taken place, not all the volume of an ice layer was in crystalline form.

Interestingly, each deposition temperature resulted in a slightly different final spectrum. The most significant change is visible while analysing the OH stretch band (Figure 3). The ratio between the two split components of this band is strongly dependent on the deposition temperature and it remains stable when the sample is cooled (Table 3). Interestingly, the ratio obtained for depositions at the temperature

of 98 and 113 K (1:0.90 and 1:0.98 respectively) is similar. However, when considering whole spectra properties, at the temperature of 98 K there is still an amorphous phase present in the ice layer which implies that OH stretch splitting is not fully developed. This result suggests that when focusing on the OH stretch band, this can tell us a lot about the thermal history of ice formation. A further detailed and systematic investigation is required to fully understand the influence of the deposition temperature and the crystallisation dynamics close to the temperature of the phase change. The observed difference also implies that while planning the next experiments including a crystalline phase of methanol ice, conditions of deposition should also be considered and whether the thickness of the ice also influences the crystallisation process.



Final spectra of crystalline CH_3OH ice are represented by the dashed line

Figure 3. Time-dependent FT-IR spectra of OH stretch mode of CH_3OH ice layer after deposition at: a) 98 K for 50 hours; b) 103 K for 25 hours; c) 108 K for 160 minutes; d) 113 K for 160 minutes

Source: Own elaboration.

Table 3. Comparison of crystallisation time and OH stretch mode properties for different temperatures of CH₃OH deposition

Temperature of deposition (K)	Time for complete crystallisation	Position of ν_1 mode peak (cm ⁻¹)	Ratio between the intensity of two components of ν_1 mode
98	50 h	3280, 3192	1:0.90
103	25 h	3282, 3183	1:0.54
108	160 min	3270, 3185	1:0.76
113	160 min	3288, 3184	1:0.98

Source: Own elaboration.

3.3. The influence of the rate of a deposition while obtaining the next layers of ice

While considering factors defining conditions of forming interstellar ice analogues, it is not merely the temperature that is important, but also the rate of deposition. All experiments described above were performed with the pressure of 10^{-6} mbar; however, when the rate of deposition was slowed ($p = 10^{-7}$ mbar), a quicker phase transition was observed. Comparing the time of the phase transition for ice deposited at 20 K and 103 K, it is observed that crystallisation is quicker when amorphous ice was formed at a lower temperature and then heated up – 110 minutes. However, when considering the same temperature of ice formation (103 K), but a different rate of deposition, a slower deposition rate allows more time for the molecules to rearrange on the surface before the next layer is grown. With a slower rate of deposition, crystallisation took 150 minutes, and with a quicker rate it took 25 hours. In all three cases, the final forms of the FT-IR spectrum were comparable to each other. All peak positions, shapes, and ratios were similar, which implies the presence of the same crystalline structure.

In another experiment, having initially formed the crystalline structure of the methanol ice ($p = 10^{-7}$ mbar, $T = 103$ K, $t = 60$ min), subsequent layers were deposited at different rates onto the first layer of ice, and CH₃ in-plane rocking bands were analysed in terms of amorphous structure presence. At the temperature of 103 K in the range of deposition pressure from 10^{-7} to 10^{-5} mbar, only the crystalline phase was observed (Figure 4 a). While performing the same experiment at a lower temperature – 20 K – the deposition caused the formation of new amorphous layers on crystalline ice film (Figure 4 b) which is visible as the appearance of the second, wide component of ν_1 band at 1130 cm⁻¹.

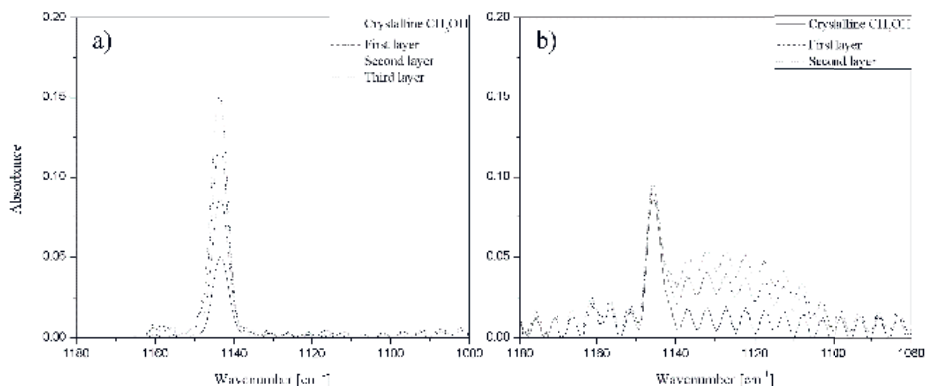


Figure 4. FT-IR spectra of CH_3 in-plane rocking mode of CH_3OH ice layers deposited on crystalline methanol at a temperature of: a) 103 K; b) 20 K. Deposition pressure: first layer – 10^{-7} mbar, second – 10^{-6} mbar, and third – 10^{-5} mbar. Fringes are observed in the baseline of the spectra due to wavelength-dependent interference at the interfaces of the ZnSe substrate. These become more pronounced due to the small thickness of deposited layers and lower signal intensity

Source: Own elaboration.

This result shows that the history of deposition has an influence on methanol ice structure. If only some stages of the ice formation took place at a higher temperature, it nevertheless is possible to detect the presence and fraction of both phases in the ice mixture.

4. Conclusion

The results presented in this paper show that conditions of ice crystallisation have an impact on the final structure of methanol ice. Differences in FT-IR spectra are visible especially when considering the deposition of CH_3OH at a temperature close to a phase transition. Also, the deposition rate has a significant influence on the crystallisation process. The slower the deposition rate, the faster the observed crystallisation rate is observed. However, the final ratio between ν_1 mode band components is the same for constant temperature of deposition despite differences in deposition rate. This suggests that the rate of ice formation has an influence only on the time of crystallisation but not on the vibrational properties of methanol ice, which is important information in the field of astrochemistry. The accretion rate in space is likely to be much slower rather than in laboratory timescales since the pressure in ISM is very low. However, experimental results having proved that the rate of deposition does not impact the structure of ice, it is more reliable to extrapolate laboratory data into astrochemical models.

Depending on the temperature of ice formation, different intensities of ν_1 mode band fractions can be observed. This shows the potential for further research concerned with the thermal history of methanol ice. With this knowledge, analysis of interstellar ice through interpretation of high resolution observational mid-IR spectra could provide more detailed information about the conditions of its formation and give clues about the interstellar environments in which the ices are formed. Moreover, the ν_7 mode band can be considered an indicator of amorphous phase presence in CH_3OH ice. The potential use of this band was shown experimentally while observing the formation of new layers of ice on pre-existing layers. The analysis of the CH_3 in-plane rocking band can be valuable while ice formation steps take place at different temperatures leading to the formation of a mixture of amorphous and crystalline phases, or when crystallisation is in progress.

Further research focused on methanol ice's properties as a function of temperature is required. A better understanding of the structure of the CH_3OH interstellar ice analogues in the case of different formation behaviour is crucial for the study of ISM history and evolution. Furthermore, investigating the chemical and physical properties of such methanol ices will be important to the understanding of the chemical evolution and formation of more complex molecules in star-forming regions of space.

References

- Baber A.E., Lawton T.J., Charles E., Sykes H., 2011, *Hydrogen-Bonded Networks in Surface-Bound Methanol*, "The Journal of Physical Chemistry C", Vol. 115, <https://doi.org/10.1021/jp201465d>.
- Dempster A.B., Zerbi G., 1971, *Lattice Dynamics of Methanol: Hydrogen Bonding and Infrared Absorption*, "Journal of Chemical Physics", Vol. 54, <https://doi.org/10.1063/1.1675386>.
- Dishoeck van E.F., 2017, *Astrochemistry: Overview and Challenges*, "Proceedings of the International Astronomical Union", Vol. 13, <https://doi.org/10.1017/S1743921317011528>.
- Dounce S.M., Mundy J., Lung Dai H., 2007, *Crystallization at the Glass Transition in Supercooled Thin Films of Methanol*, "The Journal of Chemical Physics", Vol. 126, <https://doi.org/10.1063/1.2741506>.
- Falk M., Whalley E., 2004, *Infrared Spectra of Methanol and Deuterated Methanols in Gas, Liquid, and Solid Phases*, "The Journal of Chemical Physics", Vol. 34, <https://doi.org/10.1063/1.1701044>.
- Gálvez Ó., Belén M., Martín-Llórente B., Herrero V.J., Escribano R., 2009, *Phases of Solid Methanol*, "The Journal of Physical Chemistry A", Vol. 113, <https://doi.org/10.1021/JP810239R>.
- Garrod R.T., Pauly T., 2011, *On The Formation of CO₂ and Other Interstellar Ices*, "The Astrophysical Journal", Vol. 735, <https://doi.org/10.1088/0004-637X/735/1/15>.
- Garrod R., Park I.H., Caselli P., Herbst E., 2006, *Are Gas-Phase Models of Interstellar Chemistry Tenable? The Case of Methanol*, "Faraday Discussions", Vol. 133, <https://doi.org/10.1039/B516202E>.
- Góbi S., Reva I., Tarczay G., Fausto R., 2020, *Amorphous and Crystalline Thioacetamide Ice: Infrared Spectra as a Probe for Temperature and Structure*, "Journal of Molecular Structure", Vol. 1220, <https://doi.org/10.1016/J.MOLSTRUC.2020.128719>.
- Gürtler J., Klaas U., Henning T., Abrahám P., Lemke D., Schreyer K., Lehmann K., 2002, *Detection of Solid Ammonia, Methanol, and Methane with ISOPHOT*, "Astronomy & Astrophysics", Vol. 390, <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20020772>.

- Herbst E., van Dishoeck E.F., 2009, *Complex Organic Interstellar Molecules*, "The Annual Review of Astronomy and Astrophysics", Vol. 47, <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ASTRO-082708-101654>.
- James R., 2019, *Systematic Mid-IR And VUV Studies Of Electron Irradiated CO₂:NH₃ Interstellar Ice*, The Open University.
- Luna R., Molpeceres G., Ortigoso J., Satorre M.A., Domingo M., Maté B., 2018, *Densities, Infrared Band Strengths, and Optical Constants of Solid Methanol*, "Astronomy & Astrophysics", Vol. 617, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833463>.
- Mifsud D.V., Hailey P.A., Herczku P., Sulik B., Juhász Z., Kovács S.T.S., Kaňuchová Z., Ioppolo S., McCullough R.W., Paripás B., Mason N.J., 2022, *Comparative Electron Irradiations of Amorphous and Crystalline Astrophysical Ice Analogues*, "Physical Chemistry Chemical Physics", Vol. 24, <https://doi.org/10.1039/D2CP00886F>.
- Moore M. H., Ferrante R.F., Nuth J.A., 1996, *Infrared Spectra of Proton Irradiated Ices Containing Methanol*, "Planetary and Space Science", Vol. 44, [https://doi.org/10.1016/0032-0633\(95\)00120-4](https://doi.org/10.1016/0032-0633(95)00120-4).
- Moruzzi G., Winnewisser B.P., Winnewisser M., Mukhopadhyay I., Strumia F., 2018, *Microwave, Infrared, and Laser Transitions of Methanol Atlas of Assigned Lines from 0 to 1258 Cm⁻¹*. *Microwave, Infrared, and Laser Transitions of Methanol Atlas of Assigned Lines from 0 to 1258 Cm⁻¹*, <https://doi.org/10.1201/9781351074650>.
- Palumbo, M.E., Castorina A.C., Strazzulla G., 1999, *Ion Irradiation Effects on Frozen Methanol (CH₃OH)*, "Astronomy & Astrophysics", Vol. 342.
- Papoular, R. (2005), *On Water Ice Formation in Interstellar Clouds*, "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society", Vol. 362, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.09313.x>.
- Pontoppidan K.M., Dartois E., van Dishoeck E.F., Thi W.F., D'Hendecourt L., 2003, *Detection of Abundant Solid Methanol toward Young Low Mass Stars*, "Astronomy & Astrophysics", Vol. 404, <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20030617>.
- Qasim, D., Chuang K.J., Fedoseev G., Ioppolo S., Boogert A.C.A., Linnartz H., 2018, *Formation of Interstellar Methanol Ice Prior to the Heavy CO Freeze-out Stage*, "Astronomy & Astrophysics", Vol. 612, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201732355>.
- Schmidt F., Swiderek P., Bredehöft J.H. (2021), *Electron-Induced Processing of Methanol Ice*, "ACS Earth and Space Chemistry", Vol. 5, <https://doi.org/10.1021/ACSEARTHSPACECHEM.0C00250>.
- Torrie B.H., Binbrek O.S., Strauss M., Swainson I.P., 2002, *Phase Transitions in Solid Methanol*, "Journal of Solid State Chemistry", Vol. 166, <https://doi.org/10.1006/JSSC.2002.9615>.
- Torrie B.H., Weng S.X., Powell B.M., 1989, *Structure of the α -Phase of Solid Methanol*, "Molecular Physics", Vol. 67, <https://doi.org/10.1080/00268978900101291>.
- Whittet D.C.B., Schutte W.A., Tielens A.G.G.M., Boogert A.C.A., de Graauw T., Ehrenfreund P., Gerakines P.A., Helmich F.P., Prusti T., van Dishoeck E.F., 1996, *An ISO SWS View of Interstellar Ices: First Results?*, "Astronomy & Astrophysics", Vol. 315.
- Wirström E.S., Geppert W.D., Hjalmarson Å., Persson C.M., Black J.H., Bergman P., Millar T.J., Hamberg, Vigren E., 2011, *Observational Tests of Interstellar Methanol Formation*, "Astronomy & Astrophysics", Vol. 533, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116525>.

Biogramy

Marta Podgórný – studentka studiów doktorskich Szkoły Nauk Fizycznych na Wydziale Nauk, Technologii, Inżynierii i Matematyki, The Open University w Milton Keynes. Ukończyła studia magisterskie na kierunku chemia ze specjalizacją chemia materiałów dla nowoczesnych technologii na Uniwersytecie Wrocławskim we współpracy z Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk. Jej zainteresowania badawcze to astrochemia, spektroskopia optyczna oraz astronomia.

Anita Dawes – wykładowca fizyki w Szkole Nauk Fizycznych na Open University, badacz laboratoryjnej astrofizyki molekularnej/astrochemii. Doktorat z laboratoryjnej fizyki molekularnej, University College London. Jej zainteresowania badawcze dotyczą eksperymentalnej fizyki molekularnej stosowanej w środowiskach astrofizycznych.

Marta Podgórný – PhD student at the School of Physical Sciences at the Faculty of Science, Technology, Engineering & Mathematics, The Open University in Milton Keynes. Graduated from the Faculty of Chemistry with a specialization in Materials Chemistry for Modern Technologies at the University of Wrocław in cooperation with the Institute of Low Temperature and Structural Research of the Polish Academy of Sciences. Her research interests include astrochemistry, optical spectroscopy and astronomy.

Anita Dawes – Lecturer in Physics at the School of Physical Sciences at the Open University, a researcher in laboratory molecular astrophysics/astrochemistry. PhD in Laboratory Molecular Physics, University College London. Her research interests are in Experimental Molecular Physics applied to Astrophysical environments.



Otrzymywanie i właściwości jonożeli opartych na imidazoliowych cieczach jonowych

Aneta Lewandowska | Politechnika Poznańska
<https://orcid.org/0000-0002-8181-0050>

Piotr Gajewski | Politechnika Poznańska
<https://orcid.org/0000-0002-0229-3922>

Agnieszka Marcinkowska | Politechnika Poznańska
<https://orcid.org/0000-0002-8299-5085>

Streszczenie

Słowa kluczowe:
żelowe elektrolity
polimerowe,
fotopolimeryzacja,
cieczce jonowe

Jonożele polimerowe to dwufazowe układy zbudowane ze stałej matrycy polimerowej oraz uwięzionej w niej cieczy jonowej (IL). Dzięki takiej budowie materiały jonożelowe znalazły zastosowanie wszędzie tam, gdzie konieczne stało się unieruchomienie cieczy jonowej z równoczesnym zachowaniem jej właściwości. Materiały, które charakteryzują się zarówno dobrymi właściwościami mechanicznymi, jak i wysokim przewodnictwem jonowym znalazły zastosowanie w kondensatorach elektrochemicznych. Jonożele można otrzymać metodą *in-situ*, polegającą na bezpośredniej polimeryzacji monomerów rozpuszczonych w cieczy jonowej. Jako prekursor matrycy polimerowej interesujące są układy tiol-en, ze względu na brak wrażliwości na tlen, niewielki skurcz polimeryzacyjny czy tworzenie homogenicznej sieci polimerowej. Celem pracy była synteza jonożeli mogących znaleźć zastosowanie w kondensatorach elektrochemicznych jako żelowe elektrolity polimerowe (GPE). Materiały te powinny charakteryzować się wysokim przewodnictwem jonowym ($> 1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) oraz być wytrzymałe mechanicznie, szczególnie podczas pracy czy składania kondensatora. W pracy otrzymano jonożele o przewodnictwie jonowym powyżej $1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, dlatego mogą zostać zastosowane jako żelowe elektrolity polimerowe w kondensatorach elektrochemicznych. Dodatkowo materiały te charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi, można je bowiem skręcać i zwiijać bez uszkodzenia struktury.

Preparation and properties of ionogels based on imidazolium ionic liquids (Summary)

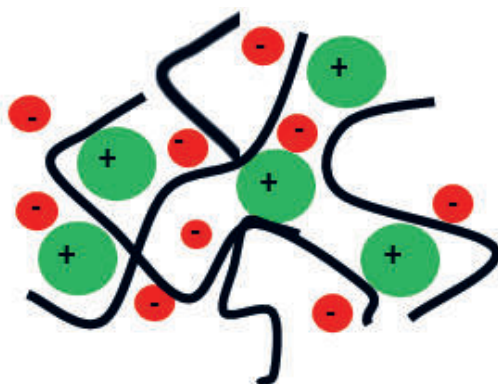
Keywords:
polymer
electrolyte,
photopolymerization,
ionic liquids

Polymer ionogels are two-phase systems consisting of a solid polymer matrix and an ionic liquid trapped in it. Materials with good mechanical properties and high ionic conductivity have been used in electrochemical capacitors.

Ionogels can be obtained by *in-situ* polymerization of monomers dissolved in an ionic liquid. Thiol-ene systems are interesting as polymer matrix precursors due to their insensitivity to oxygen, low polymerization shrinkage, and homogeneous polymer network formation. In this work ionogels that can be used in electrochemical capacitors as gel polymer electrolytes were obtained. These materials should be characterized by high ionic conductivity ($> 1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) and mechanical resistance, especially during the operation or installation of electrochemical capacitors. In this study, ionogels with ionic conductivity above $1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ were obtained; therefore, they can be used as gel polymer electrolytes in electrochemical capacitors. Furthermore, these materials are characterized by good mechanical properties and can be twisted and rolled without suffering damage.

Wstęp

Jonożele polimerowe to nowoczesne hybrydowe materiały zbudowane z fazy stałej, tj. matrycy polimerowej, oraz uwięzionej w niej cieczy jonowej. Ciecz jonowa jest stabilizowana w utworzonej przez matrycę sieci polimerowej, co uniemożliwia jej wyciek (rys. 1) (Vioux i in. 2011). Taka budowa materiałów jonożelowych powoduje, że zachowane zostają charakterystyczne właściwości cieczy jonowej, m.in. wysokie przewodnictwo jonowe, niska prężność par, stabilność termiczna oraz elektrochemiczna (Néouze i in. 2006).



Rysunek 1. Budowa jonożelu

Źródło: (Lewandowska i in. 2021).

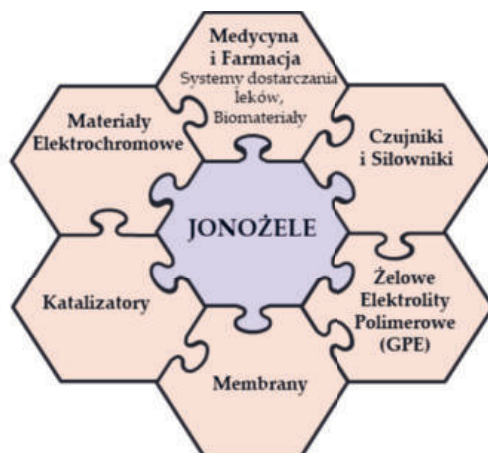
Metody otrzymywania jonożeli polimerowych

Jedną z metod syntezy jonożeli polimerowych jest metoda bezpośredniej polimeryzacji monomerów lub sieciowania polimeru w obecności cieczy jonowej (Fouassier 1995; Zgrzeba i in. 2015). W innej metodzie otrzymywania materiałów jonożelowych używany jest rozpuszczalnik. Polega ona na rozpuszczeniu polimeru oraz cieczy jonowej w lotnym rozpuszczalniku, po czym następuje jego odparowanie. Wadą tej metody jest otrzymanie jonożeli o słabych właściwościach mechanicznych, a w celu ich poprawy jonożele poddaje się dodatkowo sieciowaniu (Bideau i in. 2011; Singh i in. 2014). Jonożele można również otrzymać w wyniku impregnacji, spęczenia usieciowanego polimeru lub mikroporowatych membran polimerowych cieczą jonową (Kim i Matic 2010; Kubisa 2004).

Jonożele polimerowe można otrzymać *in-situ* w reakcji inicjowanej fotochemicznie. Jako prekursorzy matrycy szczególnie interesujące są układy tiol-en. Polimeryzacja takich układów posiada zalety typowej polimeryzacji met(akrylanów) charakteryzującej się dużą szybkością reakcji, brakiem konieczności użycia rozpuszczalnika, a dodatkowo w wyniku reakcji otrzymywane są optycznie przejrzyste polimery o dobrych właściwościach mechanicznych (Wutticharoenwong i Soucek 2008). Wybór układów tiol-en podyktowany jest występowaniem dodatkowych zalet w stosunku do polimeryzacji (met)akrylanów, takich jak: zredukowany lub całkowity brak inhibicji tlenowej, reakcja może zachodzić bez użycia inicjatora, a otrzymana sieć polimerowa jest homogeniczna (Cramer i in. 2003; Northrop i Coffey 2012).

Zastosowanie jonożeli

Unieruchomienie cieczy jonowej w stałej matrycy polimerowej spowodowało, że jonożele znalazły zastosowanie w dziedzinach, w których wymagane jest zastosowanie ILs w formie stałej (rys. 2). Materiały jonożelowe stosowane są w przemyśle farmaceutycznym jako systemy dostarczania leków. Mogą stanowić nośniki substancji czynnej, np. Ibuprofenu, ze względu na łatwość kształtowania odpowiedniej formy leku oraz uwalniania substancji czynnej zarówno przez wewnętrzną, jak i zewnętrzną powierzchnię jonożelu (Viau i in. 2010). Dzięki immobilizacji cieczy jonowej w matrycy materiały te mogą być stosowane jako elementy urządzeń elektrochromowych, zmieniających barwę pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego (Andrzejewska i in. 2017). Ze względu na wysokie przewodnictwo jonowe ($>1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) jonożele stosowane są w elektrochemii, szczególnie w kondensatorach podwójnej warstwy elektrycznej. Używane są one jako żelowe elektrolity polimerowe, pełniąc funkcję zarówno elektrolitu, jak i separatora oddzielającego elektrody (Schneuwly i Gallay 2000; Lewandowska i in. 2021).



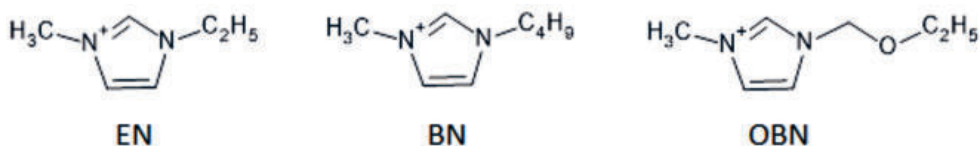
Rysunek 2. Zastosowania jonożeli

Źródło: (Bideau i in. 2011; Singh i in. 2014).

Materiały

Synteza przewodzących jonożeli polimerowych

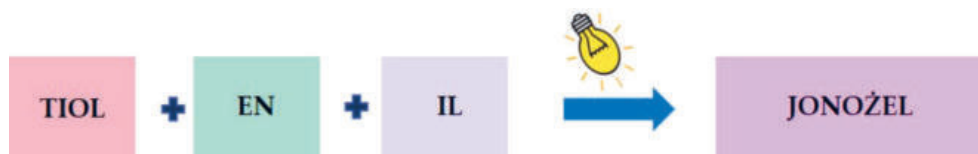
Jako prekursory matrycy zastosowano trójfunkcyjny tiol: tris(3-merkaptopropionian) trimetyloopropanu (TMPTP) oraz trójfunkcyjny en: 1,3,5-trialliloksy-1,3,5-triazyno-2,4,6(1H,3H,5H)-trion (TTT). Użyto bis(trifluorometylosulfonylo)imidki imidazoliowych cieczy jonowych opartych na kationach: 1-etylo-3-metyloimidazoliowym (EN), 1-butylo-3-metyloimidazoliowym (BN), 1-etoksymetylo-3-metyloimidazoliowym (OBN) (rys. 3).



Rysunek 3. Budowa kationu badanych cieczy jonowych

Źródło: Opracowanie własne.

Stosunek reaktywnych grup funkcyjnych SH:C=C wynosił 1:1. Ciecze jonowe zastosowano w ilości 70% mas. w przeliczeniu na masę całego układu. Fotoinicjatorem reakcji był 2,2-dimetoksy-2-fenylacetofenon (DMPA) zastosowany w ilości 0,2% mas. kompozycji fotoutwardzalnej. Jonożele otrzymano *in-situ* metodą fotopolimeryzacji monomerów rozpuszczonych w cieczy jonowej (rys. 4).



Rysunek 4. Fotopolimeryzacja tiol-en w obecności cieczy jonowej

Źródło: Opracowanie własne.

Odziaływania wewnątrz- i międzycząsteczkowe

Badania odziaływań wewnątrz- i międzycząsteczkowych w kompozycji fotoutwardzalnej (tiol-en-ciecz jonowa) prowadzono metodą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR). Analizowano położenie pasm absorpcji pochodzących od pierścienia imidazoliowego w mieszaninach trójskładnikowych (tiol-en-ciecz jonowa) w stosunku do położenia pasm absorpcji wyjściowej cieczy jonowej C(2)-H oraz C(4,5)-H. Dodatkowo analizowano położenie pasma absorpcji reaktywnej grupy SH w mieszaninie trójskładnikowej.

Wytrzymałość mechaniczna

W celu scharakteryzowania wytrzymałości mechanicznej otrzymanych żelowych elektrolitów polimerowych przeprowadzono badanie odporności materiału na przebicie (analizator tekstury Brookfield CT3 Texture Analyzer). Próbki jonożeli o znanej grubości (grubościomierz zegarowy) poddano badaniu wytrzymałości na przebicie, w trakcie pomiaru rejestrowano obciążenie sondy pomiarowej do momentu przebicia badanej próbki. Na podstawie otrzymanych danych wyznaczono wartość maksymalnego obciążenia potrzebnego do przebicia próbki, F_{\max} , N.

Przewodnictwo jonowe

Zbadano przewodnictwo jonowe cieczy jonowych oraz otrzymanych jonożeli metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (ESI) w zakresie częstotliwości 1 kHz – 1 MHz. Pomiaru wykonano w temperaturze pokojowej w dwuelektrodowym naczyniu elektrochemicznym. Przewodnictwo jonowe cieczy jonowych (σ_{IL}) obliczono na podstawie równania (1):

$$\sigma_{IL} = k / R_S \quad (1)$$

gdzie:

σ_{IL} – przewodnictwo jonowe IL, $S \cdot \text{cm}^{-1}$,

k – stała naczynka, cm^{-1} ,

R_S – opór objętościowy badanej IL, Ω .

Przewodnictwo jonowe otrzymanych jonożeli (σ) obliczono na podstawie równania (2):

$$\sigma = \sigma_S \cdot l / A \quad (2)$$

gdzie:

σ – przewodnictwo jonowe jonożelu, $S \cdot \text{cm}^{-1}$,

σ_S – przewodność objętościowa badanego jonożelu, S ,

l – grubość badanego jonożelu, cm ,

A – powierzchnia badanego jonożelu, cm^2 .

Dodatkowo obliczono przewodnictwo względne jonożeli (σ_{wzg}) na podstawie zależności (3):

$$\sigma_{wzg} = \sigma / \sigma_{IL} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:

σ_{wzg} – przewodnictwo względne jonożelu, %,

σ – przewodnictwo jonowe jonożelu, $S \cdot \text{cm}^{-1}$,

σ_{IL} – przewodnictwo jonowe cieczy jonowej, $S \cdot \text{cm}^{-1}$.

Temperatury przemian fazowych

W celu określenia temperatur charakterystycznych przemian fazowych cieczy jonowych, matrycy polimerowej oraz jonożeli przeprowadzono analizę termiczną za pomocą różnicowego kalorymetru skaningowego DSC1 firmy Mettler Toledo. Pomiar prowadzono w zakresie temperatury: $-80^\circ\text{C} - 140^\circ\text{C}$, z prędkością grzania $20^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, w atmosferze argonu ($50 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$). Z uzyskanych termogramów wyznaczono temperatury: zeszklenia (T_g), topnienia (T_m), krystalizacji (T_c) oraz zimnej krystalizacji (T_{cc}).

Morfologia materiałów jonożelowych

Morfologię jonożeli badano metodą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) EVO 40 Series firmy Carl Zeiss AG. Z jonożeli w pierwszej kolejności odmyto ciecz jonową w etanolu, po czym suszono w temperaturze 30°C przez 24 h, a następnie tak przygotowane próbki napyłano złotem.

Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych syntez otrzymano materiały jonożelowe z separacją faz. Rodzaj zastosowanej cieczy jonowej wpłynął na budowę matrycy polimerowej, a tym samym na właściwości mechaniczne oraz przewodzące uzyskanych jonożeli.

Oddziaływania wewnątrz- i międzycząsteczkowe

Na widmach mieszanin trójskładnikowych obserwowano zmiany położenia pasm absorpcji pochodzących od pierścienia imidazoliowego cieczy jonowej w stosunku do czystej IL (tab. 1). Maksima absorpcji pierścienia imidazoliowego przesuwają się w stronę niższych liczb falowych, co świadczy o tworzeniu oddziaływań pomiędzy kationem cieczy jonowej a monomerami. Najsilniejsze oddziaływania zaobserwowano dla cieczy jonowej OBN, która w podstawniku pierścienia imidazoliowego ma grupę eterową.

Tabela 1. Zmiany położenia pasm absorpcji $\Delta\nu$, cm^{-1} grup C(2)-H, C(4,5)-H pierścienia imidazoliowego oraz grupy SH tiolu

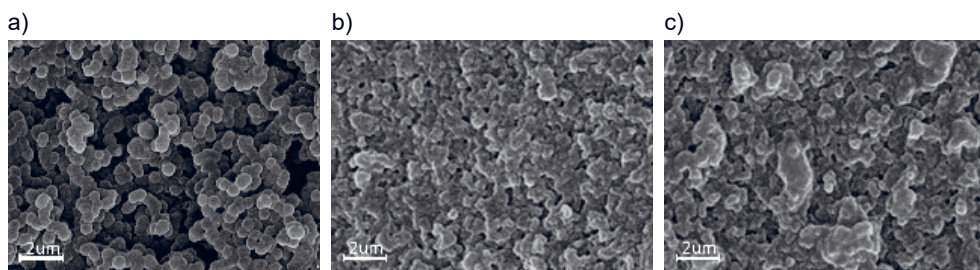
Mieszanina tiol-en-ciecz jonowa			
IL	C(2)-H ($\Delta\nu$, cm^{-1})	C(4,5)-H ($\Delta\nu$, cm^{-1})	SH ($\Delta\nu$, cm^{-1})
EN	-1,6	-1,2	8,5
BN	-1,8	-1,2	7,8
OBN	-2,1	-1,2	7,9

Źródło: Opracowanie własne.

Przesunięcie pasma absorpcji reaktywnej grupy SH w mieszaninie trójskładnikowej w stronę większych częstości w stosunku do czystego monomeru sugeruje natomiast niszczenie asocjacji grup SH ($\text{SH}\cdots\text{SH}$) występujących w czystym tiolu przez dodatkowe składniki kompozycji, tj. en oraz ciecz jonową.

Morfologia jonożeli

Istotnym parametrem wpływającym na właściwości mechaniczne oraz przewodnictwo jonowe jonożeli jest ich morfologia. W celu określenia wpływu zastosowanej cieczy jonowej na morfologię otrzymanych materiałów wykonano ich zdjęcia metodą SEM (rys. 5).



Rysunek 5. Obrazy SEM jonożeli zawierających 70% mas. cieczy jonowej a) EN; b) BN oraz c) OBN

Źródło: Opracowanie własne.

Na obrazach SEM jonożeli obserwujemy tworzenie mikrosfer, co wskazuje na przebieg reakcji zgodnie z mechanizmem polimeryzacji dyspersyjnej, która zachodzi mimo dużego stężenia monomerów w układzie. Taki przebieg procesu zwykle obserwuje się dla stężeń monomeru poniżej 5% mas. Tworzenie mikrosfer sugeruje, że ciecz jonowe mogą działać stabilizująco na koloidalne cząstki polimeru. W przypadku mniejszej stabilizacji przez IL cząstek polimeru system staje się niestabilny i dochodzi do koagulacji mikrosfer. Dla jonożelu z cieczą OBN obserwujemy mikrosfery odseparowane od siebie w mniejszym stopniu. Świadczy to o większej kompatybilności układów tiol-en z tą cieczą jonową, co może prowadzić do słabszej separacji faz oraz większej koagulacji polimeru. Połączenie oraz wielkość mikrosfer polimerowych może znacząco wpłynąć na właściwości mechaniczne otrzymanych jonożeli.

Wytrzymałość mechaniczna

W celu zbadania wytrzymałości mechanicznej jonożeli przeprowadzono test odporności na przebicie. Większą wytrzymałością mechaniczną charakteryzowały się jonożele zawierające ciecz jonową OBN. Maksymalna siła potrzebna do przebicia badanego materiału wynosiła: 0,98 N ($\pm 0,10$) dla cieczy EN, 1,65 N ($\pm 0,07$) dla BN oraz 1,89 N ($\pm 0,05$) dla OBN. Większa odporność na przebicie jonożelu z cieczą OBN może wynikać z większego stopnia połączenia powstających mikrosfer. Ciecz jonowa silniej oddziałuje z matrycą polimerową, co prowadzi do większej aglomeracji cząstek polimeru, a więc większej powierzchni łączenia mikrosfer, przyczyniając się do większej odporności na przebicie przy jednoczesnym zmniejszeniu elastyczności. Jonożel zawierający ciecz EN charakteryzował się najmniejszą wytrzymałością mechaniczną, co jest konsekwencją większego odseparowania od siebie mikrosfer powstających w wyniku polimeryzacji. Może to wynikać z mniejszej kompatybilności układu poli(tiol-en)-EN, a tym samym większej stabilizacji układu koloidalnego polimeru. Wszystkie otrzymane jonożele można zwiijać oraz rolować bez uszkodzenia struktury materiału.

Przewodnictwo jonowe

Otrzymane jonożele charakteryzowały się wysokim przewodnictwem jonowym (tab. 2), dzięki czemu mogą one zostać zastosowane jako żelowe elektrolity polimerowe w kondensatorach elektrochemicznych. Wartość przewodnictwa jonożeli uzależniona była od wartości przewodnictwa zastosowanej cieczy jonowej (EN = $9,1 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$; BN = $3,9 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$; OBN = $3,4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$). Przewodnictwo jonowe jest większe dla materiału zawierającego ciecz jonową EN, co wynika jednak z różnic w przewodnictwie cieczy jonowych. Natomiast przewodnictwo względne właściwie nie zależy od budowy cieczy jonowej, a jest związane z występowaniem separacji faz pomiędzy składnikami jonożelu.

Tabela. 2. Przewodnictwo jonowe (σ) oraz przewodnictwo względne (σ_{wzg}) dla jonożeli zawierających 70% mas. cieczy jonowych EN, BN oraz OBN

IL	σ , $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	σ_{wzg} , %
EN	4,5	49
BN	2,0	50
OBN	1,6	48

Odchylenia standardowe wartości σ i σ_{wzg} są poniżej 2%.

Źródło: Opracowanie własne.

Temperatury przemian fazowych

W tabeli 3 przedstawiono temperatury charakterystycznych przemian fazowych dla czystych cieczy jonowych oraz otrzymanych jonożeli. Dla ILs z kationem 1-butylo-3-metyloimidazoliowym oraz 1-etoksymetylo-3-metyloimidazoliowym w warunkach przeprowadzonego pomiaru nie zaobserwowano temperatur topnienia czy krystalizacji, co świadczy o braku powstawania domen oraz agregacji cieczy jonowej.

Temperatura zeszklenia matrycy polimerowej wynosi 23°C . Natomiast dla otrzymanych jonożeli zaobserwowano spadek temperatury zeszklenia matrycy, co związane jest z plastyfikacją polimeru. Wynika to z częściowej kompatybilności cieczy jonowej pomimo występującej separacji faz, gdzie część cieczy jonowej pozostaje rozpuszczona w matrycy, działając jako plastyfikator. Separacja faz powoduje powstawanie domen cieczy jonowej w polimerze, które charakteryzują się podobnymi właściwościami do czystej cieczy jonowej. Dlatego dla jonożelu zawierającego ciecz jonową EN na termogramach DSC zaobserwowano pik topnienia odseparowanej fazy cieczy jonowej w zakresie temperatur odpowiadającym czystej cieczy.

Tabela. 3. Temperatury przemian fazowych cieczy jonowych oraz jonożeli

IL	$T_g^{a)}$, °C	$T_m^{b)}$, °C	$T_c^{c)}$, °C	$T_{cc}^{d)}$, °C
Ciecz jonowa				
EN	–	–11	–62	–
BN	–	–	–	–
OBN	–	–	–	–
Jonożel zawierający 70% mas. cieczy jonowej				
EN	15	–15	–	–29
BN	17	–	–	–
OBN	19	–	–	–

$T_g^{a)}$ – temperatura zeszklenia

$T_m^{b)}$ – temperatura topnienia

$T_c^{c)}$ – temperatura krystalizacji

$T_{cc}^{d)}$ – temperatura zimnej krystalizacji

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

W ramach pracy otrzymano jonożele o dobrych właściwościach mechanicznych oraz przewodzących, dzięki czemu można je z powodzeniem zastosować jako żelowe elektrolity polimerowe w kondensatorach elektrochemicznych. Budowa zastosowanej cieczy jonowej wpłynęła w istotny sposób na właściwości mechaniczne otrzymanych materiałów. Wydłużenie łańcucha w podstawniku kationu imidazoliowego cieczy jonowej z 2 do 4 grup metylenowych wpłynęło na zwiększenie stopnia połączenia mikrosfer tworzących matrycę polimerową, a w konsekwencji powodując zwiększenie wytrzymałości mechanicznej. Jonożele zawierające zarówno ciecz jonową BN, jak i OBN wykazują większą kompatybilność matrycy polimerowej z cieczą jonową, na co wskazuje połączenie powstających mikrosfer. Większy stopień połączenia mikrosfer wpływa na lepsze właściwości mechaniczne jonożeli z cieczą BN i OBN niż jonożeli z cieczą EN.

Praca realizowana w ramach projektu nr 2017/27/B/ST8/00762 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Bibliografia

- Andrzejewska E., Marcinkowska A., Zgrzeba A., 2017, *Ionogels – materials containing immobilized ionic liquids*, „Polimery”, nr 62.
- Bideau J.L., Viaub L., Vioux A., 2011, *Ionogels, ionic liquid based hybrid materials*, „Chemical Society Reviews”, Vol. 40.
- Cramer N.B., Reddy S.K., O'Brien A.K. i in., 2003, *Thiol – Ene Photopolymerization Mechanism and Rate Limiting Step Changes for Various Vinyl Functional Group Chemistries*, „Macromolecules”, Vol. 36.
- Fouassier J.P., 1995, *Photoinitiation, Photopolymerization, and Photocuring*, Monachium.
- Kim J.K., Matic A., 2010, *An imidazolium based ionic liquid electrolyte for lithium batteries*, „Journal of Power Sources”, Vol. 195, No. 22.
- Kubisa P., 2004, *Application of ionic liquids as solvents for polymerization processes*, „Progress in Polymer Science”, Vol. 29.
- Lewandowska A., Gajewski P., Szcześniak K., Sadej M., Patelski P., Marcinkowska A., 2021, *Modification of Thiol – Ene Ionogels with Octakis (Methacryloxypropyl) Silsesquioxane*, „Polymers”, Vol. 13.
- Lewandowska A., Marcinkowska A., Gajewski P., Patelski P., 2021, *Jonozele syntezowane metodą fotopolimeryzacji tiol/en/akrylan. Badania i rozwój młodych naukowców w Polsce*, Poznań.
- Northrop B.H., Coffey RN, 2012, *Thiol – Ene Click Chemistry: Computational and Kinetic Analysis of the Influence of Alkene Functionality*, „Journal American Chemical Society”, Vol. 134, No. 33.
- Néouze M.A., Bideau J., Gaveau P.S. i in., 2006, *Ionogels, New Materials Arising from the Confinement of Ionic Liquids within Silica – Derived Networks*, „Chemistry of Materials”, Vol. 18.
- Schneuwly A., Gallay R., 2000, *Properties and application of supercapacitors from the state-of-the-art to future trends, proceeding PCIM Power Quality*, Nuremberg.
- Viau L., Tourne-Peteilh C., Devoisselle J.M., Vioux A., 2010, *Ionogels as drug delivery system: one-step sol–gel synthesis using imidazolium ibuprofenate ionic liquid*, „Chemical Communications”, Vol. 46.
- Vioux A., Le Bideau J., Viau L., 2011, *Ionogels, ionic liquid based hybrid materials*, „Chemical Society Reviews”, Vol. 40.
- Wutticharoenwong K., Soucek M.D., 2008, *Influence of the Thiol Structure on the Kinetics of Thiol – ene Photopolymerization with Time-Resolved Infrared Spectroscopy*, „Macromolecular Materials and Engineering”, Vol. 293.
- Zgrzeba A., Andrzejewska E., Marcinkowska A., 2015, *Ionic Liquid Containing – Ionogels by Thiol – Ene Photopolymerization, Kinetics and Solvent Effect*. RSC Adv. 5.

Biogramy

Aneta Lewandowska – doktorantka na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Zainteresowania naukowe: jonozele polimerowe, polimeryzacja inicjowana fotochemicznie, żelowe elektrolity polimerowe.

Piotr Gajewski – asystent na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej (Zakład Polimerów). Zainteresowania: polimeryzacja inicjowana fotochemicznie, jonozele i hydrozele polimerowe, żelowe elektrolity polimerowe oraz ich zastosowanie w elektrochemii, wykorzystanie metody HME w farmacji, elastyczne siłowniki polimerowe do zastosowań w miękkiej robotyce, zastosowanie metod statystycznych w badaniach naukowych.

Agnieszka Marcinkowska – adiunkt na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej (Zakład Polimerów). Zainteresowania: polimeryzacja inicjowana fotochemicznie, jonożele i hydrożele polimerowe, żelowe elektrolity polimerowe, materiały biomedyczne na bazie polimetakrylanów, wykorzystanie metody HME w farmacji, elastyczne siłowniki polimerowe do zastosowań w miękkiej robotyce.

Aneta Lewandowska – a PhD student at the Department of Polymers at the Poznan University of Technology. Research interests: polymer ionogels, photochemically initiated polymerization, gel polymer electrolytes.

Piotr Gajewski – an Assistant Professor at the Department of Polymers at the Poznan University of Technology. Interests: photochemically initiated polymerization, polymer ionogels and hydrogels, gel polymer electrolytes and their application in electrochemistry, the use of the HME method in pharmacy, flexible polymer actuators for applications in soft robotics, the use of statistical methods in scientific research.

Agnieszka Marcinkowska – an Assistant Professor at the Department of Polymers at the Poznan University of Technology. Interests: photochemically initiated polymerization, polymer ionogels and hydrogels, gel polymer electrolytes, biomedical materials based on polymethacrylates, the use of the HME method in pharmacy, flexible polymer actuators for applications in soft robotics.



Rola żelazowych szkieletów metaloorganicznych w procesach fotokonwersji dwutlenku węgla

Szymon Zdybel | Uniwersytet Gdański
<https://orcid.org/0000-0002-9640-3810>

Streszczenie

Słowa kluczowe:
żelazowe szkielety
metaloorganiczne,
fotoredukcja
dwutlenku węgla,
fotokataliza,
fotokonwersja, MOF

W niniejszej pracy przedstawione zostały dane dotyczące szkieletów metaloorganicznych (ang. *metal-organic frameworks*, MOF-y), ze szczegółowym opisem związków należących do grupy żelazowych szkieletów metaloorganicznych (Fe-MOF). Przedstawiona została charakterystyka struktury materiałów wraz z wynikającymi z niej specyficznymi właściwościami, jakie posiadają Fe-MOF-y. Omówione zostały również metody otrzymywania opisywanych związków chemicznych z uwzględnieniem podziału na metody konwencjonalne oraz niekonwencjonalne. W kolejnych częściach artykułu przedstawione zostały techniki wykorzystywane w procesie charakterystyki fizykochemicznej tych materiałów chemicznych, takie jak dyfraktometria rentgenowska, spektroskopia Fourierowska w podczerwieni, Skaningowa Mikroskopia Elektronowa i inne. W końcowej części zostało przedstawione pojęcie fotoredukcji dwutlenku węgla do bardziej użytecznych produktów, takich jak kwas mrówkowy, metan czy metanol. Proces ten został opisany jako innowacyjne rozwiązanie jednego z najważniejszych problemów cywilizacyjnych, jakim jest krytyczna emisja gazów cieplarnianych, w szczególności CO₂, których wynikiem jest globalne ocieplenie klimatu. Zestawione zostały potencjalne korzyści wynikające z wykorzystywania żelazowych szkieletów metaloorganicznych jako fotokatalizatorów, na których powierzchni może zachodzić konwersja zaadsorbowanego dwutlenku węgla pod wpływem promieniowania ultrafioletowego lub widzialnego.

The role of iron-based metal-organic frameworks in carbon dioxide photoconversion processes (Summary)

Keywords:
iron-based metal-
organic frameworks,
photoconversion,
photocatalysis,
photoreduction
of carbon dioxide,
MOF

This paper presents data on metal-organic frameworks (MOFs) with a detailed description of compounds belonging to the group of iron-based metal-organic frameworks (Fe-MOFs). The characteristics of the materials' structure and the resulting specific properties of Fe-MOFs are presented. The techniques of preparation of the described compounds are also discussed, including the division into conventional and unconventional methods. The following chapters present the techniques used in the process of physicochemical characterization of these chemical materials, including X-ray diffractometry, Fourier-transform spectroscopy in infrared, Scanning Electron Microscopy and others. In the final part of this paper, the concept of photoreduction of carbon dioxide to more valuable products such as formic acid, methane or methanol is presented. This process

is described as an innovative solution to one of the most important problems of civilization: the critical emission of greenhouse gases, especially CO₂, resulting in global warming. The potential benefits of using iron-based metal-organic frameworks as photocatalysts, on whose surface conversion of adsorbed carbon dioxide can occur under the influence of ultraviolet or visible radiation, are summarized.

1. Globalny problem środowiskowy

Spalanie paliw kopalnych przez człowieka powoduje nadmierną emisję gazów cieplarnianych, przede wszystkim dwutlenku węgla, do atmosfery. Skutkuje to wystąpieniem poważnych problemów środowiskowych i energetycznych (Li 2019: 1). Globalne ocieplenie stanowi jeden z największych problemów XXI wieku. Rokrocznie emisje gazów cieplarnianych utrzymują się na poziomie, który powoduje pogłębianie się zmian klimatycznych. Gazem cieplarnianym, którego emisja jest najwyższa, jest dwutlenek węgla – 80% całej emisji w 2019 roku (Parlament Europejski 2018). Emisje pozostałych gazów, takich jak metan, podtlenek azotu i innych, są często przedstawiane w postaci ekwiwalentu CO₂. Ilości emitowanego dwutlenku węgla w 2019 roku wraz z ekwiwalentami osiągnęły wartość ponad 400 mln ton (Parlament Europejski 2018).

Ze względu na nieustannie pogarszającą się globalnie jakość powietrza naukowcy na całym świecie prowadzą badania mające na celu wynalezienie metod ograniczania emisji gazów cieplarnianych lub swobodnego recyklingu tych lotnych odpadów (Parlament Europejski 2018). Jedną z metod posiadających potencjał w redukcji stężenia CO₂ w atmosferze jest jego fotoredukcja w obecności fotokatalizatorów i promieniowania słonecznego. W tym procesie dwutlenek węgla jest konwertowany do węglowodorów lub innych bardziej wartościowych produktów w środowisku wodnym lub gazowym. Fotokonwersja tym samym ma przypominać naturalną fotosyntezę, dzięki której szanse na zredukowanie stężenia CO₂ w atmosferze są wysokie (Li 2019: 1). Jednakże warto podkreślić znaczenie obojętnego charakteru cząsteczek dwutlenku węgla. Ta właściwość utrudnia jego aktywację oraz przekształcanie do przydatnych produktów, dlatego wymagana jest obecność wydajnych fotokatalizatorów, które biorąc udział w procesie, umożliwiają zajście redukcji i otrzymanie pożądaných efektów. Ponadto konkurencyjna reakcja generowania wodoru (ang. *hydrogen evolution reaction*), w wyniku której wytwarzany jest wodór, zmniejszając selektywność i wydajność fotokatalitycznej konwersji CO₂. Dlatego właśnie istotnym aspektem jest zaprojektowanie wydajnych fotokatalizatorów redukcyjnych, które przez wzgląd na swoją wysoką selektywność będą wydajnie przekształcać dwutlenek węgla (Li 2019: 1).

2. Szkielety metaloorganiczne – nowoczesne materiały z wielkim potencjałem

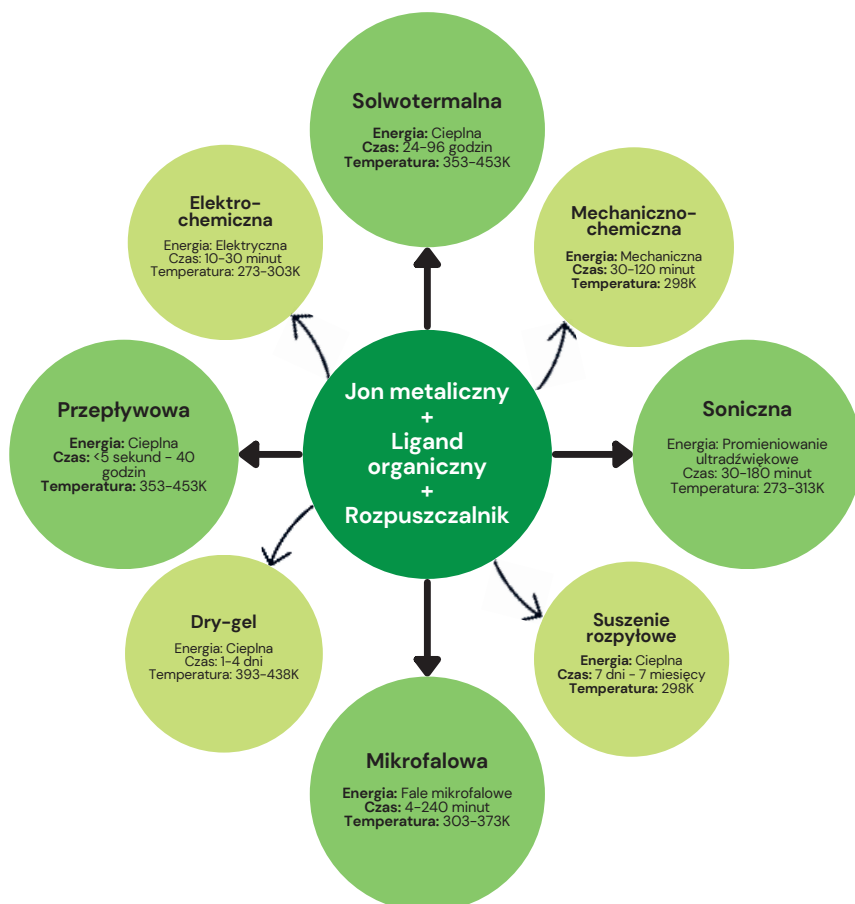
Szkielety metaloorganiczne (ang. *metal-organic frameworks*, MOF-y) to krystaliczne porowate materiały, których budowa składa się z dwóch zasadniczych elementów. Pierwszym z nich jest centrum składające się z jonu metalicznego, drugim zaś jest ligand organiczny łączący ze sobą poszczególne centra. Materiały te mogą posiadać budowę jedno-, dwu- albo trójwymiarową (Chmielewski 2020). Materiały należące do tej grupy chemicznej cieszą się dużym zainteresowaniem wśród naukowców. Jest to między innymi związane z tym, iż poprzez dobór odpowiedniej soli nieorganicznej lub organicznego ligandu na etapie projektowania syntezy możliwe jest uzyskanie materiału posiadającego odpowiednie właściwości. Tutaj możemy wyróżnić właściwości katalityczne, magnetyczne, optyczne oraz, przez wzgląd na ich wysoko rozwiniętą porowatą powierzchnię, zdolności sorpcyjne (Chmielewski 2020). Ostatnia z wymienionych cech powoduje, że materiały te są wykorzystywane w procesach magazynowania energii oraz gazów, w szczególności wodoru i metanu. Do innowacyjnych zastosowań, w których wykorzystywane są MOF-y, możemy zaliczyć również aplikacje medyczne (nośniki leków) oraz konwersję dwutlenku węgla z wykorzystaniem promieniowania słonecznego. Produktami procesu fotokonwersji może być tlenek węgla, metan, etanol, a także kwas mrówkowy i wiele innych (Chmielewski 2020).

Żelazowe szkielety metaloorganiczne (ang. *iron-based metal-organic frameworks*, Fe-MOF-y), zgodnie z wcześniej podaną definicją, w swojej budowie posiadają różnego rodzaju organiczne ligandy, natomiast centrum metaliczne składa się z jonów żelazowych na drugim (Fe^{2+}) lub trzecim stopniu utlenienia (Fe^{3+}). Niezwykłą zaletą Fe-MOF-ów są duże nienasycone centra metaliczne o bardzo wysokiej aktywności katalitycznej. Dzięki tej właściwości są one wykorzystywane w zaawansowanych procesach utleniania (ang. *advanced oxidation processes*, AOP), w szczególności w procesach degradacji zanieczyszczeń metodą Fentona oraz pokrewnych i innych (Joseph 2021: 2). Fe-MOF-y charakteryzują się międzyfazowym przeniesieniem elektronu, co w połączeniu z układem redoks Fe (III)/Fe (II) stanowi znakomitą recepturę na wydajny katalizator. Ze względu na obecność układu Fe-O w strukturze omawianych materiałów przeprowadzanie procesów degradacji fotokatalitycznej jest również bardziej ekonomicznie opłacalne względem innych szkieletów metaloorganicznych (Joseph 2021: 2).

2.1. Metody syntezy żelazowych szkieletów metaloorganicznych

Istnieje wiele metod, dzięki którym możliwa jest synteza żelazowych szkieletów metaloorganicznych. Większość z nich można zakwalifikować do jednej z dwóch grup. Pierwsza to metody konwencjonalne, druga to metody niekonwencjonalne (Joseph

2021: 3). Większość z omawianych w dalszym tekście metod została schematycznie przedstawiona na rysunku 1.



Rysunek 1. Schematyczne przedstawienie wybranych metod syntezy Fe-MOF-ów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Joseph 2021: 4).

2.1.1. Droga konwencjonalnej syntezy Fe-MOF-ów

Pierwsza z omawianych dróg syntezy żelazowych szkieletów metaloorganicznych opiera się na otrzymywaniu tych materiałów metodą solwotermalną lub hydrotermalną (Joseph 2021: 3). Zasada działania obydwu metod jest podobna, różnią się one jedynie wykorzystywanym rozpuszczalnikiem. W metodzie hydrotermalnej rozpuszczalnikiem jest woda, natomiast w metodzie solwotermalnej wykorzystywany jest dowolny rozpuszczalnik organiczny (Gecgel 2019: 1). W pierwszym etapie obu metod otrzymywane są prekursorzy szkieletów metaloorganicznych poprzez

uzyskanie mieszaniny żelazowej soli nieorganicznej z organicznym linkerem w środowisku rozpuszczalnika. Roztwór prekursora następnie umieszczany jest w szczelnym wkładzie zazwyczaj wykonanym z teflonu. Ten następnie zamykany jest w stalowym autoklawie (Gecgel 2019: 2). Mieszanina reakcyjna pod ciśnieniem autogenicznym następnie poddawana jest gradientowi temperatur do osiągnięcia temperatury bliskiej temperaturze wrzenia wykorzystanego rozpuszczalnika. Doprowadza to do uzyskania ciągłych zmian stężeń w równowadze produkt/prekursor. W chwili osiągnięcia poziomu krytycznego stężenia następuje samoczynne zarodkowanie i wzrost kryształów. Wynikiem tego zjawiska jest powstawanie krystalicznych porowatych szkieletów metaloorganicznych (Joseph 2021: 2).

2.1.2. Droga niekonwencjonalnej syntezy Fe-MOF-ów

Opisane w poprzednim podpunkcie metody konwencjonalne syntezy szkieletów metaloorganicznych posiadają liczne wady. Wynikają one z potrzeby wykorzystywania dużych ilości niebezpiecznych, często toksycznych rozpuszczalników organicznych, a także wykorzystywania dużych nakładów energetycznych wynikających z potrzeby stosowania wysokich temperatur. Te aspekty wykluczają komercyjne wykorzystywanie konwencjonalnych metod w przemyśle na dużą skalę (Lee 2013: 5).

W celu zredukowania niebezpiecznych dla środowiska odpadów badacze opracowali bardziej korzystne ekonomicznie niekonwencjonalne metody syntezy MOF-ów. Do tej grupy zaliczyć można między innymi syntezę mechaniczno-chemiczną, elektrochemiczną, dyfuzyjną oraz plazmową, a także metodę sucho-żelową (ang. *dry-gel*) (Joseph 2021: 5). Wszystkie wymienione metody posiadają potencjalną możliwość wykorzystania w dużej skali wynikających z nich korzyści, takich jak zmniejszenie ilości odpadów, obniżenie kosztów energetycznych prowadzenia procesu, a także zwiększenie wydajności otrzymywanych materiałów.

