



# PROFUNDERE SCIENTIAM

nr 11  
październik 2014

BIULETYN CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

## Dostrzeżone w tęczy

Rozmowa z profesorem sir Michaelem Berrym

Ewa Stefaniak: Jednym z Pana wybitnych osiągnięć jest odkrycie fazy geometrycznej, nazwanej zresztą fazą Berry'ego. Proszę przybliżyć to zjawisko laikowi.

Michael Berry: Gdybym miał wyjaśnić to zjawisko laikowi, powiedziałbym, że jest to część geometrii mająca niezwykle zastosowanie w fizyce kwantowej. Podam przykład. Parkowanie samochodu w małej przestrzeni wymaga serii manewrów, tj. cofania, jechania do przodu, skrętu kierownicy. Wszystkie te operacje powtarza się periodycznie, a każdy z kolejnych ruchów przybliża nas do celu. W fizyce kwantowej, a dokładniej rzecz ujmując, w fizyce zjawisk falowych, a takie właśnie zjawiska mechanika kwantowa opisuje, sytuacja wygląda następująco: mamy układ, powiedzmy cząsteczkę, i część tego układu jest poddawana zmianom, na przykład poprzez zmianę sił oddziałujących na ten układ. Zmieniamy siły, a potem przywracamy poprzedni stan rzeczy. Można byłoby pomyśleć, i tak zresztą uważano, że układ fałuje bardziej, niż by to miało miejsce, gdybyśmy na niego nie wpływali. Wpływamy powoli, układ fałuje, a liczba fał jest duża. Matematycznie wszystko jest jasne, ale moje odkrycie wnosi coś nowego. Zmiana nie zależy bowiem od tego, jak wolno się jej dokonuje, ale od sposobu, w jaki jest ona wykonywana, od geometrii, i to właśnie jest faza geometryczna. Ku mojemu zaskoczeniu muszę przyznać, faza geometryczna znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach fizyki, na przykład w optyce, fizyce kwantowej i wszędzie tam, gdzie występują fale,

czyli w fizyce materii skondensowanej, fizyce cząstek elementarnych, chemii molekularnej. Powstało już około 5 tysięcy prac, w których autorzy odwołują się do mojego odkrycia.

ES: Jest Pan geniuszem.

MB: Nie, nie sądzę. Miałem po prostu szczęście. O latach 20. ubiegłego wieku, kiedy rodziła się fizyka kwantowa, Paul Dirac, jeden z najwybitniejszych fizyków tamtych czasów, powiedział, że wtedy pierwszy lepszy fizyk mógł dokonać pierwszorzędnych odkryć. Dekadę później, gdy można już było jedynie omawiać kwestie techniczne zdobytej wiedzy, nie było takich możliwości, i nawet wielcy nie dokonywali przełomu. W tym sensie ja miałem szczęście, bo rozpocząłem swoją wielokierunkową pracę naukową w dogodnym momencie. Z moich osiągnięć korzystają inni, ale to nie dowodzi geniuszu. Trzeba być wytrwałym, ciężko pracować i mieć zacięcie, jak to w fizyce teoretycznej, do gryzmoleń. Trzeba śledzić sukcesy innych, ale nie za bardzo się na nich skupiać. To są delikatne kwestie. Geniusz to coś zupełnie innego.

ES: Czy odkrycie fazy geometrycznej było przypadkiem?

MB: To był splot pewnych okoliczności, jak to ktoś kiedyś ujął, nie pamiętam kto: „Los sprzyja przygotowanym umysłom”. Moje wcześniejsze prace przygotowały mnie na fazę geometryczną. Podczas jednego z wykładów

(CIĄG DALSZY NA S. 4)

### W NUMERZE

między innymi:

- *Dostrzeżone w tęczy* – rozmowa z prof. sir Michaelem Berrym (s. 1)
- *Organy i instrumenty poznawcze* – prof. Stanisław Janeczko (s. 1)
- *Mózg a świadomość* – rozmowa z prof. Andrzejem Wróblem (s. 10)
- Mario Botta – współczesny Człowiek Renesansu (s. 15)
- Stypendyści Centrum (s. 19)
- *Projekt: Bezpieczeństwo i obronność kraju* – prof. Robert Głębocki (s. 28)
- PR PW w CSZ – 2008-2014 (s. 32)

### ORGANY

#### I INSTRUMENTY POZNAWCZE<sup>(1)</sup>

Profesor Stanisław Janeczko

#### Zobaczyć cienie nadchodzącej katastrofy<sup>(1)</sup>

Jak daleko sięga nauka? Jaka będzie i jaka powinna być jej rola w oczekującej przyszłości? Wydaje się, że przyszłość jest dzisiaj bardziej niepewna niż w jakiegokolwiek wcześniejszej epoce. Musimy więc podejmować największe wysiłki, aby przewidzieć jej przypuszczalny rozwój. Przyszłość pozornie jest bardziej niepewna niż kiedykolwiek, ponieważ świat (z 7 miliardami ludzi) nigdy jeszcze nie

(CIĄG DALSZY NA S. 8)

<sup>1</sup> Fragmenty odczytu wygłoszonego podczas debaty w Pałacu Prezydenckim 11 czerwca 2014, z okazji 25-lecia odzyskania suwerenności, *Czy istnieją granice poznania? Jak daleko może sięgać nauka?*

## DZIAŁALNOŚĆ CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH PW

czyli najważniejsze wydarzenia z ostatniego półrocza i najbliższe plany CSZ

### WIZYTA PRZEDSTAWICIELI TECHNISCHER UNIVERSITÄT BERLIN

W dniu 10 kwietnia 2014 r. na Politechnice Warszawskiej gościła delegacja Politechniki Berlińskiej (Technische Universität Berlin). W ramach wizyty odbyło się spotkanie profesora Stanisława Janeczko, Dyrektora Centrum z przedstawicielami delegacji: prof. Christianem Thomsenem, Prezydentem TU Berlin, profesorem Utza von Wagnerem z Faculty V of Mechanical Engineering and Transport System oraz Haraldem Ermelem, Dyrektorem Biura Międzynarodowego. Strony wymieniły opinie i poglądy dotyczące doświadczenia naukowo-organizacyjnego prowadzonych przedsięwzięć.

### WIZYTY PROFESORÓW WIZYTUJĄCYCH

W okresie maj-wrzesień 2014 gościliśmy 22. wybitnych uczonych z ośrodków zagranicznych, którzy wygłosili ponad 150 godzin wykładów. Wizyta profesora Keizo Yamaguchiego, Prezydenta Uniwersytetu Hokkaido, zaowocowała podpisaniem umowy o współpracy pomiędzy Politechniką Warszawską i Uniwersytetem Hokkaido. Ponadto, pod koniec sierpnia br., profesor Tomoyoshi Shimobaba z University of Chiba w Japonii, na zaproszenie Centrum, przeprowadził na Wydziale Fizyki PW Letnie Warsztaty Holografii Komputerowej.

### SEMINARIUM SPECJALISTYCZNE W KONWERSATORIUM PW

W maju i czerwcu br. odbyły się trzy kolejne seminaria z serii *Problemy, metody i obliczenia wielkoskalowe oraz wyzwania informatyki obsługującej takie zadania*. Omówiono tematy: *Nierównowagowe procesy w nadciśnionych układach kwantowych*; *Unitarny gaz atomów – pomiędzy nadprzewodnikiem a kondensatem Bosego-Einsteina*; *Niekonwencjonalne algorytmy CFD – masywnie równoległe obliczenia wielkoskalowe na procesorach GPU*. Kolejne tematy w ramach seminarium będą realizowane w semestrze zimowym 2014/2015.

### WARSZTATY NAUKOWE CSZ

Dziewiąte Warsztaty Naukowe CSZ odbyły się w dniach 23-25 maja 2014 r. w Pałacu Ossolińskich w Sterdyni. Wydarzenie to zgromadziło 23. uczestników – stypendystów CSZ oraz znamienitych gości. Stypendyści zaprezentowali wyniki swoich projektów badawczych w trakcie sesji posterowej oraz wystąpienia ustnych. Komitet Naukowy

Warsztatów CSZ wyłonił następujących laureatów konkursów na najlepszą prezentację ustną i poster:

**NAJLEPSZA PREZENTACJA USTNA:**  
*miejsce I – dr inż. Elżbieta Jastrzębska (W. Chemiczny); miejsce II – dr inż. Tomasz Pietrzak (W. Fizyki); miejsce III – mgr inż. Paulina Latko (W. Inżynierii Materiałowej).*

**NAJLEPSZY POSTER:**  
*miejsce I – mgr inż. Andrzej Taube (W. Elektroniki i Technik Informatycznych); miejsce II – mgr inż. Wojciech Regulski (W. Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa); miejsce III – mgr inż. Piotr Podziemski (W. Fizyki).*

### WYDAWNICTWA

W maju 2014 r. zostały wydane: szósty numer *Newslettera* oraz dziewiąty numer biuletynu *Profundere Scientiam*. Ponadto w sierpniu 2014 r. ukazał się dziewiąty numer z serii *Lecture Notes – nauki ścisłe*, zatytułowany *Narzędzia geometrii* autorstwa prof. Irminy Herbut oraz prof. Marii Moszyńskiej.

### SYMPOZJUM TOPTECHNIKA

29 maja 2014 r. odbyło się, czwarte sympozjum z cyklu Topotechnika. Prezes WSK „PZL-Rzeszów” S.A., Pratt&Whitney Poland, Stowarzyszenia „Dolina Lotnicza”, pan Marek Darecki wygłosił wykład pt. *Silnik turbowentylatorowy z przekładnią – rewolucja na rynku napędów lotniczych*. W trakcie spotkania można było obejrzeć animację 3D wewnętrznej budowy silnika turbowentylatorowego z przekładnią w zestawieniu z budową konwencjonalnego napędu.

### V WARSZTATY CSZ I KRAJOWEGO FUNDUSZU NA RZECZ DZIECI

W dniach 31 maja–1 czerwca 2014 r. odbyły się piąte warsztaty Krajowego Funduszu na rzecz Dzieci i CSZ, zatytułowane *Gry*. Uczestnikami byli najzdolniejsi młodzi miłośnicy matematyki – podopieczni KFnRD. W warsztatach udział wzięło 16. licealistów z całej Polski. Odbyło się 6 bloków zajęciowych, poświęconych różnego rodzaju grom z punktu widzenia matematyki i informatyki teoretycznej: były oczywiście gry i strategie wygrywające, ale też między innymi rachunek prawdopodobieństwa, sztuczna inteligencja, troszkę topologii i odrobina ekonomii.