2.2. Techniki analityczne wykorzystywane w analizie jakościowej Fe-MOF-ów

Kontrola analityczna produktów otrzymanych w wyniku przeprowadzanej syntezy stanowi nieodzowny element procesów technologicznych. Przeprowadza się ją w celu potwierdzenia tożsamości otrzymanego związku, ale także w celu określenia morfologii powierzchni w przypadku materiałów chemicznych (ciał stałych) oraz właściwości strukturalnych, fizykochemicznych. Dodatkowym aspektem, jaki można określić podczas przeprowadzania kontroli analitycznej procesu, jest określenie wydajności oraz selektywności zachodzącej przemiany chemicznej lub fizycznej. W poniższym podpunkcie zaprezentowane zostały najpopularniejsze techniki analityczne wykorzystywane w laboratorium.

2.2.1. Dyfraktometria rentgenowska

Pierwszą z omawianych metod wykorzystywanych w kontroli analitycznej otrzymywania materiałów chemicznych jest dyfraktometria rentgenowska (ang. *X-ray diffraction*, XRD). Jest to technika wykorzystująca promieniowanie Röntgena w analizach krystalograficznych, dzięki którym możliwe jest określenie budowy wewnętrznej sieci krystalicznej (Uniwersytet Wrocławski 2022). Procesy wykorzystywane w dyfraktometrii rentgenowskiej zasadniczo opierają się na oddziaływaniu promieniowania X z elektronami znajdującymi się w próbce. W momencie zderzenia się fotonów z elektronami analizowanej próbki dochodzi do ich rozproszenia lub absorpcji (Uniwersytet Wrocławski 2022). W kontroli analitycznej otrzymywanych materiałów za pomocą techniki XRD możemy potwierdzić otrzymanie właściwych związków poprzez potwierdzenie ich struktury krystalicznej, a także możemy określić ich czystość. Zazwyczaj do tego celu wykorzystuje się dyfraktogramy substancji wzorcowych lub otrzymane wcześniej wyniki zamieszczone w publikacjach naukowych, w których omawiane są syntezy konkretnych materiałów. W czasie badania rejestruje się położenia kątowe oraz natężenia odbić dyfrakcyjnych od różnych grup płaszczyzn sieciowych (Uniwersytet Wrocławski 2022). Na dyfraktogramie, który stanowi wynik przeprowadzonej analizy, znajdują się położenia kątowe oraz natężenia odbić dyfrakcyjnych. Znaczny wpływ na postać dyfraktogramu mają wielkości analizowanych kryształitów (Uniwersytet Wrocławski 2022).

2.2.2. Skaningowa mikroskopia elektronowa

Drugą z omawianych technik jest Skaningowa Mikroskopia Elektronowa (ang. *Scanning Electron Microscopy*, SEM). Ideą SEM jest skanowanie powierzchni próbki analizowanej nanometrową wiązką elektronów generowaną w układzie elektrooptycznym mikroskopu. Jednym z ważniejszych parametrów SEM jest zdolność rozdzielcza (Grabowska 2015). Parametrami bezpośrednio wpływającymi na zdolność rozdzielczą są przede wszystkim rodzaj sygnału wykorzystywanego do wytworzenia obrazu, a także wykorzystana konstrukcja mikroskopu. Wspomniany sygnał z powierzchni próbki przekazywany jest do detektora, a wylatujący z niego sygnał determinuje jasność obrazu, który zaś wyświetlany jest na monitorze. Najważniejszym z sygnałów docierających do monitora jest niskoenergetyczny sygnał elektronów wtórnych. Liczba wyemitowanych elektronów wtórnych zawiera w sobie informacje o topografii powierzchni próbki. Większość elektronów opuszcza wypukłości, natomiast niewiele z nich zostaje, co skutkuje powstaniem kontrastu topograficznego (Grabowska 2015).

Technika ta wykorzystywana jest zazwyczaj do określenia topologii oraz morfologii powierzchni analizowanych próbek otrzymanego materiału. W badaniu tym możliwe jest określenie kształtu, a także wyznaczenie wymiarów obserwowanych kryształów.

2.2.3. Analiza izoterm adsorpcji

Następną z opisywanych metod wykorzystywanych w kontroli analitycznej po syntezie materiałów chemicznych jest analiza izoterm adsorpcji z fazy gazowej. Proces adsorpcji może zachodzić na drodze chemicznej – chemisorpcja – lub fizycznej – fizysorpcja. Adsorpcja opiera się na oddziaływaniach zachodzących na granicy powierzchni stykających się ze sobą faz, np. ciało stałe – ciecz (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej 2011). W celu wyróżnienia, czy w danym przypadku zachodzi adsorpcja fizyczna czy chemiczna należy zwrócić uwagę, poprzez jakie oddziaływania zachodzi wiązanie adsorbentu na powierzchni adsorbentu (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej 2011). W przypadku adsorpcji fizycznej wykorzystywane są oddziaływania międzycząsteczkowe, takie jak wiązania wodorowe oraz oddziaływanie sił Van der Waalsa, zaś jeżeli cząsteczki adsorbentu wiązane są na powierzchni w wyniku zajścia przemiany chemicznej, mamy wówczas do czynienia z adsorpcją chemiczną (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej 2011).

W kontroli analitycznej otrzymywanych szkieletów metaloorganicznych technika ta wykorzystywana jest w celu określenia zdolności sorpcyjnych badanego materiału. Po przeprowadzeniu analizy otrzymywane są między innymi informacje dotyczące powierzchni właściwej oraz średnicy porów wewnątrz struktury krystalicznej.

2.2.4. Spektroskopia Fourierska w podczerwieni – FTIR

Ostatnią ze szczegółowo omawianych wybranych technik wykorzystywanych w kontroli analitycznej procesu otrzymywania materiałów chemicznych jest spektroskopia Fourierska w podczerwieni (ang. *Fourier transform infrared*, FTIR). Zasada wykorzystywanego spektrometru w tej metodzie polega na tym, że generowane ze źródła światło pada na interferometr. W kolejnym etapie transformata Fouriera interferogramu odtwarza spektrum podczerwieni źródła światła. Widmo nie jest obserwowane bezpośrednio, lecz jest ono otrzymywane przez dokonanie transformaty Fouriera sygnału mierzonego w funkcji czasu (Starobrat 2020: 54). Wykorzystywanie FTIR pozwala na określenie charakterystycznych drgań dla grup, które są obecne w strukturze analizowanego związku. Widmo FTIR jest widmem charakterystycznym dla danej substancji, dlatego też analiza spektrofotometryczna Fouriera w podczerwieni w głównej mierze jest wykorzystywana do badań jakościowych. Warto zwrócić również uwagę na sporą zaletę opisywanej metody, którą jest możliwość analizy obecności dodatkowych substancji oraz ich oddziaływania z poszczególnymi grupami związku pierwotnego (Starobrat 2020: 54).

2.2.5. Pozostałe techniki analityczne

Wyżej opisane metody kontroli analitycznej otrzymanych materiałów stanowią jedynie niewielką część wszystkich technik wykorzystywanych w analizie ilościowej i jakościowej. Są to natomiast bardzo powszechnie stosowane metody, które cechują się dokładnością i uniwersalnością.

Pozostałymi technikami, na które również warto zwrócić uwagę podczas planowania syntezy szkieletów metaloorganicznych, są między innymi spektroskopia Ramana, wykorzystywana do potwierdzenia struktury krystalicznej badanego związku, oraz spektroskopia UV-VIS. Jedną z bardziej dokładnych technik jest Transmisyjna Mikroskopia Elektronowa (ang. Transmission Electron Microscopy, TEM). Jest to metoda bardzo kosztowna w użytkowaniu, natomiast rozdzielczość pozyskiwanych obrazów jest zdecydowanie wyższa niż w przypadku SEM, co jest konsekwencją technologii wytwarzania obrazu analizowanej próbki. W metodzie TEM wiązka elektronowa częściowo wnika do wnętrza obserwowanego materiału (Grabowska 2015).

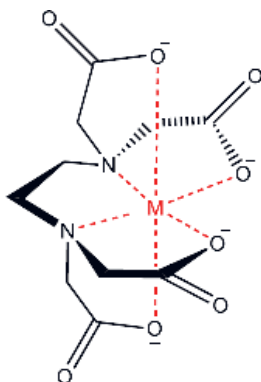
3. Zróżnicowana struktura żelazowych szkieletów metaloorganicznych

Wszeczhronne zastosowanie szkieletów metaloorganicznych, między innymi w procesach adsorpcji, separacji, magazynowania, katalizy oraz wielu innych, jest zależne w głównej mierze od porowatości, funkcjonalności ligandów, sposobów powstawania oddziaływań koordynacyjnych, wielkości i rodzajów metalicznych klastrów oraz integralności strukturalnej. Porowate związki koordynacyjne zawierające podobny rdzeń metaliczny mogą charakteryzować się zróżnicowanymi właściwościami chemicznymi oraz fizycznymi przez wzgląd na obecność różnych ligandów organicznych. Tym samym w celu zaprojektowania odpowiedniego materiału konieczne jest posiadanie wiedzy o klastrach metalicznych, ligandach oraz środowisku chemicznym syntezy (Joseph 2021: 7). W tej części zostaną przedstawione informacje dotyczące przede wszystkim organicznych „linkerów”, ale również tworzenia się połączeń między jonami metalicznymi, a także klastrowych jednostek występujących w różnego rodzaju żelazowych szkieletach metaloorganicznych.

3.1. Fe-MOF-y dwukleszczowe (ditopiczne)

Ligandy kleszczowe (chelatowe) to związki chemiczne, które w swojej strukturze zawierają dwa lub więcej atomów posiadających wolne pary elektronowe umożliwiające koordynację atomu centralnego (Grubba 2015). Związki kompleksowe zawierające ligandy chelatowe cechują się wyższą trwałością niż związki kompleksowe, które zawierają ligandy koordynujące wyłącznie jedną wolną parą elektronową (Grubba 2015). Ligandy kleszczowe, które tworzą wiązanie koordynacyjne z jonem metalu,

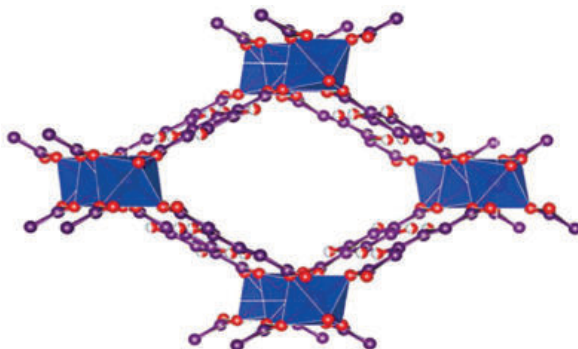
tworzą pierścienie. Schematyczne przedstawienie takiej struktury zostało przedstawione na rysunku 2. Takie układy przestrzenne powodują, iż powstałe kompleksy są wyjątkowo trwałe (Grubba 2015).



Rysunek 2. Schematyczne przedstawienie struktur pierścieniowych w kompleksach metali i ligandów chelatowych

Źródło: (Wikipedia 2005).

Typowymi przedstawicielami omawianej grupy ligandów są liniowe dikarboksylany. Przykładem takiego ligandu może być kwas 1,4-benzenodikarboksylowy (1,4-BDC), który powszechnie wykorzystywany jest do projektowania elastycznych struktur o wysokich właściwościach sorpcyjnych (Joseph 2021: 7). Żelazowym szkieletem metaloorganicznym, który w swojej strukturze posiada dwukleszczowy ligand, jest MIL-53(Fe). Jego centrami metalicznymi są oktaedryczne klastry FeO_6 , które koordynowane przez 1,4-BDC tworzą zygawkowate łańcuchy (ang. *zigzag chains*). Każda cząsteczka organicznego linkera koordynuje dwie różne cząsteczki FeO_6 , tworząc trójwymiarowy szkielet zawierający romboedryczne wolne przestrzenie, które możemy zaobserwować na rysunku 3.



Rysunek 3. Trójwymiarowa struktura MIL-53(Fe)

Źródło: (Joseph 2021).

3.2. Fe-MOF-y trójkleszczowe (tritopiczne)

Żelazowe szkielety metaloorganiczne utworzone w oparciu o ligandy dwukleszczowe są podatne na działanie wilgoci. Z tego powodu projektowanie struktur Fe-MOF-ów zostało wzbogacone o wykorzystanie organicznych ligandów trójkleszczowych (Joseph 2021: 8). W tej grupie ligandów największą popularnością cieszy się kwas benzeno-1,3,5-trikarboksylowy (H_2BTC). Przykładowym szkieletem jest MIL-100(Fe) posiadający trójwymiarową strukturę tetraedralną. Tego rodzaju rozmieszczenie przestrzenne atomów jest typowe dla zeolitycznych szkieletów imidazolowych (ang. *zeolitic imidazolate frameworks*, ZIFs). Tetraedryczna struktura MIL-100(Fe) powstaje w wyniku koordynowania klastrów $[Fe_3(\mu_3-O)(COO)_6]$, określanych mianem drugorzędowych jednostek budulcowych (ang. *secondary building units*, SBU) poprzez H_2BTC (Joseph 2021: 8). Analogicznie do szkieletów ditopicznych organiczny ligand łączy ze sobą niezależne cząsteczki w przestrzeni, natomiast ze względu na poziom skomplikowania poszczególnych molekuł powstające kompleksy posiadają jeszcze większą trwałość (Joseph 2021: 8).

3.3. Fe-MOF-y czterokleszczowe (tetrapopiczne)

Ostatnią z omawianych grup żelazowych szkieletów metaloorganicznych są te materiały, które w swojej strukturze posiadają najbardziej rozbudowane czterokleszczowe ligandy organiczne. Wykazano, że zasadowość oraz liczba grup koordynujących, obecnych w linkerach należących do tej grupy, mają znaczny wpływ na stabilność otrzymywanych Fe-MOF-ów. Tym samym kompleksy otrzymywane w oparciu o ligandy tetrapopiczne wykazują bardzo dużą stabilność, zarówno w pH kwaśnym, jak i zasadowym (Joseph 2021: 9). Przykładem materiału należącego do tej grupy jest MIL-127(Fe), który wykazuje jeszcze większą stabilność niż opisywany wcześniej MIL-100(Fe). Ligandem czterokleszczowym obecnym w strukturze MIL-127(Fe) jest (TazBz), czyli azobenzeno-3,3',5,5'-tetrakarboksylan, który koordynuje oktaedryczne trimery jonów żelaza (Fe^{3+}) (Joseph 2021: 9).

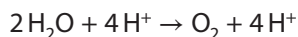
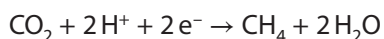
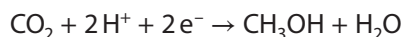
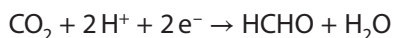
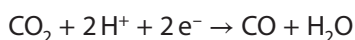
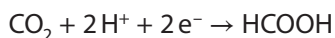
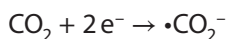
4. Rola żelazowych szkieletów metaloorganicznych w procesach fotokonwersji dwutlenku węgla

Fotokataliza jest to proces polegający na inicjowaniu przemiany chemicznej przez obniżenie energii aktywacji lub zmianę szybkości reakcji poprzez działania promieniowaniem z zakresu ultrafioletowego oraz widzialnego (Sadeghi 2018: 1). W zależności od sposobu oddziaływania kwantu promieniowania słonecznego z układem wyróżnić można reakcję sensybilizowaną oraz katalizowaną fotoreakcję. W przypadku pierwszego mechanizmu padający kwant promieniowania świetlnego powoduje wzbudzenie elektronu w paśmie podstawowym, a w następstwie przeniesienie

ładunku w kierunku reagentów. Natomiast drugi mechanizm zachodzi w kierunku odwrotnym, czyli dochodzi do wzbudzenia substratów, a następnie do dalszej reakcji z fotokatalizatorem (Politechnika Wrocławska 2020).

4.1. Fotokatalityczna redukcja dwutlenku węgla

W ciągu ostatnich dekad opracowywano liczne programy polityki zarządzania ochroną środowiska, wśród nich wyróżnić można proces fotokatalitycznej redukcji dwutlenku węgla, który jest popularną technologią stosowaną do przetwarzania CO₂ w bardziej korzystne produkty. Fotoredukcja dwutlenku węgla stanowi złożony proces, który składa się ze skomplikowanych reakcji łańcuchowych przedstawionych w poniższych równaniach (Li 2014: 2).



Wyżej wspomniane reakcje wchodzące w skład fotokatalizy heterogenicznej zachodzą pomiędzy fotokatalizatorami obecnymi w fazie stałej a reagentami znajdującymi się w fazie gazowej oraz ciekłej (Politechnika Wrocławska 2020). Przykładowymi procesami zachodzącymi w trakcie opisywanej przemiany są, między innymi, utlenianie, odwodornienie, osadzanie metali i wiele innych (Politechnika Wrocławska 2020).

4.2. Fe-MOF-y w procesach fotokonwersji CO₂

Żelazowe szkielety metaloorganiczne, które można opisać jako krystaliczne porowate materiały, ze względu na swoje właściwości strukturalne są w procesach fotokonwersji dwutlenku węgla obiecującymi materiałami. Ich różnorodność oraz uniwersalność powodują, że stają się one coraz popularniejszym obiektem rozważań w środowisku badaczy.

Ze względu na swoją rozwiniętą porowatą powierzchnię właściwą, której wymiary, stabilność oraz kształty struktury przestrzennej mogą być modyfikowane w zależności od wykorzystanego ligandu organicznego, mogą z wysoką wydajnością adsorbować CO₂ z powietrza. W kolejnym etapie następuje działanie promieniowaniem

słonecznym, co powoduje zajście kaskady przemian chemicznych prowadzących do pozyskiwania bardziej korzystnych produktów (Sadeghi 2018: 10).

Perspektywa otrzymywania prostych węglowodorów, np. metanu oraz ich pochodnych, takich jak kwas mrówkowy, aldehyd mrówkowy czy etanol z zanieczyszczonego powietrza, potęguje zainteresowanie wobec nie tylko Fe-MOFs, ale szkieletów metaloorganicznych w pojęciu ogólnym (Sadeghi 2018: 10).

Bibliografia

Chmielewski M.J., 2020, *Chemia MOF-ów (z ang. Metal-Organic Framework)*, Badania. Uniwersytet Warszawski, <https://www.mchmielewski.pl/badnia/> [dostęp: 31.05.2022].

Gecgel C., 2019, *Comparison of MIL-101(Fe) and amine-functionalized MIL-101(Fe) as photocatalysts for the removal of imidacloprid in aqueous solution*, „Journal of the Iranian Chemical Society”, Vol. 16.

Grabowska B., 2015, *Metody mikroskopowe w inżynierii materiałowej. Mikroskopia elektronowa*, 14.04.2015, <http://home.agh.edu.pl/~graboska/doc/NTBwIM-cw5-instrukcja.pdf> [dostęp: 31.05.2022].

Grubba R., 2015, *Związki kompleksowe*, 2.10.2015, <http://www.kchn.pg.gda.pl/didactics/nanolab/cw2.pdf> [dostęp: 31.05.2022].

Joseph J., 2021, *Iron based metal organic framework: Synthesis, structure and current technologies for water reclamation with deep insight into framework integrity*, „Chemosphere”, Vol. 284, No. 131171.

Lee, Y.R., 2013, *Synthesis of metal-organic frameworks: a mini review*, „Korean Journal of Chemical Engineering”, Vol. 30.

Li X., 2019, *Hydrophobic Polyoxometalate-Based Metal-Organic Framework for Efficient CO₂ Photoconversion*, „ACS Applied Materials & Interfaces”, Vol. 11, No. 29.

Li K., 2014, *A critical review of CO₂ photoconversion: Catalysts and reactors*, „Catalysis Today”, Vol. 224.

Parlament Europejski, 2018, *Infografika: Emisje gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej*, 7.03.2018, <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20180301STO98928/infografika-emisje-gazow-cieplarnianych-w-unii-europejskiej> [dostęp: 31.05.2022].

Politechnika Wrocławska, 2020, *Analiza właściwości fotokatalizatorów.*, 28.06.2020, http://www.paliwa.pwr.wroc.pl/files/AM_-_cwiczenie_N3.pdf [dostęp: 31.05.2022].

Sadeghi N., 2018, *Optimization and modeling of CO₂ photoconversion using a response surface methodology with porphyrin-based metal organic framework*, „Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis”, Vol. 125.

Starobrat A., 2020, *Nowe materiały do magazynowania wodoru oparte na skandzie, itrze i glinie: synteza i właściwości fizykochemiczne*, Warszawa.

Uniwersytet Wrocławski, 2022, *Dyfraktometr proszkowy i bazy proszkowe. Identyfikacja substancji na podstawie dyfraktogramów proszkowych*, https://profile.chem.uni.wroc.pl/uploads/units_files/111/XRDpowders_instrukcja_final.pdf [dostęp: 31.05.2022].

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, 2011, *Opis teoretyczny izoterm adsorpcji z fazy gazowej*, 28.02.2011, <https://phavi.umcs.pl/at/attachments/2017/0324/150645-cwiczenie1.pdf> [dostęp: 31.05.2022].

Wikipedia, 2005, *EDTA*, 22.04.2005, <https://pl.wikipedia.org/wiki/EDTA> [dostęp: 31.05.2022].

Biogram

Szymon Zdybel – inżynier, chemik, student drugiego stopnia kierunku Biznes Chemiczny na Wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego. Jego zainteresowania naukowe obejmują technologię środowiskową, materiały chemiczne, nanocząstki oraz metody chemii komputerowej.

Szymon Zdybel – engineer, chemist, master's degree student in Chemical Business at the Faculty of Chemistry, University of Gdańsk. His research interests include environmental technologies, chemical materials, nanoparticles and chemometrics.



Fizyka na Uniwersytecie Gdańskim w latach 1970–2022. Wspomnienia emeryta UG

Antoni Śliwiński | emerytowany profesor Uniwersytetu Gdańskiego

Wstęp

Uniwersytet Gdański został powołany przed ponad 50 laty wskutek formalnej decyzji o połączeniu (w roku 1970) działających od lat czterdziestych ubiegłego wieku uczelni: Wyższej Szkoły Pedagogicznej (WSP) w Gdańsku oraz Wyższej Szkoły Ekonomicznej (WSE) w Sopocie. Jednak jego powstanie to efekt starań wszystkich naukowych, intelektualnych i kulturalnych środowisk, które w latach powojennych działały na Wybrzeżu Gdańskim, jak Politechnika Gdańska, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Instytut Budownictwa Wodnego, Stacja Morska PAN, Wyższa Szkoła Morska, Szkoła Sztuk Pięknych, Państwowa Wyższa Szkoła Muzyczna (obecnie Akademia Muzyczna obchodząca swe 75-lecie istnienia), i które stwarzały atmosferę i klimat dla utworzenia uniwersytetu. Byli na uczelniach Wybrzeża również fizycy, między innymi takie autorytety, jak prof. Ignacy Adamczewski, pracujący na Politechnice Gdańskiej i w Gdańskiej Akademii Medycznej, czy prof. Arkadiusz Piekara¹. Na Politechnikę Gdańską przenieśli się fizycy z Poznania (między innymi dr Włodzimierz Mościcki, mgr Olgierd Gzowski, mgr Jerzy Dera, którzy później zostali zasłużonymi profesorami).

W WSP w Katedrze Fizyki pracowali fizycy, którzy w procesie tworzenia Uniwersytetu Gdańskiego zostali w 1970 roku przeniesieni automatycznie do UG i to oni tworzyli załóżek jego przyszłego Instytutu

¹ Do 1952 roku pracował na PG, następnie przeniósł się na UAM do Poznania wraz ze swoim współpracownikiem naukowym dr. Zdzisławem Pająkiem, później profesorem w Poznaniu. Zabrał też ze sobą doświadczonego mistrza mechanika Jana Miskina, który współorganizował warsztatowe zaplecze obsługi naukowo-technicznej w Instytucie Fizyki Doświadczalnej UAM.

Fizyki. Historia fizyki na WSP została opisana w opracowaniach poświęconych genezie fizyki na Uniwersytecie Gdańskim. Są to m.in. prace Kazimierza Badziąga (1980; 2005; 2015), praca magisterska Marzeny Drywy (2003) napisana w Instytucie Fizyki Doświadczalnej UG w 2003 roku pod kierunkiem Stanisława Zachary. Stan kadry naukowej w WSP w 1969 roku, na rok przed utworzeniem Uniwersytetu Gdańskiego, reprezentowało 13 profesorów i 48 docentów (Drywa 2003) i wielu innych nauczycieli akademickich, w tym 79 adiunktów (zob. *Droga do Uniwersytetu...* 2021), przeważnie doktorów. Wśród tej kadry na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii było: 4 profesorów, 49 adiunktów, wykładowców i starszych wykładowców, 55 asystentów i starszych asystentów, 66 pracowników naukowo-technicznych i technicznych. Wśród chemików był prof. zw. dr hab. Janusz Sokołowski, jeden z głównych inicjatorów powołania UG, jego późniejszy organizator i pierwszy jego rektor przez cztery kadencje w latach 1970–1981.

Na fizyce na nowo utworzonym uniwersytecie było 54 nauczycieli akademickich: 7 docentów, w tym 5 z tytułem dr hab. (Jan Fiutak i Alfons Kawski przeszli z WSP), Robert Głębocki i Józef Heldt, którzy przeszli z UMK z Torunia, i Antoni Śliwiński z UAM z Poznania oraz 2 docentów nominowanych: doc. dr Kazimierz Badziąg i dr Jerzy Grzywacz (przeszli z WSP), a także doktorzy: Leszek Woliński, Romuald Pohoski, Bogusława Polacka, Czesław Lewa, Andrzej Horodecki (przeszli z WSP) i 37 magistrów (w większości z WSP).

Wspomniane opracowania K. Badziąga i M. Drywy bardzo interesująco i wnikliwie charakteryzują historię fizyki w środowisku gdańskim w okresie przeduniwersyteckim. Bardzo istotna była współpraca i wzajemne kontakty fizyków WSP z fizykami pracującymi na Politechnice Gdańskiej czy Gdańskiej Akademii Medycznej (GAM) i średnich szkołach Wybrzeża, w dużej mierze zrzeszonych w Gdańskim Oddziale Polskiego Towarzystwa Fizycznego (PTF). Było to środowisko twórcze, potencjalnie zdolne i pełne zapału do podjęcia wyzwania organizacji zadań naukowych i dydaktycznych w perspektywie rozwoju nowej powstającej uczelni na Wybrzeżu Gdańskim na uniwersyteckim poziomie. Pierwszym wyzwaniem więc, szczególnie dla fizyków WSP wcielonej do UG, był wzrost kadry naukowej i werbunek dobrych i utytułowanych fizyków do pracy w planowanym Instytucie Fizyki UG. Wspomniany już doc. J. Fiutak, który do WSP przeniósł się z UMK z Torunia w 1966 roku, został z upoważnienia rektora prof. J. Sokołowskiego powołany do werbunku fizyków do przyszłego Instytutu Fizyki UG. Zadanie to wykonał znakomicie, bo już w październiku, pół roku po powołaniu UG, w pierwszej historycznej inauguracji roku akademickiego 1970/71 brali udział przyszli kierownicy zakładów i zespołów naukowych w nowo utworzonym Instytucie Fizyki UG, wspomniani już wyżej: doc. dr hab. R. Głębocki i doc. dr hab. J. Heldt sprowadzeni z UMK z Torunia oraz doc. dr hab. A. Śliwiński z UAM z Poznania, a także spora grupa doktorów i magistrów fizyki, którzy przyszli z nimi, oraz inni z różnych uczelni w kraju i liczni studenci I roku studiów.

Inauguracja była uroczysta i jak przystało na czasy PRL bardzo charakterystyczna. Powszechna dominacja ideologii PZPR i podkreślane zasługi tej partii w utworzeniu

UG oraz jej nadzieje rozwojowe były przez przemawiających odpowiednio przedstawione, ale w odczuciu ogólnym zaistniały fakt powstania Uniwersytetu Gdańskiego oceniany i uznawany był zarówno wśród kadry akademickiej, jak i społeczeństwa jako realne osiągnięcie obiektywnych dążeń i osiągnięć edukacyjnych środowisk twórczych Wybrzeża niezależnie od narzucanych zaleceń postępowania przez aktualne władze.

Warto tu dodać, że ideologiczne wpływy w środowiskach nauki są w dużym stopniu zależne od uprawianej dyscypliny naukowej i od jej fundamentalnych podstaw, kryteriów ścisłości i metodologii uprawiania nauki. W przypadku nauk ścisłych, jak dowiodły i dowodzą historyczne fakty, wszelka propagandowa indoktrynacja ma znikome szanse powodzenia. Fizyka, jako dyscyplina, którą mieliśmy w UG uprawiać w realiach PRL, z natury rzeczy miała się rozwijać obiektywnie, zatem w przekonaniu, że liczą się tylko eksperymentalnie lub teoretycznie dowiedzione fakty fizyczne. Startowaliśmy więc z zapałem i dużą nadzieją przyszłych osiągnięć zarówno w kształceniu kadr nauczycieli akademickich i studentów, jak i w uzyskiwaniu oryginalnych osiągnięć naukowych.

Zanim przejdę do omówienia historii fizyki na UG, przedstawię kilka osobistych wspomnień, jak to się stało, że przeszedłem z Poznania do Gdańska i w pełni się zaangażowałem w rozwój Uniwersytetu Gdańskiego, a fizyki w szczególności, w zastanych warunkach na Wybrzeżu Gdańskim. Kontakt z fizykami w Gdańsku miałem już od końca lat pięćdziesiątych. Wtedy u prof. I. Adamczewskiego pracował ww. dr W. Mościcki, który przeniósł się z Poznania po doktoracie w 1952 roku do Torunia, a potem do Gdańska (1955), gdzie utworzył pierwsze w Polsce laboratorium oznaczania wieku materiałów (w tym zabytków) na postawie procesu rozpadu promieniotwórczego izotopu węgla C^{14} .

Z dr. W. Mościckim współpracowałem w Poznaniu, będąc od 1950 roku zastępcą asystenta u prof. Szczepana Szczeniowskiego (u którego Mościcki robił doktorat z tej tematyki) w kierowanej przez niego Katedrze Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Poznańskiego, a później asystentem od 1952 roku (po reorganizacji i po zmianie nazwy uniwersytetu na UAM (Deresiewicz 1958; Kwiek, Hojan, Śliwiński 1971; Śliwiński, Ozimek 1971; Suszko 1953; Łopatka 1961; Łuczak 1969) w Katedrze Fizyki Teoretycznej w Zakładzie Akustyki i Teorii Drgań kierowanym przez doc. Marka Kwieka, gdzie również pracował prof. Edmund Karaśkiewicz.

Mościcki zorganizował na Politechnice Gdańskiej kierunek studiów jako Sekcję Fizyki Technicznej na Wydziale Telekomunikacji. Studenci tej sekcji na 4 roku studiów mieli zaplanowane wykłady specjalistyczne, m.in.: „Podstawy Akustyki i Zastosowania Ultradźwięków”. W 1958 roku prof. E. Karaśkiewicz (zm. 1973) i ja zostaliśmy przez prof. I. Adamczewskiego (zm. 2000) z inicjatywy Mościckiego zaproszeni do prowadzenia tych wykładów. Miało to miejsce dwukrotnie, w latach 1958 i 1959, w wiosennych semestrach. Przyjeżdżałem co dwa tygodnie na dwa dni na wykłady wraz z ćwiczeniami. Absolwentami wyżej wspomnianego kierunku byli między innymi: obecnie emerytowany prof. Ryszard Horodecki (IFTA UG) i nieżyjący już mgr inż. Paweł Czyż (zm. 1991), wieloletni pracownik Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG, oraz były

dyrektor Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej prof. dr hab. Andrzej Zastawny (zm. 2011), którego ostatni raz spotkałem w Gliwicach w 2005 roku (zob. fot. 162). Jak pisze prof. R. Horodecki w swoim wspomnieniu (Horodecki i in. 2019), na podobne zaproszenie dr. W. Mościckiego przyjeżdżał także z Poznania w roku 1958 dr Szweykowski (nie Jerzy, jak pomyłkowo wspomina prof. R. Horodecki w artykule (Horodecki i in. 2019: 295), ale jego brat Piotr Szweykowski. („Jerzy Szweykowski to biolog w roku 1958 doc. dr na Wydz. BiNoZ. w UAM” (Łopatka 1961)). Piotr Szweykowski pracował we wspomnianej wyżej Katedrze Fizyki Teoretycznej UAM kierowanej przez prof. S. Szczeniowskiego. Nasz zakład był już wówczas Katedrą Akustyki i Teorii Drgań, kierowaną przez prof. M. Kwieka (Śliwiński 2013). Z P. Szweykowskim pracowaliśmy na tym samym korytarzu i wtedy o naszych wykładach w Gdańsku czasem rozmawialiśmy. To jego wykład „o przestrzeni Hilberta”, jak pisze prof. R. Horodecki, „tak bardzo go zafascynował” (Horodecki i in. 2019: 295).

U prof. I. Adamczewskiego na Politechnice spotkałem również wtedy jego asystenta mgr Jerzego Derę (zasłużonego później profesora w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie), absolwenta fizyki w Poznaniu, z którym na początku lat pięćdziesiątych miałem zajęcia w UAM w I i II pracowni fizycznej. Poznałem tam także wtedy mgr. A. Kawskiego (później zasłużonego profesora w UG) w jego pracowni fotoluminescencyjnej, a także pierwszy raz spotkałem świeżo wówczas wypromowanego w PG mgr. inż. Andrzeja Januszajtisa (późniejszego profesora fizyki PG, a także znakomitego znawcę historii Gdańska i pasjonata tego miasta).

Jak wspomniałem, werbunek fizyków do Gdańska prowadził doc. dr hab. J. Fiutak. W końcu 1969 roku przyjechał on do Poznania z wykładem na Seminarium Katedr Fizyki UAM i przy okazji przekazał informacje o przygotowaniach do otwarcia Uniwersytetu Gdańskiego i zapowiedź jego powołania (co wkrótce formalnie nastąpiło już 20 marca 1970 roku) oraz zaprosił fizyków do współpracy i podjęcia zatrudnienia w UG. W luźnej rozmowie z nim wspomniałem, że od lat mam kontakty z fizykami w Gdańsku, ale także o tym, że mam bardzo dobrą już pozycję w Katedrze Akustyki i Teorii Drgań w UAM (Deresiewicz 1958; Kwiek, Hojan, Śliwiński 1971; Śliwiński, Ozimek 1971; Suszko 1953; Łopatka 1961; Łuczak 1968)². Byłem tam kierownikiem Zakładu Akustyki Molekularnej i miałem dobrych trzech młodych współpracowników, więc powiedziałem dr. hab. J. Fiutakowi, że nie planuję zmian (zob. Śliwiński, Engel, Zawieska 2010; Śliwiński, Kozaczka 2014). Przedstawiona przez niego oferta była interesująca i rozstaliśmy się w relacji: pomyślę, będziemy w kontakcie. Wkrótce potem na spotkaniu roboczym dotyczącym współpracy i realizacji naukowych planów węzłowych koordynowanych przez Instytut Chemii Fizycznej PAN w Zabrze spotkałem doc. dr. hab. Olgierda Gzowskiego³. Na dworcu w Zabrze długo rozmawialiśmy

² Kierowanej wtedy przez prof. dr hab. Halinę Ryfert, a utworzonej przez prof. dr hab. Marka Kwieka, mego wychowawcę i opiekuna naukowego, który zginął tragicznie w katastrofie lotniczej na Okęciu w Warszawie w grudniu 1962 roku (Śliwiński 2013).

³ Później profesora, który pracował na Politechnice Gdańskiej, a przeniósł się tam z Poznania w latach pięćdziesiątych. Był to mój serdeczny przyjaciel z czasów studiów i pracy asystenckiej

w oczekiwaniu na pociągi. Mówiliśmy także o propozycji doc. dr. hab. J. Fiutaka. Olgierd przedstawił mi tyle przekonujących argumentów i perspektyw rozwojowych w nowym Uniwersytecie Gdańskim, że po powrocie do Poznania byłem już zdecydowany przenieść się do Gdańska. Wydarzenia nastąpiły bardzo szybko. W lutym 1970 spotkałem się w Gdańsku z doc. dr. hab. J. Fiutakiem i przyszłymi współpracownikami fizykami, odbyłem rozmowy z dziekanem Wydziału Matematyki Fizyki i Chemii WSP prof. dr. hab. Edmundem Kwiatkowskim i już w maju rektorzy UAM (prof. dr hab. Czesław Łuczak) oraz organizowanego UG (prof. dr hab. Janusz Sokółowski) za porozumieniem stron wyrazili zgodę i Ministerstwo Oświaty i Szkolnictwa Wyższego dokonało mojego służbowego przeniesienia z UAM w Poznaniu na Uniwersytet Gdański do utworzonego Instytutu Fizyki na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii z dniem 1 października 1970 roku.

Plany i oczekiwania rozwojowe dla fizyki były duże, ale zależne od przyszłej kadry naukowej i specjalności samodzielnych pracowników akademickich, a więc lokalnych warunków i nowo przyjętych docentów (doktorów habilitowanych). Przechodzący z WSP: doc. dr hab. J. Fiutak (fizyka teoretyczna: fizyka jądrowa i molekularna) i doc. dr hab. A. Kawski (fizyka doświadczalna: optyka molekularna, fotoluminescencja) posiadali już pewną bazę wyjściową (swoje niewielkie zespoły naukowe, niewielką bibliotekę czasopism naukowych czy zestawioną aparaturę badawczą), natomiast nowi: doc. dr hab. J. Heldt (fizyka doświadczalna: spektroskopia atomowa i molekularna), doc. dr hab. R. Głębocki (teoretyk: astrofizyka), doc. dr hab. A. Śliwiński (fizyka doświadczalna: akustyka) startowali od zera, ale wszyscy z dużym zapałem i nadziejami na finansowanie badań w przyszłości.

Ogólna atmosfera w społeczeństwie dla rozwoju fizyki po wojnie jako uznanej dyscypliny nauk ścisłych podstawowej dla postępu innych dziedzin nauki i nowych technologii związanych z osiągnięciami fizyki atomowej i jądrowej była dobra (zob. na przykład bestseller popularnonaukowy A. Piekary *Fizyka stwarza nową epokę* (1947), czytany w szkołach i w społeczeństwie – to werbowowało nam studentów i podnosiło prestiż społeczny dyscypliny). Wyrazem uznania prestiżu nauk ścisłych było również to, że zaraz po inauguracji, która odbyła się w pierwszym nowym zbudowanym dla UG gmachu w Oliwie dla Wydziału Humanistycznego, położono obok kamień węgielny pod nowy gmach dla matematyki i fizyki oddany do użytku w 1975 roku.

Moja specjalność naukowa – akustyka, którą zajmowałem się w UAM (w szczególności takie jej działy, jak akustyka molekularna i zastosowania ultradźwięków, akustooptyka, fizyka hałasów), nie była dotąd w WSP uprawiana. Zaczęliśmy więc tak jak równolegle zespoły innych specjalności fizyki od podstaw organizować akustykę jako dziedzinę fizyki, która zawsze miała i ma szerokie powiązania międzydyscyplinarne i duże możliwości wielu zastosowań.

we wspomnianej wyżej Katedrze Fizyki Doświadczalnej UP u prof. S. Szczeniowskiego. Przez pewien czas mieszkaliśmy razem (wspólnie z moim bratem Aleksandrem) w wynajętym pokoju na ul. Wierzbicice 55.

Były na Wybrzeżu Gdańskim uprawiane także różne działy akustyki i jej zastosowań w innych jednostkach naukowych, badawczo-naukowych i przemysłowych, co stwarzało duże możliwości do współpracy. Znalazłem się w takim miejscu, gdzie akustyka stosowana była bardzo zaawansowana i to otwierało nam (nowemu uniwersytetowi) duże możliwości współpracy naukowej z fizykami i inżynierami akustykami, w tym zajmującymi się fizyką morza i hydroakustyką; wtedy między innymi w Pracowni Oceanologii PAN przy moło w Sopocie (placówce Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie), na PG oraz w AMW w Gdyni.

Już od 1963 roku działał Oddział Gdański PTA (Polskiego Towarzystwa Akustycznego) od chwili założenia Towarzystwa. Akustyków z Wybrzeża Gdańskiego spotykałem już wcześniej na konferencjach naukowych (z udziałem uczonych z zagranicy), jak na przykład: I i II Konferencji Techniki Ultradźwięków w Warszawie (1953) i w Międzyzdrojach (1956), Konferencji Przetworników Elektroakustycznych w Krynicy w 1958. Nie czułem się więc w tym środowisku obco i mogłem liczyć na szybką w nim adaptację i aktywną współpracę. Historię całego okresu tej współpracy z akustykami Wybrzeża Gdańskiego od roku 1970 (kontynuowanej później w ograniczonym już zakresie także po moim przejściu na emeryturę w roku 1999) zawarłem w dwóch opublikowanych wspomnieniowych opracowaniach poświęconych całokształtowi rozwoju i osiągnięć naukowych i technicznych akustyki uprawianych na Wybrzeżu Gdańskim: lata 1970–2008 (Śliwiński 2009) oraz lata 2008–2018 (Śliwiński 2018). Są tam opisane również elementy historii i osiągnięć akustyki jako dziedziny fizyki, którą zajmowaliśmy się na Uniwersytecie Gdańskim. Dlatego w obecnym opracowaniu więcej miejsca poświęcę historii wydarzeń i działalności innych dziedzin fizyki uprawianych w UG w ostatnim pięćdziesięcioleciu, odsyłając czytelnika zainteresowanego akustyką do wyżej wspomnianych opracowań (zob. Śliwiński 2009; Śliwiński 2018; Śliwiński, Engel, Zawieska 2010; Śliwiński, Kozaczka 2014).

1. Pierwsze 10 lat

1.1. Początek we Wrzeszczu na Sobieskiego 18

W październiku 1970 roku w gmachu dawnej WSP na Sobieskiego 18 we Wrzeszczu rozpoczęły działalność Instytut Chemii UG oraz Instytut Fizyki UG, które razem z Instytutem Matematyki, mieszczącym się przy ul. Marchlewskiego 16 we Wrzeszczu, tworzyły Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii UG. Dziekanem wydziału był prof. dr hab. Edmund Kwiatkowski (specjalność: chemia fizyczna). Dyrektorem instytutu został doc. dr hab. J. Fiutak, a zastępcą dyrektora doc. A. Śliwiński. Struktura instytutu była funkcjonalnie taka, że dydaktykę obsługiwały zakłady i pracownie dydaktyczne, a badania naukowe prowadziły tematyczne zespoły naukowe. W październiku 1970 struktura instytutu i obsada stanowisk wyglądała następująco:

Schemat 1. Struktura i obsada stanowisk w Instytucie Fizyki UG w pierwszym na UG roku akademickim (1970/71)

Instytut Fizyki Uniwersytetu Gdańskiego – rok akademicki 1970/71

Dyrektor instytutu	doc. dr hab. Jan Fiutak
Wicedyrektorzy:	doc. dr hab. Antoni Śliwiński st. wykł. mgr inż. Janusz Sułocki
Sekretariat instytutu	Elżbieta Caban

Zakład Fizyki Teoretycznej

Kierownik zakładu	doc. dr hab. Jan Fiutak (z WSP)
Nauczyciele akademicy:	
Docent	dr hab. Jan Fiutak (z WSP ← UMK)
Starsi asystenci	mgr Zbigniew Engels (z WSP, abs. 1969) mgr Ryszard Horodecki (z WSP ← z PG)
Asystent (stażysta) ⁴	mgr Janusz Czub (z UMK, 1970) (→ asystent od czerwca 1971)

Pracownia Astrofizyki i Spektrofotometrii

Kierownik pracowni	doc. dr hab. Robert Głębocki (z UMK)
Nauczyciele akademicy:	
Docent (← adiunkt)	dr hab. Robert Głębocki (z UMK)
Starszy asystent	mgr Elżbieta Bielicz

Zakład Fizyki Doświadczalnej

Kierownik zakładu	doc. dr hab. Józef Heldt (z UMK)
Nauczyciele akademicy:	
Docenci	doc. dr hab. Józef Heldt (← początkowo adiunkt) doc. dr Jerzy Grzywacz
Starsi wykładowcy	mgr inż. Janusz Sułocki (z WSP, abs. PG)

⁴ W pierwszym roku akademickim 1970/71 w Instytucie Fizyki niektóre osoby były zatrudnione na stanowiskach stażysty i dopiero później (w okresie od maja do końca roku 1971) przechodziły na etaty asystenckie.

Adiunkci	dr inż. Andrzej Horodecki (z WSP ← z PG) dr Roman Pohoski (z WSP, abs. 1958) dr Bogumiła Polacka (z WSP)
Starsi asystenci	mgr Hermenegilda Szymkowiak mgr Zygmunt Trumpakaj (z UMK)
Asystent	mgr Łucja Borysionek
Asystenci (stażyści)	mgr Jolanta Gazda (→ asystent od października 1971) mgr Marian Stoń (z WSP, abs. 1970) (→ asystent od października 1971) mgr Danuta Zakrzewska (→ asystent od października 1971)

Zakład Fizyki Molekularnej

Kierownik zakładu	doc. dr hab. Antoni Śliwiński (z UAM)
Nauczyciele akademicy:	
Docenci	doc. dr hab. Alfons Kawski (z WSP) doc. dr hab. Antoni Śliwiński (z UAM)
Adiunkci	dr Czesław Lewa (z WSP, abs. 1961) dr Leszek Woliński (z WSP ← z UW)
Starsi asystenci	mgr Piotr Bałuk (z WSP, abs. 1968) mgr Marian Bastrzyk (z WSP, abs. 1964) mgr Jerzy Czajko (z WSP, abs. 1968) mgr Grażyna Jacyno (z WSP, abs. 1963) mgr Jerzy Kamiński (z WSP, abs. 1967) mgr Marek Kosmol (z WSP, abs. 1965) mgr Edward Kuteń (z WSP, abs. 1963) mgr Jan Kukielski (z WSP, abs. 1966) mgr Alicja Sadownik (z WSP) mgr Anna Szafranek (z WSP, abs. 1965)
Asystenci	mgr Mirosława Szynceł (z WSP, abs. 1969) mgr Iwona Wojciechowska (z UAM, abs. 1970)
Asystent (stażysta)	mgr Danuta Lewandowska (z WSP, abs. 1970) (→ asystent od października 1971) mgr Bogumił Linde (z UW, abs. 1970) (→ asystent od maja 1971)

Zakład Metodyki Nauczania Fizyki

Kierownik zakładu	doc. dr Kazimierz Badziąg (z WSP)
Nauczyciele akademicy:	
Docent	dr Kazimierz Badziąg
Starszy wykładowca	mgr Eugeniusz Juskiewicz (z WSP, zast. prof. 1956, abs. UB, Wilno, 1937)
Adiunkt	dr inż. Władysław Wcisło (z WSP, abs. 1949 mgr inż. PG, lata pięćdziesiąte)
Starszy asystent	mgr Stanisław Zachara (z WSP, abs. 1964)
Asystent	mgr Tadeusz Matuszewski (z WSP, abs. 1969)

Pracownicy inżynierjno-techniczni w obsłudze naukowej Instytutu Fizyki UG

mgr inż. Paweł Czyż – st. asyst. nauk.-techn., elektronik
mgr Ingrid Głębocka – asyst. nauk.-techn., specjalista chemik (z UMK)
mgr inż. Andrzej Zieliński – st. asyst. nauk.-techn., elektronik
Filomena Niżałowska – st. technik (z WSP)
Sylwester Wszelaki – st. technik (z WSP)
Roman Juskiewicz – technik
Ewa Rydzyńska – technik
Alicja Pietrzyk – laborant (z WSP)
Henryk Maksymowicz, kierownik warsztatu – starszy mistrz (z WSP)
Rajmund Blaskowski – robotnik wykwalifikowany (z WSP)
Jerzy Ceglarski – robotnik wykwalifikowany (z WSP)
Włodzimierz Kaczmarski – robotnik wykwalifikowany (z WSP)
Henryk Zając – robotnik wykwalifikowany (z WSP)
Ryszard Żółtek – robotnik wykwalifikowany (z WSP)

Zespoły naukowo-badawcze:

Zespół Optyki Kwantowej: kierownik doc. dr hab. Jan Fiutak oraz: Zbigniew Engels, Ryszard Horodecki, Eugeniusz Czuchaj.

Zespół Astrofizyki: kierownik doc. dr hab. Robert Głębocki oraz Elżbieta Bielicz.

Zespół Spektroskopii Atomowej: kierownik: doc. dr hab. Józef Heldt oraz Janusz Sułocki, Potr Bałuk.

Zespół Luminescencji: kierownik doc. dr hab. Alfons Kawski oraz Jerzy Kamiński, Edward Kuteń, Jan Kukielski, Barbara Bartoszewicz, Jerzy Czajko, Piotr Bałuk, Grażyna Karcz.

Zespół Akustyki i Oddziaływań Molekularnych w Płynach: kierownik doc. dr hab. Antoni Śliwiński oraz Janusz Sułocki, Czesław Lewa, Anna Szafranek, Bogumił Linde, Danuta Lewandowska, Marek Kosmol, Marian Bastrzyk, Tadeusz Matuszewski, Łucja Borysionek, Iwona Wojciechowska.

Zespół Spektroskopii Molekularnej: kierownik doc. dr Jerzy Grzywacz oraz Bogumiła Polacka, Roman Pohoski, Alicja Sadownik, Jolanta Gazda.

Zespół Metodyki Nauczania Fizyki: kierownik doc. dr Kazimierz Badziąg oraz Władysław Wcisło, Eugeniusz Juszkiewicz, Stanisław Zachara, Tadeusz Matuszewski.

Zespół Badań Strukturalnych: kierownik dr Leszek Woliński oraz Mirosława Szyncel, Alicja Sadownik

Zespół Spektroskopii Ciała Stałego: kierownik dr Andrzej Horodecki oraz W. Arsoba.

Jak napisałem w artykule o działalności Instytutu Fizyki UG w latach 1970–1979 w zbiorowym opracowaniu w „Zeszytach Naukowych Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UG” w 1980 roku (Śliwiński 1980), stan wyjściowy kadry na początku roku akademickiego 1970/1971 stanowiło pracujących 45 nauczycieli akademickich (4 docentów, w tym 3 doktorów habilitowanych, 8 doktorów i 33 magistrów) oraz 12 pracowników obsługi ogólnej (w tym 3 naukowo-technicznych, 3 techników, 6 mechaników). Już jednak w tym samym roku akademickim kadra ta została zasilona przez nauczycieli akademickich sprowadzonych z różnych ośrodków w kraju i także pracowników technicznych. W połowie roku akademickiego 1970/1971 w instytucie pracowało już 54 nauczycieli akademickich, w tym 7 docentów (5 doktorów habilitowanych, 2 mianowanych) i 10 doktorów (Drywa 2007) i 37 magistrów oraz 26 (w tym 13 ze stopniem magistra inż.) pracowników technicznych. Utworzono wtedy 8 zespołów jako grup naukowo-badawczych i wyznaczono ich kierowników: Zespół Optyki Kwantowej (doc. dr hab. J. Fiutak), Zespół Astrofizyki (doc. dr hab. R. Głębocki), Zespół Spektroskopii Atomowej (doc. dr hab. J. Heldt), Zespół Luminescencji (doc. dr hab. A. Kawski), Zespół Akustyki i Oddziaływań Molekularnych w Płynach (doc. dr hab. A. Śliwiński), Zespół Spektroskopii Molekularnej (doc. dr J. Grzywacz), Zespół Metodyki Nauczania Fizyki (doc. dr K. Badziąg), Zespół Badań Strukturalnych (dr L. Woliński), Zespół Spektroskopii Ciała Stałego (dr A. Horodecki).

W 1975 roku Zespół Optyki Kwantowej zmienił nazwę na Zespół Fizyki Statystycznej, a Zespół Badań Strukturalnych został włączony do Zespołu Spektroskopii Molekularnej. W końcu 1978 roku z Zespołu Akustyki i Oddziaływań Molekularnych w Płynach wyodrębnił się Zespół Radioskopii, którego kierownikiem został po habilitacji w UAM w Poznaniu doc. dr hab. C. Lewa.

Istotną sprawą dla działalności instytutu i rozwoju, szczególnie zaplecza dla wyposażenia obsługi wykładów (pracownia demonstracji z fizyki) i pracowni dydaktycznych (I i II pracownia fizyczna, pracownia elektroniczna i pracownia jądrowa) i laboratoriów dla badań naukowych w wymienionych wyżej zespołach, było stworzenie (już od początku na Sobieskiego) bazy aparaturowej, biblioteki (książek i czasopism naukowych światowej rangi) i bazy obsługi technicznej zarówno w zakładach i pracowniach dydaktycznych, jak i w zespołach badawczych, jak również w skali ogólnoinstitutowej obsługi. Działał warsztat mechaniczny pod kierownictwem H. Maksymowicza, warsztat elektroniczny kierowany przez mgr. inż. P. Czyżę, warsztat szklarski R. Napiórkowskiego (pозyskanego z UMK z Torunia), a także pracownice: fotograficzna, kreślarska i kserograficzna. Załączki tych jednostek obsługi działały już w starym gmachu (wtedy użytkowanym wspólnie z Instytutem Chemii UG na Sobieskiego, mimo bardzo ograniczonej powierzchni użytkowej) głównie do dwóch dolnych kondygnacji i otoczenia (biblioteka, warsztat mechaniczny). Pracowaliśmy twórczo w bardzo trudnych warunkach aż do przeprowadzenia się do nowego gmachu w Oliwie w 1975 roku, kiedy nastąpił przełomowy skok rozwojowy instytutu.

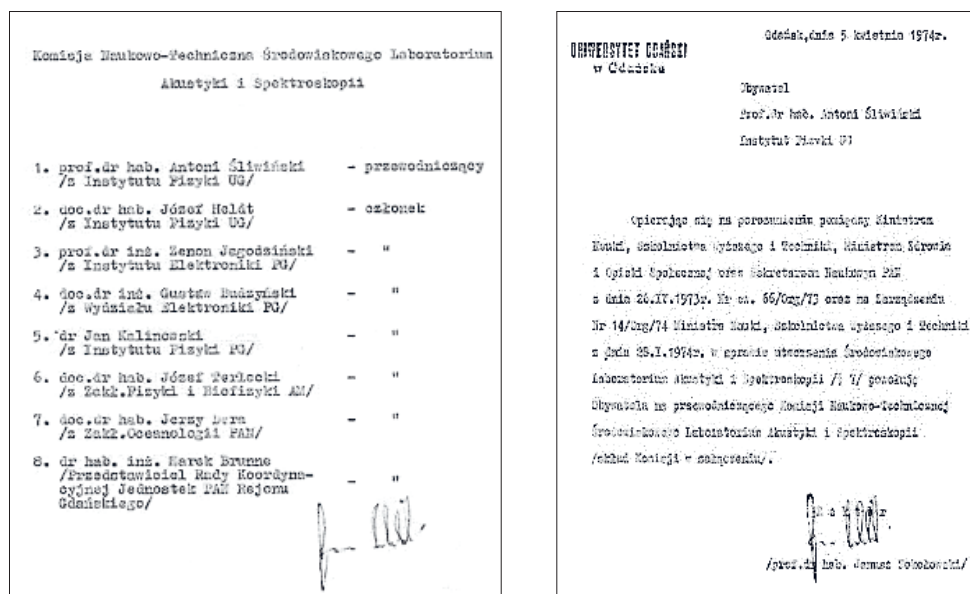
Zanim to nastąpiło, instytut rozwijał się znacząco. Organizacyjnie działaliśmy w zakładach, obsługując zajęcia dydaktyczne z fizyki i realizując badania w zespołach naukowych. Wzrastała też ilość pracowników. Wynikiem współpracy między zespołami instytutu jak i z fizykami innych instytucji Wybrzeża było przyjęcie w 1973 roku do Instytutu Fizyki UG fizyków likwidowanego Wyższego Studium Nauczycielskiego (WSN) na ul. Kładki 24 w Gdańsku oraz utworzenie w tym samym roku Środowiskowego Laboratorium Akustyki i Spektroskopii (ŚLAIŚ).

Z WSN przeszli wtedy razem z kierownikiem tamtejszego Zakładu Fizyki WSN mgr. Kazimierzem Knapińskim pracujący tam: naucz. dypl. Franciszek Kitowski, mgr Janina Heldt (w Gdańsku od 1970 roku), mgr Lucyna Augustyniak i mgr Henryk Bildziuk. Stanowili oni na początku Zakład Fizyki Ogólnej II w IF UG, który później został zlikwidowany, a oni przeszli: do Zakładu Fizyki Doświadczalnej (L. Augustyniak – zrobiła później doktorat w zespole prof. dr. hab. J. Heldta, a J. Heldt zrobiła później doktorat w zespole prof. dr. hab. A. Kawskiego) oraz do Zakładu Metod Nauczania Fizyki (K. Knapiński, F. Kitowski i H. Bildziuk) i zespołu naukowego doc. dr. K. Badziąga. Mgr K. Knapiński też później zrobił doktorat, a także przez kilka trzyletnich kadencji pełnił funkcję zastępcy dyrektora ds. dydaktycznych Instytutu Fizyki (później, po roku 1983, Instytutu Fizyki Doświadczalnej) w latach: 1975–78, 1978–81, 1981–82 (zrezygnował w stanie wojennym w czasie kadencji), a także później w latach: 1990–93 i 1993–96 sprawował tę funkcję.

Celem utworzonego wspomnianego wyżej Środowiskowego Laboratorium Akustyki i Spektroskopii (ŚLAS) było zintensyfikowanie wykorzystania fizyki w praktyce poprzez współpracę z techniką i przemysłem. Część pracowników instytutu, także tych, którzy podjęli pracę już po roku 1971, więc nie zostali ujęci w obsadzie przedstawionej na schemacie 1, przeszła do tego laboratorium i zostali przyjęci nowi

pracownicy. Pojawili się oni (także wspomniani wyżej przejęci z WSN) w obsadzie roku akademickiego 1980/81 przedstawionej na schemacie 2. Do ŚLAIŚ, pozostając w IF, przeszli: Czesław Lewa, Janusz Sułocki, Piotr Kwiek, Stanisław Zachara, Witold Jaroszyński, Andrzej Juszkiwicz, Danuta Konderska-Olexińska. W latach następnych (1974, 1976) doszli do tej jednostki nowi pracownicy: Włodzimierz Bandera, Zygfryd Dukiewicz, Zenon Garnusz, Jacek Konopacki, Nina Kosińska, Lech Lipiński, Stanisław Łętowski, Bogdan Nienąłowski, Kazimierz Nogalski, Anna Sikorska, Jędrzej Smulkowski, Krzysztof Środecki, Tadeusz Zalewski, Witold Ziółkowski, Maria Lewa, Jan Kuźnicki, Stefan Żuliński, a później Stanisław Pogorzelski i Janusz Szurkowski (zob. schemat 2).