Szczegółowy harmonogram warsztatów, jak również dokładniejsze informacje dotyczące wcześniejszych edycji

wspólnych warsztatów KFnRD i CSZ oraz innej działalności CSZ adresowanej do młodzieży, znaleźć można na stronie internetowej CSZ, w dziale *Dla uczniów i studentów lat I-III*.

Krajowy Fundusz na rzecz Dzieci to organizacja pożytku publicznego, która od ponad 30 lat zajmuje się opieką nad najzdolniejszą młodzieżą, organizując liczne obozy naukowe, warsztaty badawcze, seminaria, koncerty, wystawy i innego rodzaju spotkania.

Kolejne warsztaty z tego cyklu, których tematem będzie teoria grafów, odbędą się w grudniu 2014 r.

### SPOTKANIE RADY PROGRAMOWEJ

W maju 2014 r. odbyło się kolejne spotkanie Rady Programowej CSZ. W trakcie spotkania omówiono i zaakceptowano program Uczelnianej Oferty Studiów Zaawansowanych na rok akademicki 2014/2015.

### CAS (MINI) WORKSHOP

W ramach CAS (Mini) Workshop odbyły się dwa spotkania: *Singularity and related topics*, 2-5 czerwca 2014 r., Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych PW; *Caustics and singularities*, 7-9 lipca 2014 r., Instytut Matematyczny PAN. Prelegentami warsztatów byli profesorowie wizytujący PW oraz goście specjalni zajmujący się zastosowaniem teorii osobliwości i analizy.

### KONWERSATORIUM – ODCZYTY

W czerwcu 2014 Centrum zorganizowało dwa spotkania w ramach Konwersatorium:

10.06.2014 – z wybitnym architektem Mario Bottą z Akademii Architektury w Mendrisio, który wygłosił odczyt pt. *Najnowsze realizacje* (s. 15).

26.06.2014 – ze światowej sławy fizykiem, prof. Michaeliem Berrym z Department of Physics w Bristol University, który wygłosił odczyt pt. *Making light of mathematics* (rozmowa z profesorem M. Berrym s. 1).

### WYKŁADY UOSZ 2014/2015

Wraz z początkiem roku akademickiego 2014/2015 ruszyła nowa Uczelniana Oferta Studiów Zaawansowanych PW. W semestrze zimowym zaplanowano osiem wykładów podstawowych i sześć wykładów specjalnych (s. 36). Nowymi propozycjami są: *Konstrukcje inteligentne*, prof. Andrzeja Tylikowskiego; *Mini, mikro, nano – laboratorium na chipie*, prof. Zbigniewa Brzózki; *Równania różniczkowe*



cząstkowe, prof. Krzysztofa Chełmińskiego; *Podstawy mechaniki kwantowej*, prof. Franciszka Kroka; *Statystyka w zastosowaniach z użyciem pakietu R i Statistica*, dr hab. inż. Anny Dembińskiej; *Ewolucja poglądów na naturę światła*, prof. Kazimierza Regińskiego; *Wstęp do filozofii*, dr Justyny Grudzińskiej; *Psychologia w praktyce życia zawodowego i osobistego*, dr. Leszka Mellibrudy.

#### CELOWE NAUKOWE STYPENDIA WYJAZDOWE – ZADANIE 6

Decyzją Rektora PW, z dnia 18 sierpnia 2014 r., została powołana Komisja Konkursowa CSZ w ramach projektu *Wsparcie inicjatyw Politechniki Warszawskiej w kształceniu i doskonaleniu kadr w zakresie innowacyjnych technik teleinformatycznych*. Zadaniem Komisji będzie ocena wniosków konkursowych oraz przyznawanie stypendiów na wyjazdy celowe w ramach realizacji zadania 6.

#### WARSZTATY NAUKOWE CSZ

W dniach 18-19 października 2014 r. zaplanowano dziesiąte Warsztaty Naukowe CSZ kierowane do stypendystów CSZ. Jesienne spotkanie warsztatowe odbędzie się w pałacu w Radziejowicach – Domu Pracy Twórczej.

#### SZKOLENIA DLA DOKTORANTÓW

W październiku i listopadzie 2014 r. przeprowadzone będą ostatnie już bezpłatne szkolenia dla doktorantów PW. Tematyka szkoleń będzie obejmowała

tematykę efektywnego zarządzania informacją oraz komunikację interpersonalną i zarządzanie emocjami. Szkolenia są współfinansowane przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

#### PLANY

##### WIZYTY PROFESORÓW WIZYTUJĄCYCH

W semestrze zimowym 2014/2015 przewidziane są kolejne wizyty wybitnych gości w ramach stypendiów dla profesorów wizytujących. Bieżące informacje na temat wizyt i wykładów dostępne na stronach:

<http://www.csz.pw.edu.pl>;

[http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta/v\\_lectures.html](http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta/v_lectures.html).

##### CELOWE NAUKOWE STYPENDIA WYJAZDOWE - ZADANIE 6

W październiku 2014 r. Centrum planuje ogłoszenie pierwszych konkursów na celowe naukowe stypendia wyjazdowe dla doktorantów i nauczycieli akademickich PW, w ramach projektu *Wsparcie inicjatyw Politechniki Warszawskiej w kształceniu i doskonaleniu kadr w zakresie innowacyjnych technik teleinformatycznych*. Stypendia zakładają trzy miesięczne projekty badawcze w jednostkach partnerów zagranicznych: Uniwersytet w Luksemburgu, Duński Uniwersytet Techniczny w Kopenhadze oraz Politechnika Nantes we Francji.

#### WYDAWNICTWA

Kolejny – 7. numer *Newslettera* zostanie wydany na przełomie października i listopada 2014 r.

W przygotowaniu jest nowa seria wydawnicza *Małe monografie*, w ramach której wydana zostanie książka profesora Jerzego Kijowskiego pt. *Geometria różniczkowa jako narzędzie nauk przyrodniczych*.

Planujemy również wydanie kolejnej książki w serii *Lecture Notes*, która będzie obejmowała tematykę omawianą na wykładzie: *Model informacji inżynierskich, BIM*.

#### MATEMATYCZNE WYKŁADY OTWARTE DLA MŁODZIEŻY

We czwartek 4 grudnia odbędzie się kolejna sesja wykładów otwartych z matematyki *Academia Scientiarum Principalium*, adresowanych do studentów, licealistów, nauczycieli i wszystkich innych zainteresowanych. W programie przewidziano następujące referaty: Jerzy Tyszkiewicz – *Czy myślimy logicznie?*; Marta Szumańska – *Własność Darboux*; Barbara Roszkowska-Lech – *Liczby zespolone, sumy kwadratów i kwaterniony*. Wykłady zaplanowane są w godzinach 16:30-19:30 w sali 134 Gmachu Głównego Politechniki Warszawskiej (pl. Politechniki 1). Zapraszamy!

Anna Żubrowska-Zembrzuska  
Joanna Jaszewska



Profesor sir Michael Berry przed wygłoszeniem wykładu *Making light of mathematics*

Dostrzeżone w tęczy (CIĄG DALSZY ZE S. 1)

ktos zadał pytanie, które skłoniło mnie do rozważań nad odpowiedzią. Kiedy już wiedziałem, jaka powinna być odpowiedź, zdałem sobie sprawę, że w pełni pojąłem, czym jest faza geometryczna. Tak naprawdę nie uważam, że jest to moje najlepsze dokonanie, chociaż przyniosło mi ono największą sławę. Są inne, mniej znane, ale jestem z nich bardzo dumny.

matematyków, zaczęto zgłębiać XIX-wieczne prace poświęcone tej tematyce, w końcu materiału dostarczyli meteorolodzy. Mówię tu o słynnym „efekcie motyla”. Powstała koncepcja, ciekawa filozoficznie, że układy dynamiczne są tak niestabilne, że nawet drobne wpływy, jak trzepot motyli skrzydeł, powodują zmiany, a zatem określenie przebiegu zjawisk atmosferycznych jest daremne. Pomyślałem, że chaos musi mieć implikacje w mechanice kwantowej. Wspólnie z innymi naukowcami rozpoczęliśmy prace nad ich związkami. Sądzę, że wyłuszczyliśmy główne cechy tego połączenia, a kolejne pokolenia dopracowują szczegóły oraz zastosowania, które są również ważne. Obecnie, chaos i jego aspekty fundamentalne już mnie nie zajmują,

ale to, co na pewno należałoby pojąć, to związek, który dostrzegłem już w latach 80. ubiegłego wieku, pomiędzy chaosem, mechaniką kwantową a hipotezą Riemanna. Sformułowana ponad 150 lat temu do dzisiaj opiera się wszelkim próbom jej udowodnienia. Matematyka w miarę dobrze poradziła sobie z przedstawieniem jej głównych założeń, ale jako że hipoteza jest silnie powiązana z teorią chaosu kwantowego, a nasza wiedza na jego temat jest nadal niepełna, nie możemy dotrzeć do sedna tego matematycznego zagadnienia. Ten temat nadal mnie zajmuje, chociaż w moim odczuciu, fizycy nie będą w stanie dowieść lub obalić rzeczonej hipotezy.

„... poznanie jest jak taniec, taniec coraz głębiej w sam środek tajemnicy, ale tak naprawdę nigdy tam nie dotrzemy”

ES: Poświęcił Pan wiele lat na zgłębianie aspektów teorii chaosu kwantowego. Czy doczekamy się przetomu na tym polu?

MB: W latach 70. ubiegłego wieku jako jeden z pierwszych rozpocząłem pracę nad chaosem. Stawało się jasne, że mamy do czynienia z nową koncepcją kojarzoną z mechaniką newtonowską. Dowodów dostarczano zewsząd: pojawiły się genialne prace rosyjskich

rycznych jest daremne. Pomyślałem, że chaos musi mieć implikacje w mechanice kwantowej. Wspólnie z innymi naukowcami rozpoczęliśmy prace nad ich związkami. Sądzę, że wyłuszczyliśmy główne cechy tego połączenia, a kolejne pokolenia dopracowują szczegóły oraz zastosowania, które są również ważne. Obecnie, chaos i jego aspekty fundamentalne już mnie nie zajmują,

ES: A szkoda, bo nieźle płacą za jej rozwiązanie.