Założycielami i współuczestnikami tego międzyuczelnianego laboratorium oprócz Uniwersytetu Gdańskiego były: Politechnika Gdańska (Wydział Fizyki Technicznej), Gdańska Akademia Medyczna (Zakład Fizyki Lekarskiej) oraz Zakład Oceanologii PAN w Sopocie, które miały swoich przedstawicieli w Komisji Naukowo-Technicznej Laboratorium (zob. fot. 1 a, b – skan składu Rady ŚLAIŚ i schemat 2). W ŚLAIŚ były dwa zespoły badawczo-usługowe: Zespół Akustyki i Zespół Spektroskopii (Sułocki 1980). Działalność akustyczna laboratorium zapisała się szczególnie pracami w zakresie rozwiązywania problemów hałasu w zakładach przemysłowych, hałasu na statkach, a także akustyki morza, akustooptyki, a w zakresie spektroskopii: optycznej i spektroskopii NMR (Jądrowego Rezonansu Magnetycznego).



Fot. 1. Skład Komisji Naukowo-Technicznej Środowiskowego Laboratorium Akustyki i Spektroskopii w Instytucie Fizyki powołanej przez rektora UG prof. Janusza Sokołowskiego (a) i akt nominacji jej przewodniczącego (b)

Wyprzedzając trochę chronologię wydarzeń opisanych niżej, trzeba niestety wspomnieć, że w okresie trudności finansowych, nazwijmy „przejęciowych”, w środowisku akademickim pod koniec lat dziewięćdziesiątych ŚLAiS zostało zlikwidowane, a pracownicy zostali wchłonięci przez zakłady Instytutu Fizyki Doświadczalnej, tym niemniej ma też swoją historię i zasługi dla UG.

Tymczasem w pierwszym pięcioleciu lat siedemdziesiątych wszyscy (startując w obszarze przedstawionej na schemacie 1) na Sobieskiego pracowali w bardzo trudnych warunkach, uzyskując jednak zauważalne rezultaty. W miarę upływu czasu pojawili się młodzi absolwenci fizyki i w UG, kolejne stopnie naukowe kadry uzyskali nauczyciele akademicy, powstały oryginalne publikacje naukowe młodych fizyków na akademickim poziomie. Różne formy prezentacji wyników na seminariach zespołów naukowych oraz ogólnym seminarium instytutu sprzyjały postępowi i integrowały młodą kadrę pełną zapału i pasji oraz poświęceń w pokonywaniu (wręcz niewyobrażalnych w stosunku do dzisiejszych) trudności i warunków pracy. Były one szczególnie uciążliwe dla doświadczalników, którzy nie mieli gotowej aparatury pomiarowej i najczęściej budowali ją prawie od zera i uruchamiali zestawy doświadczalne dla realizacji swoich oryginalnych pomysłów (Linde 2021). Ile było trzeba zaparcia i sił, ile nieprzespanych nocy poświęcić dla prowadzenia pomiarów i obserwacji badanych zjawisk i procesów. Wśród młodej kadry mieliśmy zdolnych ludzi, spośród których wielu zrobiło później doktoraty i habilitacje, a także zostało profesorami w naszej uczelni lub poza nią.

Dyrekcja instytutu (wg podanego wyżej składu) odbywała wiele narad i zebrań organizacyjnych i dyskusji, pokonując niezliczone trudności i podejmując istotne dla rozwoju decyzje. Często spotykaliśmy się, dyrektor doc. dr hab. J. Fiutak i ja – jego zastępca (na Sobieskiego mieliśmy pokoje naprzeciw siebie w wejściowej części korytarza), prowadząc doraźne rzeczowe dyskusje dotyczące decyzji, które on podejmował i przekazywał do realizacji. Będąc kiedyś w jego pokoju, zadałem pytanie; „Jasiu, jak to jest, że masz tak idealny porządek na swoim biurku i nie masz żadnego stosu papierzysk, które tak masowo docierają, ja nie nadążam z odpowiadaniem na pisma?”. Pokazał mi na to kosz do śmieci obok biurka wypełniony papierami i odpowiedział: „Zawsze jak przychodzi rano poczta, to robię radykalną selekcję, spychając większość część od razu do tego kosza i już nie odpowiadam na nie. To praktycznie dobra metoda. Jeśli wyrzuciłem coś ważnego, to nadawca ponowi korespondencję”. Bardzo mnie to ubawiło, ale także trochę nauczyło antybiurokratycznego podejścia. Jak wspomniałem, atmosfera była bardzo twórcza, koleżeńska i przyjazna, a on (dyrektor Fiutak) uznawał nasze (kierowników zespołów) argumenty, gdy były zasadne.

Uczestniczyłem często w rozmowach z kandydatami przyjmowanymi do pracy, których mi przedstawiali, i omawialiśmy ich przyszłe pozycje w instytucie w zależności od ich zainteresowań i umiejętności, kierując do odpowiedniego zakładu i zespołu naukowego lub pracowni. Młodzi fizycy, trafiając do zakładów i zespołów naukowych, zastawali warunki do pracy, jakie były, podlegali swoim szefom, którzy stawiali im

wymagania wg obowiązujących powszechnie akceptowanych wtedy zasad akademickich zaszczerpionych im (młodym szefom) przez ich profesorów (uznanych autorytetów polskiej fizyki). Charakteryzując krótko te zasady, można powiedzieć: szef (samodzielny pracownik naukowy) wie i umie już dużo, więc rządzi, a współpracujący młodszy (pomocniczy pracownicy naukowcy) wykonują polecenia, kształcą się i zdobywają stopnie naukowe potrzebne do awansu w planowanej (w ustalonych ustawą i rozporządzeniami terminach) karierze naukowej i podwyższania swej pozycji akademickiej. W trakcie opisywanego w tym artykule pięćdziesięciolecia UG doświadczyliśmy realizacji w Polsce wielu różnych pomysłów reorganizacji nauki i procedur w procesie nauczania, sposobów nadawania stopni naukowych i innych zmian ustaw i rozporządzeń, zatem mógłbym tu podzielić się swoim przeżyтым doświadczeniem. Nie będę jednak tego zagadnienia z oczywistych względów tutaj przedstawiać, bo jest to odwieczny problem relacji mistrz – uczeń, ciągle tylko lepiej czy gorzej realizowany w uczelniach akademickich i w ich tradycji uniwersyteckiej przez lata wypracowany i tą tradycją uświęcony. Ograniczę się tu do stwierdzenia, że historie karier akademickich (jak innych podobnie) są bardzo różne i indywidualnie przeżywane głębiej. Czasami są one zaskakująco różniące się w ocenie ucznia i w ocenie mistrza. Jak różne są wspomnieniowe odczucia wielu nauczycieli akademickich, w szczególności także fizyków, którzy lata przepracowali na UG, można się, choć tylko bardzo wybiórczo i szczątkowo, zapoznać, czytając nawet te nieliczne opracowania, które znalazły się w zbiorze Jerzego Gwizdały (Gwizdała 2019), czy opisane ostatnio w swoim wspomnieniu przez Bogumiła Lindego (Linde 2021), traktując je jako interesujące przykłady losów ludzkich bliskich Kolegów codziennej długoletniej współpracy.

Po tej wyprzedzającej wydarzenia dygresji wróćmy do sytuacji początków tworzenia Instytutu Fizyki UG jeszcze na Sobieskiego przed przeprowadzką do Oliwy. Działała Rada Instytutu i wiele spraw wymagało jej akceptacji. W jej skład wchodziłi tzw. samodzielni pracownicy akademicki (kierownicy zakładów i zespołów naukowych) oraz delegaci pracowników akademickich tzw. pomocniczych (adiunktów, st. asystentów i asystentów, st. wykładowców i wykładowców) oraz pracowników technicznych i studentów; w Radzie Naukowej brali udział przedstawiciele związku zawodowego i organizacji partyjnej, czuwając nad sprawami społecznymi i „opieki” ze strony władzy. Dbali na przykład o to, aby pracownicy uczestniczyli w obowiązkowym wówczas pochodzie pierwszomajowym (fot. 2 i 3). Działały też studenckie organizacje młodzieżowe, a w instytucie powstało Koło Naukowe Fizyków.

Dużo spraw bieżących i obsługi technicznej badań naukowych i procesu dydaktycznego należało do kompetencji zastępcy dyrektora ds. technicznych, którym początkowo był mgr (a później dr) Marek Kosmol, a po nim mgr inż. Andrzej Zieliński. Specjalną funkcję delegata i opiekuna budowy gmachu Wydziału Matematyki i Fizyki pełnił dr L. Woliński. Wiele w tej sprawie było narad, dyskusji i planów dotyczących wyposażenia i zasiedlenia budującego się nowego gmachu w Oliwie.

Dobrze wspominam współpracę z Jasiem Fiutakiem i Kazikiem Badziągiem i nasze wzajemne koleżeńskie stosunki współpracowników, a także towarzyskie, na które mało mieliśmy czasu. Spotykaliśmy się na brydżu, ale Jasiu i Robert mieli swoją grupę i częściej grywali. Dobrą odskocznią od pracy było nabycie (w 1974 roku) na Kaszubach (przez trójkę: Jasiu, Kazik i ja) działek rekreacyjnych w Potułach koło Szymbarka nad jeziorem Kniewo i wybudowanie domków letniskowych w bezpośrednim sąsiedztwie. Wiele weekendów i wakacji tam spędzaliśmy z rodzinami, ale to już inna historia.



Fot. 2. Pracownicy Instytutu Fizyki UG na pochodzie pierwszomajowym na al. Zwycięstwa niedaleko Opery Bałtyckiej (1976 rok). Od lewej: Maria Witkowska, Ignacy Gryczyński, Antoni Śliwiński, Jerzy Czajko, Alfons Kawski, Andrzej Horodecki



Fot. 3. Pracownicy Instytutu Fizyki UG na pochodzie pierwszomajowym na al. Zwycięstwa niedaleko Opery Bałtyckiej (1976 rok)

W 1972 roku nasza Rada Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UG uzyskała prawa nadawania stopnia doktora na kierunku fizyki. Od 1974 roku działało powołane w Instytucie Fizyki środowiskowe studium doktoranckie, które naborem co dwa lata zasilalo kilkunastuosobowym narybkiem grupę doktorantów. W okresie 7 ostatnich lat pierwszego dziesięciolecia UG na naszym wydziale nadano 40 doktoratów z fizyki, w tym 22 pracownikom Instytutu Fizyki i 18 pracownikom innych uczelni i instytucji z całego kraju; 12 prac doktorskich zostało wyróżnionych w trakcie przewodów (zob. tab. 1: spis doktoratów z fizyki nadanych na UG w pierwszym dziesięcioleciu).

1.2. W nowym gmachu Fizyki i Matematyki w Oliwie na Wita Stwosza 57

Przełomowym wydarzeniem dla rozwoju Instytutu Fizyki było uzyskanie nowego gmachu Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii w Oliwie w 1975 roku i jego zasiedlenie przez fizykę w budynku głównym i skrzydle północnym i przez matematykę w jego skrzydle południowym (fot. 4). Parter tego skrzydła zajęło Centrum Komputerowe, a na parterze w części głównej umieszczono Dziekanat Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii. Później Wydziału Matematyki i Fizyki, od końca 1990 roku, gdy chemia uzyskała własny Wydział Chemii z siedzibą na Sobieskiego 18 i w 1991 roku utworzyła tam swój dziekanat (fot. 5). W gmachu na Sobieskiego chemicy prowadzili całą swoją bogatą działalność akademicką aż do czasu przeprowadzki do nowego budynku w Oliwie w 2013 roku (Andrzejewski 2020; Błażejowski 2020). Na parterze umieszczono też wydziałową bibliotekę matematyki i fizyki jako filię Biblioteki Głównej UG.



Fot. 4. Gmach Fizyki i Matematyki UG w Oliwie ul. Wita Stwosza 57, od 1975, obecny widok po remoncie generalnym budynku



Fot. 5. Gmach Fizyki i Chemii UG (dawnego WSP) we Wrzeszczu, ul. Sobieskiego 18, 1970–1975; później tylko Wydziału Chemii UG

Obszerne westybulum z portiernią, szatniami i olbrzymią tablicą informacyjną robiło dobre wrażenie i stwarzało bardzo zachęcające miejsce zarówno do studiowania, jak i do twórczej pracy w osiągnięciu akademickich postępów w dziedzinie fizyki; wtedy – w ogólnej opinii – prestiżowej dziedziny prowadzenia badań podstawowych i popularnego (trudnego, ale prestiżowego) wówczas kierunku studiów. Dalej na początku i na końcu korytarza na prawo dwie klatki schodowe prowadziły na trzy kolejne piętra, gdzie ulokowano zakłady dydaktyczne, małe salki dydaktyczne, pracownie studenckie oraz laboratoria badawcze zespołów naukowych. Licząc od pierwszej klatki schodowej, poszczególne jednostki zostały ulokowane następująco: Fizyka teoretyczna (Zakład Fizyki Teoretycznej oraz Zespoły: Fizyki Teoretycznej – doc. dr. hab. J. Fiutaka i Astrofizyki – doc. dr. hab. R. Głębockiego) zajęła prawe skrzydło na 3 piętrze, a Zespoły: Dydaktyki Fizyki (wraz z Pracownią Dydaktyki Fizyki) – doc. dr. K. Badziąga i Spektroskopii Atomowej – doc. J. Heldta i Zakład Fizyki Doświadczalnej środkową część tego piętra (wraz z należącą do tego zakładu I Pracownią na 1 piętrze poniżej po stronie lewej).

Na 1 piętrze prawe skrzydło zajęły: II Pracownia i Zespół Luminescencji – doc. A. Kawskiego (po prawej) oraz Zakład Fizyki Ogólnej z Zespołem Spektroskopii Molekularnej doc. J. Grzywacza (po lewej) wraz z grupą dr. L. Wolińskiego. Lewe skrzydło na tym piętrze zajmowało Laboratorium Akustyki i Spektroskopii oraz pracownia mgr J. Heldtowej (później: dr, 1977, dr hab. 1992 i prof. 1992) i wspomniana wyżej I Pracownia

Fizyczna. Na drugim piętrze po lewej stronie (aż do drugiej klatki schodowej) ulokowały się dyrekcja instytutu, część Zakładu Fizyki Stosowanej oraz Zespół Akustyki i Oddziaływań Molekularnych w Płynach.

Na parterze po lewej stronie korytarza usytuowano duże sale wykładowe, dwie mniejsze używane wspólnie z matematykami i trzecią większą dla fizyki z zapleczem sprzętu i aparatury do demonstracji wykładów z fizyki. Po prawej stronie od pierwszej klatki schodowej w prawo znalazły się: pokój Koła Naukowego Fizyków, Pracownia Jądrowa, Pracownia MRJ (dr. C. Lewy), Pracownia Ciała Stałego dr. A. Horodeckiego oraz warsztaty: elektroniczny, mechaniki precyzyjnej i szklarski.

Strukturę Instytutu Fizyki ustaloną po przeprowadzce do nowego gmachu (powiększoną już przez 5 lat do 1981 roku) i obsadę stanowisk przedstawia schemat 2. Różne wydarzenia z tego okresu przedstawiają fot. 7–12. Między innymi zaczęły się odbywać w instytucie kolejne obrony doktoratów, jak na przykład obrona w przewodzie doktorskim mgr Cecylii Strzałkowskiej u teoretyków, czy mgr. Ignacego Gryczyńskiego u doświadczalników (aktualnie od wielu lat profesora w USA), którego promotorem był prof. A. Kawski.



Fot. 6. Obrona pracy doktorskiej mgr Cecylii Strzałkowskiej (1973); od prawej: drugi (w okularach) prof. Jerzy Pniewski, obok prof. Jan Fiutak, prof. Robert Głębocki gratuluje mgr Cecylii Strzałkowskiej, prof. Antoni Śliwiński



Fot. 7. Obrona rozprawy doktorskiej mgr. Ignacego Gryczyńskiego (po prawej); komunikat pomyślnego wyniku głosowania Komisji Rady Wydziału przekazuje prof. Antoni Śliwiński; w głębi w środku siedzą recenzenci: od lewej: prof. Marian Kryszewski z Centrum Studiów Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi, Zbigniew Grabowski z Instytutu Chemii Fizycznej PAN w Warszawie i prof. Andrzej Bączyński z UMK w Toruniu; obok doc. dr Kazimierz Badziąg z IF UG; Audytorium Instytutu Fizyki i Matematyki UG, 1977 rok



Fot. 8. Obrona rozprawy doktorskiej mgr. Ignacego Gryczyńskiego (po prawej): gratulacje składają: prof. Alfons Kawski – promotor oraz koleżanki: mgr Maria Alicka, mgr Maria Żukowska



Fot. 9. Obrona rozprawy doktorskiej mgr. Ignacego Gryczyńskiego, gratulacje składają (od prawej: mgr Benedykt Kukliński, mgr Jan Kukielski, dr Stanisław Zachara, mgr Jerzy Czajko, prof. Antoni Śliwiński

Baza materialna stopniowo się poprawiała, zrealizowano także oczekiwane wyposażenie aparaturowe (choć w mniejszym zakresie niż planowano), które było „oczkiem w głowie” doświadczalników. Pomimo ciągle skromnych i niewystarczających środków finansowych, dzięki wysiłkom młodej kadry, pomocy pracowników technicznych i ich inwencji twórczej, zrealizowano w kolejnych latach wiele projektów badawczych i opublikowano dużo artykułów naukowych.

W grudniu 1979 roku (jeszcze wspólnie z chemikami) (fot. 10–12) odbyła się uroczysta promocja młodych doktorów na Wydziale Mat. Fiz. Chem. UG.



Fot. 10. Uroczysta promocja doktorów na Wydziale Mat. Fiz. Chem. UG, 1979 rok. Od lewej prorektor ds. nauki UG prof. dr hab. Antoni Makać, dziekan prof. dr hab. Jan Fiutak, dr Bogumił Linde



Fot. 11. Uroczysta promocja doktorów na Wydziale Mat. Fiz. Chem. UG, 1979; od lewej Rita Walczyna, Maria Doroszkiewicz, x, Marian Stoń, Marek Kosmol, Marek Ciurak, x, Zbigniew Pepliński, Bogumił Linde (poniżej)



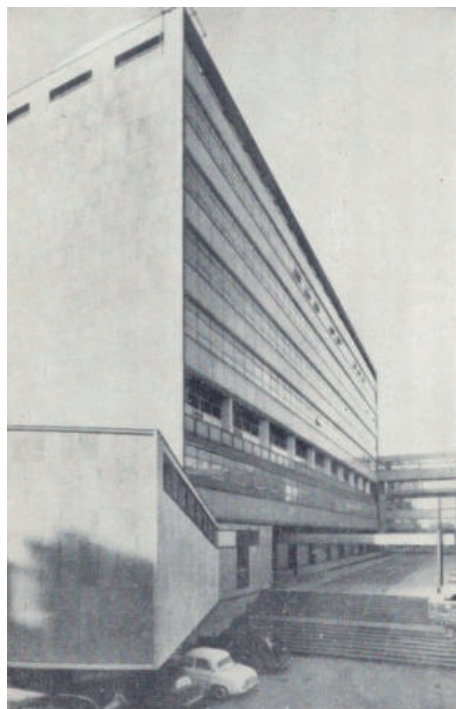
Fot. 12. Uroczysta promocja doktorów na Wydziale Mat. Fiz. Chem. UG, 1979 rok; od lewej x, Janusz Berdowski, Marek Ciurak, Bogumił Linde, x, Marek Kosmol, x, Marian Stoń

1.3. Otwarcie nowego gmachu – sympozjum „Akustyka i Spektroskopia” 1975 rok

Pracownicy Instytutu Fizyki w ciągu 5 lat na ul. Sobieskiego nawiązali liczne kontakty z ośrodkami pokrewnych dziedzin fizyki za granicą, a młoda kadra uzyskiwała stopnie naukowe. Pewnym wynikiem tej współpracy, także owocującym na przyszłość, było zorganizowanie przez instytut międzynarodowego sympozjum „Akustyka

i Spektroskopia” z okazji oficjalnego otwarcia nowego gmachu wydziału we wrześniu 1975 roku. Wzięło w nim udział 13 zaproszonych uczonych zagranicznych i 85 uczestników krajowych. Materiały z tego sympozjum zostały opublikowane przez Gdański Oddział Ossolineum (Śliwiński, Kawski 1979) (zob. fot. 17).

Do idei zorganizowania naukowego sympozjum na otwarcie nowego gmachu udało mi się namówić kolegów fizyków (w tym J. Fiutaka), przekazując im moje doświadczenia i wspomnienia z podobnego zdarzenia, w którym uczestniczyłem w roku 1962 roku w Anglii w University of Newcastle, który rok wcześniej został powołany w drodze przekształcenia na bazie Kings College of Durham University (zlokalizowanego od lat w Newcastle on Tyne), gdzie wtedy przebywałem na rocznym stażu jako stypendysta British Council. Dyrektorem Departamentu Fizyki był tam prof. S.K. Runcorn, zajmujący się geomagnetyzmem oraz meteorytami (jego wykładów słuchałem regularnie w roku akademickim 1961/62) i on był organizatorem konferencji towarzyszącej otwarciu tam nowego gmachu fizyki (fot. 13 a).



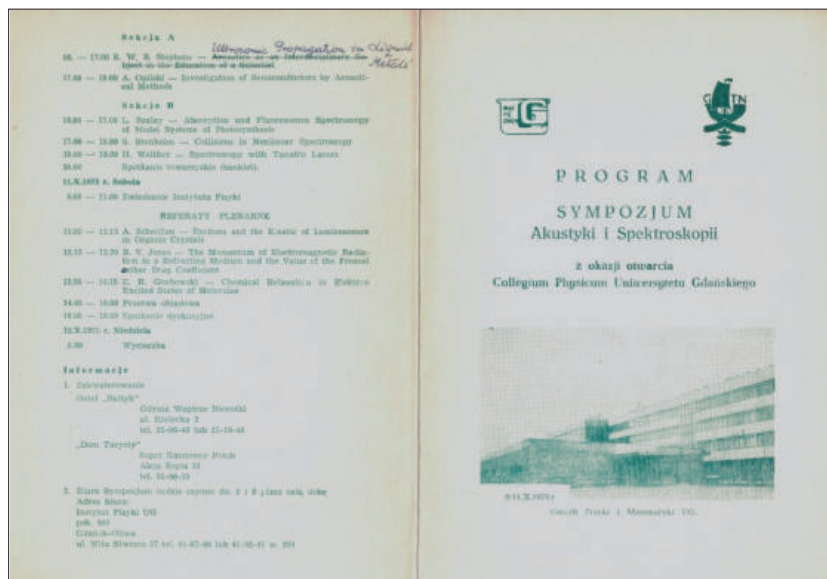
Fot. 13. Konferencja z okazji otwarcia nowego gmachu fizyki, University of Newcastle, UK, 1962:

- a) nowy gmach fizyki, Newcastle on Tyne, UK, 1962;
- b) okładka polskiego tłumaczenia książki poświęconej tej konferencji organizowanej przez prof. S.K. Runcorna, dyrektora Departamentu Fizyki Uniwersytetu w Newcastle on Tyne (Runcorn 1966)

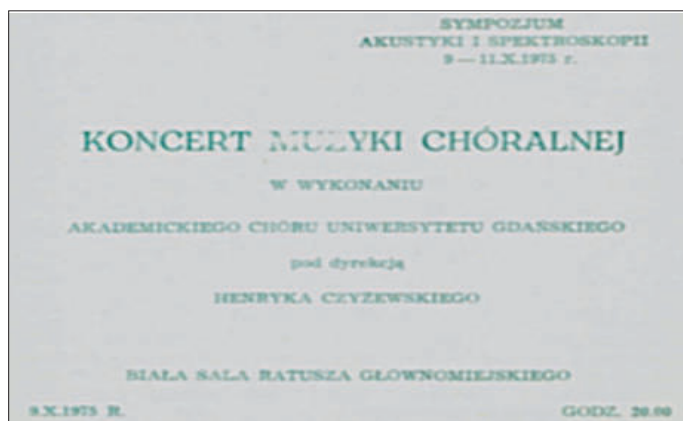
W tej konferencji z okazji uroczystego otwarcia gmachu fizyki w nowym Uniwersytecie Newcastle uczestniczyło i miało wykłady kilku sławnych fizyków, między innymi laureaci Nagrody Nobla: P.M.S. Blacketti, J. Cockroft oraz znani fizycy: L. Rosenfeld, F. Hoyle, Z.D. Garland, R.E. Peierls i wielu ciekawych ludzi, których wtedy miałem okazję tam spotkać. Konferencja wzbudziła duże zainteresowanie międzynarodowe, a główne wykłady zostały opublikowane w 1963 w książce pod redakcją S.K. Runcorna (Runcorn 1966), której polskie tłumaczenie pt. *Fizyka lat ostatnich*, wydane przez PWN, ukazało się w 1966 roku (fot. 13 b).

Po wspomnianej wyżej akceptacji przez kolegów propozycji zorganizowania sympozjum na otwarcie naszego nowego gmachu zorganizowaliśmy je z pełnym zaangażowaniem. Sympozjum było 4-dniowe; przedstawiono 8 referatów plenarnych wygłoszonych przez zaproszonych fizyków o światowej renomie oraz 11 referatów specjalistycznych w 2 sekcjach.

W dniu otwarcia w drugim punkcie obrad odbyło się otwarte uroczyste posiedzenie Senatu UG poświęcone nadaniu tytułu doktora honoris causa Uniwersytetu Gdańskiego prof. Aleksandrowi Jabłońskiemu, członkowi rzeczywistemu PAN i prof. zw. Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Toruniu. Wieczorem tego dnia odbył się koncert muzyki chóralnej w wykonaniu Akademickiego Chóru UG pod dyrekcją Henryka Czyżewskiego w Białej Sali Ratusz Miejskiego (fot. 15). Czwartego dnia uczestnicy wzięli udział w wycieczce po Gdańsku i Malborku.



Fot. 14. Okładka Programu Sympozjum Akustyki i Spektroskopii, uroczystość otwarcia gmachu Instytutu Fizyki UG, Gdańsk, 1975 rok



Fot. 15. Zaproszenie na koncert Chóru UG z okazji Sympozjum Akustyki i Spektroskopii, uroczystość otwarcia gmachu Instytutu Fizyki UG, Gdańsk, 1975 rok

Uprzejmie zapraszamy na spotkanie z Rektorem
Uniwersytetu Gdańskiego dn.9.X.1975 r. o godz.
11.15 / po nadaniu tytułu doktora honoris
causa profesorowi Aleksandrowi Jabłońskiemu/
w Klubie IF przy ul.Wita Stwosza 57.

Rektor i Komitet Organizacyjny
Sympozjum Akustyki i Spektroskopii

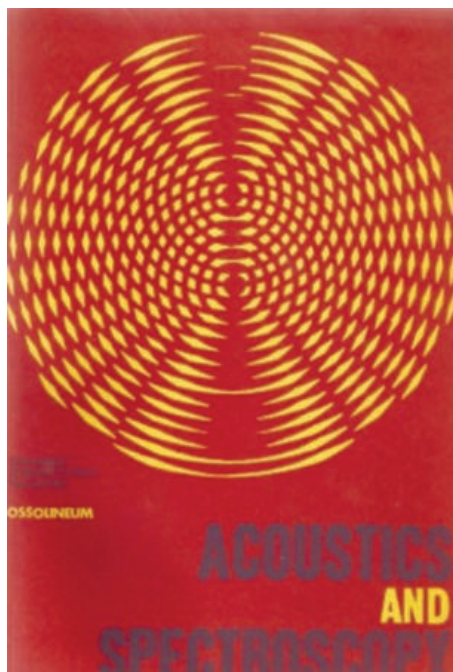
Uprzejmie zapraszamy na spotkanie z Wojewodą
Gdańskim dnia 9.X.1975 r. o godz.21.00
/po koncercie / w Białej Sali Ratusza Główno-
miejskiego przy ul.Długiej.

Komitet Orggnizacyjny
Sympozjum Akustyki i Spektroskopii

Fot. 16. Zaproszenia okolicznościowe: a) na spotkanie z rektorem UG z okazji nadania doktoratu honoris causa UG prof. Aleksandrowi Jabłońskiego w czasie Sympozjum Akustyki i Spektroskopii, uroczystość otwarcia gmachu Instytutu Fizyki UG, Gdańsk, 1975 rok

Warto zauważyć, że sympozjum to miało wpływ na ukształtowanie tematyki i dalszych kontaktów naukowych dla wszystkich zespołów naukowych, a w szczególności Luminescencji (prof. A. Kawskiego) oraz Akustyki i Oddziaływań Molekularnych, którym kierowałem, zaowocowało osiągnięciami w badaniach naukowych i dorobkiem publikacyjnym, a także było bardzo prestiżowe. Wyrazem tego były między innymi

przyszłe wydarzenia i osiągnięcia. Poszczególne zespoły naukowe instytutu w okresie pierwszego 10-lecia prowadziły liczne badania podstawowe oraz stosowane zarówno w programie badań własnych, jak i zleconych w ramach rządowych problemów węzłowych i resortowych i współpracy z przemysłem. Prowadziły także współpracę międzynarodową i kontynuowały kontakty zaczęte jeszcze przed podjęciem pracy na UG, ale teraz robiły to z pozycji nowego Uniwersytetu Gdańskiego.



Fot. 17. Okładka zbioru wykładów sympozjum „Acoustics & Spectroscopy” zorganizowanego z okazji otwarcia gmachu Fizyki i Matematyki UG; Gdańsk, 9–11 października 1975 (Śliwiński, Kawski 1979)

Na przełomie lat 1973/74 przebywałem na 4-miesięcznym stypendium Rządu Włoskiego w Rzymie w University of Rome „La Sapiencia” w laboratorium fizyki ciekłych kryształów u prof. Daniela Sette, wykonując razem z dr. F. Scudieri i dr. R. Bartolino ultradźwiękowo-optyczne badania nematyków i smektyków (rodzaje ciekłych kryształów). Potem tę tematykę rozwijaliśmy w naszym instytucie (dr Maria Borysewicz, dr A. Sikorska, dr J. Kukielski i inni). Prowadziliśmy te badania ciekłych kryształów, współpracując z prof. Marianem Mięśowiczem z AGH w Krakowie.

Braliśmy także udział we współpracy z Francją w ramach ultradźwiękowych sympozjów, które odbywały się naprzemiennie w Paryżu i w Jabłonie pod Warszawą jako Colloque sur les Ultra-Sons franco-polonaise.



Fot. 18. Symposium Colloque sur les Ultra-Sons franco-polonais w Paryżu 1978 rok; od lewej: M.W. Konarski – przedstawiciel polskiej ambasady w Paryżu, prof. A. Śliwiński z UG i prof. Aleksander Opilski z PŚ w Gliwicach



Fot. 19. Symposium Colloque sur les Ultra-Sons franco-polonais w Paryżu 1978; od lewej: prof. Leonid Pimonow, Directeur de Recherche honoraire du CRNS, Directeur des Hautes Etudes, President d'honneur du GALF i prof. Ignacy Malecki, IPPT PAN; po prawej widać głowę prof. Leszka Flipczyńskiego z IPPT PAN z Warszawy

Głównymi organizatorami tych spotkań byli prof. Leonid Pimonow z Ecole Pratique des Hautes Etudes (E.P.H.E) i prof. I. Malecki z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki (IPPT) PAN w Warszawie. Prof. Pimonow uczestniczył też w dorocznym XXIV Otwartym Seminarium z Akustyki (OSA) we Władysławowie, który organizował w 1977 roku Gdański Oddział PTA.



Fot. 20. XXIV OSA, Władysławowo, 1977; prof. Leonid Pimonow (po prawej) i prof. Antoni Śliwiński z żoną Aliną (po lewej)

Od samego początku i przez następne lata nasz zespół systematycznie współpracował z fizykami z Politechniki Śląskiej, szczególnie w dziedzinie akustyki molekularnej (badania w tym zakresie zaczynał wtedy mgr B. Linde (Śliwiński, Engel, Zawieska 2010; Śliwiński, Kozaczka 2014; Linde 2021) i uczestniczył w dorocznych Zimowych Szkołach z tej dziedziny organizowanych w Beskidzie Śląskim (przedstawione tu fotografie pochodzą z tego okresu).



Fot. 21. VIII Zimowa Szkoła Akustyki Molekularnej i Sonochemii, Wisła-Jaszowiec, 1979 rok

Jak już wspominałem, badaliśmy także ciekłe kryształy, współpracując z prof. M. Mięśowiczem i braliśmy w 1978 roku udział w konferencji na ten temat zorganizowanej przez niego w Błażejewku k. Poznania. Na załączonej fotografii prof. M. Mięśowicz stoi centralnie w środku grupy uczestników.



Fot. 22. Konferencja Ciekłych Kryształów, Błażejewko k. Poznania, 1978 rok. W środku stoi prof. M. Mięśowicz (AGH Kraków)

Od początku i przez wiele lat współpracowaliśmy z Uniwersytetem w Halle/Saale (prof. R. Milnerem i jego zespołem). Kilkakrotnie uczestniczyliśmy w organizowanych tam sympozjach poświęconych zastosowaniom ultradźwięków w medycynie (fot. 23).



Fot. 23. Na sympozjum zastosowań ultradźwięków w medycynie, Halle/Saale, 1978 rok. Od prawej: mgr Paweł Kwiek, mgr inż. Grażyna Łypacewicz (IPPT PAN, Warszawa), mgr inż. Anna Markiewicz, prof. Antoni Śliwiński

Uczestniczyliśmy także w różnych innych sympozjach ultradźwiękowych poświęconych ich zastosowaniom w medycynie (A. Markiewicz, P. Kwiek, B. Linde). Konferencja w NRD w 1980 roku pt. „Ultrasound Interactions in Biology and Medicine” utkwiła nam w pamięci, bo był to okres tuż przed wybuchem Solidarności i przed upadkiem muru berlińskiego. Jadąc na konferencję, byliśmy prawie jedynymi pasażerami w pociągu, a po przejechaniu granicy na pierwszej niemieckiej stacji NRD-owcy myli cały pociąg, który wjechał z Polski cały oblepiony plakatami solidarnościowymi.



Fot. 24. Konferencja „Oddziaływanie Ultradźwięków w Biologii i Medycynie” w NRD w Reinhardsbrunn, 1980; od lewej: prof. P. Greguss z Budapesztu, prof. A. Śliwiński i dr B. Linde



Fot. 25. Konferencja na temat ultradźwiękowej diagnostyki biomedycznej, Halle/Saale; koniec lat 80.

W roku 1980 zostałem zaproszony do Indii do New Dehli na konferencję „Ultrasonics International”, gdzie przedstawiłem wyniki wspólnej pracy z P. Kwiekiem i I. Wojciechowską na temat wykorzystania optycznych hologramów w badaniach przetworników ultradźwiękowych.

Profesor C. Lewa w tym okresie przebywał w Algierii, pracując na kontrakcie na Uniwersytecie w Annabie (w latach 1980–1986). W Algierii przebywali również dr E. Kuteń (1979–1988) na Uniwersytecie w Setifie oraz dr B. Linde (1988–1990) na Uniwersytecie w Costantynie. W roku 1982 prof. C. Lewa wspólnie z prof. Bouguerą Bouzabata zorganizowali międzynarodowe sympozjum spektroskopii NMR i zaprosili z Polski: prof. Jana Stankowskiego, prof. Zdzisława Pająka z Poznania oraz mnie.



Fot. 26. Sympozjum Spektroskopii NMR na Uniwersytecie w Annabie, Algieria, 1982 rok
od lewej: x, prof. Zdzisław Pająk, x, prof. Bouguera Bouzabata, x, x, ,ostatni z prawej
prof. Jan Stankowski

Wprost z Annaby udałem się do Erice na Sycylii do Centrum Konferencyjnego im. Ettore Majorana, aby wziąć udział w szkole naukowej zatytułowanej „Fundamentals of Acoustic Wave Propagation” na zaproszenie prof. A. Allipiego organizatora tego spotkania z Facolta di Igegneria University of Rome „La Sapienza”. Było to pierwsze takie spotkanie w tym ośrodku, a później były organizowane jeszcze następne dwa, w których nasz zespół był w Erice reprezentowany: w 1985 roku (razem z dr Anną Markiewicz) oraz przeze mnie w 1991 roku.

W październiku 1984 roku braliśmy także udział w bardzo ciekawej międzynarodowej konferencji „Metodyki i techniki spektroskopii ultradźwiękowej” zorganizowanej przez prof. W. Ingulasa w Wilnie. Kolejne dwie fotografie (fot. 27 i 28) utrwały udział polskiej delegacji.



Fot. 27. Symposium Metodyki i Techniki Spektroskopii Ultradźwiękowej, Wilno, 1984 rok. Od lewej: dr P. Haupmann, prof. R. Każyś, prof. A. Śliwiński, prof. W. Ilgunas, prof. I. Malecki



Fot. 28. Symposium Metodyki i Techniki Spektroskopii Ultradźwiękowej, Wilno, 1984 rok. Od lewej: x, prof. I. Malecki, prof. A. Śliwiński, dr P. Kwiek, dr B. Linde

Jak można zauważyć na powyższych fotografiach, w symposium w Wilnie brał także udział prof. Ignacy Malecki z IPPT PAN w Warszawie. Z nim i z tym instytutem przez wiele lat współpracowaliśmy i właśnie przy okazji spotkania w Wilnie zgodaliśmy się, że przygotowuje on (razem z Jerzym Ranachowskim) przeglądowy artykuł do Pekinu do opublikowania w chińskim czasopiśmie „Acta Acustica” o osiągnięciach akustycznych badań w Polsce i zaproponował, abyśmy coś dodali o swoich pracach. Z oferty oczywiście skorzystaliśmy i zostaliśmy bardzo wyczerpująco w artykule prof. Maleckiego przedstawieni przez podanie kilku informacji dotyczących akustomolekularnych i akustooptycznych osiągnięć naszego zespołu (Małecki, Ranachowski 1984). Ilustrują to skany fragmentów tekstu tego artykułu (fot. 29 i 30), który podaję jako ciekawostkę, ale był to również znaczący fakt dla późniejszych kontaktów naukowych z fizykami chińskimi, o czym w dalszej części moich wspomnień.

Osiągnięcia za omawiany okres zostały częściowo przedstawione we wspomnianym już opracowaniu (Badziąg 1980), w którym kierownicy zespołów naukowo-badawczych szczegółowo omówili swoją działalność i swoje osiągnięcia, podając również spis publikacji zespołu w latach 1970–1979. W tym okresie w Zespole Spektroskopii Atomowej (doc. dr. hab. J. Heldta) opublikowano 30 artykułów naukowych, 15 komunikatów i uzyskano 6 patentów, w Zespole Fizyki Statystycznej (doc. dr. hab. J. Fiutaka) 24 artykuły, w Zespole Luminescencji (doc. dr. hab. A. Kawskiego) 84 artykuły, w Zespole Akustyki i Oddziaływań Molekularnych 85 artykułów, 18 komunikatów, 5 monografii i 5 patentów, w Zespole Astrofizyki (doc. dr. hab. R. Głębockiego) 16 artykułów, w Zespole Spektroskopii Molekularnej (doc. dr. J. Grzywacza) 29 artykułów i 9 komunikatów, w Zespole Spektroskopii Ciała Stałego (dr. A. Horodeckiego) 9 artykułów, w Laboratorium Akustyki i Spektroskopii (kierowanym przez dr. J. Sułockiego) 13 artykułów i 35 komunikatów oraz 11 patentów i wzorów użytkowych, a w Zespole Dydaktyki Fizyki 36 artykułów, 1 podręcznik i 2 skrypty. Ogółem dla całego instytutu (dołączając to, co pojawiło się jeszcze w ostatnim roku pierwszego dziesięciolecia) jest to powyżej 400 publikacji naukowych, w tym większość o zasięgu międzynarodowym. Był to pokaźny dorobek dobrze rokujący na dalszy rozwój. Praca zespołów i współpraca między nimi i relacje z całym środowiskiem fizyków w Polsce oraz kontakty nawiązane z zagranicą napawały optymizmem i zachęcały do pracy.

Wielu fizyków w tym pierwszym dziesięcioleciu brało udział we władzach UG, na wydziale i kolegialnych ciałach uczelni. Z takim potencjałem rozpoczęliśmy następne lata. Rok 1980 to niezapomniany rok wiosny „Solidarności”, strajków w Stoczni Gdańskiej wspieranych przez strajki uczelni Wybrzeża, wśród nich nasz UG, i zaangażowanie pracowników i studentów. Wkład fizyków w zachodzące przemiany wtedy i później był znaczący i posiada opisaną historię (Andrzejewski 2020; Jerzy Grzywacz b.d.; Bień 2021a; Bień 2021b; Błażejowski 2020; Biernacki 2017). Będąc wówczas dyrektorem Instytutu Fizyki, brałem z urzędu udział w większości zdarzeń, jakie miały miejsce w instytucie i na całym Uniwersytecie Gdańskim. Jako bezpartyjny sympatyk zachodzących zmian z podziwem i akceptacją przyglądałem się składaniu legitymacji partyjnych kolegów, którzy należeli do PZPR. Członków tej partii w instytucie nie było wielu, ale przedtem wszelkie decyzje podejmowane były z udziałem egzekutywy partyjnej reprezentowanej przez swoich przedstawicieli w Radzie Instytutu i w Radzie Wydziału. Mimo często pojawiających się w okresie dyrektorowania kontrowersji decyzyjnych, rozsądek i argumentacja fizyków przeważała i udawało mi się uniknąć konfliktów w naszym środowisku, chociaż zawsze jedni byli zadowoleni a inni nie, ale ci nie protestowali, uznając warunki socjalistycznej rzeczywistości (głównie możliwości finansowe) jako „siłę wyższą”. Wiosna „Solidarności” zmieniała te warunki i „nowe”, które nadchodziło (choć nie trwało długo i zaskoczyło nas stanem wojennym w grudniu 1981 roku, który stare warunki z dociskiem przywrócił), to jednak wiele spraw zupełnie inaczej się potoczyło w następnym dziesięcioleciu. Na jego starcie, zgodnie z opracowanym i zatwierdzonym Statutem Uniwersytetu

Gdańskiego, odbyły się w pierwszej połowie 1981 roku demokratyczne wybory rektora (dotąd był mianowany przez ministra) oraz innych władz w jednostkach UG.

Skład osobowy Instytutu Fizyki UG w końcu roku akademickiego 1980/81 (uwzględniający niewielkie zmiany po wyborach w czerwcu 1981 roku) przedstawiono na schemacie 2.

Schemat 2. Skład i obsada IF UG w roku akademickim 1980/81 (po wyborach w czerwcu 1981 roku)

Instytut Fizyki Uniwersytetu Gdańskiego – rok akademicki 1980/81

Dyrektor instytutu	prof. dr hab. Antoni Śliwiński (1978–1981) prof. dr hab. Alfons Kawski (1981–1987)
Zastępca dyrektora ds. nauki	prof. dr hab. Józef Heldt
Zastępca dyrektora ds. nauczania	mgr Kazimierz Knapiński
Zastępca dyrektora ds. technicznych	mgr inż. Andrzej Zieliński
Sekretariat instytutu:	Elżbieta Caban Elżbieta Ostrowska
Pracownicy administracyjni	Teresa Kierzek Bolesława Kolaska Elżbieta Zalewska

Zakład Fizyki Doświadczalnej

Kierownik zakładu	prof. dr hab. Józef Heldt
Nauczyciele akademicy:	
Profesor	prof. nadzw. dr hab. Józef Heldt
Adiunkci	dr Lucyna Augustyniak dr Janina Heldt dr Zdzisław Konefał dr Andrzej Kowalski dr Henryk Sałajczyk
Starszy wykładowca	dr Janusz Sułocki (del. do Środowiskowego Laboratorium Akustyki i Spektroskopii)
Starsi asystenci:	mgr Kazimierz Dunajski mgr Łucja Rosenfeld mgr Adam Taszner (z WSP, abs. 1972)

	mgr Katarzyna Werel dr Jerzy Wojtkowiak
Asystent	mgr Marcei Krogulec (z WSP, abs. 1978)
Prac. inż.-techn.	mgr Marek Blukis (z WSP, abs. 1976)

Zakład Fizyki Teoretycznej

Kierownik zakładu – prof. dr hab. Jan Fiutak

Nauczyciele akademicy:

Profesor	prof. nadzw. dr hab. Jan Fiutak
Adiunkci	dr Robert Alicki dr Janusz Czub dr Eugeniusz Czuchaj dr Zbigniew Engels dr Wawrzyniec Guz dr Ryszard Horodecki dr Władysław Majewski dr Ewa Paul dr Andrzej Posiewnik
Asystenci	mgr Stanisław Kryszewski mgr Jacek Mizerski mgr Jarosław Pykaczi mgr Wiesław Ugłanica (z WSP, abs. 1975) mgr Marek Żukowski (na Studium Doktoranckie)
Prac. inż.-techn.	Urszula Brzostek

Zakład Astrofizyki

Kierownik zakładu	prof. dr hab. Robert Głębocki
Nauczyciele akademicy:	
Profesorowie	prof. nadzw. dr hab. Robert Głębocki
Adiunkci	dr Mikołaj Baryłko (abs. UG, 1973) dr Elżbieta Bielicz dr Jerzy Sikorski
Starszy asystent	mgr Andrzej Wiszniewski (abs. UG, 1974)
Prac. inż.-techn.	mgr Grażyna Musielak

Zakład Fizyki Molekularnej

Kierownik zakładu	prof. dr hab. Alfons Kawski
Nauczyciele akademicy:	
Profesorowie	prof. zw. dr hab. Alfons Kawski
Adiunkci	dr Piotr Bałuk (z WSP, abs.1968) dr Barbara Bartoszewicz (abs. UG, 1972) dr Jerzy Czajko (z WSP, abs. 1968) dr Ignacy Gryczyński (abs. UG, 1973) dr Grażyna Jacyno dr Jerzy Kamiński (z WSP, abs. 1967) dr Edward Kuteń (z WSP, abs. 1963)
Starsi asystenci	mgr Maria Alicka mgr Maria Lenczewska mgr Irena Lenartowicz-Weyna
Asystent	mgr Maria Żukowska (na Studium Doktoranckim)
Prac. inż.-techn.	mgr Benedykt Kukliński mgr inż. Andrzej Zieliński

Zakład Fizyki Stosowanej

Kierownik zakładu	dr Leszek Woliński
Nauczyciele akademicy:	
Profesor	prof. zw. dr hab. Antoni Śliwiński
Docenci	dr hab. Czesław Lewa
Adiunkci	dr Bogumił Linde dr Anna Szafranek dr Mirosława Szyncel dr Iwona Wojciechowska dr Leszek Woliński
Starsi asystenci	mgr Maria Witkowska-Borysewicz mgr Danuta Lewandowska mgr Stanisław Łętowski (z UJ) mgr Alicja Sadownik mgr Witold Ziółkowski
Prac. inż.-techn.:	Henryk Bildziuk dr Marek Kosmol

Zakład Fizyki Ogólnej

Kierownik zakładu	doc. dr Jerzy Grzywacz
Nauczyciele akademicy:	
Docenci	doc. dr Jerzy Grzywacz
Adiunkci	dr inż. Andrzej Horodecki dr Anna Jankowska dr Mirosława Łeppek dr Roman Pohoski dr Bogumiła Polacka
Starsi asystenci	mgr Barbara Dogil (z WSP, abs. 1975) mgr Małgorzata Kulesza-Grus mgr Irena Lenartowicz-Weyna (z WSP, abs. 1968) mgr Stanisław Taszner mgr Janina Widuchowska
Asystent	mgr Elżbieta Wojciechowska (WSP, abs. 1975)
Prac. inż.-techn.	Barbara Łasińska Krystyna Myślińska mgr Jolanta Pohoska Wojciech Salamon Elżbieta Zalewska

Zakład Metodyki Nauczania Fizyki

Kierownik zakładu	doc. dr Kazimierz Badziąg
Nauczyciele akademicy:	
Docent	doc. dr Kazimierz Badziąg
Adiunkci	dr Inż. Władysław Wciśło
Starszy wykładowca	mgr Kazimierz Knapiński
Starsi asystenci	mgr Adam Dziubich
Prac. inż.-techn.	Grażyna Bućko Konrad Kierzek Przemysław Lehman

Warsztat Elektroniczny

Kierownik warsztatu	mgr inż. Paweł Czyż, specj. elektronik (z WSP ← z PG, abs. 1960)
Pracownicy inż.-techn.:	mgr inż. Danuta Chłopicka-Fenc mgr inż. Małgorzata Horodecka mgr Zenon Garnusz mgr Sylwester Kozak

Warsztat Mechaniczny

Kierownik warsztatu	Henryk Maksymowicz – starszy mistrz (z WSP)
Pracownicy techn.-fiz.	Stanisław Błaszczyk – robotnik wykwalifikowany Antoni Danielewicz – robotnik wykwalifikowany Janusz Kaczmarek – robotnik wykwalifikowany Włodzimierz Kaczmarek – robotnik wykwalifikowany Tadeusz Konieczny – robotnik wykwalifikowany Włodzimierz Pluta – robotnik wykwalifikowany Ryszard Żółtek – robotnik wykwalifikowany Waldemar Żółtek – robotnik wykwalifikowany

Pracownicy inżynierjno-techniczni obsługi naukowej Instytutu Fizyki UG (rozmeszczeni w zakładach, warsztatach i zespołach naukowych):

mgr Henryk Bildziuk – specjalista fizyk
mgr inż. Adam Brodzikowski – specjalista fizyk inż. elektr.
mgr Czesław Czapiewski – specjalista fizyk inż. elektr.
mgr Ferdynand Froissart – specjalista fizyk (z WSP, abs. 1968)
mgr Jan Kukielski – specjalista fizyk
mgr Zbigniew Kojro – specjalista fizyk
mgr Jan Szczepański – specjalista fizyk
mgr Zbigniew Turzyński – specjalista fizyk (z WSP, abs. 1973)
mgr inż. Paweł Czyż – specjalista elektronik
mgr inż. Małgorzata Horodecka – specjalista elektronik
mgr inż. Roman Janowski – specjalista elektronik
mgr inż. Andrzej Zieliński – specjalista elektronik
mgr Ingrid Głębocka – specjalista chemik
mgr Ewa Sikorska-Trela – specjalista chemik
mgr Halina Zapędowska – spektroanalitik
mgr Marek Blukis – fizyk (z WSP, abs. 1976)
mgr Zenon Garnusz – fizyk (z WSP, abs. 1976)

inż. Hubert Klonowski – elektronik
mgr Sylwester Kozak – elektronik
mgr Marek Kowalski – elektronik
mgr Przemysław Lehman – fizyk
mgr Halina Makarewicz – fizyk (z WSP, abs. 1973)
mgr Grazyna Musielak – fizyk
mgr Ryszard Olejni – fizyk (z WSP, abs. 1974)
mgr Ludwik Targoński – fizyk (z WSP, abs. 1977)
mgr Barbara Tołwińska – fizyk (z WSP, abs. 1974)
mgr Maria Tomala – fizyk
mgr Tadeusz Zaleski – fizyk (z WSP, abs. 1977)
mgr Maria Tomala – fizyk
mgr Zygmunt Trumpakaj – fizyk
mgr inż. Danuta Fenc – elektronik
dr inż. Anna Markiewicz – elektronik (z PG, dr IPPT PAN Warszawa)
inż. Bronisław Szeler – elektronik
mgr Gizela Urbańczyk – elektronik
mgr inż. Konrad Witkowski – elektronik
inż. Janusz Wojtkowiak – elektronik
Elżbieta Blukis – starszy technik
Bogna Dalek – starszy technik
Jerzy Furkał – starszy technik
Kazimierz Juszyński – starszy technik
Zbigniew Klonowski – starszy technik
Konrad Kierzek – starszy technik
Jan Kuźnicki – starszy technik
Zbigniew Lipnicki – starszy technik
Alicja Pietrzyk – starszy technik
Jan Suligowski – starszy technik
Małgorzata Bogdańska – technik
Grażyna Bućko – technik
Krystyna Myślińska – technik
Irena Trębacz – technik
Ewa Zając – technik
Wojciech Bańda – pomoc techniczna
Urszula Brzostek – pomoc techniczna
Zbigniew Makowski – pomoc techniczna
Barbara Rybak – pomoc techniczna
Emilia Wińska – pomoc techniczna
Elżbieta Wolniewicz – laborant
Henryk Maksymowicz – starszy mistrz
Ryszard Napiórkowski – mistrz

Ryszard Żółtek – tokarz
 Włodzimierz Kaczmarski – mechanik
 Tadeusz Konieczny – mechanik
 Waldemar Żółtek – ślusarz
 Antoni Danielewicz – ślusarz
 Janusz Karczmarski – ślusarz
 Włodzimierz Pluta – ślusarz
 Stanisław Błaszczyk – ślusarz

Zespoły naukowo-badawcze:

Zespół Optyki Kwantowej: kierownik prof. nadzw. dr hab. Jan Fiutak oraz Eugeniusz Czuchaj, Zbigniew Engels, Ryszard Horodecki, Ewa Paul, Stanisław Kryszewski, Andrzej Posiewnik, Władysław Majewski, Jacek Mizerski, Jarosław Pykacz, Wiesław Ugłanica

Zespół Astrofizyki: kierownik prof. nadzw. dr hab. Robert Głębocki oraz Jerzy Sikorski, Mikołaj Baryłko, Elżbieta Bielicz, Andrzej Wiszniewski.

Zespół Spektroskopii Atomowej: kierownik: prof. nadzw. dr hab. Józef Heldt oraz Zdzisław Konefał, Kazimierz Dunajski, Lucyna Augustyniak, Piotr Bałuk, Jan Bronowski, Henryk Sałajczyk, Adam Taszner, Łucja Rosenfeld, Anna Sikorska, Katarzyna Werel, Jerzy Wojtkowiak, Lech Kochanowski.

Zespół Luminescencji: kierownik prof. zw. dr hab. Alfons Kawski oraz Ignacy Gryczyński, Jerzy Kamiński, Edward Kuteń, Jan Kukielski, Barbara Bartoszewicz, Jerzy Czajko, Piotr Bałuk, Maria Alicka, Grażyna Jacyno, Maria Lenczewska, Irena Lenartowicz-Weyna, Janina Heldt, Maria Żukowska.

Zespół Akustyki i Oddziaływań Molekularnych w Płynach: kierownik prof. zw. dr hab. Antoni Śliwiński oraz Janusz Sułocki, Czesław Lewa, Anna Szafranek, Danuta Lewandowska, Marek Kosmol, Marian Bastrzyk, Tadeusz Matuszewski, Łucja Borysionek, Iwona Wojciechowska, Bogumił Linde, Stanisław Łętowski, Witold Ziółkowski, Maria Witkowska-Borysewicz

Zespół Spektroskopii Molekularnej : kierownik doc. dr Jerzy Grzywacz oraz Anna Jankowska, Bogumiła Polacka, Roman Pohoski, Mirosława Łepek, Anna Deptuch, Małgorzata Grus, Janina Widuchowska, Jolanta Pohoska, Ryszard Olejnik.

Zespół Metodyki Nauczania Fizyki: kierownik doc. dr Kazimierz Badziąg oraz Kazimierz Knapieński, Władysław Wcisło, Stanisław Zachara, Eugeniusz Juszkievicz, Maria Ahrens, Franciszek Kitowski, Adam Dziubich, Tadeusz Matuszewski.

Zespół Badań Strukturalnych: kierownik dr Leszek Woliński oraz Konrad Witkowski, Mirosława Szynceł, Elżbieta Wojciechowska, Alicja Sadownik, Zbigniew Turzyński.

Zespół Spektroskopii Ciała Stałego: kierownik dr Andrzej Horodecki oraz Anna Jankowska, Małgorzata Grus, Barbara Dogil, Mirosława Łepek, W. Arsoba i Witold Precht (obaj z WSI Koszalin).

Środowiskowe Laboratorium Akustyki i Spektroskopii (ŚLAIŚ)

Kierownik Laboratorium	dr inż. Janusz Sułocki
Kierownik Zespołu Akustyki	dr inż. Lech Lipiński
Kierownik Zespołu Spektroskopii	dr Stanisław Zachara
Nauczyciele akademicy:	
Adiunkci nauk.-bad.	dr Piotr Kwiek dr inż. Lech Lipiński dr Stanisław Zachara
Starsi asystenci nauk.-bad.	mgr Włodzimierz Bandera mgr Zygfryd Dukiewicz mgr Witold Jaroszyński
Asystenci nauk.-bad.	mgr Danuta Konderska-Olexińska mgr Krzysztof Śródecki
Prac. inż.-techn.	mgr Konstanty Dałek inż. Jacek Konopacki mgr inż. Nina Kosińska mgr Maria Lewa mgr Bogdan Nienałtowski mgr inż. Kazimierz Nogalski mgr Jędrzej Smulkowski mgr Stefan Żuliński

Z takim składem osobowym w okresie rozkwitu „Solidarności” (pełni nadziei i nieprzewidujący jeszcze stanu wojennego) rozpoczęliśmy rok akademicki 1981/82 i wraz z nim nowy okres historii rozwoju fizyki na UG w następnych dziesięcioleciach, którego wspomnieniowe fragmenty zostaną przedstawione w następnych rozdziałach.