MB: Tak, tak, to jest jeden z problemów milenijnych Instytutu Matematycznego im. Landona T. Clay'a. Ten, kto znajdzie rozwiązanie, otrzyma milion dolarów. Jednak nie podejrzewam, żeby nagroda pieniężna była wystarczającą motywacją. Jest na świecie kilku ekscentrycznych matematyków, którzy by jej nie przyjęli. Sam nie pogardziłbym takimi pieniędzmi, ale dla mnie to również nie jest motywacją.

↓ Polaryzacja światła uzyskana za pomocą układu ciemnych i przezroczystych folii. Efekt został uchwycony na tle nieba nad Bristollem

| fot: profesor M. Berry





# „Jestem przekonany, że wiek XXI będzie należał do fizyki kwantowej i znajdziemy zastosowania, o jakich nam się nie śni”

ES: Największa nagroda to samo rozwiązanie zagadki.

MB: Oczywiście! Na zachodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych mieszka pewien zamożny człowiek, który przeznaczą spore kwoty na matematykę. Pomyślał sobie, że zapłaci jakiemuś młodemu zdolnemu matematykowi, by ten udowodnił hipotezę Riemanna. Wyjaśniłem mu, że to się nie uda, bo pieniądze, owszem świetnie sprawdzą się jako stypendia, ale raczej nikt nie skusi się na nie jako na nagrodę za dowodzenie twierdzeń matematycznych.

ES: Czy fizyka doczeka się kiedyś jednego uniwersalnego twierdzenia obejmującego wszystkie zjawiska? Jakiś czas temu traktowano tak teorię strun. Czy nadal to jedyny kandydat do tego miana?

MB: Nie zajmuję się teorią strun, ale śledzę dokonania w tym obszarze. Być może teoria strun jest właściwa, a być może jej założenia są błędne, ale myślenie, że to na niej ma kończyć się fizyka jest absurdalne. Teoria strun jest pewnym niezwykle zastosowaniem fizyki kwantowej, a fizyka kwantowa jest obecnie paradygmatem opisującym świat. Jednak narazi się na śmieszność ten, kto pomyśli, że fizyka niczego więcej nie zaproponuje. Nasz gatunek uprawia naukę od kilku stuleci, ale czym jest ten czas w obliczu historii świata? Wszechświat bez wątpienia ma głębię, której nawet jeszcze nie zaczęliśmy odkrywać. Jak pokazują lata przeszłe, jeśli myślimy, że na wszystko poznaliśmy już odpowiedź, wkrótce pojawia się

nowy fakt, który zmusza nas do dalszych poszukiwań. Nie twierdząc, że teoria strun jest zła, myślę jedynie, że jej stosowalność jest ograniczona. Obecnie nie mamy pomysłu na to, co nastanie po fizyce kwantowej, ale prawdopodobnie będzie to coś, co wybijie nas skutecznie z dotychczasowego rozumowania. W ludzkiej naturze leży entuzjazm, ekscytacja nad sukcesem, zresztą to ważne cechy również naukowca. Zdarza się, że w euforii przesadzamy: „Mamy teorię strun! Czego chcieć więcej!” Ale... za nią są kolejne warstwy poznania, do których jako ludzkość nie dotrzemy, bo uniemożliwią to nam nasze własne ograniczenia. Jesteśmy dumni z dokonania jednostek, ale tak naprawdę te wszystkie odkrycia, których dokonali Einstein, Newton i im podobni, to sukcesy zbiorowe, bo oni wszyscy, jak w tym słynnym powiedzeniu: „stoją na ramionach olbrzymów”. Nawet jeśli weźmiemy pod uwagę zbiorowy potencjał intelektualny naszego gatunku, to i tak uważam, że na obecnym etapie ewolucji nie jesteśmy w stanie dokończyć się głębiej.

ES: Bo nasze zdolności poznawcze nie są wystarczające...

MB: Z całą pewnością nie są. Psy identyfikują świat poprzez rozwinięty zmysł powonienia, ale nie analizują, skąd się wzięły i dokąd zmierzają. Ludzie nie są w stanie przeniknąć do psiego świata, bo nasz węch nie jest aż tak wyspecjalizowany. Z drugiej strony, pies nie zrozumie fizyki kwantowej ze względu na ograniczenia kognitywne. Być może gdzieś we wszechświecie są istoty, dla których nasz intelekt jest tak ubogi, jak psi jest dla nas.

ES: Przywołam Carla Sagana: „Jeśli nadejdzie moment, w którym uznamy, że pojęliśmy sens naszego istnienia, to będzie moment naszej porażki”.

MB: Zgadza się z nim.

ES: Czyli przekreśla Pan szanse na odgadnięcie wszystkich zagadek?

MB: Widzi Pani, bo poznanie jest jak taniec, taniec coraz głębiej w sam środek tajemnicy, ale tak naprawdę nigdy tam nie dotrzemy. O ten taniec chodzi, o tę podróż. To jest cel sam w sobie.

ES: Tyle że każda podróż ma kres.

MB: Ta nie ma. To znaczy ma dla ludzkości, ale dopóki jesteśmy, pewne pytania nie przestaną być zadawane. Mówi się, że fizyka wyczerpała swoje możliwości. To nonsens.

ES: To jeśli nie wyczerpała, to jaka czeka ją przyszłość?

MB: Nie wiem. Historia udowodniła nam wielokrotnie, że: „Łatwo jest przewidywać wszystko prócz przyszłości”. Nie przewidzimy, gdzie pojawi się postęp. Dzisiaj powiedziałbym, że będzie to mechanika kwantowa, teoria względności i wnętrze czarnej dziury. Ale to może być coś zupełnie innego. Bardzo dużo uwagi poświęca się mechanice kwantowej i to już nie tylko jałowa dyskusja filozoficzna, ale konkretna wiedza, która ma szansę zaprowadzić nas dalej. Świat się jeszcze przecież nie kończy, więc nadal mamy możliwość penetrowania głębi. Miniony wiek bazował na XIX-wiecznych osiągnięciach naukowych – mam na myśli elektrodynamikę klasyczną i równania Jamesa Maxwella. Jego praca dała podwaliny współczesnym środkom masowego przekazu, tj. telewizji, radiu. Osiągnęliśmy to dzięki zrozumieniu działania fal elektromagnetycznych. Jestem przekonany, że wiek XXI będzie należał do fizyki kwantowej i znajdziemy zastosowania, o jakich nam się nie śni.

ES: W powieści *Howards End* E. M. Forster, ze swoim słynnym „Only connect”, przekonuje nas o konieczności szukania połączeń i przenikania przez bariery. Jakich związków poszukuje Pan w swojej pracy naukowej?

MB: Od wielu lat fascynują mnie zagadnienia z pogranicza przeróżnych teorii i na różnych ich poziomach. Poruszając się po terytorium fizyki, gdzieś w pół drogi pomiędzy jedną teorią a drugą, próbuję znaleźć połączenia. O fizyce można myśleć jak o mapach. Nie spodziewam się, że na mapie świata zostaną naniesione warszawskie kościoły. Gdybym jednak potrzebował mapy z takimi kościołami, to nie spodziewałbym się zobaczyć na niej również informacji o środkach transportu miejskiego. A na podstawie żadnej z wymienionych nie spodziewałbym się zrozumieć, że świat jest kulą. Niemniej jednak mapy mogą być właściwe bądź nie, mogą być sprawdzane i ulepszone, ale opisują świat w różnych jego wymiarach. Tak samo jest z teoriami naukowymi. Mamy te bardzo dobrze opracowane, na przykład w optyce. Zaczynając od najniższego poziomu opisu, określamy światło jako promienie. Tak właśnie światło rozumiał Newton. Dzięki tej wiedzy wyjaśniamy mechanizm działania teleskopów, kamer, mikroskopów. Od 200 lat funkcjonuje pojęcie fal, to jest ten głębszy poziom, a jeszcze głębszy to polaryzacja, która

## „Nauka i piękno są tożsame”

wyjaśnia kolejne zjawiska. Natomiast, u podstawy powyższych zagadnień znajduje się optyka kwantowa i fotony. Poświęciłem znaczną część swojego życia na poszukiwanie powiązań pomiędzy tymi poziomami.

ES: Jak Pan patrzy na tęczę, to dostrzega również jej piękno? Czy filtruje Pan ten obraz poprzez naukę, która opisuje to zjawisko?

MB: Bardzo dziękuję za to pytanie. Nauka i piękno są tożsame. To są właśnie te związki, o których mówiliśmy. Jak patrzę na tęczę, widzę jej piękno, a zrozumienie mechanizmu jej powstania jeszcze bardziej potęguje wrażenia estetyczne. Widzę piękno w jego głębszym wymiarze. Zdarza się, że laicy postrzegają naukowców jako tych, którym liczby, wykresy, dane przysłoniły rzeczywistość. Jest zupełnie odwrotnie – wiemy więcej, więc widzimy więcej. Nigdy nie rozumiem, dlaczego John Keats w jednym ze swoich wierszy (*Lamia*, cz. II, przyp. red.) ubolewa, że nauka chce zawładnąć wszystkimi tajemnicami świata, w tym tęczę, nie pozostawiając nic dla ducha. W moim odczuciu Keats dyskredytuje naukowców, ale... on umarł młodo. Gdyby dożył sędziwego wieku, jego pojmowanie świata byłoby inne.

ES: Ponadto ten wiersz powstał bardzo dawno temu, wtedy gdy pojmowanie nauki było nieco inne niż dzisiaj.

MB: Ale to był właśnie czas, kiedy ludzie właściwie pojmowali pewne powiązania. Być może nie umieli ich nazwać, ale mieli świadomość, na czym polegał obraz świata zapisany w fizyce newtonowskiej.

ES: Przynajmniej, że ja widzę tylko powierzchowne piękno tęczy, Pan znacznie więcej.

MB: To „więcej” to też jest piękno. Tęcza to tak naprawdę szerokie spektrum zjawisk zachodzących w przyrodzie. Umiejętność ich powiązania wzbogaca ludzkie poznanie.

ES: Czy tak naukowiec szuka boskiego elementu? Czy nauka przyciąga do Boga, czy wręcz odwrotnie?