2. Dalsze lata i nowe struktury organizacyjne

2.1. Podział Instytutu Fizyki na dwa instytuty (teoretyków i doświadczalników) i ich struktury

Na początku omawiania następnego dziesięciolecia warto zauważyć, że rok akademicki 1980/81 rozpoczął się pod znakiem ostatniej kadencji władz UG i czekających nas wydarzeń przed wyborami nowego rektora zgodnie z nowym Statutem UG (o czym już wyżej wspomniałem), który z entuzjazmem i z dużymi nadziejami po powrocie autonomii uczelni wypracowaliśmy w naszym środowisku. Wszystko się odbywało w budzącej duże nadzieje atmosferze zmian, które doprowadziły do rejestracji „Solidarności”. Nadchodzący okres dyskusji przedwyborczych i planów na przyszłość zakończył się wyborem prof. Roberta Głębockiego na rektora UG (1981–1982) i trzech prorektorów: ds. nauki prof. Czesława Jackowiaka z Wydziału Prawa i Administracji, ds. nauczania prof. Józefa Bachórza z Wydziału Humanistycznego, ds. studenckich doc. dr. hab. Zygmunta Krasuckiego z Wydziału Ekonomiki Transportu. Dziekanem Wydziału Matematyki Fizyki i Chemii zostałem ja (prof. dr hab. Antoni Śliwiński), a prodziekanami: ds. dydaktycznych matematyk doc. dr Henryk Guściora i ds. studenckich doc. dr hab. Zofia Szponarowa z Instytutu Chemii. Prof. dr hab. Alfons Kawski został dyrektorem Instytutu Fizyki, a jego zastępcą ds. dydaktycznych mgr Kazimierz Knapieński i ds. technicznych mgr inż. Andrzej Zieliński. Instytut został nieznacznie przekształcony, a obsada poszczególnych jednostek po wyborach w czerwcu 1981 była taka jak pokazano na schemacie 2.

Już w kilka miesięcy po wolnych wyborach, w których zwyciężył prof. R. Głębocki (w maju 1981 roku), i kolejnych wyborach innych jednostek (w czerwcu tego roku), uroczystej i pełnej optymizmu inauguracji nowego roku akademickiego (1 października), w dniu 13 grudnia 1981 został ogłoszony w kraju stan wojenny. Wraz z nim rozpoczęliśmy bardzo trudny okres przetrwania. Jak pisze historyk prof. Marek Andrzejewski: „po ogłoszeniu stanu wojennego, dzięki jego (prof. Głębockiego) pragmatyzmowi i dyplomatycznemu talentowi, a także wsparciu ówczesnego prorektora prof. Józefa Bachórza, udało się uniknąć zakrojonych na szerszą skalę represji, choć wśród internowanych i aresztowanych nie brak było pracowników i studentów Uniwersytetu Gdańskiego. Wkrótce jednak prof. Robert Głębocki został zmuszony do rezygnacji ze stanowiska rektora. Trzeba podkreślić, że piastujący po nim kolejno urząd rektora profesorowie Bronisław Rudowicz i Karol Taylor kontynuowali jego politykę cichej acz skutecznej ochrony zwolenników «Solidarności». Dzięki ich, a także rektora Czesława Jackowiaka postawie, nacechowanej mądrością połączoną z pragmatyzmem, uczelnia wyszła z okresu PRL-u stosunkowo obronną ręką” (Andrzejewski 2020).

Zgadzam się z tą opinią. Pamiętam wiele burzliwych narad i wypracowywania możliwych decyzji dla pragmatycznych działań. Rektor Głębocki wraz z ogłoszeniem stanu wojennego otrzymał do pomocy mianowanego komendanta wojennego, który rządził, ale rektor Głębocki w atmosferze praktycznie uzgadnialnej koegzystencji trwał

na stanowisku aż do wymuszonego wkrótce ustąpienia ze stanowiska i zastąpieniu go (wiosną 1982) w drodze mianowania przez prof. dr. hab. Bronisława Rudowicza.

Protesty, które wtedy miały miejsce, w praktyce stanu wojennego nie mogły spowodować żadnych reakcji władz oprócz wyrażenia powszechnej dezaprobaty uniwersyteckiego środowiska (zob. protokół i uchwałę senatu UG oraz POP Wydziału Ekonomiki Transportu, w Bień 2021b: 189–196).

Byłem w tym czasie wybranym w czerwcu 1981 roku (zgodnie ze statutem UG) dziekanem Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii (w kadencji 1981–1984) i pamiętam ten czas jako okres trudnej egzystencjalnej działalności – na szczęście w środowisku zaprzyjaźnionym od wielu lat, dość zintegrowanym i darzącym mnie zaufaniem, które zawsze cenilem – i po doświadczeniach wiosny „Solidarności” przerwanej brutalnie stanem wojennym. Funkcję dziekana podjąłem po pracy na stanowisku dyrektora Instytutu Fizyki (1978–1981), na które po mnie został wybrany prof. J. Heldt, a zastępcą dyrektora został dr K. Knapieński. Praca na wydziale układała się bardzo dobrze. Wyprzedzając trochę chronologię, dodam, że trzy lata później zostałem wybrany prorektorem ds. nauki UG (1984–1986), kadencji nie dokończyłem z powodu dymisji po odwołania rektora Taylora, ale potem znów zostałem wybrany dyrektorem Instytutu Fizyki Doświadczalnej (1987–1993) oraz ponownie (1996–1999) aż do emerytury. Ale wróćmy do początku lat osiemdziesiątych.

Struktura Instytutu Fizyki (przedstawiona wyżej), gdy Chemia jeszcze należała do naszego wydziału, uległa zmianie w roku 1982/83, gdy fizycy podjęli decyzję o rozdzieleniu się na teoretyków i doświadczalników. Instytut Fizyki podzielił się na dwie jednostki: Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki IFT oraz Instytut Fizyki Doświadczalnej IFD, przy czym w praktyce oznaczało to, że zakłady teoretyczne tworzą jeden, a doświadczalne tworzą drugi. Wydzielenie się fizyków teoretyków z Instytutu Fizyki było dość naturalną sprawą, o której wtedy często dyskutowano na posiedzeniach Rady Instytutu, powołując się na takie krajowe sytuacje, gdzie teoretycy i doświadczalnicy tworzą osobne jednostki organizacyjne; ale były też argumenty przemawiające za tym, że przenikanie się wzajemnych relacji w codziennych kontaktach w tej samej jednostce przynosi wiele korzyści. Te argumenty nie zyskały większości i nastąpił podział. Jak pokazały następne lata, ten rozdział nie miał żadnych ujemnych skutków, a wręcz przeciwnie – sprzyjał dalszemu rozwojowi, szczególnie w następnych latach w czasie stanu wojennego i zaraz po nim. Okres od grudnia 1981 roku do 1989 roku był bardzo trudny i obfitujący w historyczne dla UG wydarzenia; na początku strajków oraz protestów a potem konspiracji „Solidarności”. Niektóre zdarzenia z tego okresu zostały już opisane (Andrzejewski 2020; Jerzy Grzywacz b.d.; Bień 2021a; Bień 2021b; Błażejowski 2020; Biernacki 2017), ograniczę się więc tutaj tylko do zachowanych w mej pamięci ważniejszych faktów lub tylko wzmianki o innych bądź zacytowania niektórych fragmentów ich opisów.

Początek urzędowania w funkcji dziekana pamiętam jako bardzo solidarną współpracę z prodziekanami i dyrekcjami Instytutów Matematyki i Fizyki i nieingerowania

bezpośredniego przy ogólnym przeświadczeniu, że ogłoszony stan wojenny to bezprawie rządzących, którego nie akceptujemy, ale nie prowokujemy, aby nas nie spacyfikowali, jak wiele instytucji wtedy, które tego doznały, bo władza uznała, że były wtedy bardziej dla nich groźne niż uczelnie. Jak w większości instytucji władze dokonały nagłego sparaliżowania działalności „Solidarności” przez internowanie i prześladowanie wielu ich członków (także pracowników i studentów UG) i wprowadzenie do administracji uczelni komendantów wojskowych. Zapanowało powszechne zastraszenie i zaczęło się powolne przechodzenie do działań utrzymania (ratowania) podstawowej naszej działalności akademickiej, a jednocześnie wiedzy o powstającym podziemiu „Solidarności”. Jej nielegalna wtedy działalność przez cały okres stanu wojennego nam towarzyszyła i na różny nieoficjalny sposób pośrednio działała. O sprzeciwie świadczyły też od czasu do czasu nieoczekiwane przez władze incydenty i wydarzenia. Wspomnę na przykład palące się na schodach świece, tablice z napisami itp. Zwykle pojawiali się wtedy w dziekanacie i w dyrekcjach instytutów ludzie („emisariusze partyjni” SB), którzy zarzucali nam niedopatrzenie i brak ostrej reakcji, wyrażali zdziwienie, że nie reagujemy odpowiednio, ale spotykali się na ogół z reakcją „no tak, my też to zauważyliśmy, ale wiemy, że nasza ingerencja nie byłaby wskazana i tylko zrobiłaby konfliktowe zamieszanie; wiemy jednak, że czuwające władze na pewno sobie poradzą”. Zwykle kończyło się na napomnieniu, ale były także zatrzymania studentów, rozprawy sądowe i interwencje uniwersytetu w obronie aresztowanych.

Przez jakiś czas rektor R. Głębocki, jak już wyżej wspomniałem, sprawował swój urząd, musiał jednak pod presją ustąpić i minister w jego miejsce mianował prof. dr. hab. B. Rudowicza z Wydziału Ekonomiki Transportu UG, który rządził do końca kadencji i nowych wyborów w 1984 roku (zob. Bień 2021b: 189–196).

Mimo różnych innych trudności w instytucie, dzięki dużej aktywności kolegów fizyków, oprócz naszych akademickich działań w Gdańsku prowadziliśmy również współpracę ogólnokrajową i międzynarodową, między innymi w zakresie uczestnictwa i organizacji konferencji i sympozjów naukowych.

W roku 1981 w ramach nawiązanej współpracy z prof. Italo Gabrielli (później bardzo aktywnym uczestnikiem Szkół Akustooptyki i Zastosowań, które rok wcześniej rozpoczęliśmy organizować w Gdańsku, odwiedziłem na Uniwersytecie w Trieście jego zespół naukowy zajmujący się akustooptyką. Odbyliśmy też wtedy interesującą wycieczkę do Centrum Fizyki Teoretycznej w Trieście, a także turystycznie zawiózł mnie do zamku Duino. Dwie fotografie prezentowane obok przesłał mi potem z tej wycieczki. Współpraca z prof. I. Gabriellim na przestrzeni lat rozwijała się bardzo dobrze. Jego częste wizyty w Gdańsku, wspólne badania w oparciu o jego teoretyczne prace (Gabrielli 1990a; Gabrielli 1990b) i pomiary w laboratorium P. Kwieka oraz wspólne publikacje (Gabrielli i in. 1988) to trwały dorobek dla fizyki zjawisk oddziaływań ultradźwiękowo-optycznych. Wyprzedzając trochę chronologię wspomnień, zamieszczam też tutaj trzecią fotografię z I. Gabriellim, którą mi przysłał, pochodzącą z innego spotkania (10 lat później) w Erice, na kolejnej konferencji Akustyki Fizycznej

i Ultradźwięków organizowanej w Centro de Majorana na Sycylii; to zdjęcie w San Vito Lo Capo pochodzi z wycieczki, którą urządzili organizatorzy.

Mój trzeci już wtedy (w 1991 roku) pobyt w Erice, niezależnie od korzyści naukowych, miałem bardzo turystycznie urozmaicony. Odbyłem też wówczas prócz wspomnianej drugą całodzienną wycieczkę (w wolną niedzielę pomiędzy obradami) razem z prof. Hugh G. Jonesem z Kanady samochodem (nowym Fiatem Pandą z wypożyczalni) dookoła Sycylii, włączając w to Wyspę Wulkaniczną i okolice Etny oraz Wezuwiusza. To prof. Jones organizował w 1986 roku (zob. niżej) konferencję ultradźwiękową i akustyki podwodnej w Dalhousie University w Halifaxie, w której braliśmy udział. Był regularnym uczestnikiem naszych Szkół Akustooptyki i Sympozjów Hydroakustyki w Gdańsku. W późniejszych latach wrócił z Kanady do Swansea w Walii w UK, gdzie mieszkał na emeryturze, i stałe utrzymywaliśmy wzajemne kontakty aż do jego odejścia na zawsze przed kilku laty. Nie żyje też prof. I. Gabrielli, który zmarł w Trieście 3 lata temu, przeżywszy 100 lat.



Fot. 31. Na wycieczce z prof. Italo Gabriellim i jego żoną Almą na Monte Gusa, Trieste, 1981 rok; przed kościołem Maria Mater et Regina



Fot. 32. Na wycieczce z prof. Italo Gabriellim na Monte Gusa, w Trieście, 1981 rok, na tarasie Duino Castle



Fot. 33. Autor i prof. Italo Gabrielli (Uniwersytet w Trieście) na plaży w San Vito lo Capo, Sycylia; w czasie wycieczki podczas konferencji „Ettore Majorana Centre” w Erice

Jeszcze przed powstaniem uniwersytetu Gdański Oddział PTF organizował XVII Zjazd Fizyków Polskich w 1961 roku (wtedy WSP razem z PG). Następne zjazdy zorganizowano już na Uniwersytecie Gdańskim w ramach Gdańskiego Oddziału PTF (zarząd oddziału zmieniał swoją lokalizację: w UG lub w PG w różnych latach). Były to kolejne Zjazdy Fizyków Polskich: XXVIII w 1984 i XXXVII w 2003 roku (Urbanowicz, Zachara 2004). Zjazdy Fizyków Polskich były zawsze ważnym wydarzeniem naukowym i uczestniczyło w nich wielu polskich fizyków.

Będąc jeszcze w UAM w Poznaniu, w roku 1968/69 współorganizowałem (w czasie jubileuszu 50-lecia powstania Uniwersytetu Poznańskiego) XXI Zjazd Fizyków Polskich jako wiceprzewodniczący jego komitetu organizacyjnego, razem z prof. Z. Pająkiem, który był wtedy przewodniczącym tego komitetu, i dr. (później profesorem) Tadeuszem Hilczerem – jego sekretarzem. Kolejne fotografie dotyczą tych zjazdów: pierwsza pochodzi z XXI Zjazdu w Poznaniu w 1969 roku i prezentuję ją tutaj nie tylko dlatego, że wpadła mi teraz w ręce, ale że są na niej utrwaleni sławni fizycy polscy: prof. Wojciech Rubinowicz, wybrany wtedy na przewodniczącego XXI Zjazdu Fizyków Polskich, i prof. Aleksander Jabłoński; drugi z lewej siedzi doc. hab. (później profesor) Z. Pająk, a stoi obok zapowiadający występ prof. W. Rubinowicza dr T. Hilczer (później profesor). Następne dwie fotografie dotyczą XXVIII Zjazdu z 1984 roku w Gdańsku.



Fot. 34. XXI Zjazd Fizyków Polskich, Poznań, 1969 rok. Od prawej: prof. A. Jabłoński, prof. W. Rubinowicz, doc. dr hab. (później profesor). Z. Pająk, dr (później profesor) T. Hilczer

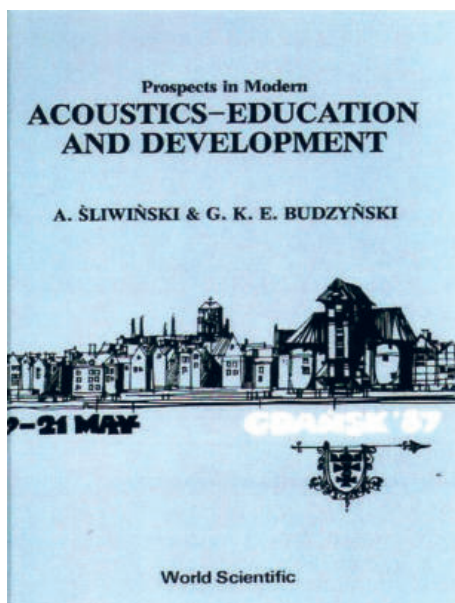


Fot. 35. XXI Zjazd Fizyków Polskich, Gdańsk, 1984 rok; wykład plenarny – zainteresowani słuchacze; od prawej: prof. Joanna Maria Janikowa z Zakładu Fiz. Chem. UJ, prof. Jerzy Janik z IFJ PAN i UJ; prof. Antoni Śliwiński



Fot. 36. XXVIII Zjazd Fizyków Polskich, Gdańsk, 1984; od prawej: prof. Jan Fiutak, mgr Małgorzata Śliwińska -Bartkowiak (obecnie profesor w Inst. Fizyki UAM w Poznaniu), prof. Antoni Śliwiński UG, prof. Wiesław Wardzyński z IF UW

Organizowaliśmy także kilka Otwartych Seminariów z Akustyki: XIX OSA w 1972 roku w Sopocie, XXIV OSA w 1977 roku we Władysławowie, XXX w 1983 roku w Gdańsku-Oliwie. Organizowaliśmy też dalsze sympozja i konferencje naukowe o zasięgu międzynarodowym; na przykład szeroko zauważoną konferencję „Prospects in Modern Acoustics – Education and Development” (UG wspólnie z PG) (Śliwiński, Budzyński 1987) pod patronatem ICA (International Commission on Acoustics) działającej przy IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) w 1987 roku. Ta konferencja zgromadziła wiele interesujących osób i była następnym impulsem do pracy.



Fot. 37. Okładka książki konferencji ICA, Gdańsk'87 (Śliwiński, Budzyński 1987)



Fot. 38. Konferencja ICA „Prospects in Modern Acoustics – Education & Developments”, Gdańsk 1987; od prawej: prof. D. Sette z Uniwersytetu Rzymskiego „La Sapienza”, prof. A. Śliwiński z żoną Aliną, prof. L. Filipczyński z IPPT PAN w Warszawie

Organizowaliśmy także szkoły naukowe, jak: Szkoła Optyki Kwantowej (prof. J. Heldt i prof. J. Fiutak), naprzemiennie razem z Instytutem Fizyki UMK w Toruniu, oraz Szkoła Akustooptyki i Zastosowań, zapoczątkowane w 1980 i kontynuowane co 3 lata aż do chwili obecnej (Śliwiński 2009; Śliwiński 2018; Śliwiński 2015).

Od samego początku braliśmy czynny udział w Zimowych Szkołach Akustyki Molekularnej i Kwantowej (AMiK), która zmieniła potem nazwę (od 2003 roku) na Akustyki Falowej i Kwantowej (AFIK) (zob. Śliwiński, Engel, Zawieska 2010; Śliwiński, Kozaczka 2014). Szkoły te są organizowane do dziś (piszę to na początku roku 2022); ostatnia miała miejsce w normalnym trybie w lutym 2022 roku (poprzednia była odwołana z powodu pandemii koronawirusa). Cofnijmy się jednak teraz o kilka lat, aby trzymać się trochę chronologii wydarzeń, które w omawianej dekadzie miały miejsce i zapadły w uniwersytecką i społeczną pamięć.

Wybory władz UG w 1984 roku odbyły się demokratycznie, zgodnie ze Statutem UG uchwalonym tuż przed stanem wojennym. Rektorem wybrano prof. dr. hab. Karola Taylora z Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii UG. Wybrano także prorektorów w składzie: prorektor do spraw nauczania doc. dr hab. Zofia Sawiczewska z Instytutu Ekonomiki Transportu Morskiego, prorektor do spraw nauki prof. dr hab. Antoni Śliwiński z Instytutu Fizyki Doświadczalnej i prorektor do spraw studenckich doc. dr hab. Brunon Synak (zob. fot. 39 – fotografia zespołu rektorskiego).



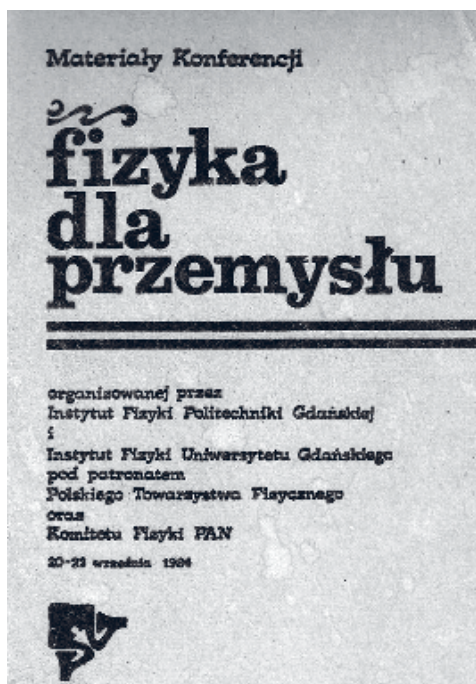
Fot. 39. Kolegium Rektorskie Uniwersytetu Gdańskiego na pierwszym po wyborach na kadencję 1984–1987 zebraniu w 1984 roku; prof. Karol Taylor, rektor (w środku); prof. Zofia Sawiczewska, prorektor ds. studenckich; prof. Brunon Synak, prorektor ds. dydaktycznych (z prawej); prof. Antoni Śliwiński, prorektor ds. naukowych (z lewej)

Na tę kadencję dziekanem Wydziału Mat. Fiz. Chem. wybrano matematyka prof. dr. hab. Mariana Kwapisza, a na prodziekanów: do spraw dydaktycznych fizyka prof. dr. hab. Józefa Heldta i do spraw studenckich fizyka doc. dr. Jerzego Grzywacza.

Inauguracja roku akademickiego 1984/85 była uroczysta i optymistyczna – przemówienie inauguracyjne rektora Taylora kończyło się wezwaniem: „kierujmy się w poczynaniach naszych odwieczną maksymą z herbu królewskiego miasta Gdańska, naszej siedziby: «*Nec tenere, nec timide*», co w wolnym tłumaczeniu brzmi: „Odważnie, lecz z rozwagą” (Taylor 1999). Dzień przed inauguracją zgłosiła się do rektora pani D. Jesionek, redaktor „Wieczoru Wybrzeża”, i on skierował ją do mnie, abym udzielił okolicznościowego wywiadu na inaugurację przypadającą na 15-lecie istnienia Uniwersytetu Gdańskiego, co uczyniłem z atencją i wyzwaniem do działania w rozpoczynającej się kadencji; zgodnie z dewizą „*In mari via tua*” (przyjętą od chwili powołania UG), w tytule tego wywiadu pojawił się wątek morski, ale mówiłem także o dotychczasowych osiągnięciach i planach na przyszłość (Jesionek, Śliwiński 1985).

Po inauguracji cały nasz zespół rektorski zabrał się z entuzjazmem do pracy i pełnienia uczelnianych obowiązków. Jeszcze przed inauguracją ukazał się aktualny na 15-lecie informator o składzie osobowym UG (*Informator '85, Skład osobowy...* 1985), a po roku sprawozdanie z działalności badawczej UG i publikacyjnej (*Sprawozdanie z działalności...* 1985a), Informator o pracach i usługach Uniwersytetu Gdańskiego na rzecz instytucji, przedsiębiorstw oraz osób prywatnych (*Informator o pracach i usługach...* 1984). W 1984 roku odbyła się w Gdańsku ogólnopolska konferencja „Fizyka dla przemysłu” (fot. 40) zorganizowana przez Instytuty Fizyki Politechniki Gdańskiej i Uniwersytetu Gdańskiego (*Materiały Konferencji* 1984). W Instytucie Fizyki

współpracowaliśmy z przemysłem, prowadząc badania w zakresie fizyki hałasów przemysłowych i metod jego zwalczania (fot. 41).



Fot. 40 Okładka broszury Materiałów (a) i strona programu (b) Konferencji „Fizyka dla Przemysłu”, Gdańsk, 1984 rok

Jako prorektor ds. nauki starałem się kontynuować i rozwijać współpracę międzynarodową UG, wspierać realizowane projekty w ramach zawartych umów i planów wyjazdów zagranicznych i doraźnie zgłaszanych projektów. Nie będę tego tutaj omawiać, wspomnę tylko o tych wydarzeniach, w których osobiście brałem udział, a szczególnie o tych, które dotyczyły fizyki.



Fot. 41. Starogardzka Fabryka Mebli Okrętowych „FAMOS” – badania hałasu przemysłowego; od lewej: J. Sułocki, Czesław Puzyra (doc. CIOP w Warszawie), A. Śliwiński, Piotr Tzymański

W dniach 7–12 czerwca 1985 roku razem z prof. dr. hab. Alfredem Czermińskim z Wydziału Ekonomiki Produkcji UG odbyliśmy samochodową podróż do Jugosławii do Uniwersytetu w Osieku z okazji jubileuszu 10-lecia powołania tej uczelni, z którą UG miało podpisaną umowę o wzajemnej współpracy. Stanowiliśmy oficjalną delegację rektora odpowiadającą na zaproszenie dla władz UG (wraz z żonami: w tym przypadku Wandą Alfreda i moją Aliną) przesłane przez rektora Uniwersytetu w Osieku prof. dr. Władimira Leko. Braliśmy tam udział w 3-dniowych organizowanych na dużą skalę uroczystościach jubileuszowych, wraz z okolicznościowymi wykładami, wycieczkami i dyskusjami o przyszłym rozszerzeniu współpracy naukowej, którą aktualnie prowadził prof. Czermiński i jego Instytut Organizacji i Zarządzania UG. Przyjmowano nas bardzo gościnnie i serdecznie. Nikt wtedy nie przypuszczał, że Jugosławia się wkrótce rozpadnie i powstanie niepodległe państwo Chorwacja, w obrębie którego znajduje się historyczny Osiek i jego ambitny młody uniwersytet.

W tym samym roku, w okresie od 15 sierpnia do 6 września, w ramach współpracy pomiędzy Politechniką Gdańską i Uniwersytetem Gdańskim, zorganizowaliśmy auto-karową wyprawę naukową do Grecji, łącząc ją również z uczestnictwem w międzynarodowej konferencji akustycznej FASE'1985 w Salonikach organizowaną przez tamtejszą politechnikę (a dokładnie przez prof. G. Papanicolaou, absolwenta PG w latach sześćdziesiątych na Wydziale Telekomunikacji w Zakładzie Inżynierii Dźwięku, którym kierował doc. dr inż. Gustaw Budzyński i pracowała doc. dr inż. Marianna Sankiewicz-Budzyńska). Później bardzo systematycznie kontynuowali oni współpracę z zespołem akustyków kierowanym przez prof. Papanicolaou z Aristotle University w Salonikach (zob. też wspomnienie o jubileuszu 95-lecia urodzin Budzyńskich, Śliwiński

2018). W roku 1985 doc. dr Marianna Sankiewicz sprawowała funkcję prorektora PG ds. studenckich, a współpraca naukowa między akustykami z PG i akustykami z UG była bardzo efektywna.



Fot. 42. Konferencja FASE 1985, Saloniki, Grecja; od lewej G. Budzyński, A. Śliwiński

W ramach tej współpracy i po zaproszeniu przez organizatorów konferencji FASE'1985 w Salonikach (fot. 42) akustyków z Gdańska do udziału w niej, powstał pomysł wyprawy do Grecji całą grupą z obu gdańskich uczelni. Celem wyprawy była nie tylko wspomniana konferencja, ale również zwiedzenie Grecji i przy okazji wykonanie pomiarów akustyki starożytnego amfiteatru w Epidaurus na Peloponezie. Grupę stanowiło 14 osób, w tym 7 z PG: Gustaw Budzyński, Marianna Sankiewicz i jej siostrzenica, Aleksander Hajdukiewicz, Adam Witkowski, Grzegorz Cypukow z żoną oraz z UG: A. Śliwiński, W. Bandera, L. Lipiński, K. Środecki, Z. Garnusz, oraz Teresa Jabłońska z Działu Nauki i kierowca autobusu. Wśród wymienionych uczestników 8 było pracownikami naukowymi (każdy z przygotowanym referatem na konferencję), 2 naukowo-technicznymi, 1 pracownikiem administracji i 2 osobami towarzyszącymi. Autokar wraz z kierowcą zapewniał Uniwersytet Gdański. Zabraliśmy też aparaturę pomiarową ze ŚLAiS i odpowiednie zaplecze podrózne na kilkudniową podróż tam i powrotną z noclegami na campingach. Wyjechaliśmy w dniu 15 sierpnia i przez Czechosłowację, Węgry, Rumunię dotarliśmy do Salonik 20 sierpnia. Następnego dnia pojechaliśmy dalej, zwiedzając Ateny – Akropolis i inne zabytki – i na kilka dni zatrzymaliśmy się na campingu w Assini Beech, skąd robiliśmy wypadki do Epidaurus (tam robiliśmy pomiary). 25 sierpnia przez Delfy wróciliśmy do Salonik na pobyt w hotelu, na czas czynnego udziału w konferencji (z wygłaszaniem referatów, dyskusją i nawiązywaniem kontaktów) w dniach 26–29 sierpnia. Po konferencji nocowaliśmy jeszcze 4 dni w Salonikach, robiąc codzienne wypadki do Epanauri, Orners, Afitos (Halkidiki) (Kasandra). W dniu 2 września wyruszyliśmy w drogę powrotną

i 6 dotarliśmy do Gdańska. Była to wyprawa bardzo owocna edukacyjnie i naukowo i jedyna okazja umożliwiająca udział w konferencji tak licznej grupie przy stosunkowo małych kosztach. Wyniki pomiarów akustyki amfiteatru w Epidauros zostały później opublikowane (Środecki 1994).

Rok akademicki 1984/85 rozpoczął się bez większych zakłóceń, czekały nas jednak już w najbliższych tygodniach zupełnie nieprzewidywane i przykre wydarzenia. Jak się okazało, wybrane demokratycznie przed półtora roku na trwającą kadencję władze rektorskie i naszego wydziału MFCh nie podobały się władzy państwowej i od początku nie byliśmy dobrze oceniani. W niestabilnym społecznie czasie szczególnie obronne działania uczelni podejmowane przy okazji wydarzeń represyjnych w stosunku do studentów, a także całego środowiska akademickiego ze strony rządzących nie były przez tę władzę dobrze widziane. Już po 15 miesiącach kadencji doszło do odwołania przez Ministra Szkolnictwa Wyższego i Nauki ze stanowisk w Uniwersytecie Gdańskim rektora Taylora i dziekana M. Kwapisza oraz prodziekana J. Grzywacza i w konsekwencji jako protestu do solidarnej rezygnacji ze stanowisk prorektorów: Z. Sawiczewskiej, A. Śliwińskiego i B. Synaka oraz prodziekana J. Heldta. Nastąpiło to na początku drugiego roku akademickiego sprawowanej kadencji.

Sadzę, że warto tutaj przypomnieć pewne wydarzenia (uczestniczyli w nich w dużej mierze fizycy obu instytutów), które wtedy miały miejsce na UG, jako przykład dość częstych wówczas poczynań ówczesnego Ministra Szkolnictwa Wyższego i Nauki, podobnych do tych, jakie podejmowano w tym czasie także na innych uczelniach w Polsce, na których działały władze wybrane nie po myśli rządzącej partii PRL-u. Używano w tym celu różnych pretekstów jako powodów formalnych dla takich „odwołań” (ministrem był wtedy prof. dr hab. Benon Miśkiewicz, wiceministrem „od wręczania odwołań” był Stanisław Nowacki). W przypadku rektora Taylora, dziekana Kwapisza i prodziekana Grzywacza pretekstem do ich odwołania był ich udział w pogrzebie studenta I roku Wydziału Chemii Marcina Antonowicza w Olsztynie, którego śmierć była rezultatem UB-eckiej represji studentów UG (zob. *Nadzwyczajne posiedzenie Senatu 1986, Pologne, Le recteur de l'université de Gdansk...* 1985; Śliwiński 1999a; Podhajska 1999).

Pozwolę sobie teraz powrócić do tamtych wydarzeń i przedstawić pewne późniejsze już wspomnienia, które zostały przypomniane w 1999 roku z okazji sesji poświęconej Pamięci Profesora Taylora, zorganizowanej 2 lata po jego śmierci przez Katedrę Biotechnologii Międzyuczelnianego Wydziału Biotechnologii UG i AMG. Materiały z tej sesji zostały opublikowane przez wydawnictwo Line Design Studio z Gdańska (Podhajska 1999) i w nich oprócz wspomnianych: notatki Taylora i mego listu, który napisałem w 1999 roku (Śliwiński 1999b) na zaproszenie prof. Anny Podhajskiej jako okolicznościowe wspomnienie o Karolu, znalazły się również zeskanowane w całości cytowane wyżej pozycje.

Odwołanie nastąpiło w dniu 27 listopada 1985 roku w formie zawezwania w tym dniu do Warszawy do ministerstwa całej naszej ekipy rektorskiej, gdzie odbył się „sąd kapturowy” (oficjalnie było to zaproszenie na posiedzenie ministerialnej komisji oceny kadry kierowniczej uczelni). Osobno godzinę rozmawiano z rektorem Taylorem, aby na koniec wręczyć mu odwołanie uprzednio już podpisane przez ministra Miśkiewicza. Wręczenia dokonał wiceminister Nowacki. Po rozmowie z rektorem komisja rozmawiała kolejno osobno z prorektorami (prof. B. Synakiem i ze mną). Prof. Z. Sawiczewska z powodu wyjazdu za granicę nie była wtedy z nami w Warszawie. Po „dokonaniu oceny” (w tych osobnych rozmowach) zakomunikowano nam również o decyzji ministra odwołującej rektora Taylora i pozostawiającej nas prorektorów na zajmowanych stanowiskach. Pożegnano się z nami i „komisja” zakończyła posiedzenie. Byliśmy zszokowani i udaliśmy się do oczekującego nas samochodu rektorskiego, aby wrócić jak najszybciej do Gdańska. Po drodze dzielił się wrażeniami i informacjami z rozmów z „komisją”, sfrustrowani nieoczekiwanymi decyzjami ministra, a od Karola dowiedzieliśmy się, że ma w teczce wręczenia także wiceministra również gotowe odwołania dla dziekana Kwapisza i prodziekana Grzywacza z poleceniem dostarczenia im tych decyzji po powrocie do Gdańska. Podziwiałem wtedy postawę Karola. Wyraził żal, że minister podjął tę decyzję. Przecież wiedział, że to co wykonał na swym stanowisku i to co robił z całym przekonaniem, poświęceniem i zapałem jest inaczej niż w ocenie ministra i lokalnych władz partyjnych doceniane i akceptowane przez środowisko Uniwersytetu Gdańskiego i również przez Senat UG (jeśli wyłączyć z niego władze partyjne i ich przedstawicieli w Senacie). Postanowił zaraz po powrocie z Warszawy zwołać nadzwyczajne posiedzenie Senatu. Odwołanie rektora Taylora, jak również przebieg tego nadzwyczajnego posiedzenia Senatu przeszły do historii Uniwersytetu Gdańskiego jako wydarzenia, które odbyły się szerokim echem w kraju (*Nadzwyczajne posiedzenie Senatu 1986*) i za granicą (*Pologne, Le recteur de l'université de Gdansk...* 1985) (fot. 43).

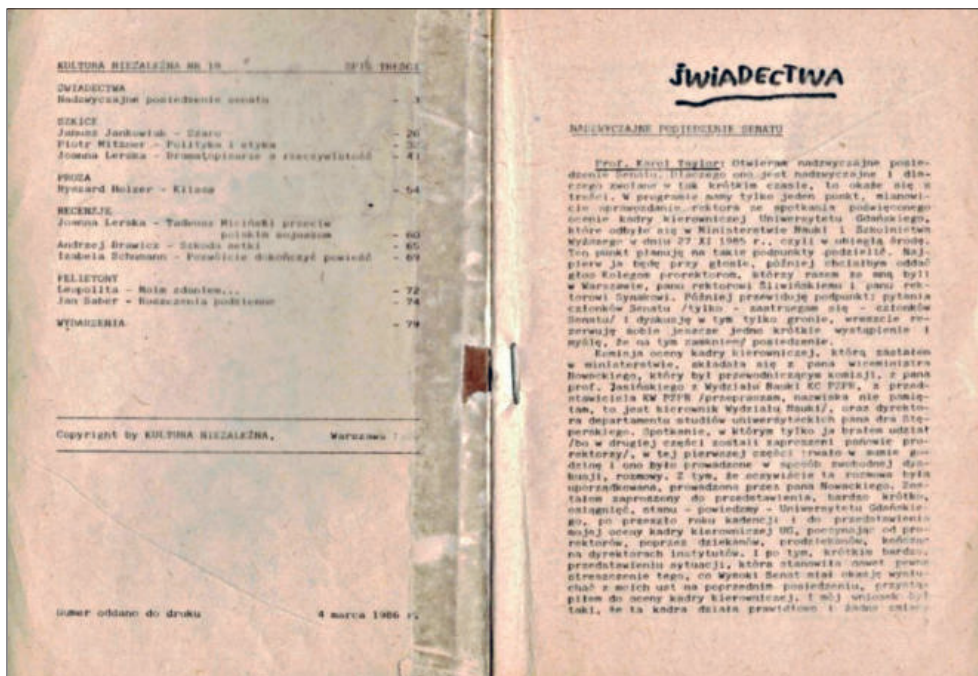


Fot. 43. Skan artykułu z „Le Monde” Paryż, 30 listopada 1985 roku informujący o odwołaniu rektora UG prof. K. Taylora, dziekana prof. M. Kwapisza i prodziekana doc. J. Grzywacza Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UG oraz o decyzji prorektorów prof. A. Śliwińskiego i prof. B. Synaka o ich rezygnacji ze stanowisk na znak protestu

Pamiętne posiedzenie Senatu UG odbyło się 29 listopada 1985 roku. Opublikowany w prasie podziemnej w czasopiśmie „Kultura Niezależna” stenogram oparty na nagraniu z taśmy magnetofonowej (*Nadzwyczajne posiedzenie Senatu* 1986) oddaje wiernie napięcie i emocje towarzyszące temu wydarzeniu poświęconemu sprawozdaniu rektora Taylora z wyjazdu do ministerstwa do Warszawy i zakomunikowaniu decyzji ministra, które przerodziło się w manifestację akademickiego protestu środowiska UG. W czasie trwającego sprawozdania rektora w pewnej chwili w sali znalazło się wiele osób niebędących członkami Senatu, którzy stopniowo dochodzili. Pojawiały się także delegacje z kwiatami, wyrażając „w pomrukach” swoją solidarność z rektorem i protestując przeciwko decyzji ministra. Jeden z członków Senatu wyraził ubolewanie, że posiedzenie jest zakłócanie przez osoby niepowołane („i taką ilość”) i prosił rektora o przywrócenie normalnej atmosfery obrad. Reakcja rektora była natychmiastowa. Zwrócił się do wchodzących z apelem: „bardzo proszę o poczekanie – nawet przy otwartych drzwiach, ale w holu i na schodach”. Wezwanie odniosło skutek. Posiedzenie trwało dalej, a tłum pracowników i studentów UG gromadził się w holu i na schodach, przysłuchując się obradom. Sprawozdania ekipy rektorskiej w konfrontacji z wypowiedzią Sekretarza Podstawowej Organizacji Partyjnej dr Jurkiewicza oraz dokonana przez prof. R. Głębockiego analiza mechanizmów działania egzekutywy partyjnej UG wykazały jasno, z czyjej inspiracji nastąpiły decyzje ministra. Na koniec posiedzenia prof. R. Głębocki przedstawił list otwarty wyrażający podziękowanie rektorowi K. Taylorowi za kierowanie uczelnią (a także dziekanowi M. Kwapiśowi i prodziekanowi J. Grzywaczowi za kierowanie wydziałem) i „za (...) stworzenie warunków rozwijania wolności nauki i zapewnienia odrębności światopoglądowych (...)” oraz protest uznający działania Ministra jako „skierowane przeciwko społeczności akademickiej” (*Nadzwyczajne posiedzenie Senatu* 1986) zob. też (Podhajska 1999: 197–220).



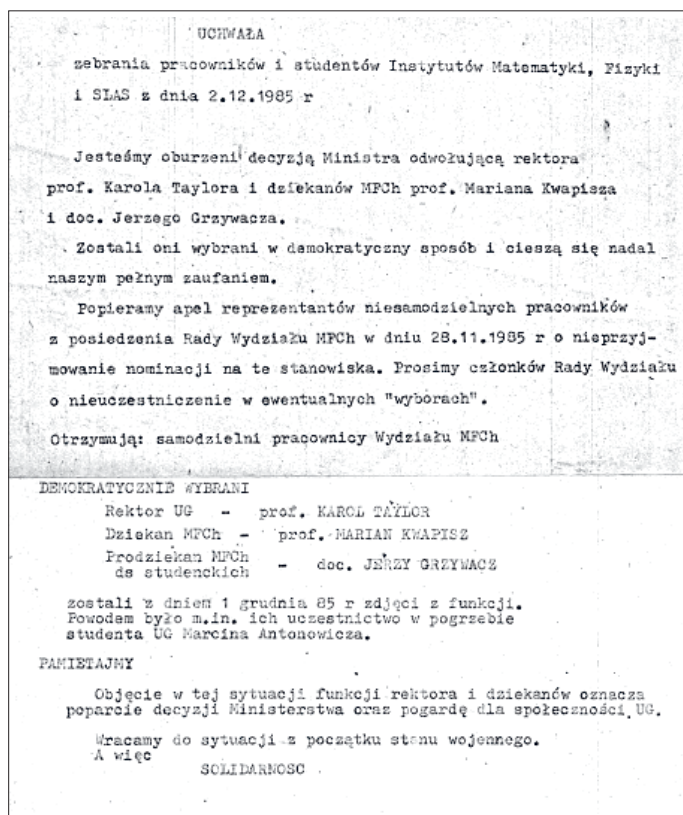
Fot. 44. Okładka broszurowego wydania nielegalnego miesięcznika „Kultura Niezależna” poświęcony nadzwyczajnemu posiedzeniu Senatu w listopadzie 1985 roku



Fot. 45. Strona wewnętrzna okładki i pierwsza strona artykułu w „Kulturze Niezależnej” poświęconego nadzwyczajnemu posiedzeniu Senatu UG w listopadzie 1985 roku

Po zakończeniu zebrania oczekujący pracownicy i studenci weszli na salę i zgotowali rektorowi olbrzymią, serdeczną spontaniczną owację. Równocześnie wielu członków Senatu i zgromadzonych osób podpisało ww. list otwarty. W ciągu następnego tygodnia list podpisywano masowo, a podpisy złożyło 1400 osób.

W dniu 2 grudnia 1985 roku odbyło się na naszym wydziale zebranie pracowników i studentów Instytutów: Matematyki i Fizyki, które podjęło uchwałę wyrażającą oburzenie z powodu decyzji MNiSzW (fot. 46).



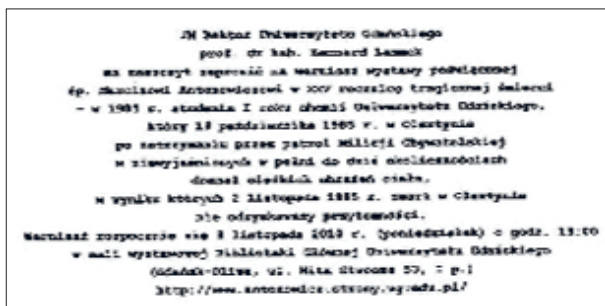
Fot. 46. Skan Uchwały wydziałowego zebrania pracowników i studentów Instytutów: Matematyki i Fizyki w dniu 2 grudnia 1985 roku

Pod kierunkiem rektora Taylora zespół prorektorów pracował sprawnie, z pełnym oddaniem i wzajemnym zaufaniem. Protestacyjne złożenie dymisji przez prorektorów a także prodziekana Wydziału Matematyki i Fizyki prof. J. Heldta, z dniem 1 grudnia 1985 roku stanowiło naturalną konsekwencję decyzji ministra a dla rektora Taylora było to wyrazem zupełnego dla niego uznania i solidarności. Zaraz potem urządowanie przejął nowy mianowany przez ministra rektor UG (na połowę drugiej kadencji 1984–1987) prof. dr hab. Mirosław Krzysztofiak (1985–1987) z Katedry Statystyki Instytutu Ekonomiki i Organizacji Produkcji UG.

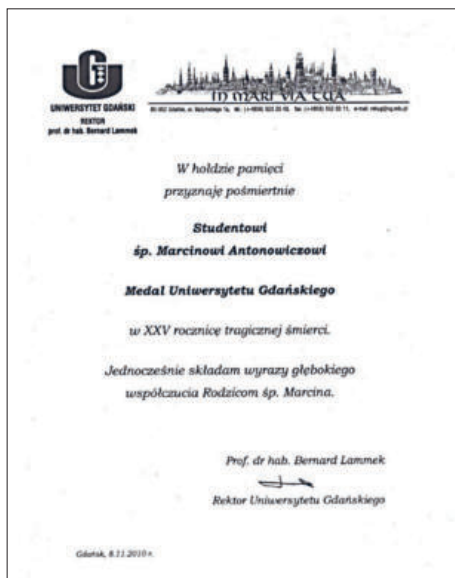
W następnych latach nasz zespół rektorski oprócz kontaktów na uczelni spotykał się w pełnym składzie (wraz z żonami i mężem Zosi Sawiczewskiej Andrzejem) regularnie na gruncie towarzyskim i nagle śmierć Karola w sierpniu 1997 roku uczyniła bolesną niepowetowaną wyrwę w naszym przyjacielskim gronie. Drugą bolesną stratą było odejście Brunka Synaka w grudniu 2013 roku (lubił jak używaliśmy jego kaszubskiego imienia, ale powszechnie zwracano się do niego spolszczonym Bronek). Oprócz opisaney wyżej kadencji prorektora UG ds. studenckich 1984–1985 pełnił

on później funkcję prorektora UG ds. kształcenia przez dwie kadencje (1990–1996) za czasów rektora prof. Zbigniewa Grzonki. Jako profesor socjologii położył wymierne zasługi dla rozwoju tej dyscypliny na UG, jak również dla środowiska kaszubskiego w naszym regionie, będąc przez dwie kadencje przewodniczącym Zarządu Głównego Zrzeszenia Kaszubsko-Pomorskiego w latach 1998–2004. W latach 2002–2010 był przewodniczącym Sejmiku Województwa Pomorskiego (Synak 2010; Synak 2014).

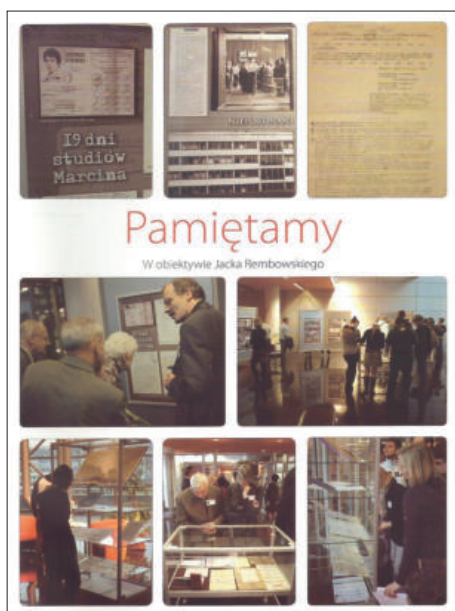
Warto tu również przypomnieć, że środowisko uniwersyteckie nie zapomniało o ofercie restrykcji UB Marcinie Antonowiczu. Dla uczczenia jego pamięci zorganizowano specjalną sesję-wystawę, której wernisaż miał miejsce w Bibliotece Głównej UG w dniu 8 listopada 2010 roku dla uczczenia 25 rocznicy jego śmierci. Fotografia 47 przedstawia skany zaproszenia JM Rektora Bernarda Lamka na ten wernisaż i dokumentu przyznania M. Antonowiczowi pośmiertnie medalu Uniwersytetu Gdańskiego (Czepulonis 2020), natomiast fotografia 48 zawiera okolicznościowe fotografie z wystawy. Z okazji tej wystawy w listopadowym numerze „Gazety Uniwersyteckiej” UG (Kwiek, Grzywacz 2010) ukazał się artykuł wraz z fotoreportażem z tego wernisażu. Ważnym elementem tej publikacji jest fakt, że jest to powtórzony artykuł *Pamiętajmy o Marcinie* napisany do „Gazety Uniwersyteckiej” UG z okazji 10 rocznicy śmierci Marcina Antonowicza przez prof. UG doc. dr. J. Grzywacza (wspominanego wyżej), który w 1985 roku razem z rektorem Taylorem i dziekanem Kwapiszem został odwołany ze stanowiska prodziekana za udział w pogrzebie Marcina w Olsztynie. Artykuł powtórzono „jako najbardziej dramatyczną relację upamiętniającą to wydarzenie”. Organizatorami tej wystawy na 25-lecie śmierci M. Adamowicza byli między innymi fizycy, głównie prof. P. Kwiek (jego działalności za czasów konspiracyjnej Solidarności poświęcimy jeszcze kilka słów poniżej).



Fot. 47. Bilet wstępu na wernisaż wystawy z okazji 35-lecia śmierci Marcina Antonowicza; a) awers biletu, b) rewers biletu



Fot. 48. Pośmiertne przyznanie medalu Uniwersytetu Gdańskiego śp. Marcinowi Antonowiczowi w 25 rocznicę tragicznej śmierci



Fot. 49. Fotoreportaż z wystawy 35-lecia śmierci Marcina Antonowicza w Bibliotece Głównej Uniwersytetu Gdańskiego; „Gazeta Uniwersytecka” UG 2010, nr 25 (118)

Echem pamiętania o tej wystawie jest na przykład niedawny wpis Ewy Cichockiej z Zespołu Prasowego UG na stronie UG w 10 rocznicę jej zorganizowania, która między innymi napisała: „Studenci i pracownicy UG pamiętali o Marcinie. Jego historię opisuje m.in. w swojej nowej, przygotowywanej do wydania książce Leszek Biernacki, ówczesny lider NZS-u i student filologii polskiej UG. Był on także autorem rocznicowej wystawy, którą zorganizowano na UG w 2010 roku, dzięki staraniom prof. dr hab. Piotra Kwieka z Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki UG. Wykorzystano materiały z IPN, a zdjęcia do niej udostępnił także dr Tomasz Pluciński z Wydziału Chemii UG (...) Autorami wystawy w 2010 r. byli: Leszek Biernacki, Marzena Grzegowska, prof. dr hab. Piotr Kwiek, dr Tomasz Pluciński i dr Tadeusz Zaleski” (Cichocka 2021).

Wracając do spraw instytutowych, które mimo wydarzeń nadzwyczajnych represyjnego jeszcze czasu (dopiero 2 lata po zakończeniu stanu wojennego) toczyły się w miarę normalnym trybem. Zanim przejdziemy do omówienia ważniejszych dla fizyki faktów, jak zjazdy i konferencje naukowe, a także zmiany strukturalne i organizacyjne instytutowe i wydziałowe, dodam jeszcze opis pewnych epizodów podziemnej walki z reżimem, jakie miały miejsce w naszym gmachu. Niewielu było wtajemniczonych i niewielu wiedziało, kto „to coś” zrobił, często z ogromnym narażeniem osoby czy zespołu zaangażowanych. Solidarność działała i dyskrecja była duża. Określone służby jednak działały (na przykład likwidowano palące się świece na klatce schodowej czy pojawiające się tam albo na dachu budynku transparenty i inne tym podobne akcje), interweniowały, szukając sprawców, ale nie zawsze im się udawało, choć czasem represje były poważne, niekiedy tragiczne jak wpadka z nadajnikiem TV zimą 1987 roku. Jej opis udostępnił mi później (w 2010 roku) w formie maszynopisu pt. *Przepis na tv* (Kwiek 2015)⁵ profesor Piotr Kwiek (w 1987 roku był doktorem fizyki, adiunktem pracującym w IFD w pracowni spektroskopii w ŚLAIŚ). Wspomina w tym opisie, jak wspólnie z elektronikami, początkowo z H. Bildziukiem (z Zakładu Fizyki Stosowanej), a później z mgr inż. Z. Garnuszem, zbudowali część cyfrową do nadajnika telewizyjnego dużej mocy, która miała trafić do Torunia (zgodnie z ustaleniami w ramach współpracy z docentem Janem Hanaszem, astrofizykiem z UMK). Było to już po wydarzeniach w Toruniu, w które doc. J. Hanasz był między innymi zaangażowany bezpośrednio, a polegały one na udanym wyemitowaniu przez kanał PRL-owskiej telewizji 4-minutowych komunikatów „Solidarności Toruń”. W dniu 14 września 1985 roku wieczorem w trakcie oglądania serialu *07 zgłoś się* w dzielnicy Starówka w Toruniu na ekranach odbiorców tv pojawiły się plansze z napisami: „Dość podwyżek cen, kłamstw i represji” i następna: „Bojkot wyborów naszym obowiązkiem”. Tydzień później w czasie emisji *07 zgłoś się* lokalne telewizory w dzielnicach Starówka i Rubinkowo odbierały „Solidarność Toruń” i jej komunikaty. Jednak działalność

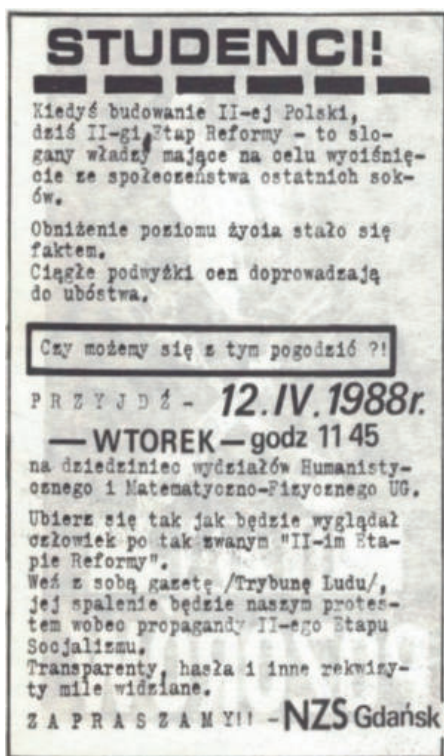
⁵ Z tego maszynopisu korzystałem, pisząc ten fragment artykułu. Jak się okazało, już po napisaniu tego artykułu i złożeniu w redakcji, w kontakcie z prof. Kwikiem dowiedziałem się, że treść tego maszynopisu stanowi rozdział XII (pod tym samym tytułem „Przepis na tv”) z książki Dariusza Wilczaka *Ponad stan: Solidarność: Historie Podziemne*. Dzięki tej informacji mogłem uściślić informację źródłową o pozycję (Wilczak 2006), za co jestem prof. P. Kwiekowi bardzo wdzięczny.

nadawców „Solidarności Toruń” skończyła się niestety wpadką. UB dokonała rewizji w mieszkaniach astrofizyków z UMK, doc. J. Hanasza i dr Leszka Zaleskiego, którzy „zakłócili mieszkańcom spokojny odbiór programu tv” i ich zatrzymała. Po doraźnym procesie otrzymali wyrok 1,5 roku więzienia w zawieszeniu. Informacje dotarły także do Gdańska do dr P. Kwieka, który za pośrednictwem doc. R. Głębockiego astrofizyka w UG nawiązuje kontakt z doc. J. Hanaszem i jego grupą. Rozpoczęła się współpraca i doszło do podziału ról w planach przyszłej budowy nadajników telewizyjnych większej mocy. Toruń miał wykonywać stopień mocy nadajnika, Gdańsk generator obrazu, a Wrocław części mechaniczne. Całe to późniejsze działanie w ramach kontaktu z J. Hanaszem oraz przedsięwzięcie budowy silniejszej stacji nadawczej prowadzone we współpracy między Toruniem, Gdańskiem i Wrocławiem było kontynuowane w Gdańsku podczas konspiracyjnych spotkań J. Hanasza z P. Kwikiem i Z. Garnuszem i testów generatora obrazu nadajnika, który miał później być przewieziony do Torunia celem dalszych prób w sprzężeniu ze stopniem mocy. W czasie prób w Gdańsku generatora obrazów wykonanego przez Z. Garnusza doszło (w zimie 1986 roku) do technicznej awarii urządzenia (z powodu mrozu podczas transportu „maluchem” przez P. Kwieka), co spowodowało, że J. Hanasz nie zabrał go z sobą do Torunia jak zaplanowano, ale dzięki temu uniknął niewątpliwych większych komplikacji, gdy przy wysiadaniu w Toruniu został aresztowany i przewieziony na komisariat MO na szczegółową rewizję, która ku rozczarowaniu służb nic na szczęście nie wykazała. Przez cały czas podróży był śledzony przez towarzyszących mu funkcjonariuszy UB, jak się wtedy zorientował (zob. bardziej szczegółowy opis w Kwiek 2015). Później prace były dalej kontynuowane i decyzją strony toruńskiej (Jacka Merkela i prof. Antoniego Stawikowskiego – szefa podziemnej Solidarności w Toruniu) wyłącznie w Gdańsku, dokąd udało się przesłać (doc. J. Hanaszowi do doc. R. Głębockiego) także stopień mocy nadajnika. Mgr Z. Garnusz pracował nocami, testując nadajnik telewizyjny i prace były prawie zakończone. Wszystko jednak załamało się za sprawą jego wpadki w „esbecki kocioł” w instytucie. SB znalazło nadajnik (nierozmontowany po nocnych jego próbach) i zastało mgr. Z. Garnusza w laboratorium. Aresztowano go i zabrano nadajnik.

Opisane wyżej wydarzenie pamiętam od chwili, gdy przyszedłem do pracy w godzinach rannych do instytutu i zauważyłem, że dzieje się coś niecodziennego. W sekretariacie dykcji poinformowano mnie, że jest dziwna „wizyta” w ŚLAiS. Udałem się tam i zauważyłem „dziwnych panów” w cywilu zabierających elementy zestawu elektronicznego i wyprowadzających aresztowanego mgr. Z. Garnusza. Zapytałem pracowników laboratorium, co zabrano, lecz oni nie wiedzieli, a z daleka widziałem, że to niewielkie elektroniczne urządzenie. Później w rozmowie z dr. P. Kwikiem dowiedziałem się co nieco o rodzaju tego urządzenia, ale nie dopytywałem, domyślając się tylko, że była to wpadka konspiracyjna. Oficjalnie zawiadomiłem rektora i prosiłem o interwencję w sprawie aresztowania Z. Garnusza. Jednak nie było później odzewu i jak większość takich spraw wtedy, było to poza zasięgiem uczelni. Później dowiedziałem się, że mgr Z. Garnusz, po wyjściu z aresztu, po jakimś czasie

wyjechał do USA, skąd po 2 latach wrócił (po wylewie do mózgu) i po kilku latach zmarł w 1999 roku. Działalność konspiracyjna dr. P. Kwieka, o którą podejrzewał go Komitet Uczelniany PZPR, powodowała w późniejszych latach istotne zaburzenia w jego dalszej karierze naukowej, na którą czynniki partyjne wpływały, szczególnie w opóźnieniu zatwierdzenia jego habilitacji w Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej, a jeszcze później przy wniosku o profesurę.

W miarę upływu czasu po stanie wojennym uniwersytecka działalność stawała się coraz swobodniejsza i represje ze strony władz zmniejszały się. Nawet organizacje partyjne były już raczej bezradne (zob. Bień 2021b: 228–232). Coraz aktywniej działały i walczyły organizacje studenckie (fot. 50 a, b) i akademickie aż do roku 1989, gdy „upadł u nas komunizm”.