MB: Jestem ateistą. Szanuję wierzących, chociaż nie zgadzam się z nimi. Znów, nie zawsze szanuję tych, którzy się ze mną zgadzają, więc to nie tak, że odmienne poglądy czynią z kogoś automatycznie mojego wroga. Myślę, że religia nie przynosi nam żadnych korzyści. Oczywiście, jestem w stanie zrozumieć pragnienie poznania tych impulsów, które powołały nas do życia, ale myślę, że nazywanie tego „Bogiem” bez próby wglębnienia się w temat jest pójściem po linii najmniejszego oporu. Znam osoby, które czerpią pocieszenie z obrzędów religijnych, modlitwy czy śpiewania pieśni. Dla mnie to ułuda, chociaż nie mam w zwyczaju krytykowania kogoś za religijność.

ES: Ale przecież jakaś siła sprawcza musi kierować tym światem.

MB: Tak, kieruje, na przykład fizyka. Im więcej rozumiemy, tym więcej widzimy, a przypisywanie siły stwórczej Bogu, jest odrobinę za łatwe. Mówię tu o głębiach, z których część już udało nam się pojąć, podczas gdy do innych nawet się nie zbliżyliśmy.

ES: Jeśli pojmiemy Boga, to już nie będzie Bóg, to będzie nauka.

MB: To się nazywa „bóg zapchajdziura”. Postęp naukowy wyeliminował wiele przekonań, jakoby za danym zjawiskiem stały boskie moce. Teologowie mówią: „Bóg jest podstawą wszystkiego”, ale ja wolę szukać, by znaleźć odpowiedź. Czasem po prostu trzeba się zaangażować, trzeba sobie pobrudzić ręce.

ES: Rok 2000. To właśnie wtedy otrzymał Pan nagrodę Antynobla.

MB: Rzeczywiście (śmiech).

ES: Czy czuł Pan dumę?

MB: Nie byłem ani dumny, ani zawstydzony. Pomyślałem, że to zabawne, że ta żabka pojawiła się w moich badaniach. Lubię naukowe zabawki, a w szczególności Lewitron. Wyjaśnienie mechanizmu jego działania okazało się znacznie ciekawsze niż to zaproponowane przez twórców tego urządzenia. Podczas badania praw fizycznych Lewitronu usłyszałem o facecie, Andre’u Geimie, któremu udało się wprowadzić żabę w stan lewitacji. Gdy się nad tym zastanowiłem, zrozumiałem, że na podstawie podobnych praw fizyki działa właśnie Lewitron. Geim nie rozumiał pewnych subtelności technicznych, a ja miałem na to teorię. I tak rozpoczęła się nasza współpraca nad lewitacją żab. Napisaaliśmy na ten temat kilka prac, a potem dostaliśmy Antynobla. Zaprzyjaźniłem się z jego pomysłodawcą – Markiem Abrahamsem. To człowiek cechujący się głębokim szacunkiem dla nauki, a jednocześnie pragnący przybliżyć naukę szerszej społeczności. Według Abrahamsa nauka powinna najpierw rozśmieszyć, a potem skłonić do refleksji i stąd pomysł na tę nagrodę. Epizod z żabami przysporzył mi wiele radości, ale te badania nie wpisują się w główny nurt moich zainteresowań naukowych.

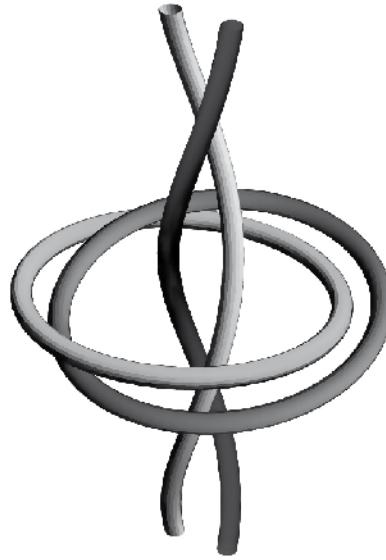
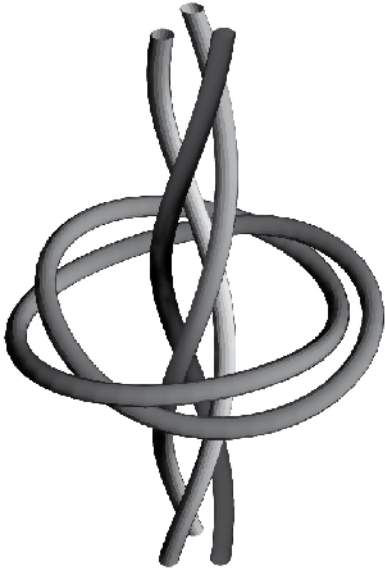
ES: Czy każdy naukowiec winien dzielić się zdobytą wiedzą?

MB: Ludzie są różni. Ja akurat lubię rozmawiać z osobami spoza świata nauki. Jest jednak wielu wybitnych naukowców, według których wykłady dla szerszego grona, niekoniecznie specjalistów z danej dziedziny, byłyby męką. Nie uważam, że zawsze trzeba dzielić się wynikami swojej pracy.

ES: „Fizyka jest podstawą technologii, a historia fizyki to historia współczesnej cywilizacji” – czy zgodzi się Pan z tym stwierdzeniem?

MB: Tak, zgodzę. To stwierdzenie jest coraz bardziej na czasie. W przeszłości najpierw była technologia – coś skonstruowano – a później nauka wyjaśniała, dlaczego to w ogóle było możliwe. Dobrym przykładem jest silnik parowy, którego lata świetności przypadły na wiek XIX. Zbudowano dziesiątki maszyn z jego użyciem, ale teorię termodynamiki, wyjaśniającą istotę rzeczy, opracowano później. Obecnie porządek został odwrócony. Mówi się, że około 30% produktu narodowego

## „Co mnie niepokoi, to obawa, że w niektórych krajach, innych niż Wielka Brytania czy Polska, ignoranci pragną zahamować postęp dokonywany w nauce”



↑ Trójlistne węzły zaplecione poprzez skręcone struny. Linie zerowego natężenia fali świetlnej wygenerowane komputerowo

w krajach rozwiniętych przynosi rozumienie fizyki kwantowej i bardzo świadome zastosowanie tej wiedzy – skonstruowanie lasera, tranzystora czy urządzeń diagnostycznych wykorzystaniem w medycynie.

ES: Zatem to nowości w nauce generują nowości w technologii.

MB: To działa w dwie strony i cieszę się, że zaczęła Pani ten temat. Bardzo często uświadamiamy, szczególnie politykom, że nauka to klucz do rozwoju technologii, w związku z tym należy ją wspierać. Czasem jednak to zdobycze technologii umożliwiają postęp w nauce. Na przykład ja, fizyk, używam komputera wyposażonego w tranzystor, by usprawnić swoją pracę. Bez programów komputerowych nie byłbym w stanie wykonać pewnych obliczeń, wnikać w pewne matematyczne warstwy. Używam także kwantowego urządzenia, by zrozumieć zjawiska kwantowe. Fizycy jednak rzadko zwracają uwagę na takie rzeczy, oni po prostu robią swoje – szukają kolejnych odpowiedzi na pytania, które stawia nauka.

ES: Czy brytyjski świat naukowy ma wsparcie?

MB: Nie jestem właściwą osobą do oceny, bo to czym się zajmuję, nie generuje kosztów. Kilka razy w życiu miałem granty na zakup sprzętu komputerowego. I tyle. Co innego, gdybym zatrudniał rzeszę osób w jakimś laboratorium badawczym. Wtedy pewnie bardzo zabiegałbym o środki finansowe. W Wielkiej Brytanii pieniędzy na wsparcie nauki jest bardzo dużo, jednak nigdy dość dużo. Zawsze

pozostaje też pytanie o zasadność ich wydatkowania. Uważam się za szczęściarza, bo żyję w kraju, który płaci mi pensję za moje intelektualne gry. Czasem nawet dziwię się, że ktoś w ogóle mi płaci za to, że robię coś, co mnie cieszy. Celowo nie zajmuję się politykowaniem i myślę, że mój wkład w świat nauki to moja praca.

ES: Czyli Pana praca to też przyjemność.

MB: Wyłącznie.

ES: No dobrze, jeśli pominiemy kwestie braku środków finansowych i niemożność ukończenia badań z nim związanych, to czy jest coś w świecie naukowców, co Pana niepokoi?

MB: A czy można ukończyć prowadzone badania? Tak naprawdę, jeśli ktoś myśli, że jak napisał kilka artykułów, dowiódł jakiejś małej prawdy, i na tym sprawa się kończy, jest w błędzie.

Zawsze można odkryć więcej. Co mnie niepokoi, to obawa, że w niektórych krajach, innych niż Wielka Brytania czy Polska, ignoranci pragną zahamować postęp dokonywany w nauce. W Stanach Zjednoczonych, czyli w kraju, w którym biologia stoi na bardzo wysokim poziomie, jeszcze nie tak dawno chciano usunąć teorię ewolucji ze szkolnych podręczników. W krajach islamskich natomiast intelekt został wyparty przez nakaz modlitwy powtarzanej jak mantra. Cóż za marnotrawstwo ludzkiego potencjału! Potrzebna jest szeroka dyskusja, by znaleźć sposób na zwrócenie wolności w islamskim świecie naukowym.

ES: Rozumiem, że w Pana opinii, zagadnienia natury moralnej bądź religijnej mogą przyczynić się do wyhamowania postępu w nauce.

MB: Tak, mogą, ale nie muszą. Historia zna przykłady wielkich uczonych, którzy byli bardzo religijni, a swoje działania na polu nauki postrzegali jako dopełnienie praktyki religijnej. Również w czasach współczesnych żyją wybitni przedstawiciele świata nauki, których cechuje głęboka religijność. Dla mnie bycie wierzącym lub nie jest bez związku, gdy idzie o naukowe dokonania. Uznaję łączenie tych dwóch sfer za zupełnie niezrozumiałe, a nawet więcej, oceniam je jako wzajemnie niekompatybilne. Ale życie pisze różne scenariusze – ateści i wierzący bywają zarówno świetnymi, jak i marnymi naukowcami. Sprawa nie jest taka jednoznaczna, ja się po prostu w nią nie zagłębialem.

*Rozmawiała: Ewa Stefaniak  
Współpraca: profesor Piotr Magierski  
z Wydziału Fizyki PW*

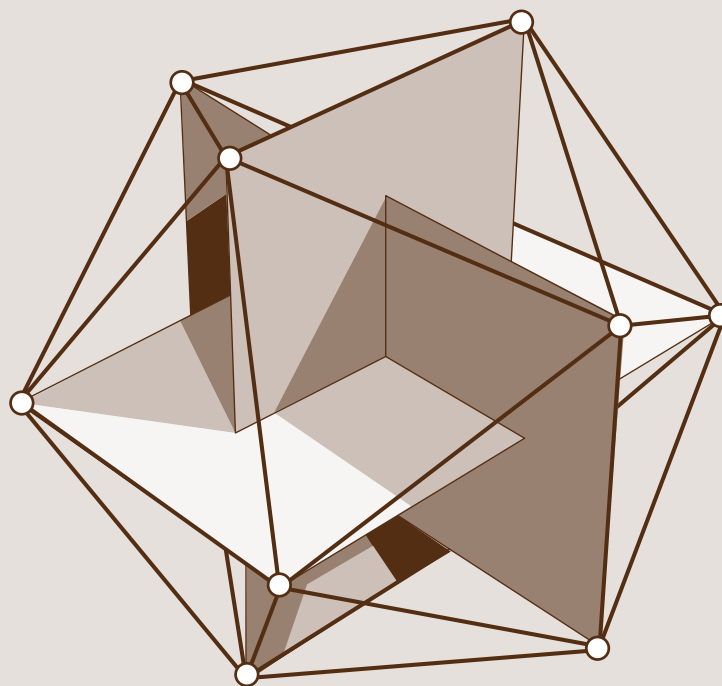
{ Profesor sir Michael Victor Berry to światowej sławy fizyk-teoretyk, twórca teorii fazy geometrycznej, zwanej fazą Berry'ego. Jego zainteresowania naukowe są ukierunkowane na fizykę matematyczną, podstawy mechaniki kwantowej, optykę i fotonikę. Od ponad 50 lat naukowiec jest związany z University of Bristol. W dorobku naukowym profesora znajduje się ponad 470 artykułów opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych. Profesor Berry jest laureatem wielu prestiżowych nagród, między innymi nagrody Wolfa w dziedzinie fizyki czy Royal Medal przyznawanego przez Royal Society. Był wielokrotnie wyróżniony doktoratami honoris causa prestiżowych uczelni na świecie. Prof. Berry jest członkiem elitarnego Royal Society of London oraz edytorem *Proceedings of the Royal Society*, jednego z najstarszych czasopism naukowych na świecie o wysokiej randze naukowej. W 1996 roku otrzymał tytuł szlachecki. Był profesorem wizytującym w: Nigerii, Włoszech, Niemczech, Szwajcarii, Belgii, Holandii, Australii, Nowej Zelandii, Izraelu i Stanach Zjednoczonych Ameryki Płn. }



zmieniał się tak szybko i tak globalnie. Te szybkie i globalne zmiany są rzeczywiście następstwem nauki, dlatego pytanie: jak daleko sięga i jaka powinna odgrywać rolę, jest palącym problemem współczesności. Pierwotnym celem nauki nie była wcale przemiana świata. Dziś głównym powodem finansowania nauk jest, że da to praktyczne skutki. Głównie w sferze techniki i bezpośrednich warunkach życia. Jednak najważniejszą motywacją kierującą ludzi na drogę naukową było pierwotnie i jest także dziś szukanie prawdy czy też ciekawość rozumienia. Nauka jest w swej istocie także tylko wtedy skuteczna, kiedy uda jej się znaleźć prawdę (mimo że nauka posługuje się pojęciem prawdy w sposób naiwny i nie potrafi wyjaśnić, czym właściwie jest prawda naukowa). I w tym sensie jej zasięg nie ma granic, chociaż konsekwencje jej odkryć mogą mieć negatywne znaczenie w życiu człowieka. Myślę, że ma uzasadniony sens zaczynać rozważanie na temat nauki od tzw. nauk strukturalistycznych, gdzie naukowe postępowanie polegające na abstrahowaniu od poszczególnego przypadku i poszukiwaniu ogólnych praw posunęło się najdalej. Fizyk, biolog czy ekonomista zajmujący się sprawami populacji mogą korzystać z tej samej matematyki. Matematyzacja (w szczególności informatyzacja) nauk, nakreślona przez twórcę dzisiejszej mądrości Pitagorasa z Samos, jest jedną z charakterystycznych cech rozwoju współczesnej nauki. Kto chce przyczynić się do postępu nauki w jakimś kraju, ten musi popierać przede wszystkim nauki strukturalistyczne, one bowiem oznaczają niejako nowy stopień świadomości. Jednakże ten postęp, szczególnie nauk strukturalistycznych, ma charakter ambiwalentny, pociąga za sobą także niebezpieczne skutki. Tej przemianie świadomości towarzyszy pokusa, by wszelką rzeczywistość traktować jako strukturę możliwą do zrobienia i zaplanowania. W znacznej mierze nieludzki charakter technokracji jest następstwem myślenia strukturalistycznego. Przemysł i roztropne zaplanowanie (inwestycje w przyszłość) struktur przenikających nasze życie, zwłaszcza w niezwyklej epoce Internetu i nauk informacyjnych, jest dziś sprawą najwyższej życiowej konieczności. Człowiek jest jedyną żywą istotą, której naturą jest to, że ma historię. Jest zaplanowany biologicznie w ten sposób, że wkracza w tradycję, której treści nie są ustalone przez jego biologiczną naturę.

W sporze pomiędzy tradycją a postępem można dostrzec, że wszelka tradycja to zachowany postęp przeszłości, a postęp jest posuwaniem się naprzód na podstawie tradycji. Droga jednak nigdy nie jest nakreślona jednoznacznie, każdy najmniejszy krok to próba zawierająca możliwość błędu, a czujność budzą często cienie, jakie rzuca nadchodząca katastrofa. Dostrzeganie tych cieni to wielkie wyzwanie w procesie samoorganizacji nauki.

oczywista, że trzeba dużego wysiłku, by dopuścić choćby hipotetycznie możliwość innej świadomości u ludzi zdrowych będących przy pełnych zmysłach. Negowanie dogmatu podziału na przedmiot i podmiot budzi nie tylko brak zrozumienia, lecz agresję spowodowaną poczuciem zagrożenia, utraty opoki, na której się stoi. To dualistyczne spojrzenie na świat jest niepodważalnym dogmatem, aksjomatem, który wyznają niemal



### Pojęciowe granice poznania

Granice poznania związane są nierozdzielnie ze świadomością w aspekcie indywidualnym i społecznym. W szczególności z istnieniem granic myślenia pojęciowego. Nauka o rozumieniu pokazuje dobitnie, że bez pojęcia postrzeżenie jest blade, a właściwie go nie ma. Pojęcie staje się organem poznawczym, który musi się rozwijać i żyć, tzn. komunikować z innymi pojęciami, łącząc się w organiczną całość. Dopiero wtedy zaczyna się to pojęcie rozumieć, tzn. posługiwać się nim jako organem poznawczym, percypującym świat. Najbogatszym źródłem pojęć w czystej postaci jest matematyka, również jako Pitagorejski budulec zjawisk. To pojęcia matematyczne formowały zręby i zapewniały postęp nauki w dzisiejszej jej postaci. Wydaje się, że granice poznania determinuje zawrotne sprzężenie (zwrotne) świadomości i materii. Struktura świadomości, w której wychowaliśmy się, w której żyjemy, jest dla nas tak

wszyscy ludzie naszej cywilizacji. Stanowi ono ostoję techniki i wielu nauk. Interesujące jest tym bardziej, że podanie w wątpliwość i obalenie tego aksjomatu pojawiło się najpierw w nauce i to na szerokim froncie: badania „kopenhaskiej szkoły” teorii kwantów, psychologia „nieświadomości”, psychologia dziecka, lingwistyka i biologia. Poznanie, poznawanie nie jest czymś biernym, wyłącznie odbiorczym – recepcją; jest wysoce aktywną działalnością. Wie o tym każdy: gdy świadomość zaczyna się błąkać, gdy nie jest skoncentrowana na jakimś przedmiocie, pojęciu, temacie, wtedy oczy przestają widzieć, uszy słyszeć. Dlatego też rozproszony człowiek widzi, przeżywa, doświadcza tak mało, dlatego świat nasz ubożeje w stanie rozproszenia. Formułowana w fizyce kwantowej tzw. hipoteza tożsamości, że świadomość (przytomność) i materia stanowią dwa różne aspekty tej samej rzeczywistości, pokazuje granice poznania dzisiejszej metody naukowej. W aspekcie społecznym można



# „Spośród różnych instrumentów człowieka najbardziej zadziwiającym jest wyobraźnia. Pozostałe są przedłużeniem jego ciała”

wyróżnić cztery rodzaje struktur świadomości, które nawiedziły ludzkość: archaiczna, magiczno-mityczna, mentalno-racjonalna (od Pitagorasa do dziś) i rodząca się współcześnie – integralna. W integralnej świadomości człowiek musi włączać się ustawicznie w większą całość, musiałby obumrzeć duchowo bez jakiejś wspólnoty. Żadne zwierzę nie jest bez swych towarzyszy, żadne źdźbło bez darni, kamień bez ziemi, element przestrzeni topologicznej bez swego otoczenia. Wszystko co jest, istnieje jako człon jakiejś całości. Każdy organizm, a więc i człowiek, jest procesem. Ten proces czy organizm może być, lub jest, jedynie w relacji do coraz większych (czasowo i przestrzennie) procesów: w końcu największego procesu – kosmosu. Nasza świadomość poznawcza świata jest więc samoświadomością: każda zmiana naszego organizmu – wskutek zmęczenia, starzenia się, alkoholu, narkotyków – powoduje zmianę postrzeganego świata. Oplatające świat wszechogarniające pole połączeń informacyjnych tworzy nową świadomość ludzkości, jako żywego organizmu. Wydaje się, że ten nowy organizm ma globalne regulatory i odpowiedniki klasycznych instrumentów indywidualnej świadomości.