Fot. 50. Przykładowa ulotka (a) i jej rewers (b) Niezależnego Zrzeszenia Studentów z 1988 roku

Kontaktów naukowych staraliśmy się nie przerywać, choć były one wtedy ograniczone, to rozwijały się coraz lepiej. Jako pewien przykład podam, że nawet po opisanych wyżej przejściach i odwołaniu władz rektorskich, już po kilku tygodniach braliśmy udział (dr A. Markiewicz i ja) w październiku w 1985 roku w prestiżowej międzynarodowej konferencji na temat ultradźwiękowych metod badań materiałów

niejednorodnych (notabene sponsorowanej przez NATO) w Erice na Sycylii w Centrum Fizyki Teoretycznej „Ettore Majorana Centre”. Była to druga tego rodzaju konferencja z naszym udziałem (po pierwszej w 1982; następna była tam organizowana w 1991 roku, o której też już z wyprzedzeniem wspominałem).



Attendants in the Erice S.Francesco's courtyard

- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1. A.Zarembowitch | 24. G.Socino |
| 2. G.Bonnet | 25. A.Markiewicz |
| 3. R.Zilber | 26. D.A.Hutchins |
| 4. R.C.Chivers | 27. D.Rypien |
| 5. E.J.Schmidt | 28. L.Palmieri |
| 6. B.Terliuc | 29. M.Musulluoglu |
| 7. A.Kulik | 30. M.A.Neto Coelho |
| 8. J.F. de Belleval | 31. J.D.Skinner |
| 9. G.Busse | 32. B.A.Auld |
| 10. G.Gagliardi | 33. L. Covi |
| 11. M.Mezzana | 34. S.Baste |
| 12. A.Sliwinski | 35. L.Adler |
| 13. G.Gremaud | 36. J.A.Gallego Juarez |
| 14. J.D.N.Cheeke | 37. J.W.Wolf |
| 15. W.G.Mayer | 38. Mrs W.Madigosky |
| 16. A.Alippi | 39. W.Madigosky |
| 17. V.Bucur | 40. E.Soczkiwicz |
| 18. C.M.Sayers | 41. H.T.Tran |
| 19. C.Sinclair | 42. G.R.Laguna |
| 20. B.Zeqiri | 43. A.Marini |
| 21. C.Carlotti | 44. T.Alper |
| 22. C.Picornell | 45. H.Karagülle |
| 23. K.Mampaert | 46. F.Cordero |

Fot. 51. a) Szkoła „Ultradźwiękowe metody oceny niejednorodności materiałów”, Erice, Sycylia 1985 rok. b) rozmieszczenie i spis uczestników Szkoły w Erice, Sycylia 1985 rok



Fot. 52. Szkoła „Ultradźwiękowe metody oceny niejednorodności materiałów”, Erice, Sycylia 1985 rok. Wycieczka do Seli Lunte: ruiny greckiej świątyni; w środku prof. B.A. Auld, po lewej prof. C. Sinclair, a z prawej prof. A. Śliwiński

O kontynuowaniu kontaktów międzynarodowych w latach osiemdziesiątych świadczy na przykład to, że IFD UG zorganizował w maju 1986 kolejną 3. Wiosenną Szkołę Acoustooptics & Applications w Wieżycy z udziałem kilkunastu specjalistów z Europy, z Kanady i USA. Świadczy o tym również nasze uczestnictwo w konferencji poświęconej ultradźwiękom i akustyce podwodnej, którą organizował w Kanadzie w Halifaksie wyżej wspomniany profesor H.G. Jones. Ten wyjazd do Halifaksu dobrze pamiętam ze względu na dość uciążliwą (ze względów dewizowo-oszczędnościowych), ale interesującą podróż (samolotem PL LOT do Montrealu, a dalej prawie 20-godzinną jazdę autobusem linii „Gray Houd” aż do Halifaksu). Dr Anna Markiewicz, która też uczestniczyła w tej konferencji, miała bezpośrednie połączenie lotnicze. Byliśmy wtedy bardzo serdecznie przyjmowani na Uniwersytecie Dalhousie i spotkaliśmy interesujących specjalistów akustyki i fizyki morza, między innymi Polaków, jak na przykład prof. A. Zielińskiego (potem wielokrotnie przyjeżdżał do Polski) czy dr. Mirosława Jonasza (przeniósł się tutaj po doktoracie u prof. J. Dery w IO PAN w Sopocie), który umożliwił nam wizytę w Institute of Oceanography, gdzie pracował. Profesorowi H.G. Jonesowi, pełnomorskiemu żeglarzowi Pacyfiku, organizatorowi konferencji, zawdzięczamy nie tylko sam w niej udział, ale również po jej zakończeniu obwiezienie nas po okolicach Chester w Nowej Szkocji i szeroką dyskusję o jego dokonaniach i planach współpracy, zakończone ugoszczeniem w swoim domu w Allen Heigts w Tantallon. Do Gdańska wracałem już drogą lotniczą z dwudniowym pobylem w Toronto.

2.2. Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii żegna chemików i zmienia nazwę

W strukturze wydziału fizycy i chemicy bardzo zgodnie i efektywnie działali dla dobra wspólnego. Chemicy odczuwali jednak dużą niedogodność odległości swojego dziekanatu w Oliwie od Instytutu Chemii na Sobieskiego, a także planowali utworzenie osobnego Wydziału Chemii dla szybko i z dużymi osiągnięciami naukowymi na UG rozwijającej się dziedziny wiedzy. W końcu 1990 roku uchwałą Senatu UG nastąpiło rozdzielenie wydziału na Wydział Chemii (dziekanem wybrano prof. Jerzego Błażejowskiego, ostatniego dyrektora Instytutu Chemii UG przed podziałem) i Wydział Matematyki i Fizyki (Błażejowski 2020). Później, od 1 października 2003 roku, gdy powstał Instytut Informatyki, w nazwie dodano jeszcze: Informatyka. Od 1991 roku na mocy ministerialnego rozporządzenia Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki na zasadzie kontynuacji posiada prawa doktoryzowania i habilitowania w zakresie matematyki i w zakresie fizyki, integruje fizyków obydwu instytutów, szczególnie w zakresie kształcenia i koordynacji zajęć dydaktycznych. Luźniejsze są jednak związki w zakresie badań i osiągnięć naukowych i każdy z nich tworzy własną już historię (Żukowski 2019; Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej b.d.; Grinberg 2019). W sposób więc oczywisty informacje w tym artykule w miarę opisywania kolejnych lat będą coraz bardziej ograniczały się do IFD, a w ramach tego instytutu będą często dotyczyły zagadnień naszego zespołu akustyki i będą bardziej osobiste.



Fot. 53. Spotkanie pracowników IFTiA w salce seminaryjnej (2002). W pierwszym rzędzie od lewej: Władysław Majewski, Ryszard Horodecki, Danuta Makowiec, Ewa Paul, Robert Głębocki; w drugim rzędzie od lewej: Marek Żukowski, Michał Horodecki, Elżbieta Bielicz, Wiesław Miklaszewski, Andrzej Posiewnik, Robert Alicki, Stanisław Kryszewski, Eugeniusz Czuchaj, Janusz Czub, Piotr Gnaciński, Jerzy Sikorski

Przed przejściem do omawiania kolejnych wydarzeń bardziej związanych z historią Instytutu Fizyki Doświadczalnej, jako bliższą i lepiej zapamiętaną, bo w nim pracowałem, chciałbym naszkicować pewne ogólne kierunki działalności charakteryzujące te dwa instytuty koordynowane na szczeblu wydziału. Ich rozwój w ramach tego wydziału konsekwentnie się odbywał i kształtował w oddzielnych zakładach i zespołach naukowych, zgodnie z tematyką w wybranych dziedzinach i doprowadził do osiągnięć przynoszących Uniwersytetowi Gdańskiemu chlubę i uznanie w kraju i w świecie (Horodecki i in. 2019; *Zasługi dla wydziału* b.d.; Jaśkowiak, Czechowska-Derkacz b.d.). Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki (zob. fot. 53) prowadził i kontynuuje badania w dziedzinach mechaniki kwantowej, układów atomowych i molekularnych oraz ich oddziaływania ze światłem, fizyki statystycznej i matematycznych podstaw fizyki kwantowej, a także analiz warunków fizycznych w atmosferach gwiazdowych i innych problemów astrofizyki. Zajmując się badaniami w dziedzinie kwantowej teorii informatyki, w szczególności teorii kwantowego splątania, osiągnął między innymi wynikami bardzo wiele, tworząc Gdańską Szkołę Informatyki Kwantowej (prace rodziny Horodeckich (Horodecki i in. 2019) i zespołu prof. Żukowskiego (2019) i ich współpracowników), bardzo znaną i uznaną szeroko przez światowe autorytety. W roku 2007 zostało utworzone Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej (Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej b.d.) działające w strukturze Uniwersytetu Gdańskiego, które w ramach grantu Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej finansowanego z funduszy Unii Europejskiej przekształciło się w międzynarodowe Centre for Theory of Quantum Technologies (Żukowski 2019; Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej b.d.). Fizycy kwantowi w okresie dynamicznego rozwoju zespołów w ciągu ostatnich 20 lat byli szczególnie docenieni w skali krajowej i międzynarodowej, uzyskując wiele nagród, wyróżnień i grantów na badania naukowe (Jaśkowiak, Czechowska-Derkacz b.d.).

Wynikiem współpracy międzynarodowej IFTiA było także nadanie doktoratów honoris causa UG dwóm wybitnym fizykom: prof. Charlesowi H. Bennetowi z Uniwersytetu w Montrealu i prof. Antonowi Zeilingerowi z Uniwersytetu w Wiedniu. Dalszy systematyczny wkład gdańskiej grupy fizyków teoretyków w rozwój informatyki kwantowej był szczególnie owocny i ewidentnie wymierny w liczbie publikacji i liczbie ich cytowań, a także widoczny w karierach uzyskiwania stopni naukowych i awansach zawodowych wpływających na całokształt działalności naukowo-dydaktycznej UG. Pisząc dziś te słowa (sierpień 2021), chciałbym dodać, że z dumą stwierdziłem po napotkaniu informacji w internecie, że na Uniwersytecie Gdańskim odbywa się nabór studentów na nowo utworzony kierunek studiów na fizyce: Quantum Information Technology, full-time master studies (second cycle).

W Instytucie Fizyki Doświadczalnej prowadziło się i kontynuuje badania w dziedzinach: fizyki atomowej, molekularnej i ciała stałego, a także w interdyscyplinarnych dziedzinach fizyki medycznej, biofizyki oraz nanotechnologii i ochrony środowiska, akustyki, fotoakustyki, akustooptyki, akustyki molekularnej. Fizyka doświadczalna

Starsi wykładowcy: dr Kazimierz Knapiński
mgr Adam Dziubich (1/3 etatu)

Asystent: mgr Ewa Mioduszevska

Pracownicy inż.-techn.: Konrad Kierzek
mgr inż. Mirosław Ławniczek
mgr Halina Makarewicz
Grażyna Pogorzelska

Zakład Fizyki Doświadczalnej

Kierownik zakładu Prof. zw. dr hab. Józef Heldt

Nauczyciele akademicy:

Docent: dr hab. Andrzej Kowalski

Starsi wykładowcy: dr Kazimierz Dunajski (1/2 etatu)

Asystenci: mgr Ryszard Drozdowski
mgr Rafał Ławruszczak
mgr Andrzej Niemczyk
mgr Jacek Stępień

Pracownicy nauk.-tech.: mgr Marek Blukis
dr Jan Szczepański

Pracownicy inż.-tech.: Przemysław Kierzkowski
Ewa Suligowska (1/2 etatu)
mgr Mirosław Walkiewicz

Zakład Fizyki Molekularnej

Kierownik zakładu prof. dr hab. Alfons Kawski

Nauczyciele akademicy:

Adiunkci: dr hab. Jerzy Kamiński
dr Maria Alicka
dr Piotr Bałuk
dr Jerzy Czajko
dr Ignacy Gryczyński
dr Janina Heldt
dr Jan Kukielski
dr Aleksander Kubicki
dr Kazimierz Nowaczyk
dr Małgorzata Szpakowska

Asystent:	mgr Piotr Bojarski
Pracownicy nauk.-tech.:	mgr Benedykt Kukliński mgr Irena Lenartowicz-Weyna mgr inż. Andrzej Zieliński
Pracownicy inż.-tech.:	Renata Basis mgr Jan Lichacz mgr Halina Kosińska (1/2 etatu) Mariusz Wojciechowski
Pracownik administracyjny:	Elżbieta Caban (1/2 etatu)

Zakład Fizyki Ogólnej

Kierownik zakładu	doc. dr Jerzy Grzywacz
Nauczyciele akademicy:	
Adiunkci:	dr Małgorzata Grus dr Andrzej Horodecki dr Anna Jankowska-Frydel dr Mirosława Łeppek dr Janusz Młodzianowski dr Bogumiła Polacka dr Jerzy Wojtkowiak
Starszy wykładowca:	dr Romuald Pohoski
Pracownicy nauk.-tech.:	mgr Danuta Konderska-Oleksińska mgr Zygmunt Trumpakaj mgr Tadeusz Zaleski
Pracownicy inż.-tech.:	mgr Bogdan Jasiński mgr Piotr Osiecimski mgr Jolanta Pohoska mgr Władysław Strugała mgr Ewa Trela

Zakład Fizyki Stosowanej

Kierownik zakładu	prof. dr hab. Czesław Lewa
Nauczyciele akademicy:	
Profesorowie:	prof. zw. dr hab. Antoni Śliwiński
Docent:	dr hab. Leszek Woliński

Adiunkci:	dr Barbara Dogil dr Marek Kosmol dr Danuta Lewandowska dr Bogumił Linde dr Anna Szafranek dr Witold Ziółkowski
Asystenci:	mgr Wiesława Zaleska mgr Grażyna Żebrowska
Pracownicy nauk.-techn.:	dr Maria Borysewicz dr Stanisław Łętowski dr Edward Kuteń dr Janusz Szurkowski dr inż. Konrad Witkowski (1/2 etatu)
Pracownicy inż.-techn.:	Bogna Dałek Jan Kuźnicki mgr Inż. Jacek Pączkowski Lucyna Skarżyńska Paulina Szymczak (1/2 etatu) Ewa Zając

Zakład Akustyki i Fizyki Laserów

Kierownik zakładu	doc. dr hab. Piotr Kwiek
Nauczyciele akademicy:	
Adiunkci:	dr Zdzisław Konefał dr Anna Markiewicz
Asystent:	mgr Grzegorz Piszczek
Pracownicy inż.-techn.:	mgr Ingrid Głębocka mgr Marak Ignaciuk Tomasz Katkowski

Laboratorium Akustyki i Spektroskopii

Kierownik zakładu	prof. dr hab. Czesław Lewa
Z-ca kierownika:	dr Stanisław Zachara

Pracownia Akustyki

Kierownik pracowni: dr Władysław Bandera
 Adiunkci: dr Władysław Bandera
 dr inż. Lech Lipiński
 dr Stanisław Pogorzelski
 dr Krzysztof Śródecki

Pracownicy nauk.-techn.: mgr Zenon Garnusz
 mgr inż. Nina Kosińska
 mgr Bogdan Nienałtowski
 mgr inż. Kazimierz Nogalski
 mgr Mirosław Sujecki

Pracownia Spektroskopii

Kierownik pracowni: dr Stanisław Zachara
 Adiunkt: dr Stanisław Zachara

Pracownicy nauk.-techn.: mgr Maria Lewa
 dr Anna Sikorska

Pracownik administracyjny: Grażyna Świtalska

Zespół pracowników inżynieryjno-technicznych, naukowo-technicznych i administracyjnych

Kierownik Zespołu mgr inż. Andrzej Zieliński

Pracownicy administracyjni: Bolesława Kolaska
 Krystyna Kielbasa

Pracownia Elektroniczna – mgr inż. Paweł Czyż

Pracownicy inż.-techn.: mgr Danuta Chłopicka-Fenc
 Olaf Fenc

Pracownia Obróbki Mechanicznej – Kazimierz Juszyński**Pracownia Fotograficzna** – Alicja Pietrzyk**Magazyn** – Maria Kinczel**Pracownia Szklarska** – Ryszard Napiórkowski**Warsztat Mechaniczny** – Ryszard Żółtek, Włodzimierz Kaczmarski,
 Ryszard Mirkiewicz, Andrzej Żółtek

Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki

Dyrektor instytutu prof. dr hab. Jan Fiutak
Z-ca dyrektora instytutu doc. dr hab. Władysław A. Majewski
Sekretariat instytutu Elżbieta Ostrowska

Zakład Fizyki Teoretycznej

Kierownik zakładu doc. dr hab. Eugeniusz Czuchaj

Nauczyciele akademicy:

Profesor: prof. dr hab. Jan Fiutak
Docent: doc. dr hab. Eugeniusz Czuchaj

Adiunkci: dr Janusz Czub
 dr Ryszard Horodecki
 dr Stanisław Kryszewski
 dr Jacek Mizerski
 dr Wiesław Miklaszewski
 dr Ewa Paul-Kwiek
 dr Józef Skienkiewicz
 dr Marek Żukowski

Asystent: mgr Radosław Szmytkowski

Pracownicy inż.-techn.: Izabella Żylińska

Zakład Metod Matematycznych Fizyki

Kierownik zakładu doc. dr hab. Robert Alicki

Nauczyciele akademicy:

Docenci: doc. dr hab. Robert Alicki
 doc. dr hab. Władysław A. Majewski

Adiunkci: dr Andrzej Posiewnik

Starszy asystent: mgr Sławomir Rudnicki

Pracownicy inż.-techn.: dr Danuta Makowiec

Zakład Astrofizyki

Kierownik zakładu prof. dr hab. Robert Głębocki

Nauczyciele akademicy:

Docent: dr hab. Jerzy Sikorski

Adiunkci: dr Elżbieta Bielicz
 dr Mikołaj Baryłko
 dr Marcei Krogulec

Starszy asystent: mgr Zbigniew Pastuszka

2.3. Lata dziewięćdziesiąte i przełom wieków

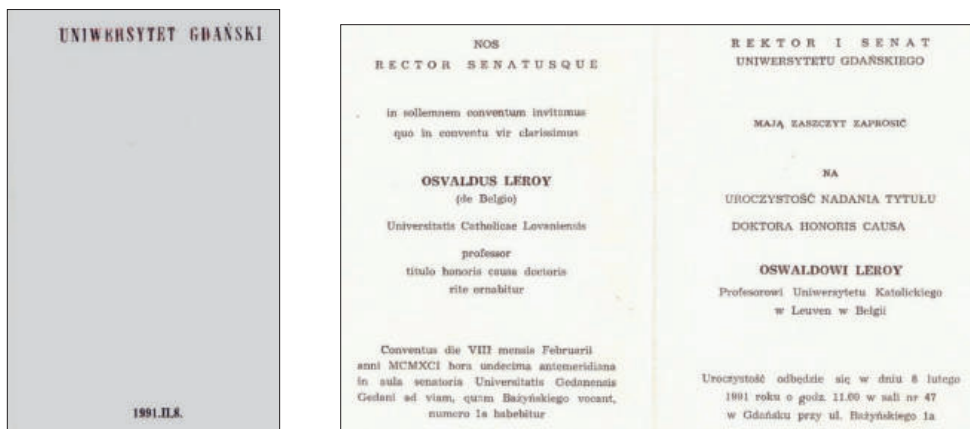
Po inauguracji w jubileuszowym roku 40-lecia startowaliśmy w lata dziewięćdziesiąte z entuzjazmem w atmosferze wszelkich pozytywnych zmian politycznych w 1989 roku i w nowej strukturze dwóch instytutów na nowym Wydziale Matematyki i Fizyki, którego dziekanem na kadencję 1990–1993 został wybrany matematyk prof. dr hab. Kazimierz Gęba (specjalista topologii i przestrzeni Banacha; w roku 1998 przeniósł się na Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej). Ocenialiśmy naszą przyszłość bardzo optymistycznie i z nadzieją następnych osiągnięć. Potencjał naukowo-dydaktyczny zakładów i naukowy zespołów badawczych był ugruntowany, a ich działalność krajowa i międzynarodowa rozwijała się dzięki nawiązanym kontaktom i rozwijanej współpracy.



Fot. 54. Uroczysta inauguracja jubileuszowego roku akademickiego 1990/91 przez rektora Zbigniewa Grzonkę

Towarzyszące nam wtedy zmiany polityczne i społeczne też napełniały nas nadzieją i zapałem do działania. W styczniu 1991 roku nasz astrofizyk prof. R. Głębocki zostaje Ministrem Edukacji Narodowej i sprawuje tę funkcję do grudnia tego roku (w rządzie premiera Krzysztofa Bieleckiego). Nie traci kontaktu z uczelnią i często się w instytutach i na wydziale spotykamy, dyskutujemy, planujemy i działamy w codziennym trybie akademickim. Prof. R. Głębocki później działał politycznie w Unii Wolności i sprawował różne funkcje tam i w Sejmiku Województwa Pomorskiego, ale wrócił do czynnej działalności akademickiej: w latach 1993–1999 był dyrektorem Instytutu Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki UG i służył całemu środowisku akademickiemu w uczelni w kraju i w kontaktach międzynarodowych. Prof. R. Głębocki zmarł w 2005 roku i spoczywa na cmentarzu Srebrzysko w Gdańsku.

Jednym z przejawów współpracy międzynarodowej fizyków UG było nadanie kolejnych doktoratów honoris causa UG: profesorowi Oswaldowi Leroyowi z Katolickiego Uniwersytetu w Leuven w Belgii (w 1991 roku) i profesorowi Michaelowi Kashy z Florida State University, Tallahassee, Florida, USA (w 1992 roku) a także, o czym już wyżej wspomniano, profesorom: Charlesowi H. Bennettowi z Montrealu i Antonowi Zeilingerowi z Wiednia (obu w dniu 25 maja 2006 roku).



Fot. 55. Zaproszenie na uroczystość nadania tytułu doktora honoris causa UG prof. O. Leroyowi z KU Leuven z Belgii



Fot. 56. Skan kopii dyplomu doktoratu honoris causa UG prof. O. Leroya z KU Leuven w Belgii, Gdańsk, 1991 rok



Fot. 57. Uroczystość nadania tytułu doktora honoris causa UG prof. O. Leroyowi (w środku), Gdańsk 1991 rok. Po lewej prof. A. Kowalski, dziekan Wydziału Mat. Fiz. UG, prof. A. Śliwiński, promotor



Fot. 58. Prof. Janusz Sokołowski w rozmowie z laureatem doktoratu h.c. prof. Oswaldem Leroyem, Gdańsk, 1991 rok

Współpraca naszego zespołu z prof. O. Leroyem w zakresie akustooptyki zaowocowała dużym dorobkiem publikacyjnym koleżanek i kolegów zespołu. Osiągnięcia gdańskiej akustooptyki opisano w opublikowanych artykułach o historii akustyki na Wybrzeżu (Śliwiński 2009; Śliwiński 2018) i w artykułach w skali międzynarodowej (Leroy, Martens 1992; Śliwiński b.d., Ting-Chung 2009; Śliwiński 1999), do których odsyłam.



Fot. 59. Uroczystość nadania tytułu doktora honoris causa UG prof. O. Leroyowi, Gdańsk 1991; w środku: Monsignore prof. Martens, rektor KU Leuven, Campus Kortrijk w rozmowie z arcybiskupem Tadeuszem Goćłowskim Metropolita Archidiecezji Gdańskiej; z prawej w kapeluszu: Agnes Leroy, żona laureata od lewej: doc. dr hab. Zofia Szponar

Tutaj chciałbym jeszcze przypomnieć o unikalnym laboratorium w IFD UG zbudowanym przez dr. P. Kwieka oraz jego współpracowników: mgr (później dr) I. Wojciechowską, mgr (później dr) A. Markiewicz i wypromowanych później przez niego doktorów (Grzegorza Gondka, Tomasza Katkowskiego, Ireneusza Grulkowskiego), którzy opublikowali wiele prac wspólnych w wyniku ścisłej współpracy z prof. O. Leroyem. Było to laboratorium usytuowane na poziomie piwnicy pod gmachem wydziału, specjalnie wyposażone w antywstrząsowe podłoże dla specjalnie projektowanych i wykonywanych doświadczeń oddziaływania światła z falami ultradźwiękowymi (zob. fot. 76). Prof. P. Kwiek współpracował także z teoretykami w zespole prof. Marka Żukrowskiego.

W latach dziewięćdziesiątych oprócz Zakładu Fizyki Stosowanej powstały w instytucie: Zakład Akustyki i Fizyki Ciała Stałego, potem Akustyki i Fizyki Jądrowej (po moim odejściu na emeryturę kierował nim prof. UG, dr hab. B. Linde, później profesor tytularny, do emerytury w 2017 roku) oraz Zakład Akustooptyki i Fizyki Laserów (kierował nim prof. dr hab. P. Kwiek). Później zakład ten stał się samodzielną Pracownią Akustooptyki i Interferometrii Kwantowej (od roku 2015), a akustooptyczne zainteresowania badawcze prof. P. Kwieka znalazły zastosowanie w wykonaniu badań eksperymentalnych na temat ugięcia skorelowanej pary fotonów na fali ultradźwiękowej we współpracy z wyżej wspomnianą w rozdz. 3.2 grupą fizyków teoretyków z Instytutu Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki (kierowanej przez prof. dr. hab. M. Żukowskiego, obecnie Dyrektora Centre for Theory of Quantum Technologies przy UG). Współpraca i badania w tym zakresie są prowadzone i mają znaczenie dla potwierdzenia kwantowej teorii stanów splątanych i dla kryptologii kwantowej, w których to dziedzinach grupa gdańskich teoretyków uzyskała duże sukcesy, plasując się w czołówce światowej. Ostatnio (wrzesień 2022) prof. P. Kwiek opublikował wyniki swoich doświadczeń ugięcia skorelowanej pary fotonów na fali ultradźwiękowej, które pogłębiają wiedzę o mechanizmie tego zjawisko i różnią się interpretacją wyników od prac wykonanych przez A. Zeilingera z Wiednia.

Przyznanie w 1992 roku doktoratu honoris causa Uniwersytetu Gdańskiego Profesorowi M. Kashy z Instytutu Fizyki Biomolekularnej, Florida State University, Tallahassee, USA, wybitnemu specjalście w zakresie fizyki molekularnej, w szczególności luminescencji i spektroskopii optycznej, było wynikiem współpracy zespołu prof. A. Kawskiego i prof. J. Heldta (przebywał tam jako visiting profesor w latach 1987–1989 w grupie prof. M. Kashy na stażu naukowym w Instytucie Biofizyki Molekularnej, Florida State University). Jednocześnie w tym instytucie staż naukowy odbywała jego żona, prof. J. Heldt u prof. Harolda Van Warta. Kilku współpracowników i wychowanków profesorów A. Kawskiego i J. Heldta przebywało na stażach naukowych w USA, uzyskując liczące się wyniki swoich badań; między innymi Ignacy Gryczyński (absolwent UG, wypromowany przez Kawskiego doktor, długoletni i wybitny jego współpracownik, który związał swoją karierę naukową po stażu u Kashy z amerykańskim University of North Texas, Health Science Center i w czasie swego tam

pobyty opublikował dotąd ponad 400 prac). Z osobą I. Gryczyńskiego wiąże się dość niechlubna historia, która wydarzyła się na naszym wydziale. Kiedyś po kilkuletnim pobycie w USA chciał on wrócić do IFD i nawet wszczął o to formalne starania, jednak jego wniosek przepadł na radzie wydziału, gdyż fizycy przegłosowali wysuniętą tam dziwną propozycję „żeby najpierw się habilitował” – chociaż miał już więcej niż 100 liczących się publikacji. Zachowanie członków rady było dość osobliwe i nieobiektywne, bo zrobiliby habilitację łatwo zaraz po przyjeździe do IFD, mając taki dorobek (liczbę publikacji i dużą liczbę ich cytowań). Po tym wydarzeniu zdecydował więc nie wracać i pozostał w USA na stałe.

Prof. M. Kasha zmarł w 2013 roku, ale jeszcze przed swoją śmiercią przyjechał do Gdańska w 2011 roku na zaproszenie następców i wychowanków prof. A. Kawskiego, którzy urządzili dedykowane jemu seminarium powiązane z wystawą i jubileuszem jego 90 rocznicy urodzin. Miałem zaszczyt uczestniczyć w tym spotkaniu. Fotografia 60 przedstawia skan zaproszenia władz Wydziału MFI, z którego z dużą satysfakcją wtedy skorzystałem.



Fot. 60. Zaproszenie dziekana Wydziału MFI UG prof. W. Majewskiego na uroczyste seminarium i otwarcie wystawy dedykowanej prof. M. Kasha doktorowi honoris causa UG z okazji jego 90-lecia urodzin, Gdańsk, 2011 rok

Następne wspomniane wyżej dwa doktoraty honoris causa nadane przez Uniwersytet Gdański w 2006 roku były wyrazem uznania dla dorobku naukowego w dziedzinie informatyki kwantowej wybitnym profesorom: prof. Charlesowi H. Bennettowi „za fundamentalny i wszechstronny wkład w rozwój nowej gałęzi nauki – kwantowej teorii informacji, jako podstawy kwantowej technologii i nowego rozumienia natury”, a prof. Antonowi Zeilingerowi „za cykl fundamentalnych eksperymentalnych testów kwantowej natury światła i wkład w rozwój kwantowej informacji”

(Czechowska-Derkacz (2006). Uroczystość wspólna ceremonii nadania tych doktoratów przez rektora Andrzeja Ceynowę była między innymi wyrazem ugruntowania dobrze układającej się współpracy naukowej gdańskich fizyków kwantowych i była bardzo inspirującym wydarzeniem dla ich dalszych osiągnięć, także tych wyżej już wspomnianych (Jaškowiak, Czechowska-Derkacz b.d.; Żukowski 2019; Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej; Ting-Chung 2009). Fotografie poniżej przedstawiają fizyków z obydwu instytutów, członków Rady Wydziału Matematyki Fizyki i Informatyki UG, którzy w tych uroczystościach uczestniczyli.



Fot. 61. Fizycy UG w przerwie uroczystości nadania doktoratów honoris causa UG profesorom C.H. Bennettowi i A. Zeilingerowi, Gdańsk, 2006; od lewej: a) M. Grinberg, P. Bojarski, J. Sikorski, R. Drozdowski, J. Heldt; b) P. Bojarski, J. Sikorski, R. Drozdowski, B. Linde

Omawiając powyżej sprawę doktoratów h.c. nadanych sławnym fizykom na naszym uniwersytecie, chciałbym wspomnieć również o wizycie w naszym instytucie w dniach 17–18 października 1991 roku prof. Józefa Zwiśłockiego, który trzy dni wcześniej otrzymał doktorat h.c. Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. J. Zwiśłocki był wybitnym akustykiem i fizjologiem, amerykańskim profesorem polskiego pochodzenia urodzonym we Lwowie w 1922 roku, wnukiem Ignacego Mościckiego (zasłużonego profesora chemii i przedwojennego Prezydenta RP). Przed wojną, jako uczeń A. Piekary (wspomnianego już wyżej, który po wojnie był profesorem na Politechnice w Gdańsku i później w UAM w Poznaniu), w Gimnazjum i Liceum im. Sułkowskich w Rydzynie został zainspirowany fizyką i doświadczeniami z akustyki, a później po studiach w Szwajcarii (doktorat w 1948) zamieszkał (od 1951) w USA. Tam znalazł się w Harvard University w Laboratorium Psychoakustyki, gdzie współpracował z Georgem von Békésy'm, fizykiem i fizjologiem (laureatem Nagrody Nobla z medycyny „za teorię funkcjonowania słuchu” w 1961 roku), a później od 1957 roku pracował na Uniwersytecie Syracuse w USA. Został profesorem i dyrektorem w Laboratorium Bioakustyki a później Instytutu Nauk Funkcji Zmysłowych, który założył w 1973 roku. Z prof. J. Zwiśłockim spotykaliśmy się na kongresach i konferencjach akustycznych, a także podczas mego pobytu w USA odwiedziłem go w jego laboratorium na Uniwersytecie w Syracuse (14 listopada 1990 roku). Pokazywał mi wtedy również elementy historycznej aparatury z lat pięćdziesiątych pochodzącej z dawnego laboratorium z Harvardu, które były związane z badaniami prowadzonymi tam przez Békésy'ego.



Fot. 62. Spotkanie z prof. Józefem Zwiśłockim (w środku) na 13. Kongresie ICA w Belgradzie, 1989 rok. Po prawej; prof. Urszula Jorasz z UAM, po lewej; prof. A. Śliwiński z UG

**Światowej sławy
akustyk
doktorem h.c. UAM**

Zawsze w poniedziałki odbywają się w Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza uroczystości nadawania przez uczelnię tytułu doktora honoris causa.

Wczoraj, podczas takiej właśnie uroczystości, uhonorowany został wybitny uczonego polskiego pochodzenia, zamieszkały obecnie w USA prof. Józef Zwiśłocki.

Prof. Zwiśłocki jest światowej sławy specjalistą w dziedzinie psychoakustyki. Pracuje na uniwersytecie w Syracuse. Urodzony w 1922 roku we Lwowie naukowiec jest w prostej linii wnukiem prezydenta Ignacego Mościckiego. Opublikował 150 prac, jest właścicielem 11 patentów — przede wszystkim oryginalnych aparatów słuchowych i sprzętu do pomiaru słuchu.

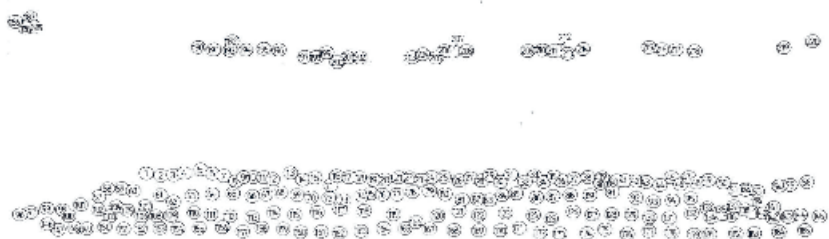
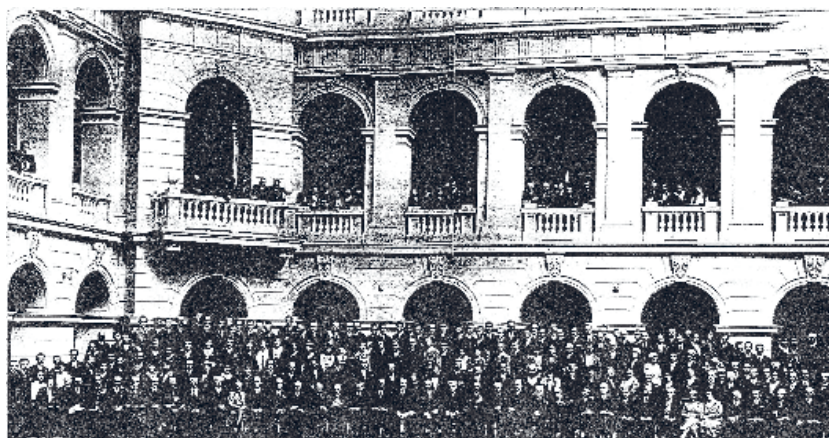
Prof. J. Zwiśłocki od wielu lat ściśle współpracuje z poznańską uczelnią. (jaz)

W okresie, gdy w UAM w Poznaniu przygotowywano sprawę nadania J. Zwisłockiemu tytułu doktoratu honoris causa, ściśle współpracowałem z Instytutem Akustyki UAM (byłem przez długi czas członkiem Rady Naukowej tego instytutu, także wtedy gdy już przez lata pracowałem w UG). Dlatego uczestniczyłem w Poznaniu w uroczystości nadania mu zaszczytnego tytułu, a potem złożył on wizytę w Gdańsku i miał wykład na seminarium naszego Instytutu. Prof. J. Zwisłocki zmarł w Syracuse w USA w 2018 roku.

Warto również przypomnieć wizytę w naszym instytucie prof. Stanisława Mrozowskiego, zasłużonego fizyka amerykańskiego polskiego pochodzenia, urodzonego w Warszawie w 1902 roku i przed wojną znanego fizyka z Zakładu Fizyki Teoretycznej UW, zajmującego się nadształnymi strukturami atomowymi, który 29 czerwca 1990 roku otrzymał doktorat honoris causa UMK w Toruniu i potem był kilka dni w Gdańsku gościem prof. J. Heldta oraz miał bardzo interesujący wykład. Prof. S. Mrozowski w 1939 roku tuż przed wojną wyjechał do USA na Uniwersytet w Berkley na roczny pobyt u znanego fizyka E.O. Lawrence'a, a potem pracował u R.A. Millikana na Uniwersytecie w Chicago. Później został profesorem w University of Buffalo i był dyrektorem Laboratorium Badań Węgla, które uznawano za światowe centrum fizyki węgla, a przez 20 lat redaktorem czasopisma „Carbon” związanego z tym ośrodkiem. Po przejściu na emeryturę przeniósł się do Ball State University w Muncie, gdzie w częściowym wymiarze zajęć pracował do lat dziewięćdziesiątych. W roku 1980 w okresie od września do grudnia przebywał u niego na stażu naukowym dr S. Zachara z Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG.

W czasie obecności profesora S. Mrozowskiego w naszym instytucie w 1995 roku, po jego interesującym wykładzie o własnościach węgla, pokazałem mu wiszące w moim gabinecie powiększenie fotografii uczestników Zjazdu Fizyków Polskich na Politechnice Warszawskiej w 1932 roku. Natychmiast rozpoznał siebie na fotografii oraz pomógł mi zidentyfikować kilku, do czasu jego wizyty nierozpoznanych na fotografii przedwojennych fizyków. Niezależnie od tego epizodu najnowsza historia tej fotografii (oprawionego obrazu) jest też warta wspomnienia. W czasie mej pracy w UAM w latach 1950–1970 był okres (1967–1969), w którym sprawowałem funkcję przewodniczącego Oddziału Poznańskiego PTF (wtedy, o czym już pisałem wcześniej, z doc. Z. Pająkiem i dr T. Hilczerem, później profesorami, organizowaliśmy XXI Zjazd Fizyków Polskich w Poznaniu – zob. fot. 34). Gdy kończyłem kadencję, przy okazji moich imienin otrzymałem na pamiątkę jako prezent ów właśnie obraz (fotografię Zjazdu Fizyków Polskich w 1932 roku na Politechnice Warszawskiej) od mgr. (później dr.) Jana Józwiaka, przedwojennego absolwenta fizyki UP, który ten obraz posiadał. Przenosząc się do Gdańska w 1970 roku, zabrałem go ze sobą i miałem w gabinecie w instytucie do mniej więcej 8 lat temu, kiedy to po jakiejś rozmowie z aktualnym wtedy przewodniczącym Poznańskiego Oddziału PTF prof. dr. hab. Henrykiem Drozdowskim postanowiłem (po sporządzeniu kopii) przekazać mu ten obraz na powrót do Poznania i on chętnie go przejął pod opiekę.

Niedawno z żalem dowiedziałem się, że prof. H. Drozdowski zmarł w Poznaniu. Pisząc te słowa (lipiec 2022), mam nadzieję, że Poznański Oddział PTF będzie się dalej tą pamiątką opiekował.



Numer ognaczenia	Osoba rozpoznana	151 – 153	?
1	Arkadiusz Plekara	154	Fryderyk Koebecke (astronom)
2 – 9	?	155	... Weissenhoff
10	Aleksander Jablonski	156	?
11	Henryk Niewodniczański	157	Stanisław Loria
12	?	158	?
13	Stanisław Mrozowski	159	Czesław Białobrzewski
14 – 56	?	160 – 163	?
57	Pani Mrozowska (imię żony ? Staszek?)	164	Stefan Mazurkiewicz (matematyk)
58	... Kapuściński (?)	165	... Reczyński
59 – 61	?	166	?
62	... Miłgierówna	167	... Pierkowski
63	?	168	... Natanson
64	Irena Bobrowna	169	... Dziewulski
65 – 67	?	170	... Wolffe
68	Pani Moraczewska	171 – 172	?
69	?	173	... Dykstein (matematyk) (?)
70	... Grinbau (studentka na Hożej)	174	Zygmunt Klemensiewicz
71 – 95	?	175	... Kalandyk
96	... Klecki	176 – 178	?
97	?	179	Marychna Majewska (?)
98	... Ściółowski	180 – 181	?
99	?	182	... Kassel-Laniewski
100	... Aster Blumrodowa-Promer (miał zginął w Katyniu; zmieniła nazwisko i była asystentem u Kapuścińskiego w Szkole Medycznej.	183 – 210	?
101 – 125	?		
126	... Wersztensztejn		
127	Pani Wersztensztejn		
128 – 148	?		
149	Szczepan Szczeniowski		
150	... Werner (?)		

*) Spis osób rozpoznanych przez prof. S. Mrozowskiego z USA w czasie jego wizyty w Inst. Fizyki Dośw. UG w roku 1995.

Fot. 63. Kopia fotografii Zjazdu Fizyków Polskich na Politechnice Warszawskiej w 1932 roku (a), szablono numeracji osób (b), spis zidentyfikowanych osób (c)

Lata dziewięćdziesiąte ub. wieku to dobre lata dla rozwoju fizyki na UG. Poszczególne zespoły naukowo-badawcze uczestniczyły w różnych ogólnopolskich i międzynarodowych programach badawczych, takich jak projekty badawcze KBN (Komitetu Badań Naukowych) oraz Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w różnych ich sekcjach, i realizowały oryginalne prace teoretyczne i eksperymentalne. W tym drugim przypadku często wiązało się to z zakupami cennej nowoczesnej aparatury rozszerzającej możliwości badawcze. Regularną formą zasilania finansowego były fundusze przydzielane przez ministerstwo w ramach tzw. BW (badań własnych) zgodnie z opracowanym algorytmem uwzględniającym wiele parametrycznych składników i czynników (jak liczba studentów, kierunki studiów danej dyscypliny naukowej i wiele innych) – często dyskutowanych i zmienianych. Fizycy UG, profesorowie i doktorzy habilitowani, byli często członkami sekcji KBN, gdzie zasiadali z wyboru (co kilka lat były ogólnopolskie wybory do sekcji KBN) i opiniowali lub decydowali o przyznawaniu grantów przedstawianych w KBN projektów naukowo-badawczych przez różne ośrodki. Na przykład w Sekcji Fazy Skondensowanej KBN członkami byli też profesorowie UG: A. Kawski, M. Grinberg, J. Heldt, A. Śliwiński, a także teoretycy: M. Żukowski i inni. Sprawy finansowe i potrzeby inwestycyjne były przedmiotem wielu starań, a wszelkie kontakty były wykorzystywane. Na szczęście uczelnianym sprawy te wymagały także troski i zainteresowania; stąd również moja zgoda na podjęcie się (z wyboru Senatu i nominacji rektora Plińskiego) funkcji przewodniczącego Senackiej Komisji Budżetowej (Finansów) UG sprawowanej przez dwie kadencje. Nie tylko ta funkcja, która wiązała się z kontaktami z kierownictwem Kwestury (długoletnim, od czasów WSP, kwestorem UG była Pani mgr Maria Augustowska, a później krótko mgr Maria Grabowska i następnie mgr Bożena Pogorzelska), ale także inne kontakty i współpraca z administracją uczelni (dyrektorem dr. Andrzejem Frydrychem, a później krótko z mgr. Piotrem Żerko i następnie z mgr. Jerzym Gwizdałą (jeszcze przed jego późniejszą karierą akademicką kanclerza i rektora w naszej uczelni, która okazała się nieoczekiwaną porażką osobistą i uczelnianą). Także dobre relacje między dziekanami i dyrektorami instytutów pozwalały pozytywnie działać, godząc się na konieczne kompromisy oraz unikając większych konfliktów i kontrowersji. Kadra nauczycieli akademickich była też często obciążana dodatkowymi sprawami administracyjnymi niewchodzącymi w ich zakresy normalnych obowiązków (na przykład permanentne inwentury sprzętu i aparatury, plany zakupów i wiele spraw innych), co odbywało się kosztem czasu wyrwanego z pracy naukowej poświęcanej doktoratowi czy habilitacji. Staraliśmy się walczyć z taką niezdrową sytuacją, ale wiele było potrzeb doraźnych, gdzie nie można było tych trudności unikać. Kolejne lata przyniosły lekką poprawę tej sytuacji. W IFD mieliśmy dobrze zorganizowaną obsługę administracyjną (zob. schemat 2) pod opieką sekretariatu prowadzonego przez Elżbietę Caban, długoletnią i doświadczoną osobę, która przeszła do nas z WSP. Cieszyła się dużą sympatią wszystkich i z żalem żegnaliśmy ją, gdy w grudniu w 1994 roku przechodziła na emeryturę. W IFTiA sekretariat prowadziła Elżbieta Ostrowska. Po E. Caban Sekretariat IFD prowadziły: Maria Żelażkiewicz w latach

1985–1991, Barbara Rosenkiewicz w latach 1991–2005 (oraz Bolesława Kolaska i Krystyna Kiełbasa), Barbara Dogil w latach 2005–2012 i Wiktoria Kamińska w latach 2012–2016.



Fot. 64. Uroczyste pożegnanie E. Caban długoletniej (przeszła z WSP) i zasłużonej kierowniczką Sekretariatu IF a później (po podziale na dwa Instytuty) ZFD; od lewej: Elżbieta Caban, Renata Basis, mgr Irena-Lenartowicz-Weyna, dr Kazimierz Nowaczyk, prof. Antoni Śliwiński; po prawej: mgr Ewa Sikorska-Trela, dr Paweł Kwiek

Szybko rozwijała się współpraca naukowo-badawcza z innymi instytucjami w kraju (IO PAN w Sopocie, PG, WSM i WSMW w Gdyni, WSP, a potem Uniwersytet Pomorski w Słupsku, UMK w Toruniu, UAM w Poznaniu, Politechnika Śląska w Gliwicach, WSP, a potem Uniwersytet w Rzeszowie i inne). Koledzy profesowie brali także udział w radach naukowych czy radach wydziałów innych jednostek w kraju. Osobiście byłem przez kilka kadencji członkiem Rady Naukowej Instytutu Akustyki UAM w Poznaniu, Rady Naukowej IPPT PAN w Warszawie oraz Rady Naukowej IO PAN w Sopocie (byłem przewodniczącym tej Rady w kadencji w latach 1983–1987, gdy dyrektorem IO PAN był profesor dr hab. Jerzy Druet). W roku 1985 Instytut Oceanologii wodował zbudowany w Stoczni Gdańskiej swój pełnomorski statek badawczy RV „Oceania” i oboje (J. Druet i ja) przemawialiśmy na uroczystości chrztu morskiego tej jednostki. Zastąpiła się ona bardzo w rejsach badawczych instytutu i do dziś (po kilku remontach) dzielnie służy (Ostrowska i in. 2015; Dera, Massel, Wyrwiński 2013; Dera 1992) polskiej nauce, w tym fizyce, chemii i biologii morza w szczególności. Fotografie 65–67 dotyczą IO PAN w Sopocie i nawiązują do mej długoletniej tam równoległej działalności naukowej.



Fot. 65. RV „Oceania” – Żaglowy Statek Badawczy Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie; zbudowany w Stoczni Gdańskiej i zwodowany podczas uroczystości chrztu morskiego w 1985 roku



Fot. 66. Jubileusz urodzin prof. Włodzimierza Prosnaka, Instytut Oceanologii PAN, lata dwutysięczne



Fot. 67. Zespół Akustyki Morza w Zakładzie Fizyki Morza, Instytut Oceanologii PAN w Sopocie, 1995 rok. Od lewej w pierwszym rzędzie: dr Joanna Szczucka (później prof. w IO), dr Natalia Gorska (później prof. w UG), prof. A. Śliwiński, prof. Zygmunt Klusek; od lewej w drugim rzędzie: dr Zbigniew Lubniewski (później prof. w PG), dr Jarosław Tęgowski (później prof. w UG), Krzysztof Poraziński, Kazimierz Groza, Jarosław Jakacki

Od czasu do czasu odbywały się krajowe zebrania dziekanów i dyrektorów instytutów fizyki polskich uczelni (np. w Poznaniu 10 października 1998 roku, w którym brałem udział). Potem brali w nich udział następnymi dyrektorzy IFD (po mnie prof. B. Linde). Uczestniczył w nich też udział prof. Andrzej Kowalski, gdy był dziekanem naszego wydziału. Były to ciekawe i koordynujące współpracę fizyków spotkania, a dyskusje w ich trakcie prowadzone często przenosiły się na teren naszych instytutów, jak np. dyskusja z inicjatywy dyrektora J. Fiutaka o strategii rozwoju fizyki w UG na kolejne lata, opiniowania kadry nauczycieli akademickich i ich dorobku w świetle systemów punktacji itp. Dyskusje obejmowały również sprawy kształcenia studentów, specjalności studiów na kierunku fizyki, skutkując na przykład powstaniem na Wydziale Rady Kierunku Studiów Fizyki czy powołaniem Studium Podyplomowego Fizyki. Zasługą dziekana R. Alickiego (w kadencji 1996–1999) było sprowadzenie do IFD z Torunia prof. M. Grinberga (Grinberg 2019), specjalisty fizyki ciała stałego – teoretyka i zaangażowanego w badania w dziedzinie spektroskopii fazy skondensowanej. Objął on kierownictwo nowo utworzonego Zakładu Fizyki Fazy Skondensowanej. Prof. M. Grinberg przyniósł Uniwersytetowi Gdańskiemu chlubę swoją przyszłą działalnością (Grinberg 2019). Nastąpiła wtedy również zmiana nazwy innych zakładów IFD (zob. schemat 3).

Współpracę z zagranicą (poza wymienioną już wyżej działalnością) prowadziliśmy z wieloma ośrodkami: Uniwersytetem w Bremie (prof. dr S. Boseck i jego zespół); uniwersytetami w UK: London University – Imperial College (prof. S.W.B. Stephens, prof. G.H. Leventhall), University of Surrey (prof. R. Chievers), University of Aberdeen (prof. S.V. Jones, prof. D.A. Hutchings); PTB Braunschweig (dr P. Kwiek

z dr. R. Reiboldem – był u niego na stażu i potem wielokrotnie; prowadzili wspólne badania oddziaływań ultradźwiękowo-optycznych do czasu jego emerytury – fot. 68); Uniwersytetem w Leuven – Campus Kortrijk w Belgii (z O. Leroyem i jego zespołem: dr. Erikiem Blomme, dr. Koenem Van Den Abeelee i innymi), z Technische Universität, Berlin, z Instytutem Akustyki Technicznej (prof. M. Heckl – u niego doktoryzował się dr Janusz Czuchaj – byłem recenzentem jego dysertacji doktorskiej – fot. 69 to fotografia po nadaniu mu stopnia doktora); z Instytutem Fizyki Medycznej i Biofizyki Uniwersytetu w Halle (prof. R. Millner), Technische Hochschule Merseburg (prof. E. Rosenfeld), MGU Moskwa (profesorowie: V.N. Parygin, V.I. Balakshi, V.B. Voloshinov, MISIS Moskwa – (prof. V.Ya. Molchanow), Instytut Akustyki im. Andreyeva, Rososyjska Akademia Nauk – (prof. S. Egerev), Turkmeńska Akademia Nauk (N.B. Lezhniev) i z wieloma innymi, jakie prowadziły wszystkie zespoły instytutów. W IFD pracę doktorską wykonał też dr Khalifa Aldaghari z Libii (fot. 70).



Fot. 68. Przejście na emeryturę prof. R. Reibolda (po prawej); dr. P. Kwiek (po lewej), PTB Braunschweig, lata 90.



Fot. 69. Obrona dysertacji doktorskiej mgr. inż. J. Czuchaja, Instytut Akustyki Technicznej, Technische Universität Berlin; lata 90.; od lewej prof. M. Heckl, prof. M. Hubert, dr J. Czuchaj, prof. A. Śliwiński



Fot. 70. Dr K. Aldaghari z Libii (po lewej) po doktoracie w IFD UG; Gdańsk, 2007 rok. Od prawej: prof. B. Linde, prof. A. Śliwiński

W ramach współpracy międzynarodowej fizycy UG odbyli wiele wyjazdów i staży zagranicznych. Poza już wyżej wymienionymi uczestniczyli w wielu międzynarodowych kongresach, konferencjach i zjazdach. Był to również dla mnie bardzo intensywny okres wyjazdów owocujących nabyciem zawodowego doświadczenia dla wykorzystania w moich dalszych działaniach (także w następnym 20-leciu okresu już emerytalnego).

W 1990 roku odbyło się w Belgii organizowane przez Uniwersytet Leuven Campus Kortrijk Sympozjum „Physical Acoustics (Fundamentals and Applications)” w Kortrijk oraz „Advances in Acousto-optics” w 2000 roku w Brugii (fot. 71), w których nasi fizycy brali udział.



Fot. 71. Sympozjum Advances in Acousto-optics'2000. Brugia, Belgia;
Od prawej: dr A. Sikorska, prof. B. Linde, dr Filip Windels i jego mama, prof. A Śliwiński,
dr Grzegorz Gondek

W tamtych latach odbyło się też sympozjum w Cannes we Francji („1994 IEEE Ultrasonics Sympozjum”). Było to bardzo interesujące spotkanie zarówno pod względem naukowym, jak i turystycznym, a pamiętam je szczególnie, bo powrót miałem z przygodami, gdyż zrobiła się nagła powódź w Nicei i lotnisko była zalane wodą po kolana; w kasach przebukowaliśmy bilety i wracaliśmy z kolegą z IPPT PAN z Warszawy przez Paryż (do Paryża z Nicei koleją).

W okresie tej omawianej dekady (lat pięćdziesiątych ub. wieku) zorganizowaliśmy kolejne: 5. (1992), 6. (1995) i 7. (1998) (wszystkie w Juracie) Szkoły Akustooptyki i Zastosowań (zob. fotografie poniżej). 7. Szkoła (Śliwiński, Linde, Kwiek 1998) była dedykowana pamięci prof. Billa D. Cooka z University of Houston USA; uczestniczył on wraz z żoną Donną Scott w 6. Szkole w Juracie i zmarł w Houston w 1996 roku. Był bardzo zasłużony dla rozwoju akustooptyki (zarówno ze względu na liczące się wyniki doświadczeń, które przeprowadził, jak i wkład do fundamentów teorii ugięcia światła na ultradźwiękach). Niedługo po śmierci prof. B.D. Cooka D. Scott zawiadomiła nas, że wolą jej męża było, aby elementy aparatury z jego laboratorium Uniwersytetu w Houston przekazać jako darowiznę dla Uniwersytetu Gdańskiego. Zostały one przekazane do laboratorium akustooptyki dr. P. Kwieka w podziemiu gmachu (zob. fot. 76).

Braliśmy także udział w konferencjach, gdzie ta tematyka była obecna. W latach dziewięćdziesiątych były organizowane doroczne spotkania akustooptyków w ramach EOS (European Optical Society), jako „Topical Meetings” pod nazwą „Advances In Acousto-optics” (jak wspomniane wyżej w Brugii – fot. 71). Spotkania te zapoczątkowane przez CNET (w Paryżu w 1996 roku) odbyły się następnie w St. Petersburgu (1997 rok). Trzecie było wspólne z 7. Szkołą w Juracie (1998 rok), a w 1999 roku spotkanie odbyło się we Florencji (4-th Advances in Acousto-Optics (AA-O’1999) organizowane przez Włoskie Towarzystwo Optyki i Fotoniki. Kolejne AA-O’2000 odbyło się w Brugii w Belgii organizowane przez Campus Kortrijk Uniwersytetu Leuven. W tym spotkaniu udział brała grupa naszych fizyków. Podróż do Belgii mieliśmy z przysgodami. Przylecieliśmy do Brukseli z opóźnieniem późno wieczorem i po wylądowaniu okazało się, że nie mamy już żadnego innego połączenia do hotelu w Brugii jak tylko taksówką. Było to kilkadziesiąt kilometrów i nocna taryfa, więc dobrze zapamiętaliśmy tę podróż. Fotografia poniżej (fot. 78) pochodzi z tej bardzo naukowo interesującej konferencji z udziałem wielu ważnych akustooptyków ze świata. Dwa lata później takie spotkanie odbyło się jako wspólne z 8. Szkołą w Juracie w 2001 roku.



Fot. 72. Uczestnicy 5. Szkoły Acousto-optics & Applications, Jurata 1992 rok, przed wycieczką do Helu



Fot. 73. Uczestnicy 5. Szkoły Acousto-optics & Applications, Jurata 1992 rok; od lewej: prof. M.R. Mieszkowski (Kanada), prof. H.W. Jones, Halifax, Kanada), prof. O. Leroy, Kortrijk, Belgia), prof. R. Reibold (Braunschweig, Niemcy)



Fot. 74. 6. Szkoła Akustooptyki i Zastosowań, Gdańsk – Jurata, 1995 rok



Fot. 75. 7. Szkoła Akustooptyki i Zastosowań, Gdańsk – Jurata, 1998 rok. Zdjęcie przy budynku WMF UG w Oliwie. Od lewej: I. Gabrielli, P.P. Banerjee, V.I. Balakshy, V.B. Voloshinov, V.N. Parygin, P. Kwiek, A. Śliwiński, G. Gondek, T. Katkowski, V. Ya. Molchanov



Fot. 76.. Uczestnicy 7. Szkoły Akustooptyki i Zastosowań (Jurata 1998 rok) z wizytą naukową w Laboratorium Akustooptyki w IFD UG; od lewej: T.C. Poon, V.I. Balakshi, V.N. Parygin, T. Błachowicz, Tadeusz Pustelny, Jacek Mazur, P. Kwiek (objaśnia przebieg eksperymentu ugięcia światła na ultradźwiękach), V.B. Voloshinov, J.L. Katz



Fot. 77. 7. Szkoła Akustooptyki i Zastosowań, Gdańsk – Jurata, 1998 rok. Od prawej: Alma Gabrielli z mężem prof. Italo Gabriellim z Uniwersytetu w Trieście, Włochy



Fot. 78. Symposium Advances in Acousto-optics'2000. Brugia, Belgia; od lewej: prof. Chen Tsai (Academia Sinica, Taiwan, wcześniej University of California, USA), prof. V.V. Proklov (Russian Academia of Sciences, Moskwa), prof. A. Śliwiński prof. J. Sapriel (CNET, Paryż, Francja), prof. Sada Yuki (Tokio University, Japonia)

W St. Petersburgu (oprócz wspomnianego już wyżej) odbyło się jeszcze kilka sympozjów z akustooptyki organizowanych przez S.V. Kulakova (Instytut Radioinżynierii i Elektroniki AN USSR) kolejno w latach 1990 i 1993 (to spotkanie było dodatkowo atrakcyjne, bo obrady odbywały się na statku w czasie tygodniowego (2–7 sierpnia) rejsu rzeką Newą na jeziora Ładoga i Onega).