## Mikroświat teraźniejszości i wyobraźni

Globalne zjawiska charakteryzujące ludzkość są oparte na własnościach współtworzących ją splecionych ze sobą osobowości. To relacje indywidualnych świadomości, złożoność ich przestrzeni życiowych, sprawności zmysłów i realizacja podstawowych możliwości, wyzwalają zjawiska nawiedzające ludzkość od pradawnych czasów. Spośród różnych instrumentów człowieka najbardziej zadziwiającym jest wyobraźnia. Pozostałe są przedłużeniem jego ciała. (Mikroskop, teleskop, są przedłużeniem jego wzroku; telefon – głosu; kiedyś

mieliśmy pług i szpadę – przedłużenie ramienia). Wyobraźnia budowana na pamięci i przeżyciu teraźniejszości stanowi przedłużenie świadomości. Pamięć – pamięć ludzkości zapisana jest w książkach lub w ich dzisiejszych odpowiednikach. Książka to statyczny, uspiomy w zapisie świat myśli i wspomnień. Zostaje martwy, chociaż ciągle wspinały, aż do momentu ożywienia w spotkaniu, w interakcji, wielologu niezwykłych światów – wszechświatów, jakie niosą ze sobą świadome osobowości. Przeżycie teraźniejszości to niewątpliwie największa tajemnica ludzkiej, i nie tylko ludzkiej, egzystencji. Wyłania się z niej ukierunkowany bodziec ku myśleniu i działaniu. Gromadzimy ogromną ilość wiedzy, zapisanej, zarejestrowanej na wszelkich nośnikach. Przede wszystkim w książkach. Symbolicznie, książka także jako pamięć, wpleciona jest w cykl zamknięty; stanowi utrwalenie, a więc i przedłużenie wyobraźni, która bez pamięci nie może istnieć. Kult książki przeradza się w zmuszanie, namawianie studentów do samodzielnego zdobywania wiedzy z dostępnych nośników. Wykłady stały się instruktorzami, najlepiej bez wykładowcy, który jako wielki uczyony ma o wiele ważniejsze rzeczy do roboty. Samodzielne zdobywanie informacji i kombinatoryczne ich „mieszanie” stało się bardzo cenne i praktyczne w twórczości tzw. „samodzielnych” badaczy. Ciekawe, że starożytni nie wyznawali naszego kultu zapisu pamięci i myśli. W zapisanych treściach widzieli substytut słowa mówionego. Traktowali słowo pisane jako coś trwałego i martwego. Za to w słowie aktualnie mówionym widzieli coś uskrzydłonego, lekkiego i świętego. Rzecz zadziwiająca, wszyscy wielcy mistrzowie ludzkości byli także genialnymi mówcami. Wiemy, że jeden z największych, pierwszy spośród nich, Pitagoras, nie pisał, nie chciał się krepować słowem pisanym. Chociaż piszący uważają, że to, co stworzyli, przeżyje ich samych, to jednak ta

martwa pozostałość nie odżywa zgodnie z pragnieniem autora. Pitagoras świadomie nie pisał, aby żywa myśl przeżyła granice śmierci cielesnej. Miała ona przeżyć w umysłach jego uczniów, kontynuowana w pełni żywego przekazu. Każdy mistrz umiera cielesnie, a uczniowie dzięki swojej wędrówce świadomości lub duszy kontynuują jego myśli i rozwijają jego idee. I tak do dzisiaj w prawdziwej nauce nie mówimy nic nowego, odkrywamy to, co Mistrz powiedział. Przekaz martwy jest pozbawiony struktury, odarty z pełni i może być niebezpiecznie wykorzystany. Jest dostępny wszystkim, nie tylko uczniom. Mistrz wybiera ucznia, a książka nie wybiera swych czytelników. Znaną jest opętanie odczytywanie zapisanych myśli, które jeszcze dzisiaj zagraża ludzkości. Jak zauważa J.L. Borges w *O kulcie książek (Dalsze Dociekania, przełożył A. Sobol-Jurczykowski, Prószyński i S-ka 1999)* mamy wielki przykład Platona, gdy mówi, że książki podobne są wizerunkom, które wydają się żywe, ale zapytane nie odpowiadają. Ażeby więc naprawić tę niemotę książek, tworzy dialog platoński. To znaczy Platon zwielokrotnił swoje istnienie w różnych postaciach i zapewnił w pewnym sensie nieśmiertelność Sokratesa, który nie pozostawił żadnych pism. Zauważa również, że Budda był genialnym mówcą i pozostały jego kazania, a o Chrystusie wiemy, że raz tylko nakreślił kilka słów (być może symboli matematycznych?) na ziemi i nie przeczytał ich żaden człowiek. Znaną jest też ewangeliczne ostrzeżenie: „Nie dawajcie psom świętego ani mieccie pereł waszych przed wieprze, by ich snadź nie podeptali nogami swymi i obróciwszy się, aby was nie roztargali”. Wiąże się to nierozzerwanie z wykorzystywaniem również odkryć nauki, które może być skierowane przeciwko człowiekowi. Dzisiaj do niebywałych rozmiarów rozwinięta jest świadomość komercyjna. W tej świadomości nie ma mistrzów i uczniów, jest business i kariera (Freudowska przyjemność).

# Mózg a świadomość

Rozmowa z profesorem Andrzejem Wróblem, autorem odczytu z cyklu Konwersatorium PW

*„Ta część kory mózgowej, która nie opracowuje bodźców ze świata zewnętrznego, zaczyna niezależnie przetwarzać zapamiętane uprzednio informacje, co owocuje rozwojem kultury, sztuki, nauki – abstrakcji, które, jak się wydaje, nie były bezpośrednio istotne dla ewolucji gatunku”*

Ilona Sadowska: Proszę opowiedzieć o działalności Pracowni Układu Wzrokowego, której jest Pan Kierownikiem, w ramach Zakładu Neurofizjologii Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN.

Andrzej Wróbel: Nazwa jest związana z układem wzrokowym – częścią mózgu analizującą podstawowe źródło informacji dla człowieka – zmysł wzroku, którego badania mają długą historię w Instytucie Nenckiego. Prowadzimy je na modelu zwierzęcym – poznając układ wzrokowy kotów i częściowo również szczurów. Doświadczenia skończyliśmy już kilka lat temu, ale ciągle analizujemy ich wyniki zgromadzone na nośnikach cyfrowych. W tej chwili Pracownia zajmuje się również innym układem zmysłowym – czuciowym, którego modelem doświadczalnym jest układ czucia wibrysowego u gryzoni. Badamy przetwarzanie informacji dochodzącej za pośrednictwem długich wąsów u szczurów i myszy, informacji istotnej dla zwierząt żyjących naturalnie w ciemności. Trzecim modelem układów zmysłowych, którym się zajmujemy w Pracowni, jest układ wzrokowy człowieka. Mechanizmy fizjologiczne, które odkrywamy w doświadczeniach na zwierzętach, sprawdzamy w warunkach eksperymentów nieinwazyjnych na ludziach, z nadzieją, że ich poznanie będzie miało zastosowania w klinice. Jednym z głównych mechanizmów łączących wszystkie te modele badawcze jest sposób aktywacji uwagowej mózgowych struktur analizujących informacje zmysłowe. Badania na ludziach robimy, używając metod obrazowania funkcjonalnego: bezpośredniej, rejestrującej aktywność elektryczną tkanki mózgowej (EEG), oraz pośredniej, rejestrującej ilość krwi przepływającej w aktywnych strukturach mózgu (fMRI).

IS: Jaki jest cel prowadzonych doświadczeń?

AW: Głównym celem naszych badań jest zrozumienie mechanizmów przetwarzania informacji w układach

zmysłowych, tzn. sposobu postrzegania świata zewnętrznego przez mózg. Z początku byłem bardzo ostrożny i badaliśmy analizatory zmysłowe tylko do poziomu tzw. kory pierwszorzędowej, która dla analizatora wzrokowego znajduje się w potylicznej części mózgu, a dla analizatora czuciowego w jego centralnej części zarówno u człowieka, jak i u gryzoni. Ale im bliżej mam do emerytury, tym bardziej jestem nastawiony na badania kognitywne, a w szczególności – ponieważ zidentyfikowaliśmy aktywność neuronalną mózgu zwierząt związaną z przenoszeniem uwagi – dynamicznym wzbudzaniem uwagi i jej rozchodzeniem się między strukturami układów zmysłowych. I tak badania uwagi na zwierzętach zawiodły nas do badań umysłu człowieka, ponieważ uwaga jest podstawowym elementem świadomości.

IS: Jakie zastosowania medyczne mogą wynikać z tych badań?

AW: Zaburzenia uwagi, to jest bardzo poważny problem w klinice ludzkiej. Większość z nas miała kontakt z dziećmi, u których zdiagnozowano ADHD, ale nie pamiętamy, że zaburzenia te są problemem również w wieku dorosłym. Fizjologicznej starości towarzyszy osłabienie mechanizmów uwagi i warto badać, czy możemy w tym czasie zwiększyć efektywność uwagi, czyli również potencjał kognitywny osób starszych. Oba te cele mamy na względzie w planowaniu badań Pracowni. Natomiast wspomniane wcześniej badania na modelach zwierzęcych, są jeszcze stosunkowo odległe od bezpośredniego zastosowania w klinice ludzkiej.

IS: Jakich zmysłów dotyczą zaburzenia uwagi?

AW: Wszystkich. Nasze zmysły działają również bez angażowania świadomości, ale żeby coś zauważyć, czyli żeby dotarło do nas, że coś widzimy, czujemy, wachamy, to mózg musi aktywować mechanizm uwagi – bez niego nie ma świadomości zmysłowej.

IS: Doświadczenia są prowadzone z wykorzystaniem zwierząt – szczurów i kotów: dlaczego akurat te zwierzęta?

AW: Kot tradycyjnie jest zwierzęcym modelem doświadczalnym dla badań układu wzrokowego, gdyż, podobnie jak u człowieka, większość informacji o świecie dociera do niego za pomocą tego zmysłu, a docelowym horyzontem naszych badań jest przydatność w klinice ludzkiej. Szczury zaś są typowym i najtańszym zwierzęciem laboratoryjnym. Ich układ czuciowy jest w wielu miejscach analogiczny do naczelnych, a kora pierwszorzędowa łatwa do badania metodami elektrofizjologicznymi. Poza tym, ostatnio uzyskano genetycznie modyfikowane modele tych zwierząt, co znacznie rozszerza paletę możliwych technik badawczych.

IS: Wspomniał Pan o metodach badawczych, na czym polegają metody elektrofizjologiczne w badaniach mózgu?