W roku 1989 uczestniczyłem w Sympozjum Ultradźwiękowym w New Delhi organizowanym przez tamtejsze National Physics Laboratory, gdzie przedstawiłem wyniki

prac, jakie wspólnie z dr I. Wojciechowską i dr. P. Kwiekim wykonaliśmy w naszym zespole.

W instytucie organizowaliśmy, jak wyżej wspomniałem, nasze kolejne co 3 lata Szkoły Acousto-optics and Applications w Juracie, a także współorganizowaliśmy XXXVII OSA'91 w Gdańsku i XLIV OSA'97 w Jastrzębiej Górze. Braliśmy też udział w kolejnych Zimowych Szkołach AMiK organizowanych przez Śląski Oddział PTA i Politechnikę Śląską. Inne zespoły naukowe IFD też prowadziły aktywną współpracę naukową, a ich członkowie wyjeżdżali na konferencje naukowe i organizowali je. Profesorowie J. Fiutak i J. Heldt naprzemiennie z fizykami z UMK z Torunia zorganizowali kilka szkół naukowych Spektroskopii Atomowej i Molekularnej na Kaszubach (zwykle w Szarlotce k. Kościerzyny). Brali w nich także udział pracownicy innych zespołów. Prof. C. Lewa po powrocie z Algierii został kierownikiem Zakładu Fizyki Stosowanej (1987–2007), był także kierownikiem ŚLAIŚ (1988–1989). Rozwijał swój zespół i swoją pracownię spektroskopii NMR. Aktywnie współpracował z fizykami z Poznania, prof. Z. Pająkiem i dr. S. Jurgą. Rozwijał ją także z Uniwersytetem w Rennes we Francji (przebywał tam na okresowych stażach w latach 1985 i 1995) i razem z prof. J.D. de Certaines prowadzili badania i pomiary w jego znanym w świecie Laboratorium NMR. Wkład prof. C. Lewy w te badania i jego działalność zostały zauważone i uhonorowane przyznaniem mu w 1999 roku tytułu doktora honoris causa Universite de Rennes, a także (razem z prof. J.D. de Certaines) w tym samym roku nagrody na festiwalu filmów naukowo-edukacyjnych za film o fizycznych podstawach jądrowego rezonansu magnetycznego (JMR). Wyprzedzając nieco fakty, dodam, że prof. C. Lewa również w następnych latach miał ścisłe kontakty z Uniwersytetem w Rennes i tak się złożyło nieszczęśliwie, że we wrześniu 2002 roku w czasie kolejnego pobytu we Francji, w drodze powrotnej z konferencji w Cannes, doznał w Magdeburgu poważnego wylewu. Z pomocą rektora A. Ceynowy zorganizowano wtedy jego przewiezienie samolotem-karetką do szpitala w Gdańsku. Dzięki szybkiej interwencji i opiece lekarzy wyzdrowiał, cierpiał wprawdzie potem na niedowład nóg, ale dalej efektywnie pracował. Zmarł 9 sierpnia 2016 roku (zob. Linde, Śliwiński 2016).

Zasługą prof. Lewy był także jego duży wkład do współpracy Instytutu z Akademią Medyczną w Gdańsku i jego zaangażowanie w utworzenie kierunku studiów fizyki medycznej na naszym wydziale. IFD utrzymywał stałe kontakty naukowe z Zakładem Fizyki Lekarskiej AMG kierowanym przez prof. Józefa Terleckiego (od dawnych lat z nim również współpracowali: dr S. Zachara, dr J. Sułocki, dr Matuszewski i inni). Prof. J. Terlecki był też promotorem doktoratu J. Sułockiego. Fotografie poniżej przedstawiają prof. Terleckiego z okazji spotkania fizyków gdańskich uczelni z okazji otwarcia nowej siedziby jego zakładu w nowym gmachu Wydziału Fizyki Lekarskiej AMG w roku 1995.



Fot. 79. Sopot, Tatrzańska 6, 1998, mgr Maria Lewa, prof. Czesław Lewa, dr Jerzy Zieniuk (IPPT PAN Warszawa)



Fot. 80. Spotkanie fizyków gdańskich w czasie jubileuszowego sympozjum z okazji 70 urodzin i przejścia na emeryturę profesora Józefa Terleckiego w Zakładzie Fizyki Lekarskiej w nowym gmachu Wydziału Lekarskiego Akademii Medycznej Gdańskiej, Gdańsk, 1995; od lewej: w pierwszym rzędzie: prof. Józef Heldt, dr Kazimierz Knapiński, x, dr Sławomir Bautenbach, x, prof. Barbara Krupa-Wojciechowska – była rektor GUMed, x, prof. Józef Terlecki (w środku), doc. dr Kazimierz Badziąg, x, prof. Antoni Śliwiński, x, prof. Bartłomiej Kwiatkowski, dr inż. Janusz Sułocki, dr Danuta Lewandowska, x, dr Eugeniusz Gazda, x, mgr Bogusław Łopatowski, dr Michał Penkowski, prof. Wowa Werel, niżej dr Ewa Zaremba, x. (Dziękuję prof. Piotrowi Bogusiowi z Katedry i Zakładu Fizyki i Biofizyki UGMed za pomoc w identyfikacji osób)

Studia na kierunku fizyki medycznej są od lat kontynuowane. Pamiętam wiele takich zdarzeń, które tę współpracę fizyki z medycyną akcentowały i utrwalały. Dla przykładu warto przypomnieć, że z inicjatywy prof. C. Lewy w 1994 roku zostało otwarte Międzyuczelniane Laboratorium Magnetycznego Rezonansu Jądrowego AMG, PG i UG. Dalszy rozwój dla fizyki medycznej w IFD i kierunku studiów na wydziale następował również w przyszłości i dzieje się efektywnie nadal.

Prowadzone w tym 10-leciu badania naukowe zaowocowały wieloma publikacjami i awansami młodych fizyków w ich karierach nauczycieli akademickich. Jak już wspominałem (zob. Śliwiński, Engel, Zawieska 2010; Śliwiński, Kozaczka 2014; Śliwiński 2009), prowadziliśmy ścisłą współpracę z jednostkami naukowymi Wybrzeża w zakresie fizyki morza. Chciałbym tu wspomnieć o badaniach we współpracy z IO PAN (gdzie pracowałem równoległe z UG na ½ etatu do 2001 roku), Wyższą Szkołą Marynarki Wojennej (obecnie Akademia Marynarki Wojennej) i Wyższą Szkołą Morską (obecnie Uniwersytet Morski) w Gdyni oraz Wyższą Szkołą Pedagogiczną (obecnie Akademia Pomorska) w Słupsku, z którymi prowadziliśmy badania w zakresie fizyki morza: hydroakustyczne, badania zanieczyszczeń olejowych i inne w Bałtyku (C. Lewa, S. Łętowski, B. Linde, Kaniewski). Wyniki badań prowadzone w tym zakresie systematycznie publikowaliśmy i, co było dla nas dużą niespodzianką, zostały zauważone w 1994 roku przez University of Teheran i Ambasadę Iranu w Polsce. Był to okres wojny iracko-irańskiej i wody Zatoki Perskiej wzdłuż wybrzeża irańskiego zostały zanieczyszczone rozlaną ropą z uszkodzonych tankowców i trzeba było z tym problemem walczyć. Zorganizowano wtedy w Teheranie międzynarodowe sympozjum naukowe pod tytułem „First Int. Conf. On the Impact of Oil Spill In the Persian Gulf” i zostaliśmy zaproszeni do udziału w tym sympozjum (z pokryciem pełnych kosztów podróży i pobytu). Udział wzięli: dr B. Linde, dr S. Łętowski i ja. Przedstawiliśmy zasady naszych metod pomiarowych i wyniki naszych prac dotyczących zanieczyszczeń ropopochodnych Bałtyku (fot. 81–83). Warunki były wojenne i nawet groźne (wycieczka nad morze – wybrzeże zatoki Perskiej), w której uczestniczyliśmy, została w jej trakcie w połowie odbywania odwołana, ze względu na groźbę nalotu.



Fot. 81. Zaproszenie Uniwersytetu w Teheranie i Ambasady Iranu w Polsce na konferencję „First Int. Conf. On the Impact of OilSpill in the Persian Gulf”, 1994; a) – str. 1, b) – str. 2 i 3



Fot. 82. Konferencja w Teheranie na temat zanieczyszczeń ropopochodnych Zatoki Perskiej, 1994 rok. Na sali obrad; od lewej: B. Linde, x, S. Łętowski, A. Śliwiński



Fot. 83. Konferencja w Teheranie na temat zanieczyszczeń ropopochodnych Zatoki Perskiej, 1994 rok. Przed hotelem „Azadi”. Od lewej: S. Łętowski, B. Linde, A. Śliwiński, x

Dobrze pamiętam uczestnictwo w rejsie badawczym R.V. „Oceania” w 1996 roku razem z Zespołem Akustyki Morza z Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie (Z. Kłusek, J. Szczucka). Z tym zespołem współpracowaliśmy między innymi z naukowcami z Danii, głównie z prof. Leifem Bjørno z Technicznego Uniwersytetu w Kopenhadze, który również wielokrotnie przyjeżdżał do Gdańska na sympozja z hydroakustyki organizowane przez Gdański Oddział PTA, AMW i PG. Byliśmy wtedy naukowo czynni i braliśmy również udział w kolejnych międzynarodowych konferencjach UI (Ultrasonics International): UI’93 w Wiedniu, UI’95 w Edynburgu, UI’97 w New Delhi, UI’99 połączone z WCU’99 (World Congress of Ultrasonics) w Kopenhadze. Było to wówczas największe i bardzo ciekawe spotkanie poświęcone ultradźwiękom i ich zastosowaniom. Miałem wtedy okazję między innymi zwiedzić zacumowany w porcie w Kopenhadze badawczy statek należący do NATO i jego imponujące oprzyrządowanie, w tym hydrolokacyjne ultradźwiękowe, co w okresie jeszcze „zimnej wojny” było ewenementem w przypadku profesora z „żelaznej kurtyny”.

Kongresy WCU powstały z inicjatywy profesorów J. Herbertza z Uniwersytetu w Duisburgu i L. Bjørno (utworzono wtedy tzw. Steering Committee of WCU i byłem do niego wybrany jako reprezentant Polski). WCU odbywały się równolegle z sympozjami UI, ale nie zawsze naprzemiennie i często w tym samym roku, więc nakładały się z nimi. Pierwszy WCU odbył się w Berlinie w 1995, drugi w Jokohamie w 1997 (fot. 84–86), trzeci połączony z UI w Kopenhadze, czwarty WCU’01 w Atlancie (w połączeniu z IEEE), piąty WCU’03 w Paryżu i szósty ostatni WCU’05 znów w połączeniu z UI’05 w Pekinie. Na tym kongresie przyjęto wspólną deklarację o fuzji WCU z UI i przyjęto odtąd nazywać te ultradźwiękowe światowe spotkania jako ICU (International Congress on Ultrasonics). Razem z prof. L. Bjørno i prof. W. Sachse – przewodniczącym Konferencji Ultrasonics International oraz jako Steering Committee of WCU – przyczyniliśmy

się do fuzji tych dwóch organizacji w jedną światową imprezę działającą do dziś. Brałszy potem (ja, a później prof. Linde) udział w kolejnych kongresach.

Wkroczyliśmy trochę w następne 10-lecie, ale później wrócimy do spraw ICU, bo w następnych latach wkład fizyków z IFD w zakresie udziału i organizacji kongresów ultradźwiękowych zwiększył się jeszcze bardziej.



Fot. 84. Kongres WCU'1997 w Jokohamie, Japonia; wizyta u prof. Sada Yuki Ueha w Tokyo University. Od lewej w pierwszym rzędzie: prof. S. Ueha, prof. L. Bjørno (Kopenhaga), x. W drugim rzędzie od środka, od lewej: prof. E. Benesz z żoną (Wiedeń), prof. A. Śliwiński, prof. J. Gallego Juarez (Madrid), x



Fot. 85. Kongres WCU'1997 w Jokohamie, Japonia. Wizyta u prof. S. Ueha w Tokyo University. Od lewej: prof. S. Ueha z żoną (Tokio), prof. J. Gallego Juarez (Madrid), prof. L. Bjørno (Kopenhaga), prof. A. Śliwiński, prof. E. Benesz (Wiedeń)



Fot. 86. Kongres WCU'1997. Wizyta naukowa w Institute of Technology w Tokyo; Precision & Inteligence Lab, stanowisko montażu minisilników ultradźwiękowych (zob. Śliwiński 2001)

Dodam tutaj jeszcze informacje o udziale w znaczących międzynarodowych konferencjach, jak: w Forum Acusticum w Antwerpii w 1995 roku oraz II FA w Berlinie w 1999 roku (organizowanych przez EAA – European Acoustics Association i kontynuowanych do dziś)⁶ oraz w Kongresach ICA (organizowanych co 3 lata przez International Commission of Acoustics – ICA). ICA Jest jedną z komisji różnych dziedzin fizyki afiliowanych przy International Union of Pure and Applied Physics – IUPAP (Międzynarodowa Unia Fizyki Czystej i Stosowanej), a także przy International Union of Theoretical and Pure Mechanics – IUTAM (Międzynarodowa Unia Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej). Polska jest od początku członkiem tych Unii, a różni fizycy i mechanicy, jako wybierani na 3-letnie kadencje reprezentanci różnych krajów, wchodzi w skład zarządów (rad, paneli) Unii czy Komisji. Polska od początku ma również swoich reprezentantów w tych ciałach. W poszczególnych krajach istnieją komitety kontaktowe (Liaison Committies). Przewodniczącymi tych komitetów są zwykle reprezentanci do Unii lub Komisji. Wspomniana wyżej konferencja w Gdańsku w 1987 roku „Prospects In Modern Acoustics – Education and Development” (Śliwiński, Budzyński 1987) była organizowana pod protektoratem ICA i IUPAP-u i w Komitecie Honorowym mieliśmy s.p. Profesora Józefa Werle – przewodniczącego Polskiego Komitetu IUPAP’u. Warto tu także zauważyć, że akustycy (również z Gdańska i UG) byli reprezentantami Polski w ICA. Prof. Ignacy Malecki (Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie)

⁶ EAA powstało w wyniku połączenia dawniejszych stowarzyszeń akustyków (zob. Śliwiński, Engel, Zawieska 2010; Śliwiński, Kozaczka 2014).

był przewodniczącym ICA przez dwie kadencje w latach 1966–1972, prof. Leszek Filipczyński (IPPT PAN w Warszawie) członkiem Rady ICA przez dwie kadencje w latach 1974–1980, prof. A. Śliwiński członkiem Rady ICA dwie kadencje w latach 1981–1987 oraz dwie kadencje w latach 1996–2004 i następnie 2004–2007. Członkostwo Polski w ICA przejął później prof. Eugeniusz Kozaczka (AMW w Gdyni) w kadencji 2007–2009 i następnie w drugiej kadencji (2009–2013). Po nim funkcję tę pełniła prof. Grażyna Grelowska z AMW Gdynia i PG w czasie dwóch kadencji (2013–2019). Przedstawicielem do ICA jako Przewodniczący ICU przez dwie kadencje 2011–2016 był prof. B. Linde. W roku 2009 ICA afiliowała jako członka stowarzyszonego międzynarodowy kongres ICU (wspomniany wyżej) i w latach 2009–2013 prof. B. Linde został delegatem ICU do ICA. Prof. Linde był już wcześniej w Kyoto w 2004 roku wybrany do rady WCU (przed fuzją z UI i zmianą nazwy, o czym napisałem wyżej) i był w latach 2005–2009 sekretarzem generalnym ICU, a po jego przekształceniu w ICU był prezydentem ICU (w latach 2009–2013) i do dziś jest członkiem rady ICU. W 2011 roku to on z pozycji prezydenta organizował kongres ICU'11 na Uniwersytecie Gdańskim.

Po tym dość długim wyjaśnieniu i wyprzedzeniu chronologii chciałbym jeszcze dodać, że w obydwu kongresach organizowanych przez te międzynarodowe ciała nasi fizycy akustycy z UG brali udział i ich prace były systematycznie tam prezentowane. Miałem szczęście w wielu z nich uczestniczyć, a w Kongresach ICA brałem udział od początku mej pracy na UG⁷.



Fot. 87. 16. Kongres ICA połączony z 195. ASA Meeting, Seattle, 1998 rok. Przed obiadem na Kongresie. Od lewej: x, x, prof. Walter Mayer (Washington), prof. Mack Breazeale, prof. Laszlo Adler z żoną Verą (Ohio), x

⁷ Kolejno w Budapeszcie w 1971 roku, w Londynie w 1974 roku, w Madrycie w 1977 roku, w Belgradzie w 1989 roku (tam spotkałem prof. J. Zwiśłockiego (zob. fot. 62)), w Pekinie w 1992 roku, w Trondheim w 1995 roku, w Seattle w 1998 roku (fot. 87 i 88) i (wyprzedzając znów trochę chronologię) już jako emeryt w Rzymie w 2001 roku (fot. 89–91). W 2001 roku brałem także udział w konferencji ultradźwiękowej IEEE – połączonej z WCU w Atlancie (fot. 92), w Kyoto w 2004 roku (fot. 93–95), w Madrycie w 2007 roku, w Montrealu w 2010 roku; następny był w Buenos Aires w Argentynie, w 2016 roku (w tym nie uczestniczyłem; brał w nim udział prof. B. Linde (fot. 96)). Następny był w Aachen w 2019 roku i kolejny odbędzie się w tym roku w październiku 2022 w Gyuongju, Korea.



Fot. 88. 16. Kongres ICA połączony z 195. ASA Meeting, Seattle, 1998 rok. Przed stołem na bankiecie Kongresu. Od lewej: x, prof. A Śliwiński, prof. L. Adler, prof. S. Ueha (Tokio), Lau Breazeale (Oxford MS)



Fot. 89. 17. Kongres ICA, Rzym 2-7 września 2001 roku. Otwarcie na Kapitolu



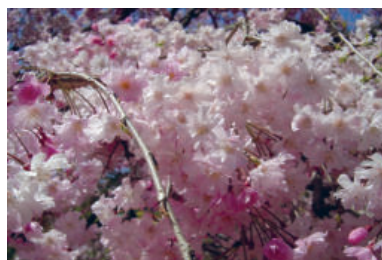
Fot. 90. 17. Kongres ICA, Rzym 2–7 września 2001 roku. Spotkanie po latach: od lewej: D. Sette, A. Śliwiński, R. Reibold (w środku); z tyłu w głębi po prawej: O. Leroy z żoną Agnes



Fot. 91. 17. Kongres ICA, Rzym 2–7 września 2001 roku. W głębi od lewej: A. Stepnowski, A. Śliwiński, powyżej: A. Nowicki, V.B. Voloshinov, V.N. Parygin, A. Opilski, M. Urbańczyk



Fot. 92. Konferencja IEEE połączona z 4. Kongresem WCU'2001 Atlanta, USA. Od lewej: prof. L. Bjôrno (Kopenhaga); prof. M. Breazeale (Oxford MS), prof. A. Śliwiński



Fot. 93. 18. ICA (Intern. Congress on Acoustics)' 2004, Kyoto, Japonia; miejsce pobytu (a); kwitnąca wiśnia (b).



Fot. 94. 18. Kongres ICA Kyoto'2004, posiedzenie Rady ICA. Od prawej: prof. Blanc-Benon, członek ICA (France), prof. G. Daigle, President ICA (Canada), prof. A. Śliwiński członek ICA (Poland), prof. E. Kozaczka, Przewodniczący PTA (Poland)



Fot. 95. 18. Kongres ICA'2004 w Kyoto. Polska delegacja, od lewej: I. Gloza, B. Linde, E. Kozaczka, A. Śliwiński

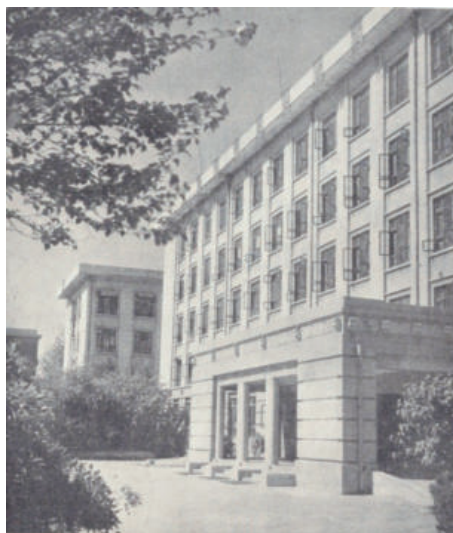


Fot. 96. Posiedzenie Rady Komisji ICA na Kongresie w Buenos Aires, 2016 rok

Wspomnę teraz, wracając wspomnieniami do końca lat osiemdziesiątych i początku lat dziewięćdziesiątych, o jeszcze dwóch ważnych dla mnie wydarzeniach związanych z zagraniczną współpracą. Warto tu przedtem przypomnieć ogólnie prawdziwe w działalności akademickiej przekonanie, że możliwości udziału i prezentowania prac na kongresach i konferencjach bardzo przyczyniają się do postępów w nauce. Są przecież wynikiem bieżących prowadzonych badań, a w naszym instytucie prowadziliśmy je w ramach wielu grantów i realizacji planów naukowych. Kolejne władze UG zawsze traktowały wyjazdy na konferencje i kongresy, staże i wszelką działalność międzynarodową priorytetowo i pomagały jak mogły w naszej działalności. Przeszkodą nie do pokonania były przepisy dewizowe i limit uczelniany (w gestii ministerstwa). Na ogół nie przeszkadzano nam, jeśli środki pochodziły z ośrodków, z którymi współpracowaliśmy. Dbałość o udokumentowanie rezultatów i osiągnięć, przede wszystkim w formie publikacji naukowych w liczących się czasopismach międzynarodowych, choć nie zawsze tylko wysokiej rangi (ranga i wybór czasopisma są oczywiście też bardzo ważne, bo liczą się w karierze naukowej i w obowiązującym systemie punktacji), ale też takich, które są aktualnie w danej dziedzinie najczęściej użytkowane w szerokich naukowych kontaktach, na przykład materiały konferencyjne (Conference Proceedings), czy pewne czasopisma specjalistyczne (mniejszej rangi w systemie punktacji). W przypadku naszej aktywnej działalności taka dbałość powodowała, że byliśmy rozpoznawalni w środowisku specjalistów w różnych ośrodkach naukowych w świecie. Pewnym wymiernym dla mnie faktem tej rozpoznawalności były dwa

istotne dla mnie imienne zaproszenia: do Chin od prof. C.F. Yinga (Institute of Acoustics, Academia Sinica, Beijing) w 1987 roku i do USA od prof. L. Adlera (Ohio State University) w 1990 roku z wykładami na seminariach.

Pobyt w Chinach obejmował kolejno Instytut Akustyki Chińskiej Akademii w Pekinie (fot. 97 – prof. Guan Dinghua i ww. prof. C.F. Ying), Nanjing University, Department of Information Physics, Institute of Acoustics (fot. 98, prof. Wu-Wen-Qiu) i Tong-ji University, Institute of Acoustics w Szanghaju (fot. 99, prof. Mo-An-Wei), a następnie powrót do Pekinu, gdzie uczestniczyłem w kongresie Inter-noise'87. Przedstawiłem tam też referat dotyczący prac prowadzonych z mgr. Z. Dukiewiczem ze ŚLAIŚ. Miałem zaproszenia od ww. specjalistów zajmujących się akustyką fizyczną na tych uniwersytetach do ich odwiedzenia i wygłoszenia referatów na seminariach w ich instytutach. Tematy tych referatów dotyczyły prac prowadzonych na UG w dziedzinach akustyki molekularnej (z dr. B. Linde) oraz akustooptyki (z dr I. Wojciechowską i dr. P. Kwiekim). Wizyta w Chinach była bardzo owocna i głęboko poznawcza naukowo, a poza tym dostarczyła wielu niezapomnianych wrażeń turystycznych z okazji okolicznościowych odwiedzin Zakazanego Miasta, Wielkiego Muru i wielu innych ciekawych obiektów podczas oprowadzania w serdecznej atmosferze chińskich fizyków-akustyków.



Fot. 97. Instytut Akustyki Chińskiej Akademii Nauk, Beijing (Pekin), 1987 rok



Fot. 98. Instytut Akustyki w Nanjing (Nankin) University, 1987 rok



Fot. 99. Instytut Akustyki w Tongji University w Szanghaju, 1987 rok

Zaproszenie do USA i program opracowany i zaplanowany przez prof. Laszlo Adlera obejmowały kolejno: Department of Physics Georgetown University, Washington DC (prof. W.G. Mayer) i Blackburg VA, State University, Stefenson Centre (dr T.C. Poon); University of Syracuse (prof. J. Zwisłocki); Huntsville AL, University of Alabama (dr P.P. Banergee); Pen State University, Dept. Eng. Science and Mechanics (prof. B.R. Tittmann) Pennsylvania; Columbus OH. Ultrasonics Lab. (dr Laszlo Adler, prof. Roklin); Indianapolis; Chicago; Midway; Iowa City IA, University of Iowa, Electrical and Computer Engineering (prof. Adrian Korpel); Chicago; Indianapolis; San Diego (uczestnictwo w 162 ASA – Acoustical Society of America – annual meeting); Irvine CA, Department Electrical and Computer Engineering and Institute for Surface and Interface Science, University of California (prof. C.S. Tsai, M.A. Breazeale); Disneyland (z Breaseale’ami); San Francisco (dr Kent Lewis); University of California, Lawrence Livermore National Laboratory (dr Kent Lewis, dr L. Adler); San Francisco; Berkley; San Francisco; New York; Warszawa. Wszystkie te ośrodki to miejsca, w których pracowali fizycy związani z nami współpracą, i ci, którzy uczestniczyli w naszych Szkołach Akustooptyki i Zastosowań. To oni zajmowali się mną w czasie pobytu u nich i są podani w nawiasach w powyższym spisie. Wszędzie tam wygłosiłem na ich seminariach referaty na tematy (jeden z 6 różnych oferowanych do wyboru) dotyczące naszych osiągnięć w UG. Odyłem wiele dyskusji i obejrzałem ciekawe laboratoria w atmosferze gościnności i rzeczowych perspektyw dla rozwoju fizyki, w szczególności ultradźwięków i optyki. Zebrane w czasie tego wyjazdu do USA jak i poprzedniego do Chin doświadczenia miały dla mnie ogromne znaczenie w dalszej pracy w UG w następnych latach. Kolejnych kilka fotografii dotyczy tych wizyt.



Fot. 100. Pierwsza strona gazetki uniwersyteckiej w Blackburg PV „LIGHTNEWS” wydawanej przez Fiber & Electro-Optics Research Center, Virginia Tech., 1989, nawiązująca do uczestnictwa dr. T.C. Poon w 4th School on Acousto-Optics & Applications w Gdańsku-Sobieszewie w 1989 roku



Fot. 101. University of California, 1990 rok. Wizyta w domu prof. Chen S Tsai'a (po prawej) w Hollywood. Od lewej: prof. Mack A. Breazeale, jego żona Lau, prof. A. Śliwiński



Fot. 102. University of California, 1990 rok. Wizyta w domu (w ogrodzie) prof. Chen S Tsai'a (po prawej) w Hollywood. Po lewej prof. A. Śliwiński



Fot. 103. San Francisco, 1990 rok. Historyczny tramwaj o „napędzie” grawitacyjnym, na zasadzie kolejki linowej

Prace naszego zespołu przedstawialiśmy także na innych konferencjach w Europie i w kraju. Wymienię jeszcze kilka, ale było ich tak dużo, że nie sposób o wszystkim powiedzieć. Kontynuowaliśmy nasze kontakty z fizykami Politechniki Śląskiej i braлиśmy czynny udział w Zimowych Szkołach organizowanych w Beskidzie Śląskim. Trzeba tu przypomnieć, że program obrad tych zimowych spotkań był zawsze tak zaplanowany (tradycyjnie od początku) przez organizatorów, aby był bardzo atrakcyjny dla miłośników sportów zimowych i obrady konferencyjne odbywały się tylko w godzinach popołudniowych. Była to specjalna gratka np. dla narciarzy. Na fotografii 104 prof. Ryszard Płowiec i A. Śliwiński na XXX Szkole AMIK w Jaszowcu, 2001 rok, a na następnej większa grupa uczestników Szkoły. Kolejne dwie fotografie przypominają jedną z wizyt prof. Roberta C. Chiversa z University of Surrey UK z żoną, fizyka zajmującego się ultradźwiękami, z którym współpracowaliśmy przez wiele lat. Był rdzennym Anglikiem, który często był w Polsce, płynnie mówił po polsku i był niezwykle zasłużony dla polskiej akustyki, był między innymi członkiem honorowym Polskiego Towarzystwa Akustycznego, członkiem Zespołu Redakcyjnego wydawanego w Polsce czasopisma „Archives of Acoustics”. Niestety nieoczekiwanie zmarł w listopadzie 2004 roku.



Fot. 104. XXVIII Szkoła AMiK, Ustroń-Zawodzie, 1999 rok. Od lewej: R. Płowiec i A. Śliwiński



Fot. 105. XXX Szkoła AMiK, Wisła-Jaszowiec, od prawej: T. Pustelny, A. Śliwiński, B. Linde



Fot. 106. XXXII Szkoła AFiK w Szczyrku, 2003 rok. Od prawej: prof. R. Chivers z małżonką Priti, obok prof. A. Śliwiński



Fot. 107. XXXII Szkoła AFiK w Szczyrku, 2003 rok; wykład prof. R. Chiversa o badaniu własności drewna metodami ultradźwiękowymi

Zwykle we wrześniu w kolejnych latach braliśmy również udział w spotkaniach OSA, które co kilka lat naprzemiennie z innymi oddziałami PTA organizował Górnośląski Oddział w Beskidach. Zaprezentowana fotografia 108 z XLIII OSA'96 w Ustroniu-Zawodziu przypomina te kontakty. Niestety, nie żyją już od kilkunastu lat profesorowie Z. Kleszczewski i A. Opilski utrwaleni na tej fotografii. W następnych latach kontakty z PŚ się jeszcze bardziej nasiliły.



Fot. 108. XLIII OSA'96 w Ustroniu Zawodzie; od lewej: T. Pustelny z żoną Barbarą, Z. Kleszczewski, A. Śliwiński, A. Opilski



Fot. 109. Ogłoszenie wyników Konkursu im. Marka Kwieka na Zjeździe Delegatów PTA na XLVII OSA w Rzeszowie, 2000 rok. Od lewej: dr Maria Rabiega, prof. A. Śliwiński, prof. W. Rdzanek

W ciągu tego dziesięciolecia (i na początku następnego) współorganizowaliśmy w ramach Gdańskiego Oddziału PTA trzy Otwarte Seminarium z Akustyki: XXXVII OSA'1990 w Gdańsku-Oliwie, XLIV OSA'1997 w Jastrzębiej Górze oraz LI OSA'2004 w Gdańsku-Sobieszewie.

W roku 1993 mieliśmy na UG kolejne wybory władz. Rektorem został wybrany na drugą kadencję prof. Zbigniew Grzonka do 1996 roku, kiedy wybrano też na dwie kadencje prof. Marcina Plińskiego.

We wrześniu zmieniły się osoby na stanowiskach dziekanów i prodziekanów, dyrekcji instytutów (zob. tab. 3) oraz obsady i składy obydwu instytutów w poszczególnych zakładach. Te ostatnie ulegały niewielkim zmianom ilościowym, nastąpił jednak

bardzo wyraźny wzrost jakościowy zawodowej kwalifikacji poszczególnych osób. Wielu magistrów zrobiło doktoraty (zob. schemat 4), kilka osób zrobiło habilitacje lub uzyskało tytuły profesorskie. Porównując rok akademicki 2000/2001 i 1990/1991, dobrze widać te zmiany. Można też zobaczyć, że niestety niektórzy odeszli od nas na zawsze. Z żalem ich żegnaliśmy, a teraz zachowujemy we wdzięcznej pamięci za wkład włożony w pracę dla instytutu i uniwersytetu.

W lutym 1994 roku zorganizowano w instytucie okolicznościowe Sympozjum Naukowe z okazji mojego 65-lecia urodzin. Byłem zaszczycony, że sesji naukowej przewodniczył prof. Franciszek Kaczmarek z Instytutu Fizyki UAM w Poznaniu, a wykłady przedstawili profesorowie: A. Opilski z Instytutu Fizyki PŚ w Gliwicach, M. Łabowski z Instytutu Akustyki UAM w Poznaniu, R. Płowiec z IPPT PAN w Warszawie i C. Lewa z naszego Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG (Zachara 1994).

W styczniu w roku 1996 roku uczestniczyliśmy (wraz z koleżankami i kolegami z PG) w 75-leciu PTF na Hożej w Warszawie w uświęconym tradycją Instytucie Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

W 1995 roku funkcjonujące już ponad 20 lat (fot. 110) nasze środowiskowe laboratorium ŚLAIŚ wystąpiło z wnioskiem do PCA (Polskie Centrum Akredytacji) o uzyskanie statusu laboratorium akredytowanego. Wymagało to specjalnej procedury i odbycia kilku audytów specjalnej komisji z Warszawy. Audyty rozpoczęły się w marcu 1995 roku i z powodzeniem miały się zakończyć po trzecim audycie na początku 1996 roku. Niestety, jednak do tego nie doszło, bo ŚLAIŚ popadł w pewne trudności finansowe (nazwijmy je „przejściowymi”) oraz w niełaskę władz wydziału i niektórych kolegów z obu Instytutów Fizyki, co spowodowało, że nie dokończono procedury akredytacji i w końcu lat dziewięćdziesiątych zostało ono zlikwidowane. Pracownicy zostali wchłonięci w strukturę IFD.



Fot. 110. Skan pierwszej strony ulotki informacyjnej o jubileuszu oraz działalności i osiągnięciach ŚLAIŚ (Środowiskowego Laboratorium Akustyki i Spektroskopii) UG

W marcu 1997 roku na Wybrzeżu braliśmy udział w wydarzeniu zorganizowanym przez PTF z okazji 90-lecia urodzin prof. I. Adamczewskiego. Referat okolicznościowy wygłosił wtedy prof. Olgierd Gzowski z PG, którego niestety już 2 miesiące potem (23 maja 1997 roku) pożegnaliśmy na pogrzebie na cmentarzu w Kiełpinku. Jak wspominałem we wstępie, to on skutecznie w 1970 roku namówił mnie do przeniesienia się z Poznania do UG w Gdańsku.

Lata dziewięćdziesiąte mimo różnych doraźnych trudności wspominam jako okres dobry dla rozwoju fizyki na UG. Ogólna atmosfera na uczelni i w kraju też sprzyjała optymistycznym nastrojom i różnym inicjatywom akademickiego środowiska; prężnie działała uniwersytecka „Solidarność”. W tym okresie były różne spotkania i jubileusze.

Kolejne dwie fotografie (fot. 111 i 112) przedstawiają uroczystości tradycyjnego opłatka bożonarodzeniowego, którą uświetniał swym kolędowym koncertem znakomity Chór Uniwersytecki prowadzony przez dyrygenta prof. Marcina Tomczaka.



Fot. 111. JM Rektor UG, prof. M. Pliński, prof. A. Śliwiński i dyrygent Chóru Akademickiego UG prof. M. Tomczak



Fot. 112. Występ Chóru Akademickiego UG na bożonarodzeniowym oplatku „Solidarności” UG, 1996 rok

W 1997 roku Zespół Luminescencji miał swoje święto, gdy w IFD obchodził swój piękny jubileusz 70-lecia urodzin prof. A. Kawski. Uroczystość zgromadziła wielu kolegów, pracowników doktorantów i studentów; okolicznościowe wystąpienia mieli

rektor Grzonka i dziekan Alicki, a wykład o osiągnięciach jubilata wygłosił prof. Czesław Bojarski z Politechniki Gdańskiej; w imieniu fizyków z UMK w Toruniu mówił i gratulował prof. Andrzej Bączyński; wiele życzeń i gratulacji wpłynęło z całego kraju i z zagranicy. Poniżej kilka fotografii z tego jubileuszu; opracowaną biografię jubilata zaprezentował prof. C. Bojarski z PG wraz ze spisem jego doktorantów, w którym dwóch było już wtedy po habilitacji w UMK (Jerzy Kamiński w 1989 i Janina Heldt w 1992).



Fot. 113. Jubileusz 70-lecia urodzin prof. A. Kawskiego, IFD UG, 1997 rok, sala Rady Wydziału. Od lewej: prof. A. Śliwiński, dr B. Linde, prof. A. Kawski, prof. R. Alicki, dziekan Wydziału MF UG



Fot. 114. Jubileusz 70-lecia urodzin prof. A. Kawskiego, IFD UG, 1997 rok, Aula Wydziału MF. Od lewej w pierwszym rzędzie: prof. A. Kawski jubilat, prof. C. Bojarski PG, prof. A. Bączyński UMK



Fot. 115. Jubileusz 70-lecia urodzin prof. A. Kawskiego, Instytut Fizyki Dośw. UG, 1997 rok

a) słowa laudacji wygłasza prof. C. Bojarski;

b) prof. A. Kawski, jako prorektor ds. nauki UG (fot. P. Bojarski)



Fot. 116. Jubileusz 70-lecia urodzin prof. A. Kawskiego, IFD UG, 1997 rok.

a) gratulacje i życzenia z UMK przekazuje prof. A. Bączyński;

b) jubilat prof. Kawski kroi tort udekorowany schematem Jabłońskiego poziomów energetycznych fotoluminescencji. Z tyłu od prawej stoją: prof. A. Ceynowa, prorektor UG ds. nauki, i prof. A. Śliwiński



Fot. 117. Jubileusz 70-lecia urodzin prof. A. Kawskiego, IFD UG, 1997 rok. W sali dziekanatu MFI. Od prawej: doc. dr K. Badziąg, prof. A. Kawski, prof. A. Śliwiński

W maju i czerwcu 1999 roku odbyły się wybory władz na następną kadencję. Dziekanem wybrano prof. Andrzeja Szepietowskiego (matematyka), prodziekanami: prof. A. Kowalskiego (fizyka doświadczalnika) i prof. D. Makowiec (fizyka teoretyczna), a dyrektorem IFD prof. M. Grinberga i jego zastępcami ds. naukowych prof. P. Kwieka (później w połowie kadencji prof. B. Lindego) i ds. dydaktycznych dr. S. Zacharę. 23 czerwca odbyło się w IFD zebranie starej i nowej dyrekcji, a 5 października pożegnanie emeryta Śliwińskiego w sali dziekanatu.

Na Wydziale Biotechnologii obyla się w dniu 15 września 1999 roku konferencja poświęcona 10-leciu pamięci Karola Taylora zorganizowana przez prof. Annę J. Podhajską (Podhajska 1999), o czym już wspominałem wyżej.

W latach dziewięćdziesiątych uczestniczyliśmy też w dorocznych Zimowych Szkołach AMIK organizowanych w Beskidach przez Politechnikę Śląską.

Regularnie współpracowaliśmy z Centralnym Instytutem Ochrony Pracy – Państwowym Instytutem Badawczym (CIOP-PIB) w Warszawie, uczestnicząc również w pięciu kolejnych w tym dziesięcioleciu międzynarodowych konferencjach „Noise Control” organizowanych (od wielu lat) co 2 lata przez Zakład Wibroakustyki tego Instytutu we współpracy z Instytutem Wibroakustyki AGH w Krakowie (prof. Zbigniew Engel) – fot. 118 przedstawia okolicznościową fotografię z jubileuszu 45-lecia pracy naukowej, którą obchodził on w Krakowie w 1997 roku.



Fot. 118. Uroczystość jubileuszu 45-lecia pracy naukowej prof. dr. hab. Z. Engela, AGH, Kraków, 1997 rok. Od lewej: prof. Z. Engel, x, prof. A. Śliwiński, żona jubilata Maria Engelowa, prof. I. Malecki

Wyniki badań z fizyki, które prowadziliśmy w instytutach UG, zostały udokumentowane licznymi i często bardzo wartościowymi publikacjami (wielokrotnie cytowanymi). Prezentowane też były na licznych konferencjach i sympozjach naukowych krajowych i zagranicznych, ale nie sposób ich tutaj omawiać, są one jednak dostępne w sprawozdaniach instytutu czy wydziału zgromadzonych w Archiwum UG, a także w bibliografiach pracowników akademickich UG i w artykułach przeglądowych (Śliwiński b.d.) czy innych źródłach, np. książkowych (Śliwiński 2001). Wielu nauczycieli akademickich w tym okresie uzyskało doktoraty i habilitacje oraz awansowało (tab. 1).

Tabela 1. Spis wypromowanych doktorów z fizyki i wykonanych habilitacji doktorów pracujących na Fizyce UG w 50-leciu

Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW	Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW
Zygmunt Kleszczewski	27.05.1972 to pierwszy doktor z fizyki na UG	Janina Miliszkievicz	1974
Stanisław Zachara	1972	Grażyna Jacyno (Karez)	1974
Jerzy Kamiński	1972	Jerzy Sikorski	1974
Jerzy Czajko	1973	Bronisław Arcimowicz	1975
Eugenisz Czuchaj	1973	Jerzy Mizeraczyk	1975
Cecylia Strzałkowska	1973	Lidia Opilska	1975
Jerzy Dembczyński	1974	Andrzej Huszyński	1975
		Hanna Rudnicka-Szuba	1976

Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW	Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW
Janusz Czub	1976	Piotr Kwiek	1979
Tadeusz Waśniewski	1976	Mieczysław Jasiński	1979
Ryszard Horodecki	1976	Barbara Dogil	1979
Zdzisław Dubiella	1976	Zdzisław Musielak	1979
Jerzy Ignaciuk	1976	Jarosław Pykacz	1980
Piotr Bałuk	1977	Jerzy Krzak	1980
Janusz Berdowski	1977	Anna Sikorska	1980
Elżbieta Bielicz	1977	Henryk Szmaciński	1980
Zbigniew Engels	1977	Maria Alicka	1980
Jerzy Smela	1977	Maria Witkowska-Borysewicz	1980
Bożena Śniadek	1977	Jan Domin	1981
Anna Szafranek	1977	Maria Ligeża	1981
Piotr Tymarński	1977	Katarzyna Werel	1981
Ignacy Gryczyński	1977	Maria Żukowska	1981
Tadeusz Matuszewski	1977	Teresa Rytel	1981
Lucyna Augustyniak	1977	Włodzimierz Bandera	1981
Janina Heldt	1977	Czesław Kizorski	1981
Andrzej Kowalski	1978	Marek Żukowski	1982
Andrzej Puch	1978	Jan Staśkiewicz	1982
Marek Kosmol	1978	Stanisław Łoziński	1982
Mirosława Łepek	1978	Małgorzata Grus	1982
Marian Stoń	1978	Zygfryd Dukiewicz	1982
Anna Markiewicz	1978 (IPPT PAN W-wa)	Jan Snakowski	1982
Ewa Paul	1978	Jacek Mizerski	1982
Mikołaj Baryłko	1978	Kazimierz Dunajski	1982
Ryszard Kolwicz	1978	Henryk Tygielski	1983
Iwona Wojciechowska	1979	Kazimierz Nowaczyk	1983
Bogumił Linde	1979	Józef Sienkiewicz	1983
Andrzej Posiewnik	1979	Maciej Kałas	1984
Danuta Lewandowska	1979	Marek Błahut	1984
Mirosława Szyncl	1979	Zdzisław Kubik	1984
Jerzy Wojtkowiak	1979	Witold Ziółkowski	1984
		Kazimierz Knapieński	1984

Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW	Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW
Zbigniew Kojro	1984	Jolanta Czerwińska	1992
Iwona Bielińska	1985	Maria Gazda	1993
Jan Szczepański	1985	Radosław Szmytkowski	1993
Stanisław Kryszewski	1985	Leszek Kułak	1993
Krzysztof Sienicki	1985	Maciej Kuna	1993
Stanisław Pogorzelski	1985	Grzegorz Gondek	1993
Sylwia Zielińska	1985	Przemysław Kierzkowski	1994
Michał Jasiński	1985	Grzegorz Piszczek	1997
Tadeusz Podoski	1985	Benedykt Kukliński	1997
Ferdynard Froissant	1985	Tomasz Katkowski	1998
Romuald Jan Witula	1986	Bogusław Pranszke	1999
Jerzy Kwela	1986	Dagamir Kaszlikowski	2000
Jerzy Filończuk	1986	Michał Horodecki	2000
Danuta Makowiec	1987	Joanna Gondek	2000
Zygmunt Gryczyński	1987	Grzegorz Kaczmarczyk	2001
Marceli Krogulec	1987	Mirosław Brozis	2001
Zbigniew Turzyński	1987	Marek Krośnicki	2003
Ewa Stachowska	1987	Justyna Barzowska	2004
Wiesław Miklaszewski	1987	Marek Jan Józefowicz	2004
Małgorzata Szpakowska	1988	Katarzyna Anna Kozyra	2005
Aleksander Kubicki	1989	Tomasz Redzimski	2005
Stanisław Łętowski	1989	Tomasz Jarosław Wąsowicz	2006
Janusz Szurkowski	1989	Ireneusz Grulkowski	2007
Khalifa Salech Saeida	1990	Wiesław Marek Laskowski	2007
Abdullah Taleb	1990	Tomasz Paterek	2007
Tadeusz Zaleski	1991	Anna Marlena Synak	2007
Krzysztof Środecki	1991	Marcin Adam Wieśniak	2007
Piotr Mondalski	1991	Sławomir Werbowy	2008
Sławomir Rudnicki	1991	Aleksandra Dudkowska	2009
Ryszard Drozdowski	1992	Sebastian Gabriel Mahlik	2010
Abu Mohamed Al Hasan Osman Mohamed	1992	Marcin Pawłowski	2010
Piotr Bojarski	1992	Simeonika Rangelowa- -Jankowska	2013

Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW	Imię i nazwisko	Data przyjęcia pracy przez RW
Tomasz Ignacy Tylec	2014	Władysław A. Majewski	1985 (UW Warszawa)
Dawid Jan Jankowski	2015	Janusz Czub	1986 (UMK Toruń)
Aneta Maria Lewkowicz	2015	Andrzej Kowalski	1986 (UMK Toruń)
Michał Grzegorz Studziński	2015	Leszek Woliński	1988 (UAM Poznań)
Agata Magdalena Lazarowska	2016	Jerzy Kamiński	1989 (UMK Toruń)
Paweł Piotr Mazurek	2016	Janina Heldt	1992 (UMK Toruń)
Paweł Radosław Rochowski	2016	Piotr Kwiek	1996 (UAM Poznań)
Krzysztof Roman Szczygielski	2016	Stanisław Kryszewski	1996 (UMK Toruń)
Adrian Kołodziejski	2018	Marek Żukowski	1996 (UMK Toruń)
Łukasz Marek Sobolewski	2018	Ryszard Horodecki	1997 (UMK Toruń)
Oksana Voronych	2018	Stanisław Pogorzelski	1997 (Instytut Geofizyki PAN)
Edgar Alexis Aguilar Lozano	2018	Danuta Makowiec	1998 (UJ Kraków)
Kamil Krzysztof Kostrzewa	2019	Bogumił Linde	1998 (UAM Poznań)
Debashis Saha	2019	Wiesław Miklaszewski	1999 (UG Gdańsk)
Jakub Jan Borkała	2020	Piotr Bojarski	2001 (UMK Toruń)
Marta Miotke-Wasilczyk	2020	Ewa Paul	2002 (UG Gdańsk)
Mate Farkas	2020	Jerzy Kwela	2003 (UG Gdańsk)
Natalia Górecka	2021	Ryszard Drozdowski	2004 (UG Gdańsk)
Patryk Andrzej Kamiński	2021	Aleksander Kubicki	2010 (UG Gdańsk)
Tadeusz Leśniewski	2021	Marek Krośnicki	2012 (UG Gdańsk)
Michał Piotr Banacki	2022	Piotr Gnaciński	2013 (UMK Toruń)
Anubhav Chaturvedi	2022	Marcin Wieśniak	2014 (UG Gdańsk)
Mahasweta Pandit	2022	Wiesław Laskowski	2014 (UG Gdańsk)
Ray Ganardi	2022	Marek Józefowicz	2015 (UG Gdańsk)
Palash Pandya	2022	Tomasz Paterek	2016 (UG Gdańsk)
Habilitacje		Sebastian Mahlik	2018 (UG Gdańsk)
Alfons Kawski	1964 (UMK Toruń)	Adam Rutkowski	2019 (UG Gdańsk)
Czesław Lewa	1977 (UAM Poznań)	Karol Horodecki	2020 (UG Gdańsk)
Eugeniusz Czuchaj	1981 (UMK Toruń)	Michał Oszmaniec	2020 (CFT PAN)
Robert Alicki	1983 (UMK Toruń)	Ana Belez Sainz	2021 (UG Gdańsk)
		Marcin Markiewicz	2022 (UG Gdańsk)

Doktoraty z fizyki o specjalności akustyka w Instytucie Fizyki Doświadczalnej na Uniwersytecie obronili: W. Bandera, Z. Dukiewicz, M. Kosmol, P. Kwiek, B. Linde, M. Łeppek, S. Łętowski, A. Szafranek, A. Markiewicz, J. Sułocki, I. Wojciechowska, M. Witkowska-Borysewicz, L. Lipiński, K. Środecki, P. Tymański, W. Ziółkowski oraz kilkadziesiąt osób o różnych specjalnościach w innych zespołach w obydwu instytutach, wśród nich także osoby z innych ośrodków w kraju i z zagranicy.

Tytuły dr hab. z fizyki uzyskali: pracujący lub współpracujący w dziedzinie akustyki: C. Lewa, P. Kwiek, B. Linde, S. Pogorzelski, J. Szurkowski, a także pracujący w innych dziedzinach i specjalnościach w obydwu instytutach:

- teoretycy: E. Czuchaj, R. Alicki, W. Majewski, J. Czub, M. Żukowski, E. Paul, W. Miłkaszewski, D. Makowiec, S. Kryszewski, M. Józefowicz, M. Krośnicki, M. Wieśniak, W. Laskowski, T. Paterek, P. Gnaciński, A. Rutkowski, S. Mahlik oraz
- doświadczalnicy: A. Kowalski, L. Woliński, R. Horodecki, J. Kamiński, J. Heldt, P. Bojarski, J. Kwela, A. Kubicki, R. Drozdowski.

Wiele z wymienionych osób zostało profesorami UG, a później profesorami tytularnymi. Awanse w zespołach naukowych przebiegały różnie i każdy ma swoją indywidualną historię kariery naukowej, tylko bardzo fragmentarycznie odzwierciedloną na przedstawionych tu schematach 1–5 w poszczególnych dziesięcioleciach UG.

W latach dziewięćdziesiątych oprócz Zakładu Fizyki Stosowanej powstały: Zakład Akustyki i Fizyki Ciała Stałego (którym do roku 2016 kierował prof. UG, dr hab. B. Linde; tu pod jego promotorstwem doktorat wykonał B. Nienałtowski – fot. 119) oraz Zakład Akustooptyki i Fizyki Laserów (kierował nim prof. P. Kwiek) i tutaj doktoraty pod jego promotorstwem uzyskali: G. Gondek, T. Katkowski, I. Grulkowski (fot. 120) – obecnie profesor na UMK, organizator 14 Szkoły Akustooptyki i Zastosowań w Toruniu w 2019 roku.



Fot. 119. Uroczysta promocja doktorska dr. B. Nienałtowskiego w PG, 2013 rok. Za nim promotor przewodu prof. B. Linde. Promuje prof. K. Krawczyk J.M. Rektor PG; po prawej prof. J. Sienkiewicz prorektor ds. naukowych PG (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



Fot. 120 Doktorat mgr. I. Grulkowskiego, IFD UG, 2007 rok. Od lewej: prof. P. Kwiek – promotor, prof. UG S. Kryszewski IFTiA – kierownik Studium Doktoranckiego Fizyki, prof. A. Opilski – recenzent – IF Politechnika Śląska, I. Grulkowski – wypromowany doktor fizyki, em. prof. A. Śliwiński – recenzent, prof. UG B. Linde IFD, prof. A. Kowalski IFD – dziekan Wydziału MFI UG

Drugie już w latach dziewięćdziesiątych wybory władz UG mieliśmy w 1996 roku. Rektorem wybrano prof. Marcina Plińskiego (funkcję tę sprawował przez dwie kadencje w latach 1996–2002); dziekanem na kadencję 1996–1999 został wybrany prof. R. Alicki, fizyk teoretyk, a dyrekcję IFD wybrano w składzie: A. Śliwiński – dyrektor, dr B. Linde – zastępca dyrektora ds. naukowych i dr S. Zachara – zastępca dyrektora ds. dydaktycznych. Po zakończonej kadencji w 1999 roku przeszedłem na emeryturę.

W końcu lat dziewięćdziesiątych współpraca w dyrekcji i na wydziale układała się dobrze i staraliśmy się sprostać kolejnym wyzwaniom i wydarzeniom. Zakłady i zespoły naukowe pracowały i miały osiągnięcia, trwała jednak pewna rywalizacja w zdobywaniu środków na badania i wiele było na ten temat dyskusji na Radach Naukowych Instytutu. Dążyliśmy do sprawiedliwych podziałów, ale nie wszystkie działania dyrekcji były akceptowane, chociaż oficjalnie do pewnego czasu nie były zgłaszane, to jednak pod koniec 1997 roku doszło do bardzo niemiłej konfrontacji i nieporozumień między pracownikami naukowymi i dyrekcją na Radzie Naukowej Instytutu. Potem nawet pojawił się list do dziekana sporządzony przez czterech profesorów i dziekana R. Alicki musiał załagodzić sprawy. Był to niemiły incydent, ale jego pewne konsekwencje rzutowały na przyszłość i w następnym okresie (gdy byłem już na emeryturze) było coraz trudniej uzyskiwać kompromis opiniujących ciał koleżeńskich, co często odbijało się na decyzjach niesprzyjających rozwojowi, który dotąd był dosyć harmonijny. Pojawiły się też pewne niezupełnie zdrowe personalne rywalizacje pomiędzy młodszymi kolegami. Czasem w imię dbałości o dobro sprawy niektóre wnioski na Radzie Instytutu czy Radzie Wydziału nie przechodziły

w głosowaniach, co powodowało opóźnienia w karierze naukowej lub na przykład skłaniało do poszukiwania innej drogi niż własna Rada Wydziału dla wszczynania postępowań o tytuł profesora (zob. Linde 2021). Jednak awansowanie młodej kadry naukowej i przejmowanie obowiązków przez nowych ludzi w warunkach równoległe dziejącej się komputeryzacji i technologicznej rewolucji oraz związanej z tym zmiany metodologii badań naukowych, także w fizyce doświadczalnej, a także zmian we współżyciu międzyludzkim, traktowaliśmy jako naturalną kolej rzeczy.

W roku 1997 prof. J. Fiutak i prof. J. Heldt podjęli pracę w Instytucie Fizyki WSP w Słupsku, gdzie działali bardzo czynnie. Później WSP w Słupsku zmieniło nazwę na Akademię Pomorską w Słupsku, a prof. J. Fiutak w latach 1999–2002 był dyrektorem Instytutu Fizyki tej Akademii.

Strukturę Fizyki w naszym UG, gdy przechodziłem na emeryturę, i nową dyrekcję IFD wybraną na kadencję lat 2000/2001 przedstawiono na schemacie 4.