AW: W naszym laboratorium używamy większości standardowych metod elektrofizjologicznych – od takich, które rejestrują przepływ prądu przez jeden kanał jonowy w błonie neuronu. Rejestrujemy również aktywność elektryczną całych neuronów zarówno u zwierząt w narkozie, jak i wykonujących jakieś zadania, korelując tę aktywność z zachowaniem. Analizujemy wreszcie potencjały polowe, czyli aktywność zespołu wielu (od kilkudziesięciu do kilku tysięcy) komórek nerwowych. U ludzi analizujemy sygnały EEG, które są sumą wielu lokalnych potencjałów polowych i mogą być rejestrowane z zewnątrz kości czaszki.

Wszystkie te metody badają bezpośrednio aktywność elektryczną tkanki neuronalnej, która jest nośnikiem informacji w mózgu. W badaniach ludzkich stosujemy również inną metodę obrazowania aktywności mózgu – fMRI, która jest dostępna w Laboratorium Rezonansu Magnetycznego naszego Instytutu. Metoda fMRI bada zmiany przepływu krwi w określonych regionach mózgu z założeniem, że przepływ ten rośnie w strukturach aktywnych, ze

względem na ich zwiększone zapotrzebowanie energetyczne.

IS: Czy badania wzroku na zwierzętach są nieinwazyjne?

AW: Doświadczenia na zwierzętach wymagają implantacji elektrod rejestrujących do wnętrza mózgu. Po ukończeniu rejestracji (ok. pół roku) trzeba uspić zwierzę aby, po pocięciu tkanki mózgowej na cienkie skrawki, dokładnie ustalić położenie elektrod rejestrujących. W badaniach na ludziach określenie aktywnych regionów mózgu jest bardzo niedokładne, bo opiera się na aproksymacji źródeł aktywności za pomocą matematycznej analizy zewnętrznych sygnałów EEG.

IS: Czym się Pan pasjonuje w działalności naukowej?

AW: Oprócz wzrokowej aktywności uwagowej (elektryczna, synchroniczna aktywność w zakresie częstotliwości 12-30 Hz, nazywana „pasmem beta” w elektroencefalografii), którą opisaliśmy jako pierwsi i badamy od 20 lat, za istotne osiągnięcia w mojej karierze uważam wprowadzenie do polskich badań neurofizjologicznych trzech ważnych dziedzin: neuroinformatyki, neurokognitywistyki i ostatnio, neurofeedbacku. Neuroinformatyka, to metoda analizy tkanki neuronalnej oparta na dużych zbiorach danych, matematyczna ich analiza i tworzenie modeli teoretycznych. W latach 90. ubiegłego wieku, kiedy jako przedstawiciel Ministerstwa Nauki wraz z kolegami z innych krajów OECD, tworzyliśmy zręby Międzynarodowego Towarzystwa Neuroinformatycznego (INCF) zaangażowałem się w konsolidację tego środowiska naukowego w Polsce. Wymiernym efektem tej pracy jest Polski Węzeł Neuroinformatyczny oraz samodzielna Pracownia Neuroinformatyki w Instytucie Nenckiego, zorganizowana i prowadzona przez profesora Daniela Wójcika, młodszego koleżę, który wrócił w tym celu z USA.

IS: Jakie Pan widzi znaczenie neuroinformatyki w dzisiejszej nauce?

AW: Biologia dąży do tego, aby – w ślad za fizyką i chemią – zalgorytmizować swoją wiedzę. Żeby coś zrozumieć, trzeba opisać to wzorami, czyli umieć zbudować model (np. matematyczny). Tę prawdę opisał już w XVIII w. Giambattista Vico (*Rozumiemy to co potrafimy zrobić*). Fizyka zrobiła to jako pierwsza dyscyplina naukowa, ponieważ materia nieożywiona jest łatwiejsza do opisu niż materia ożywiona. Chemia, która miała do czynienia

z bardziej skomplikowaną strukturą związków organicznych, uporała się z ich modelowaniem z pewnym opóźnieniem, ale wiele doświadczeń chemicznych można już również opisać *in silico*. Natomiast biologia, a w szczególności neurofizjologia, jest na początku drogi. Neuroinformatyka jest właśnie próbą znalezienia odpowiednich modeli do opisu struktury i aktywności mózgu.

IS: A neurokognitywistyka?

AW: To było na SWPS jakieś 14 lat temu. Zostałem zaproszony przez prof. Andrzeja Nowaka, aby wyklądać neuronaukę studentom psychologii. Zauważyłem wtedy, że w polskiej psychologii badania oparte są głównie na obserwacjach behawioralnych i kwestionariuszach testowych, podczas kiedy w tym samym czasie w Stanach Zjednoczonych praktycznie żaden psycholog nie mógł otrzymać grantu badawczego bez użycia metod obrazowania mózgu. Szczęśliwie, moja propozycja utworzenia pierwszej w Polsce Katedry Neurokognitywistyki na SWPS znalazła uznanie kolegów i udało mi się rozpocząć szkolenie, a potem badania psychologiczne oparte na obrazowaniu pracy mózgu. Teraz neurokognitywistyka jest wykładana już chyba w siedmiu polskich wyższych uczelniach i w pewnym sensie czuję się współtwórcą tej odnowy. Poruszając się w środowisku psychologów, zwróciłem również uwagę, że ze wsparciem Ministerstwa Edukacji w poradniach psychologicznych używa się tzw. neurofeedbacku (NFB) jako metody treningu wspomagającego u dzieci. Szybko zorientowałem się, że metoda ta nie ma w Polsce żadnego oparcia w wiedzy naukowej, a terapie prowadzi się na podstawie szablonów szkoleniowych bez jakichkolwiek odnośników naukowych. Bardzo mnie to zbulwersowało, więc sięgnąłem do literatury. Okazało się, że również w skali światowej jest niezmiernie mało badań podstawowych dotyczących neurofeedbacku opartego na EEG. Znalazłem jedynie 40 dobrze przygotowanych pod względem naukowym publikacji na ten temat. W dziedzinie np. fizjologii wzroku rocznie ukazuje się wiele tysięcy prac. Mówię o badaniach na zdrowych ludziach, mających na celu zrozumienie mechanizmów zmian plastycznych zachodzących podczas treningu NFB. Jednocześnie publikuje się znacznie więcej prac klinicznych, w których neurofeedback jest używany wspomagająco – bez prawidłowo udokumentowanych wyników. Doszedłem do wniosku, że państwowe pieniądze nie powinny być wydawane na procedury niemające

podstaw naukowych i postanowiłem stworzyć przed przejściem na emeryturę co najmniej jedno polskie laboratorium, w którym mogłyby być prowadzone naukowe badania procedur NFB. Rok temu dostaliśmy z NCN-u grant na badania neurofeedbacku i muszę przyznać, że obecnie większość swego czasu poświęcam właśnie tej tematyce.

IS: A zatem na czym polega neurofeedback?

AW: Neurofeedback (NFB) jest metodą terapii wspomagającej mającą służyć poprawie funkcji kognitywnych i behawioralnych. Treningi NFB polegają na indukowaniu zmian aktywności elektrycznej mózgu (a więc również plastycznych zmian jego sieci neuronalnej) poprzez zmiany bodźców (wzrokowego lub słuchowego) sprzężonych w pętli zwrotnej z tą aktywnością. Sprzężenie to jest często realizowane za pomocą gry video, której pozytywny postęp zależy od nieświadomego samowzmocnienia przez badanego określonych pasm częstotliwości EEG. Przy dużych nadziejach związanych z tą techniką, trzeba jednak pamiętać, że podstawą jakiegokolwiek uczenia jest przemodelowanie połączeń między wieloma neuronami mózgu, które, podczas skomplikowanej procedury NFB, są trudne do określenia. To uwiadcza specyficzny problem neurofizjologii, o którym wspominałem wcześniej. Ponieważ mózg jest strukturą niezwykle dynamiczną i skomplikowaną, jego aktywność jest powiązana w wieloparametrową przestrzeń, której wymiar jest trudny do ustalenia, co praktycznie uniemożliwia określenie jednoznacznych warunków doświadczenia.

Najbardziej znaną i najprostszą wersję NFB spopularyzowano w USA w latach 70. ubiegłego wieku. Każdy mógł za kilkanaście dolarów kupić jednokanałowy rejestrator EEG, tzw. „relaksator”, i przykleić elektrodę rejestrującą na potylicznej części czaszki, z której rejestruje się najwyższe amplitudowo „fale alfa” EEG o częstotliwości ok. 10 Hz (w potylicznej części mózgu znajdują się pierwszorzędowe pola kory wzrokowej). Uważa się, że im większa jest amplituda fal alfa, tym bardziej człowiek jest zrelaksowany, a jego mózg spokojny. Stąd uspokajające wzorce pokazujące się na małym ekranie kupionego urządzenia lub łagodna muzyka (przy zamkniętych oczach) były wyraźniejsze, gdy amplituda tych fal wzrastała. Nabywca mógł w ten sposób trenować swój mózg, aby „produkował” fale alfa o większej



amplitudzie i przez to mógł oczekiwać pojawienia się stanu relaksacji.

Na podobnej zasadzie działa pętla wzmocnienia biologicznych fal mózgowych we współcześnie stosowanej terapii NFB. Otóż osoba na ogół gra w jakąś grę komputerową, np. „prowadzi” na ekranie samochodzik, starając się go utrzymać na szosie, przy czym uczestnik nie steruje tym pojazdem za pomocą myszki – w procedurze NFB stara się on utrzymać ten samochód na drodze zmieniając aktywność swojego mózgu – czyli zwiększając trenowane fale mózgowie (np. „uwagową” częstotliwość beta). Czyni to metodą prób i błędów, bo trener nie zna i nie może mu przekazać potrzebnej do tego celu strategii zmian osobniczej aktywności mózgu. Okazuje się, że w wielu przypadkach trening taki jest wieńczony sukcesem! Obraz oglądany przez uczestnika na monitorze powoduje zmianę aktywności mózgu, co jest rejestrowane przez elektrodę urządzenia NFB i zamieniane na odpowiedni kierunek ruchu obserwowanego samochodzika oraz dalszy wzrost amplitudy trenowanych fal. Niestety, nie znamy ani mechanizmów neuronalnych, które do tego prowadzą, ani specyficzności tej procedury. Możemy jednak podejrzewać, że podczas tych treningów zmienia się wiele parametrów pracy mózgu, a przez to i jego funkcji behawioralnych. Dlatego stosowanie procedury NFB według zwyczajowo przyjętych reguł opartych na ogólnikowym przypisaniu różnym pasmom częstotliwościowym EEG różnych funkcji uważam za wyjątkowo ryzykowne. Potrzebne są niewątpliwie szeroko zakrojone badania naukowe tej procedury i to nie tylko w Polsce, gdzie jak powiedziałem nie ma ich w ogóle, ale również na świecie.