Schemat 4. Struktura i obsada stanowisk w Instytutach Fizyki UG w roku akademickim 2000/2001

Instytut Fizyki Doświadczalnej

Dyrektor instytutu Dr hab. Marek Grinberg prof. UG

Z-ca dyrektora instytutu
ds. naukowych Dr hab. Bogumił Linde

Z-ca dyrektora instytutu
ds. dydaktycznych Dr Stanisław Zachara

Sekretariat instytutu Barbara Rosenkiewicz
Anna Kozłowska

Zakład Akustyki i Fizyki Ciała Stałego

dr hab. Bogumił Linde
dr Marek Kosmol
dr Mirosława Łeppek
dr Stanisław Pogorzelski
dr Janusz Szurkowski
dr Krzysztof Środecki
dr Stanisław Zachara

Pracownicy techniczni: dr Maria Borysewicz
mgr inż. Jacek Pączkowski
dr Anna Sikorska
Bogna Dałek

Pracownik administracyjny: Grażyna Świtalska

Zakład Akustyki i Fizyki Laserów

prof. dr hab Piotr Kwiek
mgr Grzegorz Gondek

Pracownicy techniczni: mgr Ingrid Głębocka
mgr inż. Tomasz Katkowski

Zakład Fizyki Atomowej

prof. dr hab. Andrzej Kowalski
mgr Adam Barzowski
dr Ryszard Drozdowski
mgr Dariusz Grabowski
dr Jerzy Kwela
mgr Przemysław Kierzkowski
mgr Rafał Ławruszczuk
mgr Ewa Szatan
mgr Bogusław Pranszke

Pracownicy techniczni: mgr Konstanty Dałek
mgr Marek Ignaciuk
Grażyna Pogorzelska
mgr inż. Władysław Strugała

Zakład Fizyki Molekularnej

dr hab. prof. UG Marek Grinberg
dr Maria Alicka
dr Małgorzata Grus
dr Anna Jankowska-Frydel
mgr Justyna Barzowska
dr Piotr Bojarski
dr Aleksander Kubicki
dr Jan Kukielski

Pracownicy techniczni: mgr Grzegorz Piszczek
dr Jerzy Wojtkowiak
Renata Basis
mgr Benedykt Kukliński
mgr inż. Tadeusz Nowosielski
mgr Ewa Trela
mgr Irena Weyna
mgr Andrzej Zieliński

Zakład Fizyki Ogólnej

Pracownicy techniczni: dr hab Janina Heldt
dr hab Jerzy Kamiński
mgr Marek Blukis
mgr Mariola Grabowska

Zakład Fizyki Stosowanej

Pracownicy techniczni: prof. dr hab Czesław Lewa
dr Danuta Lewandowska
mgr Lucyna Nogal
dr Anna Szafranek
dr Konrad Witkowski
mgr Grażyna Żebrowska
dr Edward Kuteń
dr Stanisław Łętowski
dr Ewa Zając

Pracownia Dydaktyki

Pracownicy techniczni: dr Zbigniew Engels
dr Grażyna Jacyno
dr Kazimierz Knapiński
dr Janusz Młodzianowski
Konrad Kierzek
mgr Halina Makarewicz

Zespół Pracowników Inżynierjno-Technicznych i Administracyjnych

Sekretariat	Krystyna Kielbasa Maria Kinczel
Pracownia Elektroniczna:	mgr inż. Danuta Fenc
Pracownia Precyzyjna:	Kazimierz Juszyński
Pracownia Kreślarska:	Elżbieta Blukis
Pracownia Szklarska:	Ryszard Napiórkowski
Warsztat Mechaniczny:	Ryszard Żółtek – kierownik Włodzimierz Kaczmarski Ryszard Mirkiewicz Andrzej Żółtek

Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki

Dyrektor	prof. dr hab. Eugeniusz Czuchaj
Zastępca dyrektora	dr hab. Wiesław Miklaszewski
Sekretariat	mgr inż. Elżbieta Teresa Bandura

Zakład Astrofizyki

Kierownik zakładu	dr hab. Jerzy Sikorski prof. UG
Nauczyciele akademicy:	
Profesorowie zw.	prof. dr hab. Robert Głębocki
Profesorowie nadzw.	dr hab. Jerzy Sikorski
Asystenci	mgr Piotr Gnaciński
Starsi wykładowcy	dr Elżbieta Bielicz

Zakład Mechaniki Teoretycznej

Kierownik zakładu	dr hab. Janusz Czub
Nauczyciele akademicy:	
Profesorowie zw.	prof. dr hab. Eugeniusz Czuchaj
Adiunkci hab.	dr hab. Janusz Czub
Adiunkci	dr Ewa Paul

Zakład Metod Matematycznych Fizyki

Kierownik Zakładu	prof. dr hab. Władysław A. Majewski
Nauczyciele akademicki:	
Profesorowie zw.	prof. dr hab. Robert Alicki prof. dr hab. Władysław A. Majewski
Adiunkci hab.	dr hab. Danuta Makowiec
Adiunkci	dr Sławomir Rudnicki
Starsi wykładowcy	dr Andrzej Posiewnik

Zakład Optyki i Informacji Kwantowej

Kierownik Zakładu	dr hab. Marek Żukowski prof. UG
Nauczyciele akademicki:	
Profesorowie nadzw.	dr hab. Marek Żukowski
Adiunkci hab.	dr hab. Ryszard Horodecki
Adiunkci	dr Sławomir Rudnicki dr hab. Stanisław Kryszewski dr hab. Wiesław Miklaszewski

Kończąc wspomnienia ostatniego dziesięciolecia XX wieku i wkraczając w wiek XXI, zrobię małe podsumowanie. Tworzyliśmy jako fizycy na Wydziale Mat., Fiz. i Informatyki UG pracujący w dwóch instytutach silne środowisko akademickie zarówno o dużym potencjale dydaktycznym (nowe kierunki studiów, wystarczająco duża liczba studentów dla zapewnienia poziomu studiów), jak również znaczącym potencjale naukowym, wspartym wydajnym zapleczem aparaturowym i poziomem kadry nauczycieli akademickich. Na przełomie wieków (tak się złożyło, że koniec roku 1999 był także rokiem mego przejścia na emeryturę) oceniałem ogólną ówczesną sytuację optymistycznie, a powstałe nowe zespoły ludzkie przejmujące osiągnięty potencjał po tych, którzy odchodzą, za gwarancję dalszego pomyślnego rozwoju. Rozbudowujący się w podziwu godnym tempie uniwersytecki campus w Oliwie (także w innych swych lokalizacjach) utwierdzał ten optymizm.

2.4. Ostatnie 20-lecie z perspektywy emeryta

Wkraczając jako świeży emeryt w nowe tysiąclecie, miałem poczucie, że skończył się dla mnie jakiś znaczący okres zawodowej pracy i nadszedł czas zasłużonego odpoczynku. Jednak, jak się okazało, okres następných dwóch dziesięcioleci był dla mnie

w dużej mierze kontynuacją działalności w kontakcie z uczelnią, kilkoma naukowymi instytucjami oraz ośrodkami krajowymi i zagranicznymi, które swoją współpracę nie tylko podtrzymywały, ale przyczyniały się do dalszego wysiłku, zlecając mi różne zadania. Czas szybko mijał, a jubileusz 50-lecia naszej Alma Mater zastał mnie jeszcze, dzięki Bogu, w takiej kondycji, że mogę się cieszyć tym jubileuszem już drugi rok po nim i wspominać przeżyte wszystkie te lata na UG.

Przez pierwsze 3 lata emerytury prowadziłem jeszcze wykład specjalistyczny dla studentów UG i brałem udział w niektórych seminariach i w radach wydziału jako członek emeryt. Jak już wspominałem wyżej, zachowałem swój pokój nr 231 w instytucie i zapewniony dostęp do usług technicznych i komputerowych instytutu, brałem też udział w realizacji kolejnych grantów. Równoległe do 2001 roku kontynuowałem pracę na pół etatu w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie i przez kilka następnych kadencji byłem członkiem rady tego instytutu.

Rok 2000 pamiętam jako pracowity okres przygotowywania materiałów uzupełniających do drugiego wydania mojej książki *Ultradźwięki i ich zastosowania* dla Wydawnictwa Naukowo-Technicznego, które ukazało się na początku 2003 roku. Wymagało to częstych wyjazdów do Warszawy. Podobnie później w różnych sprawach, jak uczestnictwo w spotkaniach i zebraniach różnych instytucji naukowych, jak Centralna Komisja ds. Stopni i Tytułów Naukowych (dla której pisałem wiele recenzji i superrecenzji dotyczących odwołań w sprawie doktoratów, recenzji habilitacji i wniosków profesorskich), Komitet Akustyki PAN (posiedzenia plenarne 2–3 razy w roku), regularne opinie planów i sprawozdań naukowych i konsultacji w CIOP-PIB. Uczestniczyłem też w odbiorach prac KBN i opiniowaniu prac w sekcjach KBN (w miarę upływu lat coraz bardziej sporadycznie) do 2018 roku.

Były też ciekawsze wizyty w Warszawie, jak na przykład uruchomienie cyklotronu w Instytucie Fizyki UW i Dni Otwarcia Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów, czy też otwarcie nowych laboratoriów akustycznych w Instytucie Techniki Budownictwa (ITB), w IPPT PAN lub w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy (CIOP), które w kolejnych latach uzyskiwały coraz lepsze warunki lokalowe i coraz nowsze wyposażenie aparaturowe.

W styczniu w 2001 roku uczestniczyłem w Warszawie w pogrzebie prof. dr. hab. Jerzego Ranachowskiego z IPPT PAN. Zdałem sobie wtedy sprawę, iż wszedłem już w ten okres, że coraz częściej chodzę na pogrzeby. Od tego czasu do dziś (maj 2022) pożegnaliśmy wielu kolegów, także naszych fizyków, którzy odeszli od nas już na zawsze.

W 2003 roku Gdański Oddział PTF zorganizował kolejny XXXVII Zjazd Fizyków Polskich. Sprawozdanie z tego zjazdu sporządzone przez dr. S. Zacharę, długoletniego korespondenta naszego Oddziału PTF, ukazało się w „Postępie Fizyki” (Zachara 2004).

Przy okazji warto tu przypomnieć, że fizycy UG działali też i spełniali ważne funkcje w Oddziale Gdańskim PTF. Przewodniczącymi naszego oddziału byli: A. Kawski – 1965–1966 i 1972–1974; J. Grzywacz – 1974–1977 oraz 1985–1992; J. Heldt – 1981–1985;

E. Czuchaj – 1998–2004; M. Grinberg – 2005–2007. Sekretarzem Oddziału był przez cztery kadencje S. Zachara, który także był skarbnikiem przez dwie kadencje i – jak już wspomniałem wyżej – był korespondentem do „Postępów Fizyki” od 1960 do 2005 r. Artykuł na ten temat *Działalność Oddziału Gdańskiego PTF w latach 1947–2004* autorstwa A. Urbanowicza i S. Zachary ukazał się w „Postęпах Fizyki” w 2004 roku (Urbanowicz, Zachara 2004).

Po zakończeniu etatowej pracy w IO PAN w Sopocie w 2001 roku byłem jeszcze jako emeryt członkiem rady naukowej przez kilka kadencji. Uczestniczyłem w kilku spotkaniach Komitetu Badań Morza PAN, którego członkiem byłem przez wiele lat, pisałem recenzje i uczestniczyłem w komisjach przewodów doktorskich i habilitacyjnych oraz systematycznie recenzowałem roczne sprawozdania wyników prac wykonanych w ramach realizacji przez IO PAN długofalowego tematu badawczego pt. *Badanie i modelowanie zasilania w energię ekosystemów morskich poprzez fotosyntezę*. W tym planie realizowano badania zakończone dużym sukcesem praktycznym, jakim było utworzenie w porozumieniu z kilku instytucjami Wybrzeża Systemu SatBałtyk (Ostrowska i in. 2015) monitorującego zmienność czasowej i przestrzennej produkcji pierwotnej Bałtyku (zasobów naturalnych) na podstawie symulacji modelowych, które oparte zostały na wieloletnich obserwacjach i zbiorach danych pomiarowych w Bałtyku zebranych przez wiele lat (Dera, Massel, Wyrwiński 2013). Te modele (na przykład EcoSat) wykorzystują formuły matematyczne opracowane w ramach rozwijania modeli procesów oddziaływania światło – morska fotosynteza i uwzględniają spektralną zmienność warunków oświetleniowych w toni morskiej oraz głębokościowe zmiany absorpcji światła przez pigmenty fotosyntetyzujące i fotoochronne oraz inne czynniki. O zjawiskach i procesach fizycznych zachodzących w morzu ważną książkę napisał prof. J. Dera (1992).

Więcej o współpracy z IO PAN po roku 2000 można znaleźć w moich wspomnieniach o akustyce na Wybrzeżu Gdańskim (zob. Śliwiński 2009; Śliwiński 2018).

Wspominając dziś długoletnią współpracę naukową z prof. J. Derą, prof. Z. Kluskiem i prof. J. Szczucką i z całym Zespołem Fizyki Morza, który tam pracował, oceniam ją jako bardzo udany w moim życiu okres i dziękuję im za ich współudział, inspirację i entuzjazm w działaniach, który mi się udzielał. Wspominam także prof. Natalię Gorską i prof. Jarosława Tęgowskiego, którzy kontynuują pracę w dziedzinie fizyki morza w Instytucie Oceanografii UG; o ich działalności również napisałem (zob. Śliwiński 2009; Śliwiński 2018) – im również dziękuję za współpracę.

W latach 2005–2008 dyrektorem IFD był dr hab. B. Linde, prof. UG i jego zastępcami byli: wicedyrektor ds. naukowych prof. dr hab. P. Kwiek i wicedyrektor ds. dydaktycznych dr S. Zachara (fot. 123–125). Wówczas, do roku 2010, były w instytucie trzy zakłady związane z akustyką: Zakład Akustyki i Fizyki Ciała Stałego (przekształcony w Zakład Akustyki i Fizyki Jądrowej – kierownik: dr hab. B. Linde, prof. UG – tytuł profesora w 2016 roku), Zakład Fizyki Stosowanej (kierownik: prof. dr hab. C. Lewa – emerytowany

w 2007 roku, odszedł od nas w 2016 roku) oraz Zakład Akustooptyki i Fizyki Laserów (kierownik: prof. dr hab. P. Kwiek). W 2008 roku po prof. C. Lewie Zakładem Fizyki Stosowanej pokierował dr hab. J. Kwela, prof. UG, zajmujący się spektroskopią atomową, natomiast Zakład Akustooptyki i Fizyki Laserów (od 2015 roku) stał się samodzielną Pracownią Akustooptyki i Interferometrii Kwantowej. Akustooptyczne zainteresowania badawcze prof. P. Kwieka zostały wykorzystane we współpracy z grupą fizyków teoretyków Uniwersytetu Gdańskiego z Instytutu Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki (kierowanej przez dyrektora prof. dr hab. M. Żukowskiego) do wykonania badań eksperymentalnych na temat ugięcia na fali ultradźwiękowej skorelowanej pary fotonów. Prof. P. Kwiek wykonał i opublikował ciekawe prace na ten temat i kontynuował współpracę i badania z teoretykami. Prace te są ważne dla potwierdzenia kwantowej teorii stanów splątanych i kryptologii kwantowej, w których to dziedzinach grupa gdańskich teoretyków uzyskała duże sukcesy, o czym już wyżej wspominałem. W 2019 roku prof. P. Kwiek przeszedł na emeryturę, a jego laboratorium zostało zlikwidowane; część aparatury została przekazana i jest wykorzystywana w zakładzie prof. J. Kweli.

Prof. B. Linde był dyrektorem Instytutu Fizyki Doświadczalnej w kadencji 2008–2012 (fot. 121–124) oraz wicedyrektorem ds. naukowych w kadencjach 2012–2017.

Był on także kierownikiem Zakładu Akustyki i Fizyki Jądrowej do 2017 roku, w którym to roku przeszedł na emeryturę i wtedy ten zakład przejął prof. dr hab. S. Pogorzelski, będący równolegle dyrektorem Instytutu Fizyki Doświadczalnej w latach 2016–2020 (a po nim dyrektorem został prof. Ryszard Drozdowski).

Poniższe tabele przedstawiają obsady dyrekcji instytutów, dziekanów oraz sekretariatów instytutów w okresie 50-lecia UG.

Tabela 2. Kolejne dyrekcje Instytutów Fizyki UG

Dyrektor	W latach od – do	Z-cy dyrektora
Instytut Fizyki (IF) 1970–1983		
Doc. dr hab. Jan Fiutak	1970–1973	Doc. dr hab. Antoni Śliwiński Mgr inż. Janusz Sułocki
Prof. dr hab. Antoni Śliwiński	1973–1975	Prof. dr hab. Alfons Kawski Doc. dr Kazimierz Badziąg
Prof. dr hab. Antoni Śliwiński	1975–1978	Prof. dr hab. Alfons Kawski Mgr Kazimierz Knapiński Mgr Marek Kosmol
Prof. dr hab. Antoni Śliwiński	1978–1981	Prof. dr hab. Józef Heldt Mgr Kazimierz Knapiński Mgr inż. Andrzej Zieliński
Prof. dr hab. Alfons Kawski	1981–1983	Mgr Kazimierz Knapiński Mgr inż. Andrzej Zieliński

Dyrektor	W latach od – do	Z-cy dyrektora
Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki (IFTiA)		
Prof. dr hab. Jan Fiutak	1983 – 1987	Dr hab. Jerzy Sikorski, prof. UG
Prof. dr hab. Jan Fiutak	1987 – 1992	Dr hab. Władysław A. Majewski prof. UG Jerzy Sikorski
Prof. dr hab. Robert Głębocki	1992 – 1998	Dr hab. Janusz Czub
Prof. dr hab. Eugeniusz Czuchaj	1998 – 2005	Dr hab. Wiesław Miklaszewski
Prof. dr hab. Marek Żukowski	2005 – 2018	Dr hab. Wiesław Miklaszewski, prof. UG
Prof. dr hab. Danuta Makowiec	2018 – 2019	Dr hab. Wiesław Miklaszewski, prof. UG
Dr hab. Marcin Marciniak, prof. UG	2019 – 2020	Dr hab. Marek Krośnicki, prof. UG
Dr hab. Marek Krośnicki, prof. UG	2020 – 2022	Prof. dr hab. Tomasz Paterek
Dr hab. Marek Krośnicki, prof. UG	2022 – 2024	Dr Krzysztof Szczygielski
Instytut Fizyki Doświadczalnej (IFD)		
Prof. dr hab. Alfons Kawski	1983 – 1987	Dr Zbigniew Engels Mgr inż. Andrzej Zieliński
Prof. dr hab. Antoni Śliwiński	1987 – 1988	Doc. dr Kazimierz Badziąg
Prof. dr hab. Antoni Śliwiński	1988 – 1991	Dr Kazimierz Knapieński
Dr hab. Jerzy Kamiński, prof. UG	1991 – 1994	Dr Kazimierz Knapieński
Prof. dr hab. Jan Fiutak	1994 – 1996	Dr hab. Piotr Kwiek, prof. UG
Prof. dr hab. Antoni Śliwiński	1996 – 1999	Dr Stanisław Zachara Dr (hab. od 1997) Bogumił Linde, prof. UG
Prof. dr hab. Marek Grinberg	1999 – 2002	Dr hab. Piotr Kwiek, prof. UG Dr hab. Bogumił Linde, prof. UG
Dr hab. Bogumił Linde, prof. UG	2002 – 2008	Prof. dr hab. Piotr Kwiek Dr hab. Jerzy Sikorski, prof. UG
Dr hab. Bogumił Linde, prof. UG	2008 – 2012	Dr hab. Jerzy Kwela Dr hab. Jerzy Sikorski, prof. UG
Dr hab. Aleksander Kubicki	2012 – 2016	Dr hab. Bogumił Linde, prof. UG, Dr Maria Alicka
Prof. dr hab. Stanisław Pogorzelski	2016 – 2020	Prof. dr hab. Bogumił Linde Prof. UG, dr Joanna Gondek
Dr hab. Ryszard Drozdowski, prof. UG	2020 – 2024	Dr Joanna Gondek, prof. UG

**Tabela 3. Dziekani i prodziekani Wydziału Mat. Fiz. Chem. (1970–1991),
Mat. Fiz. (1991–2003); Mat. Fiz. Inf. (od 2003)**

Lata	Dziekani	Prodziekani
1970–73	Prof. dr hab. Edmund Kwiatkowski	Doc. dr Kazimierz Badiąg
1973–76	Prof. dr hab. Gotfryd Kupryszewski	Doc. dr Michał Muzalewski Doc. dr hab. Robert Głębocki Dr Zdzisław Józefowicz
1976–79	Prof. dr hab. Gotfryd Kupryszewski	Prof. dr hab. Robert Głębocki Doc. dr Henryk Guściora Dr Zdzisław Józefowicz
1979–81 (dwa lata)	Prof. dr hab. Jan Fiutak	Doc. dr Henryk Guściora Mgr inż. Janusz Sułocki Kier. St. Prac. dr Jerzy Kruszewski
1981–84	Prof. dr hab. Antoni Śliwiński	Doc. dr hab. Zofia Szponarowa Doc. dr hab. Henryk Guściora
1984–1987, 1984–1985 (uwaga: odwołanie Rektora Taylora i rezygnacja Prorektora Śliwińskiego – połowa kadencji)	Prof. dr hab. Marian Kwapisz (wybrany na całą kadencję i w jej połowie odwołany)	Doc. dr Jerzy Grzywacz (wybrany na kadencję i w jej połowie odwołany) Prof. dr hab. Józef Heldt (rezygnacja)
1985–87 (?) Dziekan z nominacji Ministra, kto?	Vacat po odwołaniu prof. dr hab. Mariana Kwapisza	Vacat po odwołaniu doc. dr. J. Grzywacza i po rezygnacji Prof. dr hab. J. Heldta
1987–1988	Prof. dr hab. Zbigniew Grzonka	Doc. dr hab. Jerzy Sikorski Doc. dr hab. Zygmunt Warnke Doc. dr hab. Eugeniusz Czuchaj
1988–1991	Prof. dr hab. Kazimierz Gęba	Dr hab. Andrzej Kowalski, prof. UG Dr hab. Andrzej Kłonkowski Dr hab. Witold Rosicki
1991–1994	Prof. dr hab. Alfons Kawski	Dr hab. Zdzisław Kamont, prof. UG Dr hab. Janina Heldt, prof. UG
1996–1999	Prof. dr hab. Robert Alicki	Dr hab. Tomasz Natkaniec, prof. UG Dr hab. Stanisław Kryszewski, prof. UG
1999–2002	Dr hab. Andrzej Szepietowski, prof. UG	Dr hab. Andrzej Kowalski, prof. UG Dr hab. Danuta Makowiec, prof. UG
2002–2005	Prof. dr hab. Władysław A. Majewski	Prof. dr hab. Tomasz Natkaniec Prof. dr hab. Andrzej Kowalski
2005–2008	Prof. dr hab. Andrzej Kowalski	Dr hab. Antoni Augustynowicz, prof. UG Prof. dr hab. Danuta Makowiec

Lata	Dziekani	Prodzekani
2008–2012	Prof. dr hab. Władysław A. Majewski	Prof. dr hab. Piotr Bojarski Dr hab. Joanna Jędrzejowicz, prof. UG
2012–2016	Prof. dr hab. Piotr Bojarski	Prof. dr hab. Tomasz Natkaniec Prof. dr hab. Stanisław Kryszewski Dr Hanna Furmańczyk
2016–2020	Prof. dr hab. Piotr Bojarski	Dr hab. Aleksander Kubicki, prof. UG Prof. dr hab. Wiesław Laskowski Dr Barbara Wolnik
2020–2024	Prof. dr hab. Piotr Bojarski	Dr hab. Aleksander Kubicki, prof. UG Prof. dr hab. Wiesław Laskowski (do 30.11.2020) Dr hab. Marcin Marciniak, prof. UG (od 1.12.2020) Dr Barbara Wolnik

Tabela 4. Sekretariaty

1970–1980	Elżbieta Caban i Elżbieta Ostrowska
1985	Maria Żelazkiewicz
1988	Maria Żelazkiewicz
1991	Barbara Rosenkiewicz
1993	Barbara Rosenkiewicz, Bolesława Kolaska, Krystyna Kiełbasa
1997	Barbara Rosenkiewicz
1999–2002	Barbara Rosenkiewicz
2002–2005	Barbara Rosenkiewicz
2005–2008	Barbara Dogil
2008–2012	Barbara Dogil/ Wiktoria Kamińska
2012–2016	Wiktoria Kamińska



Fot. 121. 10-th Spring School on Acousto-Optics and Application Sopot, 2008; od prawej: dyrektor IFD dr hab. B. Linde w dyskusji w czasie obrad, Andrzej Kulig (Uniwersytet w Lozannie, Szwajcaria) dr hab. Jerzy Bodzenta, prof. PŚ) (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego).



Fot. 122. Dyrekcja IFD w latach 2005–2008. Od lewej: zast. dyrektora ds. dydaktycznych dr S. Zachara, dyrektor Instytutu dr hab. B. Linde, zast. dyrektora ds. naukowych prof. dr hab. P. Kwiek



Fot. 123. Dyrekcja i Sekretariat IFD w latach 2005–2008. Od lewej: zast. dyrektora ds. dydaktycznych dr S. Zachara, K. Kielbasa, sprawy finansowe, dyrektor Instytutu dr hab. B. Linde, M. Kinczel, sprawy inwentaryzacji aparatury i materiałów, zast. dyrektora ds. naukowych prof. dr hab. P. Kwiek, B. Rosenkiewicz, kierownik Sekretariatu (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



Fot. 124. Dyrekcja z grupą pracowników IFD UG w latach 2005–2008 (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



Fot. 125. Dyrekcja IFD żegna dr. S. Zacharę (w środku) przechodzącego na emeryturę. Po prawej: dyrektor prof. UG B. Linde, po lewej: zast. dyrektora ds. naukowych: prof. UG Jerzy Sikorski (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)

W Zakładzie Akustyki i Fizyki Jądrowej wraz ze swymi współpracownikami: dr A. Sikorską, dr M. Borysewicz, N. Ponikwickim i W. Żwirblą (fot. 126–130) dr hab. B. Linde prof. UG prowadził głównie spektroskopowe ultradźwiękowe badania w zakresie akustyki molekularnej, którymi zajmował się od wielu lat. Jego badania w Instytucie Fizyki Doświadczalnej zostały opisane w monografii (Śliwiński, Engel, Zawieska 2010: 94–100, 279–291, 367–374) oraz później do roku 2014 w monografii (Śliwiński, Kozaczka 2014: 135–147). Główne badania z akustyki molekularnej, jakie prowadził prof. Linde, dotyczyły trzech obszarów: ultradźwiękowych procesów relaksacyjnych w cieczach organicznych (prowadzone przed i po habilitacji) przy współpracy z Akademią Nauk Turkmenistanu i Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, IPPT PAN, Hochschule Merseburg Niemcy (razem z N.B. Lezhnievem, E. Rosenfel-dem i P. Hauptmanem), zanieczyszczeń powierzchniowych wody (przed habilitacją prowadzonych z M. Kosmolem i potem z S. Pogorzelskim) oraz ultradźwiękowych i fotoakustycznych badań dwuskładnikowych mieszanin wody z nieelektrolitami przy współpracy z Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Niemcy, Hochschule Merseburg Niemcy, Instytutem Akustyki im. N.N. Andreyeva Rosyjskiej Akademii Nauk w Moskwie, Wydziałem Inżynierii i Technologii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (po habilitacji z A. Sikorską i doktorantką W. Żwirblą).

Pracujący w zakładzie od lat osiemdziesiątych dr J. Szurkowski (habilitacja z biofizyki w 2004 roku), zanim odszedł z UG w 2014 roku, współpracował z dr. S. Pogorzelskim, z którym prowadził badania fotoakustyczne powierzchni biologicznych (liści), jak również warstw substancji powierzchniowo czynnych i ropopochodnych na wodzie. Prowadził też badania metodą spektroskopii fotoakustycznej biofilmów

kolonii mikroorganizmów na powierzchniach ciał stałych w ośrodkach wodnych (biofilmy na strukturach podwodnych w morzu oraz filmy bakteryjne na materiałach dentystycznych).

Wyniki badań akustyków UG w ostatnim dwudziestoleciu zostały opublikowane w około 50 artykułach w czasopismach międzynarodowych (z listy filadelfijskiej) oraz 70 w materiałach konferencyjnych. Obroniono 2 prace doktorskie: Bogdana Nienal-towskiego (2012 – promotor prof. B. Linde) oraz Pawła Rochowskiego (2014 – pro-motor prof. S. Pogorzelski). Emerytowany prof. A. Śliwiński w ramach kontynuowanej współpracy z CIOP – PIB w Warszawie wypromował tam dr Bożenę Smagowską (2016) – temat doktoratu związany był z zagrożeniami hałasem ultradźwiękowym na sta-nowiskach pracy w zakładach przemysłowych.



Fot. 126. W Pracowni Spektroskopii Ultradźwiękowej IFD. Od lewej: S. Zachara, Bogna Dałek, N. Ponikwicki, B. Linde, A. Sikorska, Maria Witkowska-Borysewicz (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



Fot. 127. Trzeci pobyt dr K. Aldaghariego z Libii w IFD, 2010 rok. Z dr Justyną Streczkowską, mgr. N. Ponikwickim



Fot. 128. Pożegnanie S. Zachary (w środku) z okazji przejścia na emeryturę, 2005 rok. Od lewej: A. Śliwiński, S. Zachara, Konstanty Dałek (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



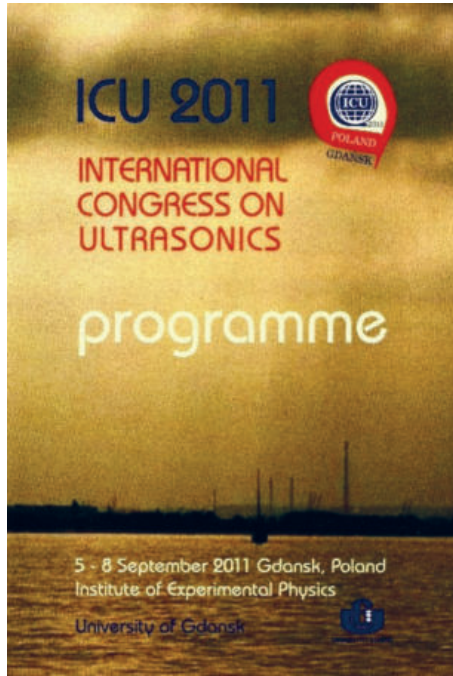
Fot. 129. Pożegnanie S. Zachary z okazji przejścia na emeryturę, 2005 rok. Od lewej: J. Pączkowski, M. Borysewicz, P. Kwiek (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



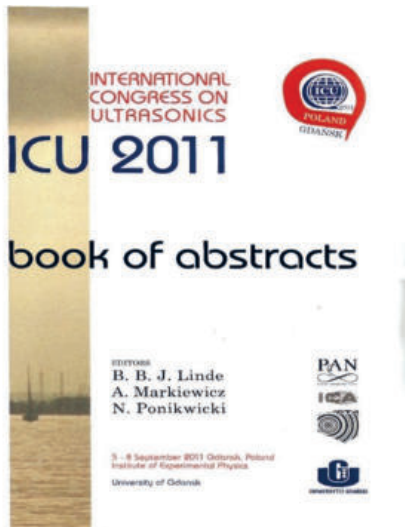
Fot. 130. Pożegnanie przejścia na emeryturę B. Dałek (w środku), 2008 rok. Od lewej: M. Witkowska-Borysewicz, A. Markiewicz, E. Zając, B. Linde, J. Pączkowski, M. Kinczel, D. Lewandowska, x, A. Sikorska, K. Kiełbasa (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)

Jednym z ważniejszych wydarzeń w instytucie był światowy kongres ultradźwiękowy ICU'11, który odbył się w dniach 5–8 września 2011 r. na Uniwersytecie Gdańskim w Oliwie (fot. 131–135). Jak już napisałem wyżej, ICU (International Congress on Ultrasonics) jest największym światowym kongresem środowiska akustyków zajmujących się ultradźwiękami i ich zastosowaniami. Planowaniem i kalendarzem kongresów zajmuje się Board (Rada – dawniej WCU Steering Committee przed fuzją z UI) i przyjętą w statucie zasadą jest, aby kongresy odbywały się co 2 lata naprzemiennie w Europie i poza Europą. Już na zebraniu Steering Committee WCU'01 w Atlancie w USA przedstawiliśmy naszą pierwszą ofertę, aby następny WCU'03 odbył się w Gdańsku. Referowaliśmy projekt i plan organizacji kongresu w Gdańsku w konkurencji z ofertą akustyków z Paryża i w głosowaniu wygrał Paryż. Następny poza Europą kongres odbył się w Pekinie (tam nastąpiła wspomniana wyżej fuzja WCU i UI). Oferta następnego kongresu w Gdańsku została powtórzona, ale w głosowaniu zwyciężył Wiedeń (argumentem była informacja że organizatorem będzie odchodzący na emeryturę prof. Edward Benesz, członek Rady i zasłużony ultradźwiękowiec austriacki). Tak więc następną organizację odstąpiliśmy Wiedniowi, a kolejny kongres odbył się na innym kontynencie w Santiago de Chile. Kilkuletnie starania i argumentacja prof. B. Lindego w końcu zaowocowały i propozycja Gdańska zwyciężyła. Kolejny ICU'11 powierzono Uniwersytetowi Gdańskiemu i prof. B. Lindemu jako organizatorowi – prezydentowi kongresu.

W Kongresie ICU'11 w Gdańsku brało udział ponad 300 specjalistów z całego świata reprezentujących osiągnięcia naukowe, jak i zastosowania w najszerszym zakresie tematycznym, włączając wykorzystanie w medycynie (w diagnostyce i w terapii), w przemyśle, w badaniach materiałów i konstrukcji, w nawigacji podwodnej i w powietrzu, a także metody wytwarzania, detekcji i badania propagacji ultradźwięków w różnych ośrodkach jednorodnych i niejednorodnych oraz w wielu innych dziedzinach nauki i techniki. Ten kongres, jak i poprzednie światowe spotkania, stworzył doskonałą platformę wymiany wiedzy zawodowej naukowców i praktyków, inżynierów, biologów, medyków i innych specjalistów z ośrodków akademickich i przemysłowych, jak również innych instytucji i miejsc, gdzie prowadzi się badania ultradźwiękowe i ich aplikacje. Kolejne fotografie ilustrują wydarzenia i uczestników tego kongresu.



Fot. 131. Okładka programu Kongresu ICU'11



Fot. 132. Okładka streszczeń referatów i komunikatów Kongresu ICU'11 w Gdańsku, UG, 2011 rok

Presently the Board of the ICU is constituted of the following members:

1. Adriano Alippi, Italy
2. Ewald Benes, Austria - ICU Secretary General
3. Lawrence Crum, USA
4. Marc Deschamps, France
5. Arthur George Every, South Africa
6. Luis Gacto-Garretón, Chile - ICU Chairman
7. Juan A. Gallego-Juarez, Spain
8. Vitaliy Goussev, France
9. Sigrun Hürsekorn, Germany
10. Pascal Laugier, France
11. Oswald Leroy, Belgium
12. Peter Lewin, USA
13. Bogumil Linde, Poland - ICU President
14. Tim Mason, UK
15. Nick Pace, UK
16. Wolfgang Sachse, USA
17. Oleg Sapozhnikov, Russia
18. Sadayuki Ueha, Japan
19. Jens E. Wilhjelm, Denmark
20. Hailan Zhang, China

ICU Board of Young Scientists

1. Robin Cleveland, USA
2. Nico Declercq, Belgium
3. Nataliya Polikarpova, Russia
4. Stefan Radel, Austria

Fot. 133. Aktualny skład członków Rady ICU oraz Rady Młodych Naukowców ICA



Fot. 134. Kongres ICU'2011 w Gdańsku; zebranie Rady ICU po Kongresie

Scientific Committee

1. Antoni Śliwiński, Poland, President of the Scientific Committee
2. Laszlo Adler, USA
3. Adriano Alippi, Italy
4. Walter Arnold, Germany
5. Ewald Benes, Austria,
(Co-Chairman)
6. Leif Bjørnø, Denmark
7. Larry Crum, USA
8. Eugeniusz Danicki, Poland
9. Joris Degreek, Belgium
10. Marc Deschamps, France
11. Stefan Ernst, Poland
12. Arthur G. Every, South Africa
13. Luis Gaete-Garreton, Chile
14. Juan Gallego-Juarez, Spain
15. Grażyna Grelowska, Poland
16. Tadeusz Gudra, Poland
17. Vitaliy Gusev, France
18. Gail ter Haar, UK
19. Sigrun Hirsekom, Germany
20. Tomasz Hornowski, Poland
21. David A. Hutchins, UK
22. Rymantas Kazys, Lithuania
23. Eugeniusz Kozaczka, Poland
24. Zygmunt Klusek, Poland
25. Pierre Khuri-Yacub, USA
26. Pascal Laugier, France
27. Werner Lauterborn, Germany
28. Oswald Leroy, Belgium
29. Peter Lewin, USA
30. Bogumil Linde, Poland
31. Jian-yu Lu, USA
32. Mikołaj Łabowski, Poland
33. Tim Mason, UK
34. Andreas Mandelis, Canada
35. Andrzej Nowicki, Poland
36. William D O'Brien Jr, USA
37. Aleksander Opilski, Poland
38. Nick Pace, UK
39. Tadeusz Pustelny, Poland
40. Stefan Radel, Austria
41. Enrique Riera, Spain
42. Wolfgang Sachse, USA
43. Roman Salamon, Poland
44. Oleg Sapozhnikov, Russia
45. Andrzej Stepnowski, Poland
46. Tadeusz Stepinski, Sweden
47. Bernhard R. Tittmann, USA
48. Chen S. Tsai, Taiwan
49. Sadayuki Ueha, Japan
50. Marian Urbańczyk, Poland
51. Jens E. Wilhelm, Denmark
52. Brian Stephen Wong, Singapore
53. Vitaly B. Voloshinov, Russia
54. Hailan Zhang, China

Fot. 135. Skład Komitetu Naukowego Kongresu ICU'11 w Gdańsku, UG, 2011 rok



Fot. 136. Kongres ICU'2011 w Gdańsku; zebranie Rady ICU po Kongresie



Fot. 137. Komitet Organizacyjny ICU Gdańsk 2011 (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



Fot. 138. ICU'11, Gdańsk, 2011 rok. Od lewej: A. Sikorska, T. Gudra, J. Opiełiński, A. Śliwiński, B. Linde (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)



Fot. 139. ICU'2011, Gdańsk, 2011 rok. Gmach Fizyki i Matematyki UG (w głębi gmach Informatyki) – widok od strony ul. Wita Stwosza 57 (Fot. ze zbiorów prof. B. Lindego)

Sprawozdanie z Kongresu ICU'11 zostało opublikowane w „Archives of Acoustics” (Śliwiński, Linde 2011). Następne Kongresy ICU odbyły się: ICU'13 w Singapurze, ICU'2015 w Metz (fot. 140–142), ICU'17 w Honolulu na Hawajach (fot. 143 i 144), ICU'19 w Brużii. Kolejny ICU'21, który planowo miał się odbyć w 2021 roku, został przełożony z powodu pandemii i odbędzie się w Pekinie w 2023 roku.

W Kongresie w Metz w 2015 roku (fot. 140 i 141) brałem czynny udział, a jednym z punktów spotkania była specjalna sesja tematyczna akustooptyki dla uhonorowania prof. O. Leroya z Belgii, doktora h.c. Uniwersytetu Gdańskiego. Współpracy z nim poświęciłem już w tym artykule trochę miejsca. Na sesji w Metz przedstawiłem referat (wspólny z P. Kwiekim) omawiający ważniejsze elementy wieloletniej kooperacji naukowej pomiędzy Uniwersytetem w Leuven – Campus Kortrijk i Uniwersytetem Gdańskim, dzieląc się wspomnieniami. Spotkanie z wieloma fizykami i akustykami, z którymi przez lata współpracowaliśmy i spotykaliśmy się z nimi często w Gdańsku, było dla mnie ogromną satysfakcją i wspaniałym przeżyciem. Profesor O. Leroy zmarł 7 września 2022 w Belgii w Ostendzie jako emerytowany profesor. Uniwersytet Gdański uczcił ten smutny fakt uroczystym pożegnaniem na swoich stronach internetowych UG i Wydziału Matematyki Fizyki i Informatyki, pamiętając o doktorze h.c. UG i jego zasługach.

Fotografie poniżej dotyczą tego spotkania w Metz i tej specjalnej sesji.



Fot. 140. Kongres ICU'15, Metz, Francja. Program i informator



Fot. 141. 37 ICU'2015 w Metz, Francja. Zebranie Rady ICU po zakończeniu kongresu



Fot. 142. ICU'2015, Metz, Francja. Specjalna Sesja Acousto-Optics Applications dla uhonorowania emerytowanego prof. O. Leroya

Kolejne dwie fotografie (fot. 143 i 144) odnoszą się do Kongresu ICU'2017 w Honolulu na Hawajach, w którym uczestniczył prof. B. Linde, gdzie został uhonorowany nagrodą Złotego Gwizdka przyznawaną z okazji Kongresów ICU. Jako były prezydent ICU współorganizował Kongres ICU'2017 w Honolulu i uczestniczył w nim czynnie.



Fot. 143. Kongres Ultradźwiękowy ICU'2017 w Honolulu na Hawajach. Sesja poświęcona pamięci prof. J. Bjorno



Fot. 144. Kongres ICU'2017 w Honolulu na Hawajach Wręczenie Złotego Gwizdka prof. B. Lindemu – wyróżnienia przyznawanego przez radę ICU

Wracając do początku omawianego 20-lecia, przypomnę jeszcze niektóre wydarzenia i osiągnięcia fizyków UG, które moim zdaniem zasługują na szczególne wspomnienie. Będąc na emeryturze, miałem coraz rzadsze bezpośrednie kontakty z instytutem, ale starałem się zapamiętywać ważniejsze informacje. Przy jakiejś okazji dowiedziałem się, że utworzono (w 2013 roku) Pracownię Zastosowań Medycznych Fizyki i Obradowania Medycznego na Wydziale Fizyki, Matematyki i Informatyki UG. Cieszyły mnie też informacje, że (w 2014 roku) powstały na wydziale trzyletnie studia stacjonarne I i II stopnia Fizyki Medycznej. Te fakty zapewne bardzo ucieszyłyby wspomnianego

wielokroć prof. C. Lewę, który tę współpracę systematycznie rozwijał. Pewne wyobrażenie o kierunkach studiów na naszym wydziale, które były i które aktualnie są, daje zestawienie porównawcze:

1970–1983	Fizyka nienauczycielska Fizyka nauczycielska
w latach 90.	Fizyka z matematyką Fizyka z informatyką Fizyka z chemią Fizyka komputerowa
na początku lat 2000	Fizyka (potem podział: doświadczalna, stosowana i teoretyczna. Dwie pierwsze miały obowiązkowo moduł nauczycielski) Fizyka z matematyką Fizyka z informatyką Fizyka z chemią Fizyka komputerowa
Kierunki po 2000 to	Fizyka I stopnia Fizyka II stopnia z możliwością zaliczania modułu nauczycielskiego Fizyka Medyczna I stopnia Fizyka Medyczna II stopnia Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna I stopnia Bioinformatyka I stopnia Quantum Information Technology II stopnia

Kierunki kształcenia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki (dane wg stanu 1.10.2022)

Studia stacjonarne 1 stopnia (<https://mf.ug.edu.pl/rekrutacja/studia-i-stopnia>):

1. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna
2. Bioinformatyka
3. Fizyka medyczna
4. Fizyka
5. Informatyka
6. Informatyka, profil praktyczny
7. Matematyka – również specjalność nauczycielska
8. Modelowanie matematyczne i analiza danych

Studia stacjonarne 2 stopnia (<https://mf.ug.edu.pl/rekrutacja/studia-ii-stopnia>):

1. Fizyka
2. Fizyka medyczna

3. Informatyka
4. Matematyka – również specjalność nauczycielska
5. Modelowanie matematyczne i analiza danych
6. Quantum Information Technology

Studia niestacjonarne 1 i 2 stopnia:

1. Informatyka

Studia doktoranckie w ramach Szkoły Doktorskiej Nauk Ścisłych i Przyrodniczych (<https://sd.ug.edu.pl/scisle/glowna>)

Teoretycy zajmujący się spektroskopią optyczną atomową i molekularną organizowali (wspólnie z PG) kolejne międzynarodowe warsztaty: The Workshop on Atomic and Molecular Optics, a były to spotkania IV– VIII w Juracie w latach 2002, 2004, 2006, 2012, 2015. Zorganizowali także międzynarodową konferencję: 41st EGAS Conference, Gdańsk 8–11 lipca 2009.

Jak już wyżej wspomniałem, działalność teoretyków w IFTiA była znacząca i w następnym okresie kontynuowana, a także szeroko zauważona i uznana. Również osiągnięcia IFD świadczyły, że fizyka w UG ma swoje sukcesy. Nie wszystko do mnie, jako coraz starszego emeryta, docierało, ale niektóre fakty cieszyły mnie i napawały dumą. Przypomnę te niektóre. Są one także zapisane w Kalendarium UG (Jaśkowiak, Czechowska-Derkacz b.d.).

W lutym 2010 roku zespół naukowców: profesorowie Piotr Bojarski, Marek Grinberg, Michał Horodecki, Adam Majewski, Marek Żukowski (Uniwersytet Gdański) oraz Paweł Horodecki (Politechnika Gdańska) zostali laureatami programu Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej za swoje projekty.

W lipcu 2011 odbyło się sympozjum „The Third International Workshop on Advanced Spectroscopy and Optical Materials (IWASOM'11)”. Międzynarodowe spotkania IWASOM stanowią forum dla wymiany informacji na temat zaawansowanych metod spektralnych, urządzeń optycznych, fizyki i chemii nowych materiałów optycznych i powiązanych zastosowań. Inicjatorami tych konferencji byli: będący wtedy dyrektorem IFD prof. B. Linde i prof. M. Grinberg (po rozmowach z fizykami litewskimi i rezygnacją z organizacji polsko-litewskich seminariów w Toruniu), który podjął się ich kontynuacji i był przez 6 lat przewodniczącym tych naukowych spotkań; przekształciły się one w „The International Workshop on Advanced Spectroscopy and Optical Materials” (IWASOM).

We wrześniu 2011 roku miał miejsce Międzynarodowy Kongres Ultradźwięków – ICU '2011 Gdańsk, o którym już podałem wcześniej więcej szczegółów.

W tym samym roku w październiku odbyła się uroczystość odsłonięcia tablicy poświęconej Janowi Heweliuszowi na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki UG. Imię

wybitnego uczonego otrzymało wydziałowe audytorium nr 1. Uroczystość odbyła się z okazji Roku Jana Heweliusza.

Profesorowie M. Żukowski i R. Horodecki zostali w następnych latach laureatami kilku prestiżowych nagród i wyróżnień; ważniejsze z nich poniżej przypomnę.

Profesor M. Żukowski otrzymał Nagrodę Fundacji Nauki Polskiej (2012) za badania wielofotonowych stanów splątanych i został też laureatem 8. edycji programu TEAM Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej. W 2013 roku otrzymał nagrodę za badania tych stanów splątanych w kontekście przyczynowości informacyjnej rozważanej jako zasady fizyki oraz Nagrodę Marii Skłodowskiej-Curie PAN za wkład do rozwoju wielofotonowej interferometrii kwantowej. W roku 2014 prof. M. Żukowski został laureatem Nagrody COPERNICUS razem z prof. Haraldem Weinfurterem z Uniwersytetu w Monachium za prowadzone wspólnie badania naukowe w zakresie fizyki kwantowej, a w 2016 roku Nagrody Naukowej Miasta Gdańska im. Jana Heweliusza za rok 2015.

Profesor R. Horodecki wspólnie z prof. Grzegorzem Węgrzynem w 2012 roku zostali laureatami konkursu dla doświadczonych naukowców na finansowanie projektów badawczych mających na celu realizację pionierskich badań, organizowanego przez Narodowe Centrum Nauki. W 2013 roku prof. R. Horodecki otrzymał i zainaugurował realizację grantu naukowego „Quantum resources: conceptuels and applications” przyznanego przez Europejską Radę ds. Nauki. Z kolei w 2014 roku został odznaczony przez Prezydenta RP Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski w uznaniu wybitnych zasług w pracy naukowo-badawczej w dziedzinie fizyki. W kilka miesięcy później prof. UG dr hab. Michał Horodecki (syn Ryszarda) otrzymał Nagrodę Narodowego Centrum Nauki „za odkrycie stanów kwantowych o splątaniu związanym oraz zbadanie nieaddytywności pojemności kanałów kwantowych” (Jaśkowiak, Czechowska-Derkacz b.d.).

W dniach 21–23 września 2016 roku odbyła się w Krajowym Centrum Informatyki Kwantowej przy Uniwersytecie Gdańskim zorganizowana wspólnie z Wydziałem Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej i Krajowego Centrum Informatyki Kwantowej przy UG Międzynarodowa Konferencja Naukowa realizowana w ramach grantu Fundacji Templetona „Quantum phenomena: Between the whole and the parts”.

W styczniu 2016 roku Wydziały Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego oraz Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej podpisały porozumienie o wymianie doświadczeń i wiedzy oraz poprawie warunków transferu wiedzy i technologii w zakresie zagadnień, którymi zajmują się oba wydziały.

W dniach 22–24 maja 2014 odbyło się w UG V Międzynarodowe Jubileuszowe Sympozjum Krajowego Centrum Informatyki z udziałem światowych liderów tej tematyki, a 16 listopada 2018 roku nastąpiło uroczyste otwarcie Międzynarodowego Centrum Teorii Technologii Kwantowych (International Centre for Theory of Quantum Technologies, ICTQT), które utworzono na Uniwersytecie Gdańskim. W sierpniu następnego

roku to Centrum uzyskało dwa imienne granty (wspólnie: prof. M. Żukowski UG i prof. P. Horodecki z Katedry Fizyki Teoretycznej i Informatyki Kwantowej PG) na realizację dwóch swoich projektów w zakresie technologii kwantowych w międzynarodowym konkursie zorganizowanym przez konsorcjum QuantERA i koordynowanym przez Narodowe Centrum Nauki.

W listopadzie 2019 roku prof. R. Horodecki, członek zespołu profesorów tego Centrum, został laureatem Nagrody Komitetu Fizyki PAN, a w roku 2020 został zaszczycony członkostwem w prestiżowej organizacji Academia Europaea jako fizyk i współtwórca informacji kwantowej Międzynarodowego Centrum Teorii Technologii Kwantowych. W dniu 1 lutego prof. dr hab. Wiesław Laskowski, prorektor ds. badań naukowych UG, podpisał list intencyjny w sprawie współpracy i rozwoju badań kwantowych w Polsce. W 2016 roku prof. dr hab. P. Bojarski, dziekan Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki UG, został powołany na 3 lata i kontynuuje tę funkcję do dziś, na edytora międzynarodowego czasopisma „Journal of Molecular Liquids” wydawanego przez Elsevier, jedno z największych światowych wydawnictw naukowych.

W naszym IFD w listopadzie 2017 roku prof. dr hab. A. Kubicki otrzymał medal Polskiego Towarzystwa Fizycznego im. prof. Ignacego Adamczewskiego za zasługi w popularyzacji fizyki.

Wróćmy do informacji o organizowanych szkołach naukowych i konferencjach. Odbyły się kolejne dwie Szkoły Acousto-optics and Applications: 8. w 2001 i 9. w 2004 (fot. 145) w Juracie, a następne 10. jubileuszowa w 2008 w Sopocie (fot. 146) skojarzona także z 80-leciem urodzin profesorów A. Korpela (fot. 147) i A. Śliwińskiego. Z tej okazji akustooptyce i naszym szkołom został poświęcony specjalny zeszyt „Applied Optics Feature Issue on Acousto – Optics” (Śliwiński b.d.).

11. Szkoła Akustooptyki i Zastosowań odbyła się w połączeniu z kongresem ultradźwiękowym ICU Gdańsk’2011, o którym już wyżej wspominałem, natomiast 12. Szkoła Akustooptyki i Zastosowań po raz pierwszy miała miejsce poza Gdańskiem i została zorganizowana wspólnie z Uniwersytetem w Wilnie (z prof. Daumantasem ČiPLYSEM) – odbyła się w Litwie w Druskiennikach (fot. 148). Kolejną 13. Szkołę współorganizowali Rosjanie na Politechnice Moskiewskiej (MISIS) w 2017 roku (fot. 149). Następna 14. Szkoła była zorganizowana wspólnie przez UG i UMK w Toruniu w 2019 roku (fot. 150) przez prof. Ireneusza Grulkowskiego, naszego absolwenta i doktora (zob. fot. 120) wypromowanego przez prof. P. Kwieka. Uczestniczyłem w niej bardzo aktywnie. Przygotowania do następnej 15. Szkoły, która miała się odbyć w Metz w Francji w 2021 roku, zostały zawieszona z powodu COVID-19 i ma się ona odbyć w najbliższym możliwym czasie. Następne fotografie przedstawiają uczestników tych akustooptycznych szkół, które się odbyły.



Fot. 145. 9. Szkoła AOZ, Gdańsk-Sobieszewo, 2004 rok



Fot. 146. 10. Jubileuszowa Szkoła AOZ, Gdańsk-Sopot, 2008 rok



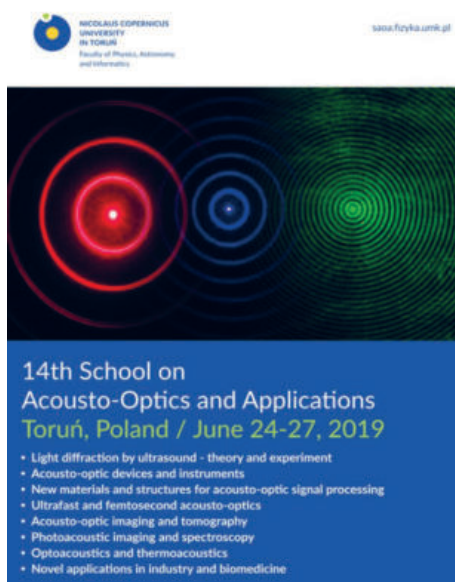
Fot. 147. 8. Szkoła AOZ, Gdańsk–Jurata, 2001 rok. Prof. A. Korpel, Iowa State University, USA



Fot. 148. 12. Szkoła Acousto-Optics & Application, Druskienniki, 2013 rok

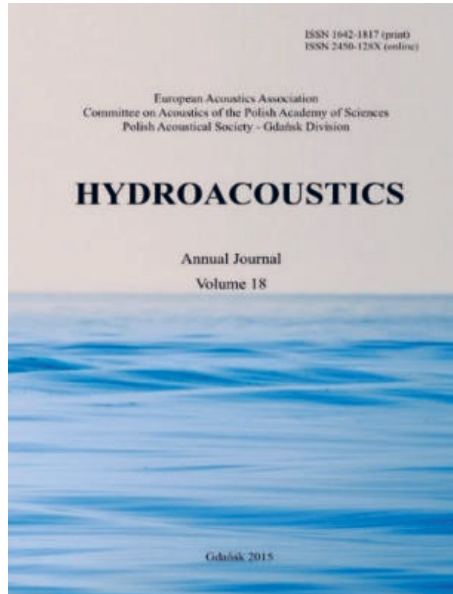


Fot. 149. 13. Szkoła Acousto-Optics & Application, Moskwa, 2017 rok

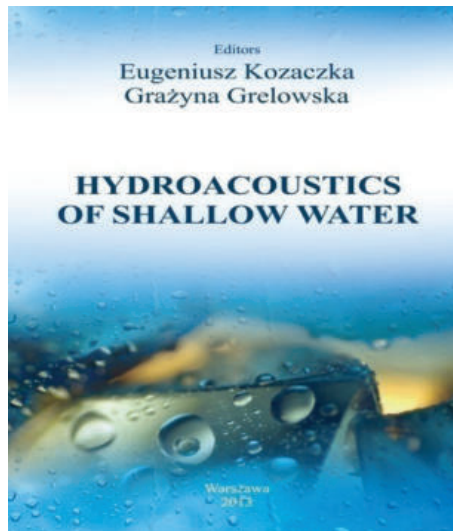


Fot. 150. 14. Szkoła Acousto-Optics & Application, Toruń, 2019 rok

Niezależnie od organizacji tych cyklicznych akustooptycznych szkół braliśmy też udział w cyklicznych Sympozjach Hydroakustyki (fot. 151) oraz konferencji Hydroacoustics of Shallow Water (fot. 152), poświęconej 70-leciu urodzin prof. E. Kozaczki, organizowanych przez PG i AMW. Załączone fotografie dotyczą okładek materiałów wydawanych z okazji tych sympozjów i tej konferencji. Po więcej informacji odsyłam do (Śliwiński 2018).



Fot. 151. Okładka Rocznika „Hydroakustyka”, Oddział Gdański PTA



Fot. 152. Okładka monografii poświęconej konferencji z okazji 70-lecia urodzin profesora E. Kozaczki

Braliśmy udział w dorocznych spotkaniach OSA, jak na przykład w Polanicy Zdroju w 2001 roku (fot. 153). Współorganizowaliśmy też w ramach Gdańskiego Oddziału PTA w ostatnim 20-leciu Otwarte Seminarium z Akustyki: LI-OSA'2004 w Gdańsku-Sobieszewie

(fot. 154) oraz LVIII w Juracie i LXV w Ustce (połączone z 35 Sympozjum Hydroakustyki oraz Polsko-Niemiecką Strukturalną Konferencją z Akustyki pod nazwą ACOUSTICS '2018 – była tam też sesja poświęcona mojemu 90-leciu urodzin). Kilka kolejnych fotografii pochodzi z tych wyżej wymienionych spotkań PTA.



Fot. 153. OSA'2001, Polanica Zdrój



Fot. 154. LI OSA, Gdańsk-Sobieszewo, 2004 rok. W pierwszym rzędzie od prawej: E. Kozaczka, Jerzy Sadowski, T. Pustelny

Warto tu dodać, że Polskie Towarzystwo Akustyczne rok przed spotkaniem w Sobieszewie obchodziło w Szczyrku 50-lecie istnienia Otwartych Seminariów z Akustyki organizowanych przez poszczególne Oddziały PTA i pod patronatem Komitetu Akustyki PAN. To jubileuszowe 50. OSA'2003 w Szczyrku organizował Górnooląski Oddział PTA w Szczyrku w Beskidzie Śląskim, a następane jubileuszowe 60. OSA'2013 Oddział

Rzeszowski w Polańczyku w Bieszczadach. Na tym spotkaniu Polskie Towarzystwo Akustyczne obchodziło również 50-lecie swojego powstania i przedstawiono tam okolicznościowe referaty (Bukowski 2013). Rok później swoje 50-lecie powstania obchodził również Komitet Akustyki PAN (Śliwiński, Kozaczka 2014).

Kolejne jubileuszowe 65. OSA organizowane przez Gdański Oddział PTA odbyło się w 2018 roku w Ustce jako połączona konferencja, która miała szerszy zasięg tematyczny i międzynarodowy (Marszał 2018). Załączone fotografie dotyczą tego spotkania. W przyszłej perspektywie Oddział Gdański będzie w kolejności innych Oddziałów PTA organizatorem 72. OSA w 2025 roku.

JOINT CONFERENCE – ACOUSTICS 2018	
65th Open Seminar on Acoustics	
35th Symposium on Hydroacoustics	
Polish-German Structured Conference on Acoustics	
Ustka, Poland, September 11 – 14, 2018	
Komitet Organizacyjny połączonej konferencji – ACOUSTICS 2018	Organizing Committee of the Joint Conference – ACOUSTICS 2018
Przewodniczący Jacek Marszał	President Jacek Marszał
Z-ca przewodniczącego ds. LXV Otwartego Seminariam z Akustyki Natalia Gerśka	Vice-president for the organization of the LXV Open Seminar on Acoustics Natalia Gerśka
Z-ca przewodniczącego ds. 35. Symposium z Hydroakustyki Roman Salamon	Vice-president for the organization of the 35th Symposium on Hydroacoustics Roman Salamon
Z-ca przewodniczącego ds. Polsko-Niemieckiej Strukturalnej Konferencji z Akustyki Bogumił Linde	Vice-president for the organization of the Polish- German Structured Conference on Acoustics Bogumił Linde
Sekretarz Iwona Kochańska	Secretary Iwona Kochańska
Skarbnik Jan Schmidt	Treasurer Jan Schmidt
Członkowie Komiteta Organizacyjnego Karol Listewnik, Andrzej Partyka, Wojciech Szymczak, Przemysław Falkowski-Giński	Members of Organizing Committee Karol Listewnik, Andrzej Partyka, Wojciech Szymczak, Przemysław Falkowski-Giński
Komitet Naukowy połączonej konferencji – ACOUSTICS 2018	Scientific Committee of the Joint Conference – ACOUSTICS 2018
Przewodniczący Eugeniusz Kozaczka	Chairman Eugeniusz Kozaczka
Honorowy Przewodniczący Antoni Śliwiński	Honorary Chairman Antoni Śliwiński
Członkowie Komitetu Naukowego: Tuncay Akal (Turkey), Wojciech Batko (Poland), Jens Blauert (Germany), Joachim Bös (Germany), David Bradley (USA), Zbigniew Dąbrowski (Poland), Andrzej Dobraczy (Poland), Grazyna Grelowska (Poland), Tadeusz Gudra (Poland), Halvor Hobæk (Norway), Adam Kawalec (Poland), Beżena Kostek (Poland), Tim Leighton (UK) Bogumił Linde (Poland), Jerzy Litniewski (Poland), Jacek Marszał (Poland), Jarosław Mikielewicz (Poland), Bodo Nolte (Germany), Andrzej Nowicki (Poland), John Papadakis (Greece), Grzegorz Panknin (Poland), Marek Pawelczyk (Poland), Anna Preis (Poland), Tadeusz Pustelny (Poland), Andrzej Rakowski (Poland), Wojciech Rdzanek (Poland), Roman Saltman (Poland), Joachim Scheuren (Germany), Andrey Serebyany (Russia), Aleksander Sęk (Poland), Andrzej Stepnowski (Poland), Michael Tzavodakis (Greece), Michael Verlaender (Germany), Zbigniew Wesolowski (Poland), Stefan Weyns (Poland), Jerzy Wicisk (Poland), Peter Wille (Germany), Jan Żera (Poland)	Members of the Scientific Committee Tuncay Akal (Turkey), Wojciech Batko (Poland), Jens Blauert (Germany), Joachim Bös (Germany), David Bradley (USA), Zbigniew Dąbrowski (Poland), Andrzej Dobraczy (Poland), Grazyna Grelowska (Poland), Tadeusz Gudra (Poland), Halvor Hobæk (Norway), Adam Kawalec (Poland), Beżena Kostek (Poland), Tim Leighton (UK) Bogumił Linde (Poland), Jerzy Litniewski (Poland), Jacek Marszał (Poland), Jarosław Mikielewicz (Poland), Bodo Nolte (Germany), Andrzej Nowicki (Poland), John Papadakis (Greece), Grzegorz Panknin (Poland), Marek Pawelczyk (Poland), Anna Preis (Poland), Tadeusz Pustelny (Poland), Andrzej Rakowski (Poland), Wojciech Rdzanek (Poland), Roman Saltman (Poland), Joachim Scheuren (Germany), Andrey Serebyany (Russia), Aleksander Sęk (Poland), Andrzej Stepnowski (Poland), Michael Tzavodakis (Greece), Michael Verlaender (Germany), Zbigniew Wesolowski (Poland), Stefan Weyns (Poland), Jerzy Wicisk (Poland), Peter Wille (Germany), Jan Żera (Poland)

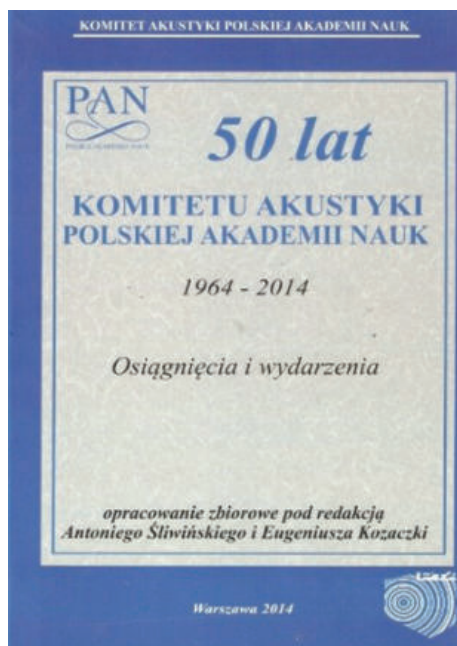
Fot. 155. Informacje o konferencji „Acoustics 2018” w Ustce (Marszał 2018: 3)



Fot. 156. Konferencja Acoustics'18, Ustka, 2018 rok. Prof. Grażyna Grelowska⁸ prowadzi wykład „Moja przygoda z hydroakustyką”

W roku 2014 roku swój Jubileusz 50-lecia w Pałacu Staszica w Warszawie obchodził Komitet Akustyki PAN. Była to bardzo uroczyste spotkanie z udziałem władz Akademii i znakomitych gości. Ukazała się także książka (fot. 157) z tej okazji (Śliwiński, Kozaczka 2014) (zob. też Śliwiński, Engel, Zawieska 2010), w której znalazło się podsumowane jego osiągnięć i ich ważności dla postępu akustyki jako dziedziny fizyki o międzydyscyplinarnym znaczeniu w wielu zastosowaniach nauki i techniki współczesnej.

⁸ Prof. Grażyna Grelowska odeszła od nas na zawsze w dniu 30 września 2022 r., przerywając pełnioną funkcję Przewodniczącej Komitetu Akustyki PAN w kadencji 2020–2023.



Fot. 157. Okładka monografii (Śliwiński, Kozaczka 2014) z okazji 50-lecia Komitetu Akustyki PAN



Fot. 158. 41. jubileuszowe posiedzenie Komitetu Akustyki PAN w Pałacu Staszica, Sala Lustrzana, w październiku 2014 roku



Fot. 159. 41. jubileuszowe posiedzenie Komitetu Akustyki w Pałacu Staszica, Sala Lustrzana, w październiku 2014 roku



Fot. 160. Jubileuszowe posiedzenie Komitetu Akustyki PAN w Pałacu Staszica w Warszawie w październiku 2014 roku. Od prawej: prof. E. Kozaczka, przewodniczący Komitetu Akustyki PAN, za nim stoi prof. M. Kleiber, prezes Polskiej Akademii Nauk, prof. A. Śliwiński otrzymujący dyplom gratulacyjny za wkład w działalność Komitetu Akustyki PAN, prof. Andrzej Rakowski, honorowy przewodniczący Komitetu Akustyki PAN, prof. Adam Lipowczan, członek Komitetu Akustyki PAN

Przypomnijmy tu również inne jeszcze jubileusze fizyków UG, nie mniej znaczące i ważne w naszym środowisku akademickim. Napisałem już o kilku jubileuszach w poprzednich latach, a w miarę upływu czasu było ich więcej. Wzmiankowałem już wyżej, że prof. J. Fiutak i prof. J. Heldt swoją główną działalność przenieśli do WSP w Słupsku (później Uniwersytetu Pomorskiego). Tam też urządzono im uroczyste jubileusze. Uroczystość 70-lecia urodzin prof. J. Fiutaka odbyła się w dniu 24 czerwca 2003 roku

w Instytucie Fizyki Pomorskiej Akademii w Słupsku. W uroczystości w gronie kolegów słupskiej uczelni byli fizycy z UMK z Torunia oraz z UG i PG z Gdańska. Nie mogąc wtedy osobiście uczestniczyć w spotkaniu, przesłałem jubilatowi serdeczne gratulacje.

Rok później, w dniu 18 czerwca 2004 roku, jubileusz 70-lecia urodzin obchodził prof. J. Heldt. Odbył się on również w Instytucie Fizyki w Słupsku. Udział wzięło wielu fizyków, jego koleżanek i kolegów, również przyjezdnych z UMK z Torunia oraz UG i PG z Gdańska. W tym spotkaniu brałem osobiście udział. Fotografia 161 przedstawia uczestników przed wejściem do Instytutu.



Fot. 161. Jubileusz 70-lecia urodzin prof. J. Heldta w Instytucie Fizyki Pomorskiej Akademii w Słupsku, 2004 rok. W środku jubilat z żoną, wnuczką Basią (dzieckiem córki Małgorzaty) i wnukiem Pawłem (dzieckiem syna Wojciecha). Na dole siedzą od lewej: prof. A. Kowalski, prof. P. Kwiek

W 2005 roku spotkała mnie niespodziewana miła uroczystość, gdy zostałem zaproszony na Politechnikę Śląską w Gliwicach na wręczenie 27 czerwca 2005 roku zaszczytnego tytułu honorowego profesora Politechniki Śląskiej, jaki przyznał mi Senat PŚ za długoletnią współpracę i wkład w jej rozwój naukowy. Wspominam to wydarzenie dlatego, że jak napisałem we Wstępie do tego biograficznego eseju o moich pierwszych kontaktach z Gdańskiem (jeszcze z Poznania), to wtedy (w latach pięćdziesiątych) jednym ze słuchaczy na moim wykładzie na Politechnice Gdańskiej był student A. Zastawny (późniejszy prof. dr hab. w Instytucie Fizyki PŚ). Było dla mnie ogromnie miłą niespodzianką, gdy około 50 lat później na tej uroczystości w sali Senatu PŚ gratulacje złożył mi prof. A. Zastawny (teraz już nieżyjący od kilku lat). Wtedy po spotkaniu wspominaliśmy gdańskie kontakty i zwiedzałem jego laboratorium zastosowań izotopu węgla C^{14} . Załączone fotografie przedstawiają wręczenie nominacji przez rektora PŚ prof. W. Zielińskiego (fot. 162) i gości towarzyszących (profesorowie fizycy PŚ).



Fot. 162 Wręczenie nominacji honorowego profesora Politechniki Śląskiej prof. A. Śliwińskiemu przez rektora PŚ prof. W. Zielińskiego (a), czerwiec 2005 rok; obecni goście w Sali Senatu PŚ (b), od prawej: prof. A. Zastawny, prof. A. Opilski, prof. T. Pustelny, dr B. Pustelny, dr J. Mazur

W 2008 roku przeżyłem kolejny własny jubileusz 80-lecia urodzin urządzony na naszym wydziale i w IFD, ale choć go mile wspominam, nie będę o nim pisał. Czas mijał mi bardzo szybko i 10 lat później organizatorzy wspomnianej wyżej konferencji Acoustics'2018 w Ustce sprawili mi dużą satysfakcję, łącząc mój jubileusz 90-lecia urodzin z tym spotkaniem – fot. 163.



Fot. 163. Konferencja Acoustics'18, Ustka, 2018

a) prof. B. Linde podczas prezentacji biografii jubilata,
 b) jubileuszowe kwiaty od organizatorów z okazji 90-lecia urodzin. Od prawej: jubilat A. Śliwiński, Iwona Kochońska, Jacek Marszał, Marzena Dzida, Franciszek Witos (u dołu: głowa prof. A. Zielińskiego z Kanady)

Wygłosiłem tam referat poświęcony wspomnieniom z historii akustyki na Wybrzeżu Gdańskim w latach 2008–2018 (Śliwiński 2018) (jako kontynuację poprzedniej publikacji na ten temat za lata 1970–2008 (Śliwiński 2009)). Odsyłam Czytelników do tych publikacji zawierających szersze i bardziej szczegółowe wspomnienia dotyczące historii fizyków akustyków i współpracy UG z uczelniami i instytucjami Wybrzeża Gdańskiego.

9 czerwca 2017 r. obchodziliśmy jubileusz 70-lecia urodzin prof. B. Lindego w ZFD jako spotkanie wydziałowe prowadzone przez dziekana prof. P. Bojarskiego z udziałem prorektora UG ds. rozwoju i współpracy z gospodarką prof. Krzysztofa Bielawskiego i wielu sympatyków: koleżanek i kolegów z UG i delegacji innych uczelni – PG, AMW, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego (prof. Linde pracował tam równolegle w latach 1998–2002), Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza oraz innych Instytucji Wybrzeża. Uroczystość zaszczylicili również dostojnicy Ewangelickiej Diecezji Pomorsko-Wielkopolskiej utrwaleni na jednej z fotografii pochodzących z tego spotkania.



Fot. 164. Jubileusz 70-lecia urodzin prof. B. Lindego, aula Wydziału Mat., Fiz. i Inf. UG, 9 czerwca 2017 roku

(a) w środku Bp Ewangelickiej Diecezji Pomorsko-Wielkopolskiej prof. Marcin Hintz, po lewej jego żona Iwona, dalej Bp. Senior Michał Warczyński i jego żona Jolanta, po prawej Bp. Hintza prof. A. Śliwiński;

(b) od prawej: jubilat, prof. W. Miklaszewski, Bartłomiej Linde, syn jubilata, w głębi w środku: prof. P. Bojarski (Dziekan Wydziału MFI UG) (Fot. ze zbiorów prof. Bogumiła Linde)

Były oczywiście jeszcze jubileusze innych koleżanek i kolegów, o których nie będę tu pisał (proszę wybaczyć), nie wszystko już pamiętam, ale były równie ważne i uroczyste.

Skoro jesteśmy przy jubileuszach, które dla emerytów są coraz częstsze, to chciałbym w tym miejscu nawiązać do działalności bardzo integrującej emerycką społeczność w UG, do instytucji Klubu Seniora UG. Powstał on, gdy byłem już na emeryturze i dopiero później do niego dołączyłem. Zostałem tam wielu emerytów fizyków oraz emerytów pracowników naukowo-technicznych i administracji instytutów naszego wydziału, młodszych ode mnie, z którymi przez wiele lat pracowałem. Od 2018 roku kieruje nim prof. B. Linde, wybrany na prezesa Zarządu Klubu Seniora UG. Sekretarzem Klubu jest Pani Bogna Dałek, zasłużona jako współpracownik zespołu fizyków akustyków. która była bezpośrednim wsparciem w codziennej naszej pracy naukowo-technicznej w całym okresie mej pracy w UG. Atrakcyjna działalność (ogólne zebrania i koncerty, wycieczki i inne imprezy) cieszy się ogólnym uznaniem, a spotkania przy kawie są okazją do wzajemnych wspomnień i opowiadań.

Chciałbym teraz kilka słów poświęcić tym fizykom UG, którzy odeszli od nas na zawsze. Wspaniałą inicjatywę uczczenia pamięci fizyków polskich, którzy już nie żyją, podjął przed kilku laty znany zasłużony fizyk Uniwersytetu Warszawskiego

prof. Andrzej Kajetan Wróblewski i wszczął ogólnopolską akcję napisania i zbierania ze wszystkich Oddziałów PTF biogramów zmarłych fizyków.

W Oddziale Gdańskim, w porozumieniu i kontakcie z prof. Józefem Szudym (emerytowanym i zasłużonym dla UMK fizykiem) z Oddziału Toruńskiego PTF, takie biogramy zostały wykonane między innymi przez prof. B. Lindego, dr. S. Zacharę i z moją pomocą oraz dzięki dużemu odzewowi przekonanych do tej akcji fizyków z Wybrzeża Gdańskiego (PG i GAM, Instytutów PAN i innych uczelni i Szkół) i Pomorza (Słupsk, Koszalin), do których o wsparcie się zwracaliśmy. Opracowane biogramy zostały przekazane do prof. A.K. Wróblewskiego albo wprost przez opracowujących albo za pośrednictwem prof. J. Szudego. Spis osób, których biogramy zostały zebrane przez wyżej wymienionych, zestawiono poniżej; w zestawieniu przy nazwisku podano datę urodzenia i datę śmierci.

Biogramy te wraz z innymi zebranymi przez prof. A.K. Wróblewskiego (także osób z Gdańska, których nie ma w poniższym zestawieniu, a z którymi współpracowaliśmy i o których wspominałem w treści tego eseju (na przykład profesorów I. Adamczewskiego, A. Piekary, C. Bojarskiego, O. Gzowskiego i innych zasłużonych fizyków) będą zamieszczone w książce *Słownik biograficzny fizyków polskich*, którą przygotowuje prof. A.K. Wróblewski. Książka ma się ukazać w 2023 roku w Wydawnictwie Polskiej Akademii Umiejętności w Krakowie.

Fizycy UG oraz związani z Gdańskiem, których biogramy ukażą się w *Słowniku Biograficznym Fizyków Polskich* pod redakcją prof. Andrzeja K. Wróblewskiego⁹

1. BADZIĄG Kazimierz Antoni (26 VIII 1921 Tczew – 15 X 2016 Tczew). WSP → UG
2. BAŁUK Piotr (1 VIII 1945 Leszczyny, pow. Garwolin – 23 VIII 2015 Gdańsk). WSP → UG
3. BIŁOT Ludmił (30 VII 1935 Kosów Huculski, woj. stanisławowskie – 25 I 2016 Kołeczkowo, pow. wejherowski). WSP → UG
4. CZAJKO Jerzy (14 XII 1946 Woźnawieś – 28 VI 1994 Gdańsk). WSP → UG
5. CZUCHAJ Eugeniusz (17 VIII 1943 Grodysławice – 15 VIII 2005 Sopot), UMK → WSP → UG
6. FIUTAK Jan (28 III 1933 Działdowo – 25 II 2016 Gdynia), UMK → WSP → UG
7. GRINBERG Marek (27 IV 1952 Toruń – 27 VI 2020 Gdańsk), UMK → UG (w 1997)
8. GUZ Wawrzyniec (10 VIII 1947 Toruń – 23 VIII 1988 Gdańsk). UMK → WSP → UG
9. HELDT Józef Ambroży (8 III 1934 Włocibórz – 6 I 2015 Gdańsk), UMK → WSP → UG
10. KAMIŃSKI Jerzy (2 VII 1943 Małogoszcz, pow. Jędrzejów – 19 IV 2014 Gdańsk), WSP → UG
11. KAWSKI Alfons (11 I 1927 Cekcyn – 22 XI 2011 Wejherowo), UMK → WSP → UG
12. KRÓL Tadeusz (5 IX 1942 Komierówko, pow. Sępólno Krajeńskie – 18 VII 2016 Gdańsk, WSP Słupsk → IO PAN)

⁹ Spis zamieszczono za uprzejmą zgodą autora. Lista nie jest kompletna; dotyczy głównie śp. fizyków UG i byłego WSP i nie zawiera biogramów fizyków uczelni i jednostek Wybrzeża Gdańskiego (np. PG, GAM, AMW, Instytutów PAN i innych), które opracowali inni autorzy i przestali je bezpośrednio do prof. Wróblewskiego; będą one opublikowane w *Słowniku biograficznym fizyków polskich*.

13. LEWA Czesław (10 III 1937 Sipiory – 9 VIII 2016 Gdańsk), WSP → UG
14. MOŚCICKI Włodzimierz (4 X 1911 Kijów – 10 IX 1977 Gliwice), UAM → UMK → PG → PŚ
15. PIMONOW Leonid Wasilewicz (18 VII 1908 Orenburg – 24 III 2000 Wilno), INCS Paryż (współpraca z UG 1970–1990)
16. TERLECKI Józef (26 I 1925 Bąkowie, woj. lwowskie – 18 XII 2006 Gdańsk), PG → AMG
17. WOJTKOWIAK Jerzy (9 III 1948 Wolsztyn – 30 I 2020 Gdańsk), WSP → UG
18. WOLIŃSKI Leszek (4 II 1927 Rybnik – 28 IX 1991 Gdańsk), WSP → UG
19. WREMBEL Henryk Zbigniew (8 VI 1930 Miały pow. Czarnków – 18 III 2014 Bydgoszcz), WSP Słupsk → WSM w Gdyni
20. ZIELIŃSKI Andrzej (24 XI 1938 Środa Wielkopolska – 29 IV 2003) → IO PAN Sopot → IO PAN Sopot Gdańsk
21. KUKIELSKI Jan (17 VIII 1938 Chełmża, 27 IV 2010 Sopot), WSP → UG
22. KOLANKOWSKI Stanisław (25 II 1910 Tbilisi (Gruzja pod okupacją Rosji carskiej) – zm. ?, w Gdańsku) WSP → PG, UG (Bibl. Gf.)
23. LIPIŃSKI Lech (3 XII 1927 Warszawa – 2 XII 2016 Gdańsku) PG → Zakł. Mech. Prec. Gdańsk → UG
24. KOSMOL Marek (3 VI 1940 Warszawa – 22 VIII 2006 Gdańsk) WSP → UG
25. MATUSZEWSKI Tadeusz (zm. 9 V 2008 Gdynia) WSP → UG
26. POHOSKI Romuald (zm. 6 VII 2020 Sopot) WSP → UG
27. SUŁOCKI Janusz (zm. ?) WSP → PG → UG
28. STIPAL Stefania (zm. 26 IV 2000 Sopot) Uniwersytet Jana Kazimierza we Lwowie, WSP
29. PYKACZ Jarosław (zm. 1 VI 2022 Gdynia) UG
30. WCISŁO Władysław (zm. 7 IV 2002 Gdańsk) WSP → UG
31. WOJTOWICZ Marian. (zm. 1962 Gdańsk) Uniwersytet Jana Kazimierza we Lwowie, WSP
32. JUSZKIEWICZ Eugeniusz (zm. 1976 Gdańsk) Uniwersytet Stefana Batorego w Wilnie PG, AM, UG

Na zakończenie tego artykułu na schemacie 5 przedstawiam strukturę i obsadę stanowisk fizyków pracujących w obydwu Instytutach Fizyki na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki w bieżącej kadencji (w latach 2020–2024).

**Schemat 5. Struktura instytutów na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki
po wyborach na kadencję 2021–2024**

Instytut Fizyki Doświadczalnej

Dyrektor instytutu dr hab. Ryszard Drozdowski, prof. UG

Zastępca dyrektora ds. dydaktycznych dr Joanna Gondek

Jednostki podległe

Sekretariat i Obsługa Finansowa Instytutu mgr Wiktoria Kamińska

Zakład Akustyki i Fizyki Jądrowej

Kierownik zakładu prof. dr hab. Stanisław Pogorzelski

Zakład Fizyki Atomowej

Kierownik zakładu prof. dr hab. Andrzej Kowalski

Zakład Spektroskopii Fazy Skondensowanej

Kierownik zakładu dr hab. Sebastian Mahlik, prof. UG

Zakład Biomateriałów i Fizyki Medycznej

Kierownik zakładu prof. dr hab. Piotr Bojarski

Zakład Fizyki Stosowanej

Kierownik zakładu prof. dr hab. Jerzy Kwela

Zakład Fotofizyki Molekularnej i Dydaktyki Fizyki

Kierownik zakładu dr hab. Marek Józefowicz, prof. UG

**Laboratorium Charakteryzacji Materiałów Luminescencyjnych
i Nanomateriałów**

Kierownik zakładu dr hab. Sebastian Mahlik, prof. UG

Skład osobowy

Profesorowie

prof. dr hab. Piotr Bojarski
prof. dr hab. Andrzej Kowalski
prof. dr hab. Jerzy Kwela
prof. dr hab. n. med. Piotr Lass
prof. dr hab. Stanisław Pogorzelski

Profesorowie uczelni

dr hab. Ryszard Drozdowski, prof. UG
dr hab. Marek Józefowicz, prof. UG

dr hab. Aleksander Kubicki, prof. UG

dr hab. Sebastian Mahlik, prof. UG

Adiunkci

dr Justyna Barzowska

dr Joanna Gondek

dr Dawid Jankowski

dr inż. Joanna Kamińska

dr Agata Lazarowska

dr inż. Tadeusz Leśniewski

dr Aneta Lewkowicz

dr Marta Miotke-Wasilczyk

dr Paweł Rochowski

dr Illia Serdiuk

dr Justyna Strankowska

dr Anna Synak

dr Karol Szczodrowski

dr Sławomir Werbowy

Starsi wykładowcy

dr inż. Janusz Młodzianowski

Asystenci

mgr Natalia Górecka

mgr Patryk Kamiński

Pracownicy naukowo-techniczni

mgr Anna Baran

mgr inż. Mirosław Behrendt

mgr Maciej Grzegorzczak

dr Łukasz Sobolewski

Pracownicy inżynierjno-techniczni

mgr Karolina Baranowska

mgr inż. Jacek Pączkowski

mgr Nikodem Ponikwicki

Artur Sikorski

mgr inż. Władysław Strugała

Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki

Dyrektor

dr hab. Marek Krośnicki, prof. UG

Zastępca Dyrektora

dr Krzysztof Szczygielski

Zakład Spektroskopii Atomowo-Molekularnej i Astrofizyki

Kierownik dr hab. Marek Krośnicki, prof. UG

Zakład Metod Matematycznych Fizyki

Kierownik prof. dr hab. Danuta Makowiec

Zakład Optyki i Informacji Kwantowej

Kierownik dr hab. Marcin Wieśniak, prof. UG

Skład osobowy

Profesorowie

prof. dr hab. Wiesław Laskowski

prof. dr hab. Danuta Makowiec

prof. dr hab. Tomasz Paterek

Profesorowie uczelni

dr hab. Piotr Gnaciński, prof. UG

dr hab. Marek Krośnicki, prof. UG

dr hab. Stanisław Kryszewski, prof. UG

dr hab. Marcin Marciniak, prof. UG

dr hab. Wiesław Miklaszewski, prof. UG

dr hab. Adam Rutkowski, prof. UG

dr hab. Marcin Wieśniak, prof. UG

Adiunkci

dr Anita Dąbrowska

dr Waldemar Kłobus

dr Adrian Kołodziejski

dr Michał Studziński

dr Krzysztof Szczygalski

Pracownicy

mgr Jolanta Rejniak

3. Podsumowanie

3.1. Działalność dydaktyczna w 50-leciu

50 lat działalności to na tyle długi okres, że wykształciliśmy wielu absolwentów fizyki na UG. Można by pokusić się o przestudiowanie archiwum UG i podać w liczbach, ilu ich było. Spośród wielu absolwentów niektórzy pozostali na UG i mają piękną kartę zasług dla naszej Alma Mater. Są też liczni tacy, którzy zrobili kariery naukowe już poza naszą uczelnią i przynoszą jej chlubę. Ciekawą sprawą byłoby na przykład pytanie o ewolucję kierunków studiów na wydziale: jakie były kierunki studiów w poszczególnych kadencjach i jak się zmieniały w każdym rozważanym 10-leciu. Tego niestety nie ma w tym artykule. Fragmentaryczne informacje w nim podane, jak na przykład to, że w wyniku odbytej dyskusji fizyków w sprawach kształcenia studentów i specjalności studiów na kierunku fizyki powstała na wydziale Rada Kierunków Studiów Fizyki, czy powoływanie różnego rodzaju studiów, jak Studium Podyplomowe i inne stacjonarne czy zaoczne, pozwalają stwierdzić, że z troską zajmowaliśmy się kształceniem studentów i ich problemami. Przedstawione schematy struktury organizacyjnej to potwierdzają. Działający Zakład Dydaktyki Fizyki (nazwa od czasu do czasu się trochę zmieniała) wniósł bardzo wiele w rozeznawanie i rozwiązywanie problemów dydaktycznych¹⁰. Roli zespołu naukowego przy tym zakładzie poświęciłem mało miejsca, jednak wkład doc. dr. K. Badziąga i jego następców jest nie do przecenienia. Także wkład zastępców dyrektora ds. dydaktycznych dr. K. Knapieńskiego, prof. J. Sikorskiego, dr. S. Zachary, którzy w różnych okresach na co dzień sprawowali pieczę nad tymi problemami, był znaczący i zapewniał wyniki, jakie w zakresie kształcenia Fizyka na UG osiągała w jego 50-letniej działalności.

3.2. 50 lat rozwoju i osiągnięcia naukowe

Działalność naukowa uniwersytetu jest wizytówką jego poziomu i atrakcyjności studiowania. Zaszczepia chęć do samodzielnych poszukiwań, a młodzi ludzie, którzy znajdą motywację, poświęcają się twórczej pracy badawczej w danej dziedzinie nauki. Jednym z ważnych i powszechnie podawanych składników oceny poziomu danej uczelni jest liczba i poziom publikacji naukowych uzyskiwanych przez uczelnie i ocenianych w ogólnym systemie opiniotwórczym, w którym znaczącą rolę odgrywa punktacja w ramach przyjętych powszechnie kryteriów wartości określonej publikacji, liczby cytowań i innych danych.

¹⁰ Dopisano 27 września 2022 roku: Jak wspominałem wyżej, pisząc o zasiedlaniu nowego gmachu Fizyki w 1975 roku, podałem, że przy tym Zakładzie była Pracownia Dydaktyki Fizyki. Opiekował się nią pracownik naukowo-techniczny Konrad Kierzek, który przeszedł z byłej WSP do UG w chwili jego powstania i swą pracą przez długie lata ofiarnie służył uczelni. Od kilkunastu lat był na emeryturze. Zmarł i trzy dni temu został pochowany na cmentarzu Srebrzysko w Gdańsku. Cześć Jego pamięci!

Stosowana na uczelniach polityka punktacji zmieniała się w ciągu lat, ale w końcu ustalono pewne miary i kryteria (lista filadelfijska i inne instrumenty). Nie będę tutaj analizował ich ogólnej celowości i funkcjonalności, chociaż się nimi posługiwaliśmy i mam też własne doświadczenia oraz wspomnienia dotyczące ich czasem zbyt formalnego wykorzystywania w praktyce akademickiej awansowania młodej kadry. Ograniczając się do zapamiętanych z mej działalności sposobów postępowania, dodam tylko, że na UG każdy nauczyciel akademicki sporządzał listę publikacji, obliczał, ile otrzyma za swoje publikacje punktów i zamieszczał w swoim sprawozdaniu. Później, oceniając młodą kadrę, analizowano dorobek indywidualny i oceniano, jak to wygląda w zakładach czy zespołach i jak to wypada dla całego instytutu, co dalej przenosiło się na wydział i wyżej.

W moim pierwszym zamierzeniu myślałem, że podsumowując działalność fizyków UG, będę mógł omówić chociaż w przybliżeniu ich dorobek naukowy, podać liczbę publikacji uzyskanych w 50-leciu, ale niestety nie mogę sprostać temu zadaniu. Istnieją indywidualne spisy publikacji prac niektórych pracowników akademickich na stronach internetowych prywatnych czy stronie wydziału lub zostały wymienione w przeglądowych publikacjach. Spisy publikacji bardziej znanych fizyków są też dostępne w internecie w bazach danych i systemach Web of Science, Google Scholar i innych. Zasłużona w swej ponad 50-letniej działalności Biblioteka Główna UG jest tu istotnym źródłem informacji, a szczegółowe spisy publikacji i podane w różnych sprawozdaniach dane z instytutów znajdują się w archiwum uniwersytetu. Sądzę, że podliczenie ich dla uzyskania ogólnej ich liczby nie miałoby w tych wspomnieniach większego sensu. Z całą pewnością w ciągu 50-lecia opublikowano wiele tysięcy publikacji prac naukowych w czasopiśmie, w materiałach konferencyjnych i licznych książkach, monografiach i podręcznikach.

Zakończenie

Przedstawione w tym autobiograficznym eseju wspomnienia z 50-lecia fizyki na Uniwersytecie Gdańskim dzielą się na dwa różniące się okresy: pierwszy to okres pełnozawodowej działalności w latach 1970–1999/2000 oraz okres drugi po przejściu na emeryturę, obejmujący już 20-lecie XXI wieku. Gdy pisałem wspomnienia z pierwszego okresu, to wydawało mi się, że będą to okresy bardzo różne, tymczasem związek z uczelnią pozostał tak silny, że wszystko stanowi jedną całość ciągłej działalności, w stałym kontakcie z prawie tą samą grupą ludzi i niewiele zmienionym miejscu, chociaż z dala od codziennego uniwersyteckiego rytmu i kontaktu ze studentami.

Wspominane 20-lecie po przejściu na emeryturę, podobnie jak poprzedni okres, to nieprzerwana działalność tych, których pozostawiłem jako młodych, i tych nowych, którzy przychodzili w miarę upływu lat. To okres dalszego rozwoju instytutów, wydziału i uczelni. Wiele było zdarzeń, które jako emeryt jeszcze przeżywałem; jednak z coraz mniejszym bezpośrednim w nich udziałem. Dlatego są to coraz mniej

pamiętane wspomnienia. Zdaję sobie sprawę, jak te wspomnienia są niekompletne, fragmentaryczne i o ilu koleżankach i kolegach oraz ważnych w moim życiu współpracownikach tak mało napisałem albo wcale nie wspominałem. Także o rzeszy pracowników technicznych i administracji, z którymi łączyła nas wspólna codzienna działalność akademicka, praca i troska o „fizykę” w naszej Alma Mater. Jeśli o nich nie napisałem lub za mało poświęciłem im miejsca, to proszę o wybaczenie. Tak się stało nie z tego powodu, że nie widziałem wtedy ich wkładu i zasług, ale z powodu ograniczonych możliwości staruszka-emeryta, zarówno pamięciowej, jak i fizycznej kondycji do napisania tego artykułu.

Zamiary miałem większe, jednak ich realizacja przerosła moje możliwości. Mam nadzieję, że Czytelnicy tych wspomnień, niezależnie od tego, czy znajdą w nich coś o sobie czy nie znajdą, mogą przekazane wyżej treści potraktować jako punkt wyjścia do dalszych opracowań i uzupełnień. Apeluję więc do koleżanek i kolegów, szczególnie w sile wieku, aby oprócz swej zawodowej pasji fizyków zapamiętywali jak najwięcej faktów i wydarzeń, aby je opisać w przyszłości, prowadząc kroniki i pamiętniki. Sam, niestety, tego nigdy nie robiłem, ograniczając się tylko do bieżących notatek w podręcznych kalendarzach i kalendarzykach kieszonkowych, które również nie były ani systematyczne, ani kompletne. Będę wdzięczny Czytelnikom za wyrozumiałość i mam nadzieję, że wytkną mi braki i usterki, a może i kiedyś uzupełnią tę niepełną historię 50-lecia działalności fizyków na Uniwersytecie Gdańskim.

Kończąc moje rozważania, chciałbym jeszcze dodać wyjaśnienie, co zmotywowało mnie do napisania tych wspomnień, które zacząłem pisać dopiero pół roku po zakończeniu roku jubileuszowego 50-lecia UG. Z tej okazji ukazało się kilka artykułów okolicznościowych, znakomicie napisanych przez kilku kolegów fizyków w książce pod redakcją J. Gwizdały *50 spotkań na 50-lecie UG* (2019), o których napisałem na początku tego artykułu. Są to cenne epizodyczne opisy wspomnień zasłużonych dla Fizyki na UG profesorów, niewystarczające jednak do odzwierciedlenia tego, jak Fizyka na UG powstawała, jak się rozwijała na tle kolejnych wydarzeń i wzajemnych relacji w konkretnych strukturach i zespołach osobowych, które w poszczególnych okresach swego 50-lecia istnienia na uniwersytecie miały miejsce i prowadziły do konkretnych wyników i osiągnięć. O takich historycznych sprawach i dokonaniach powinno się pamiętać („ocalić od zapomnienia”) jako o ludzkim wkładzie w historię Uniwersytetu Gdańskiego, a jego 50-lecie może być ku temu dobrą okazją.

Widząc potrzebę uzupełnienia tej luki, zastanawiałem się, czy warto pisać takie wspomnienia, gdy już długo się jest na emeryturze, trochę z dala od bieżących wydarzeń i tworzonej historii przez młodszych, następców mojego pokolenia. Miałem nadzieję, że ktoś z nich też zauważy wspomnianą lukę i coś napisze, ale w końcu uznałem, że jeśli teraz sam tego nie zrobię, to niedługo nikt nie będzie wiele wiedział, co fizycy w 50-leciu na UG zrobili. Tym bardziej, że czasy się zmieniają i fizycy też zmieniają zainteresowania. Działalność moich następców na UG w ostatnim 20-leciu, gdy byłem już na emeryturze, którzy kontynuowali (dopóki sami nie przeszli na emeryturę) tematykę

przez nas razem rozwijaną (np. spektroskopię ultradźwiękową, akustykę molekularną czy akustooptykę), nie ma już potencjalnie samodzielnych następców w tych dziedzinach na rodzimej uczelni (nie dotyczy to istniejących obecnie w obu instytutach ambitnych grup badawczych, ale zajmujących się tematyką mniej związaną z wyżej wymienionymi). Taki stan rzeczy nie oznacza, że w innych ośrodkach w kraju czy na świecie akustyka i akustooptyka się nie rozwijają i przestają mieć one znaczenie dla rozwoju ich podstaw fizycznych i przyszłych technologicznych zastosowań, bo ich rozwojowy trend nieprzerwanie się obserwuje. Także wpływ osiągnięć fizyków UG widać w rozwoju innych ośrodków w kraju i w świecie, które prowadzą tematykę naukową rozwijaną w ubiegłym 50-leciu na UG bardziej znacząco niż obecnie. Świadczy o tym między innymi kontynuacja zapoczątkowanych w Gdańsku międzynarodowych Szkół Acousto-Optics & Applications, a także inne aktualnie organizowane sympozja i konferencje (przykładem mogą tu być opisane wyżej spotkania naukowe w ostatnim 20-leciu) oraz wiele publikacji prezentujących nowe osiągnięcia i trendy rozwojowe, na przykład z bioakustyki i hydroakustyki.

To sprawa dość naturalna, że niektóre przodujące kiedyś ośrodki naukowe w danej dziedzinie stają się mniej widoczne, a inne się bardziej rozwijają, gdy porównać różne sytuacje bardzo często obserwowane i w kraju, i w świecie na różnych uczelniach. Statuty niektórych uczelni (na przykład w USA czy w Niemczech) nawet przewidują niezatrudnianie „następców kierowników zespołów badawczych” w miejsce odchodzących. Zespół organizacyjnie kończy działalność, a jego członkowie startują od nowa samodzielnie w nowych warunkach i świeżej tematyce. Ma to dobre i złe strony oczywiście, ale z punktu widzenia danej uczelni bardzo istotne winno być dokumentowanie historii osiągnięć poprzedniego końżącego działalność zespołu i jego dorobku, jeśli były one dla nauki i prestiżu znaczące w okresie jego istnienia.

Wyrażone wyżej spostrzeżenia ogólne w kontekście dotyczącym historii i aktualnej sytuacji fizyki na UG oraz perspektyw dalszego jej rozwoju w nowym zmieniającym się profilu zainteresowań naukowych, a także dużych osiągnięć bieżących, miały również wpływ motywujący dla decyzji napisania tych wspomnień.

Dopisano 5.10.2022

W dniu 4 października 2022 na zaproszenie dziekana uczestniczyłem w wydziałowej inauguracji roku akademickiego 2022/2023. Uroczystość odbyła się w Instytucie Informatyki w niedawno zbudowanym i otwartym gmachu w okresie, gdy sąsiadujący gmach Matematyki i Fizyki znajduje się w fazie generalnego kilkunastomiesięcznego remontu. Przemówienie dziekana prof. Piotra Bojarskiego, w którym przedstawił osiągnięcia i perspektywy rozwojowe wydziału, wręczenie dyplomów doktorom habilitowanym uroczysta promocja doktorów (prorektor ds. studentów i jakości kształcenia dr hab. Arnold Kłonczyński, prof. UG) i immatrykulacja studentów (dr Barbara Wolnik, prodziekan Wydziału MFI), wręczenie odznaczeń zasłużonym, wspomniały

wykład inauguracyjny „Synteza dźwięku” dr. Piotra Arłukowicza, sprawiły mi dużą radość i utwierdziły w przekonaniu, że rozwój fizyki na UG jest i będzie pomyślnie kontynuowany.

Fotografia 165 przedstawia aktualny zespół dziekański Wydziału MFI UG w pełnym składzie.



Fot. 165. Zespół dziekański Wydziału MFI UG, 2022 rok. Od lewej: prof. dr hab. Aleksander Kubicki, prodziekan ds. umiędzynarodowienia i rozwoju nauki, prof. dr hab. Piotr Bojarski, dziekan, dr Barbara Wolnik, prodziekan ds. studenckich i edukacji, dr hab. Marcin Marciniak, prof. UG, prodziekan ds. nauki (Fot. Alicja Kurek, kierownik Biura Dziekana)

Po zakończeniu inauguracji dotarła do nas wiadomość o decyzji Komitetu Nagrody Nobla, że nagrodę z fizyki za rok 2022 otrzymali: Alain Aspect, John F. Clauser i Anton Zeilinger, zajmujący się mechaniką kwantową. Nagrodę przyznano „za eksperymenty ze splątanymi fotonami, ustalające naruszenie nierówności Bella i pionierską informatykę kwantową”, podkreślając ich znaczenie dla nowej technologii opartej na informacjach kwantowych.

Dla Czytelników tego artykułu nie będzie niespodzianką, że wiadomość wywołała wśród fizyków entuzjazm i natychmiastowe uświadomienie, że dzisiejsi laureaci Nagrody Nobla związani są bezpośrednio z pracami i osiągnięciami naszych fizyków UG (opisanymi wyżej) i z Międzynarodowym Centrum Teorii Technologii Kwantowych (International Centre for Theory of Quantum Technologies, ICTQT), którym kieruje prof. M. Żukowski. Jednym z członków Rady Naukowej tego Centrum jest jeden z laureatów prof. Alain Aspect. Drugi z laureatów prof. Anton Zeilinger to doktor honoris causa Uniwersytetu Gdańskiego (2006),

o której to uroczystości pisałem wcześniej. Podzielałem entuzjazm fizyków UG, a twórcom tej noblowskiej dziedziny mechaniki kwantowej teorii dotyczących splątanych fotonów, gdańskim fizykom teoretykom profesorom R. Horodeckiemu i M. Żukowskiemu oraz za ich pośrednictwem wszystkim pracownikom Centrum i Instytutu FTiA UG, serdecznie gratuluję satysfakcji z owoców ich twórczego wkładu naukowego.

Dopisano 11.01.2023

Nawiązując do powyższej informacji oraz do wspomnianej współpracy prof. Piotra Kwieka z teoretykami fizykami kwantowymi z Instytutu Fizyki Teoretycznej UG i jego eksperymentalnego wkładu w tę współpracę, chciałbym tu dodać, że we wrześniu ub. roku (po dłuższym czasie oczekiwania) ukazała się publikacja wyników jego doświadczeń (Kwiek 2022) dotyczących badań oddziaływania jedno- i dwufotonowych stanów NOON z falą ultradźwiękową oraz eksperymentalnego potwierdzenia teoretycznych przewidywań zjawiska dwufotonowego zdudniania par fotonów na fali ultradźwiękowej wywołanego efektem Dopplera. Publikacja ta wzbudziła zainteresowanie i została zacytowana w bardzo świeżej publikacji (Clement, Grangier, Thywissen 2023) poświęconej uhonorowaniu prof. Alaina Aspecta ubiegłorocznego laureata Nagrody Nobla z fizyki w kontekście jego zainteresowań i osiągnięć technologii kwantowych, Członka Rady Naukowej Centrum Technologii Kwantowych UG.

Wszystkim fizykom, którzy obecnie tworzą historię następnych dziesięcioleci, i tym, którzy pojawią się w przyszłości na Uniwersytecie Gdańskim, życzę, aby ich spotkanie z fizyką, zarówno na studiach, jak i w późniejszej pracy naukowej, zawsze owocowało osiągnięciami, które będą dla nich spełnieniem ich osobistych pasji życiowych, a dla społeczeństwa wymiernym wkładem w jego pomyślną przyszłość.

Podziękowania

W napisaniu tego artykułu pomogło mi wiele osób, do których zwracałem się z prośbą o weryfikację faktów, wydarzeń oraz danych źródłowych dotyczących struktury instytutów obsady stanowisk czy spisów i innych danych. Wszystkim Koleżankom i Kolegom za to bardzo dziękuję. Szczególne podziękowanie za bezpośrednie zaangażowanie i pomoc w napisaniu tych wspomnień wyrażam moim długoletnim współpracownikom i przyjaciółom: Bogusiovi Linde, Piotrowi Kwiekowi i Staszce Zacharze i wielu innym Koleżankom i Kolegom fizykom, którzy mi pomogli, jednak nie sposób ich tu wymienić, bo lista byłaby zbyt długa.

Mej ukochanej żonie Alinie i całej Rodzinie, Dzieciom, Wnuczkom i Wnukom oraz Prawnuczkom i Prawnukom bardzo dziękuję za pomoc oraz cierpliwość i wyrozumiałość w czasie pisania tego wspomnieniowego artykułu. W szczególności poświęcam go

pamięci najmłodszej ukochanej Wnuczki ś.p. Weroniczki, która odeszła od nas w połowie jego pisania. Przez codzienne kontakty była dla mnie inspiracją w tym pierwszym okresie pisania i natchnieniem z Nieba dla wysiłku kontynuowania i dokończenia tego eseju w następnym trudnym i smutnym czasie. Jestem wdzięczny całej Rodzinie i wszystkim bliskim i dalszym krewnym i znajomym za towarzyszenie i podtrzymywanie na duchu.

Bardzo dziękuję czasopismu „Progress” z UG za wydrukowanie tego eseju, w szczególności Panu Redaktorowi Naczelnemu Dominikowi Bieniowi oraz Sekretarzowi Redakcji Panu Dominikowi Walczakowi za wszelką okazaną mi pomoc i życzliwość.

Gdańsk, sierpień 2021–marzec 2023

Bibliografia

- Andrzejewski M., 2020, *Od WSP i WSE do Uniwersytetu Gdańskiego*, <https://ug.edu.pl/o-uczelni/o-uczelni/historia-ug> [dostęp: 24.02.2023].
- Badziąg K. (red.), 1980, „Zeszyty Naukowe Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UG”, nr 5.
- Badziąg K., 1980, *Zespół dydaktyki Fizyki*, „Zeszyty Naukowe Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UG”, nr 5.
- Badziąg K., 2005, *Zanim powstał Uniwersytet Gdański*, Gdańsk.
- Badziąg K., 2015, *W poszukiwaniu*, Tczew.
- Bień D. (red.), 2021a, *Uniwersytet Gdański, struktury, postacie, wydarzenia*, Gdańsk.
- Bień D., 2021b, *Uniwersytet Gdański w latach 1970–1995, wybór dokumentów*, Gdańsk.
- Biernacki L., 2017, *Wiosna Wolności, Tom 1: 1985–1988*, Gdańsk.
- Błaziejowski J., 2020, *50 lat Uniwersytetu Gdańskiego. 75 lat tradycji uniwersyteckich w Gdańsku*, Gdańsk.
- Bukowski R. (red.), 2013, *50 lat Polskiego Towarzystwa Akustycznego*, Rzeszów.
- Bukowski R. (red.), 2013, *60. Otwarte Seminarium z Akustyki; Suplement 1; Historia OSA, t. III: 2004–2013*, Rzeszów.
- Cichocka E., 2021, *Uniwersytet Gdański pamięta o Marcinie!*, <https://ug.edu.pl/news/pl/808/uniwersytet-gdanski-pamiet-a-o-marcinie> [dostęp: 24.02.2023].
- Clement D., Grangier P., Thywissen J.H., 2023, *Quantum optics of light and matter: honouring Alain Aspect*, „The European Physical Journal D”, No. 77.
- Czechowska-Derkacz B., 2006, *Informacja prasowa; Tytuł Doktora Honoris Causa Uniwersytetu Gdańskiego dla prof. Charlesa H. Bennetta z USA i Antona Zeilingera z Austrii*, https://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjfrpOBi739AhWJyIsKHZy4Ch0QF-noECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fug.edu.pl%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F_nodes%2Finformacja_prasowa%2F48305%2Ffiles%2F0606.rtf&usq=AOvVaw06VrZ7cBwyhdjB9X1X7tFr [dostęp: 24.02.2023].
- Czechowska-Derkacz B., 2020, *Historia powstania Uniwersytetu Gdańskiego*, <https://ug.edu.pl/o-uczelni/o-uczelni/historia-ug> [dostęp: 24.02.2023].
- Czepulonis Ł., 2020, *Marcin Antonowicz 1966–1985*, Olsztyn.
- Dera J., 1992, *Marine Physics*, Warszawa.

Dera J., Massel S., Wyrwiński J., 2013, *60 lat Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie; ludzie, wydarzenia i osiągnięcia*, Sopot.

Deresiewicz J. (red.), 1958, *Kronika Uniwersytetu Poznańskiego za lata akademickie 1945–1954/55*, Poznań.

Doktorzy Honoris Causa, b.d., <https://mf.ug.edu.pl/wydzial/doktorzy-honoris-causa> [dostęp: 24.02.2023].

Droga do Uniwersytetu. UG i jego poprzedniczki 1945–1970, 2021, Wystawa Muzeum UG, 22.03.–29.04.2021, muzeum.ug.edu.pl.

Drywa M., 2003, *Geneza i rozwój fizyki na Wyższej Szkole Pedagogicznej i na Uniwersytecie Gdańskim w latach 1945–1980*, praca magisterska pod kierunkiem S. Zachary, IFD UG.

Gabrielli I., 1990a, *Analysis of Sophisticated Ultrasonic Light Modulating Systems by the Phase Vectors*, w: A. Śliwiński, P. Kwiek, A. Markiewicz, *The 4th School on Acoustooptics & Applications, 1989 Gdańsk-Sobieszewo*, Singapore, New Jersey, Hong-Kong.

Gabrielli I., 1990b, *The Phase Vector Analysis of Acousto-optics Arrangements*, w: A. Śliwiński, P. Kwiek, A. Markiewicz, *The 4th School on Acoustooptics & Applications, 1989 Gdańsk-Sobieszewo*, Singapore, New Jersey, Hong-Kong.

Gabrielli I., Kwiek P., Markiewicz A., Śliwiński A., 1988, *Light diffraction by two adjacent ultrasonic beams of frequency ratio 2:3*, „Acustica”, Vol. 66.

Grinberg M., 2019, *Uniwersytet Gdański – uczelnia otwarta na inicjatywy naukowe*, w: J. Gwizdała (red.), *50 spotkań na 50-lecie UG*, Gdańsk.

Gwizdała J. (red.), 2019, *50 spotkań na 50-lecie UG*, Gdańsk.

Horodecki R., Horodecki P., Horodecki M., Horodecki K., 2019, *Splątanie w naszym domu*, w: J. Gwizdała (red.), *50 spotkań na 50-lecie UG*, Gdańsk.

Informator o pracach i usługach Uniwersytetu Gdańskiego na rzecz instytucji, przedsiębiorstw oraz osób prywatnych, 1984, Gdańsk.

Informator'85, Skład osobowy, 1985, Uniwersytet Gdański, Gdańsk.

Jaśkowiak G., Czechowska-Derkacz B., b.d., *Kalendarium*, <https://ug.edu.pl/o-uczelnio-uczelnio-kalendarium> [dostęp: 24.02.2023].

Jerzy Grzywacz, b.d., <https://www.nowaera.pl/oferta-edukacyjna/przed-reforma-2017/szkoly-podnadgimnazjalne/historia/poznac-przeszlosc-wiek-xx/uczestnicy-i-swiadkowie/jerzy-grzywacz> [dostęp: 24.02.2023].

Jesionek D., Śliwiński A., 1985, *Dzisiaj „Gaudeamus” na Uniwersytecie Gdańskim – Wszystko co morskie jest nam bliskie – mówi prorektor prof. dr hab. Antoni Śliwiński*, „Wieczór Wybrzeża”, 1 października. Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej, <http://www.kcik.ug.edu.pl> [dostęp: 24.02.2023].

Kwiek M., Hojan E., Śliwiński A., 1971, *Akustyka laboratoryjna cz. 2*, Poznań.

Kwiek P., 2006, *Przepis na tv*, w: D. Wilczak (red.), *Ponad stan: Solidarność: Historie Podziemne*, Warszawa.

Kwiek P., 2015, *Przepis na tv* (udostępniony maszynopis).

Kwiek P., 2022, *Interaction of two-photon NOON state with ultrasonic wave*, „The European Physical Journal D”, No. 76.

Kwiek P., Grzywacz J., 2010, *Pamiętajmy o Marcinie, Sesja pamięci Antonowicza w BG UG*.

Leroy O., Martens R.A., 1992, *Theoretical acousto-optics in Belgium*, „Optical Engineering”, No. 10.

- Linde B., 2021, *Droga od magistra do profesora. 47 lat na Uniwersytecie Gdańskim*, „Progress. Journal of Young Researchers”, nr 9–10.
- Linde B., Śliwiński A., 2016, „*In memoriam*” Profesor Czesław Lewa, „Archives of Acoustic”, Vol. 41, No. 4.
- Łopatka A. (red.), 1961, *Kronika Uniwersytetu im A. Mickiewicza w Poznaniu za rok akademicki 1958/59*, Poznań.
- Łuczak C. (red.), 1969, *Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Skład osobowy rok akademicki 1968/1969*, Poznań.
- Malecki I., Ranachowski J., 1984, *Physical foundations of ultrasonics research trends and its application in Poland*, „Acta Acustica Sinica”, Vol. 9, No. 3.
- Marszał J. (red.), 2018, *Postępy akustyki*, Gdańsk.
- Materiały Konferencji „Fizyka dla Przemysłu”, 1984, Gdańsk.
- Nadzwyczajne posiedzenie Senatu*, 1986, „Kultura Niezależna”, nr 18.
- Ostrowska M., Darecki M., Kowalewski M., Krężel A., Dera J., 2015, *System SatBałtyk satelitarny monitoring środowiska Bałtyku struktura, funkcjonowanie, możliwości operacyjne*, Sopot.
- Piekara A., 1974, *Fizyka stwarza nową epokę*, Warszawa.
- Podhajska A. (red.), 1999, *Profesor Karol Taylor – wspomnienie. Professor Karol Taylor - a book of memories*, Gdańsk.
- Pologne, Le recteur de l'université de Gdansk un doyen et son adjoinet sont démis de leurs fonctions*, 1985, „Le Monde”, No 12706.
- Profesor Charles H. Bennett, Doctor Honoris Causa of Univeristy of Gdańsk*, 2016, https://mfi.ug.edu.pl/strona/55113/profesor_charles_h_bennett_doctor_honoris_causa_univeristy_gdansk [dostęp: 24.02.2023].
- Runcorn S.K., 1966, *Fizyka lat ostatnich*, Warszawa.
- Sprawozdanie z działalności naukowo-badawczej za rok 1984*, 1985, Uniwersytet Gdański, Gdańsk.
- Sułocki J., 1980, *Środowiskowe Laboratorium Akustyki i Spektroskopii*, „Zeszyty Naukowe Wydziału Matematyki Fizyki i Chemii UG”, nr 5.
- Suszko J. (red.), 1953, *Uniwersytet Poznański, Skład Uniwersytetu w roku akademicki 1952/53*, Poznań.
- Synak B., 2010, *Moja kaszubska Stegna*, Pelplin.
- Synak B., 2014, *Bezsens i sens choroby nieodwracalnej*, Gdańsk.
- Śliwiński A., 1980, *Instytut Fizyki. Działalność naukowa w latach 1970–1978*, „Zeszyty Naukowe Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UG”, nr 5.
- Śliwiński A., 1999a, *Acousto-optical methods in ultrasonic application*, „Zeitschrift fur Medicine Physik”, Nr. 9.
- Śliwiński A., 1999b, *Pamiętne nadzwyczajne posiedzenie Senatu UG, wspomnienie ś.p. prof. dr hab. Karola Taylora Rektora Uniwersytetu Gdańskiego 1984–85*, w: A. Podhajska (red.), *Profesor Karol Taylor – wspomnienie. Professor Karol Taylor – a book of memories*, Gdańsk.
- Śliwiński A., 2001, *Ultradźwięki i ich zastosowania*, Warszawa.
- Śliwiński A., 2009, *Wspomnienia i elementy historii akustyki na Wybrzeżu Gdańskim*, Gdańsk.
- Śliwiński A., 2013, *50 lat Polskiego Towarzystwa Akustycznego (1963–2013) – wspomnienie inicjatora powołania Towarzystwa Prof. Marka Kwieka z okazji 100-lecia urodzin po 50 latach Jego tragicznej śmierci w katastrofie lotniczej*, w: R. Bukowski (red.), *50 lat Polskiego Towarzystwa Akustycznego*, Rzeszów.

- Śliwiński A., 2015, *Research Cooperation between Catholic University of Leuven Campus Kortrijk and University of Gdansk in Acousto-optics – A Historical Recollection*, „Physics Procedia”, Vol. 70.
- Śliwiński A., 2018, *Wybrane wspomnienia z historii akustyki na Wybrzeżu Gdańskim w ostatniej dekadzie 2008–2018*, w: J. Marszał (red.), *Postępy akustyki*, Gdańsk.
- Śliwiński A., b.d., *Acousto-optics in Poland*, „Optical Engineering”, nr 10.
- Śliwiński A., Budzyński G.K.E. (red.), 1987, *Prospects In modern Acoustics-Education and Development, Gdańsk'87*, Singapore, New Jersey, Hong Kong.
- Śliwiński A., Engel Z., Zawieska W., 2010, *Akustyka Polska wczoraj i dziś*, Warszawa.
- Śliwiński A., Kawski A., 1979, *Acoustics and Spectroscopy*, Gdańsk.
- Śliwiński A., Kozaczka E., 2014, *50 lat Komitetu Akustyki Polskiej Akademii Nauk*, Warszawa.
- Śliwiński A., Linde B., 2011, *International Congress on Ultrasonics, Gdańsk, Poland, September 5-8, 2011*, „Archives Acoustics”, Vol. 36, No. 4.
- Śliwiński A., Linde B., Kwiec P., 1998, *Acousto-Optics and Applications III, (The 7-th School on AO & Appl., Gdańsk-Jurata 1998)*.
- Śliwiński A., Ozimek E., 1971, *Akustyka laboratoryjna cz. 3*, Poznań.
- Środecki K., 1994, *Phenomenon of the Epidaurus theatre - attempt of the acoustical qualities evaluation*, „Scientific Papers of the Institute of Telecommunication and Acoustics of the Technical University of Wrocław”, Vol. 78.
- Taylor K., 1999, *Notatki Karola do wystąpienia inauguracyjnego Rok Akademicki 1984-85 na Uniwersytecie Gdańskim*, w: A. Podhajski A. (red), *Profesor Karol Taylor – wspomnienie. Professor Karol Taylor – a book of memories*, Gdańsk.
- Ting-Chung P., 2009, *Acousto-Optics: introduction to the feature issue*, „Applied Optics”, Vol. 48, Issue 7.
- Urbanowicz A., Zachara S., 2004, *Działalność Oddziału Gdańskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego w latach 1947–2004*, „Postępy Fizyki”, nr 5.
- Wilczak D. (red.), 2006, *Ponad stan: Solidarność: Historie Podziemne*, Warszawa.
- Wróblewski A.K. (red), b.d., w opracowaniu, *Słownik Biograficzny Fizyków Polskich*, Kraków.
- Zachara S., 1994, *Jubileusz Prof. A. Śliwińskiego*, „Postępy Fizyki”, t. 45, z. 4.
- Zachara S., 2004, XXXVII Zjazd Fizyków Polskich, „Postępy Fizyki”, t. 55, z. 3.
- Zasłużeni dla Wydziału, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego*, b.d., <https://mf.ug.edu.pl/wydzial/zasluzeni-dla-wydzialu> [dostęp: 24.02.2023].
- Żukowski M., 2019, *Paradoksalne przygody w świecie kwantów*, w: J. Gwizdała (red.), *50 spotkań na 50-lecie UG*, Gdańsk.