W ostatnich kilku latach pojawia się coraz więcej prac na temat procedury neurofeedbacku, bo wydaje się on obiecującą „nieinwazyjną” metodą wspomagającą leczenie. Niewątpliwie czasem jest ona skuteczna, ale trzeba poznać uruchamiane przez nią mechanizmy neuronalne, żeby ją stosować w sposób specyficzny, w celu zmiany określonych zachowań. Dlatego zaczęliśmy od metaanalizy wszystkich dotychczas opublikowanych prac i na początek, prowadzimy trening tylko jednej częstotliwości encefalograficznej – beta – której funkcje i mechanizmy rozchodzenia się w mózgu badamy od wielu lat i w dużej mierze rozumiemy. Według nas aktywność neuronalna w rytmie beta jest nośnikiem uwagi i nie należy się dziwić, że jest ona jedną z najczęściej zmienianych parametrów w treningach NFB na

świecie. W naszych badaniach staramy się zobrazować te struktury i obwody funkcjonalne, które ulegają plastycznym zmianom w wyniku treningu NFB, używając w tym celu pełnowymiarowych rejestracji EEG i jednocześnie stosując metodę obrazowania aktywności mózgu za pomocą rezonansu magnetycznego. Warto przy okazji dodać, że pierwszą pracę na temat neurofeedbacku opublikowała pani prof. Wanda Wyrwicka, która rozpoczęła pracę w Instytucie Nenckiego i wyemigrowała do Stanów Zjednoczonych w latach 60. ubiegłego wieku. W Kalifornii stosowała ona z sukcesem procedurę podobną do NFB na kotach, wzmacniając jedzeniem amplitudę fal o częstotliwości od 12 do 15 Hz (które nazwała falami SMR, *sensory motory reflex*).

IS: Czy są próby polskiego nazewnictwa neurofeedbacku?

AW: Proste tłumaczenie to zapewne mózgowie sprzężenie zwrotne, co w języku polskim obejmowałoby cały obszar uczenia się. Może rzeczywiście trzeba zastanowić się nad jego bardziej adekwatnym tłumaczeniem.

IS: W jaki sposób działają mechanizmy plastyczności mózgu?

AW: Uczenie się jest tą cechą mózgu, która go odróżnia od wielu innych żywych struktur – jest to zmiana organizacji wewnętrznej pod wpływem doświadczenia, inaczej nazywana zmianą plastyczną. Twórcą nazwy „plastyczność mózgu” był Jerzy Konorski, dyrektor Instytutu Nenckiego i twórca Zakładu Neurofizjologii w tym Instytucie. Zapoczątkował on te badania jeszcze przed II wojną światową. Gdyby nie zmarł w 1972 r., dostałby zapewne nagrodę Nobla, do której był nominowany. Na poziomie komórkowym plastyczność polega na wytworzeniu nowego połączenia pomiędzy dwoma neuronami mózgu, które powstaje gdy są one jednocześnie aktywne. Po powstaniu takiego połączenia (synapsy) zmienia się sieć neuronalna mózgu, co skutkuje tym, że pobudzenie jednej z tych komórek prowadzi automatycznie do pobudzenia drugiej – a więc odtworzenia poprzedniego wzorca aktywności (mózg „zapamiętał” poprzedni stan). Na poziomie sieci neuronalnej pamięć taka oznacza, że gdy kilkakrotnie podamy psu kawałek mięsa w obecności dzwonka – co wywołuje odruchowe wydzielanie śliny – „nauczony” mózg będzie wywoływał jej wydzielanie na sam dźwięk – bez mięsa. Od takich doświadczeń Pawłowa zaczęły się badania nad uczeniem. Obecnie wiedza dotycząca plastyczności mózgu jest

już bardzo zaawansowana zarówno na poziomie molekularno-komórkowym, jak i systemowym (połączeń między strukturami mózgu) oraz kognitywnym (układów funkcjonalnych). Procesy plastyczne zachodzą bowiem w wielu wymiarach, od zmian połączeń między neuronami do wynikającej z nich zmian sieci neuronalnej.

IS: W kwietniu tego roku miał Pan odczyt na Politechnice Warszawskiej pt. *Mózg a świadomość*. Na czym polega zatem owa zależność i co właściwie widzi mózg?

AW: Wykład o podobnym tytule po raz pierwszy powiedziałem chyba w latach 70. ubiegłego wieku. Od 40 lat mówię na podobny temat i za każdym razem trochę inaczej. Staram się tak go zbudować, aby jak w pigułce pokazywał naszą aktualną wiedzę o przetwarzaniu informacji w mózgu. Zawieram w nim przede wszystkim informację, że mózg nie jest narzędziem służącym do obiektywnego poznawania świata. Jego zadaniem jest zabezpieczenie przeżycia zwierzęcia i jego gatunku. Pozwala on przede wszystkim znaleźć pożywienie i uniknąć drapieżnika. Nie jest więc istotne żeby to, co mózg widzi w sposób absolutny oddawało rzeczywistość. Nie jest na przykład ważne, jakiego koloru oczy ma tygrys, który za mną goni. Trzeba po prostu jak najszybciej rozpoznać drapieżnika i uciec. Dlatego mózg analizuje przede wszystkim rzeczy najlepiej charakteryzujące dane obiekty wykorzystując w tym celu, między innymi mechanizm uwagi. Sama uwaga nie oznacza jednak świadomej percepcji, ale jest (podobnie jak pamięć) warunkiem koniecznym do jej powstania. Kwestia percepcji, czyli powstawania świadomości zmysłowej, jest interesująca, bo wyróżnia zwierzęta wyższe wśród innych żywych organizmów. Świadomość jest nierozwiązaną dotychczas zagadką nauki. Filozofowie myślą na ten temat, bez skutku, tysiące lat. Mam nadzieję, że neurofizjolodzy, którzy starają się zrozumieć powstawanie świadomości od mniej więcej 50 lat, szybciej rozwiążą ten problem. Przed rokiem 1960 panował w światowej fizjologii mózgu behawioryzm, według którego mózg można było opisać jako narząd odruchowo-warunkowy. Nie tylko nasza część świata była zdominowana przez teorię Pawłowa, problem świadomości uważano za „nienaukowy” również w USA. Dlatego Benjamin Libet, który w latach 80. ubiegłego wieku jako pierwszy zrobił doświadczenie na temat wolnej woli, opublikował je dopiero wtedy, gdy uzyskał pozycję zapewniającą etat do emerytury (ang. *tenure*

track). Doświadczenie to pokazało, że w zakresie poruszania palcem nie mamy wolnej woli, bo mózg człowieka wie o tym, że jego nosiciel chce poruszyć palcem dużo wcześniej niż uświadamia on sobie wolę poruszenia palcem. To było przełomowe doświadczenie, od którego zaczęły się poważne badania kognitywne. Istnienie świadomości dowodzi możliwości emergencji nowych funkcji w skomplikowanym układzie sieci neuronalnej. Za jej pomocą mózg może tworzyć konstrukty (również materialne), których nie było przedtem.

IS: Jakie są obecnie konkluzje dotyczące tych badań?

AW: W tej chwili badacze spierają się nawet o to, czy istnieje jakiś fizyczny substrat odczuć bodźców zmysłowych, tzw. qualiów, np. odczucia czerwoności koloru czerwonego albo przyjemności dźwięku. Filozofowie twierdzą, że coś takiego na pewno istnieje, mnie na razie wystarcza hipoteza, że świadomość czerwoności powstaje w momencie, kiedy dość skomplikowany układ neuronów jest ze sobą aktywnie połączony i taka chwilowa, funkcjonalna struktura wyróżnia tę jakość (niekoniecznie jej odczucie). Substrat świadomości (np. widzenia psa) można sobie wyobrazić tak: proste elementy składowe psa (krawędzie każdej z czterech nóg, głowy itd.), mają swoje reprezentacje w mózgu i kiedy wszystkie te komórki będą

jednocześnie działać mózg „zobaczy” psa. Mózg może ten zespół komórek pobudzić również wewnętrznie, to są wyobrażenia oparte na pamięci. Od kilkunastu lat wiemy, że faktycznie mamy dwa mózgi: jeden, który współpracuje ze światem zewnętrznym, i drugi, mózg wewnętrzny, który działa przede wszystkim wtedy, kiedy odpoczywamy. Układ struktur tego wewnętrznego mózgu nazywa się *default mode network* (DMN; propozycja polskiego odpowiednika – sieć aktywności wewnętrznej). Wydaje się on równie ważny jak ten mózg, który komunikuje się ze światem. Człowiek dąży stale do zaspokojenia swoich potrzeb i najlepiej czuje się, gdy taki stan osiągnie. Wtedy zaczyna przeważać aktywność DMN; mózg przypomina sobie zdarzenia luźno związane z interakcją ze światem zewnętrznym, np. może pobudzić taki zespół neuronów, które „widzą” psa. Załóżmy również, że jednocześnie pobudzony zostanie zespół neuronów związanych z przeżywaniem emocji strachu. W tym kontekście mózg może wymyślić „psa Baskerville’ów”, prawda? Inni czytają i też go sobie wyobrażają – wszystko pozostaje na poziomie abstrakcji, która w tak złożonym kontekście nie istniała w świecie rzeczywistym. To jest po prostu fascynujące. W czasie gdy kończyłem studia na Wydziale Fizyki UW, wydawało mi się, że fizycy opisali już większość praw oddziaływań w materii nieożywionej. Nie

musieli już robić eksperymentów, gdyż każde doświadczenie mogli przeprowadzić w przestrzeni wirtualnej. Pozostało im może jeszcze jedno pytanie: jak działały prawa fizyki przed wielkim wybuchem .... A do opisanego „ogólnej teorii wszystkiego” trzeba przecież zrozumieć również abstrakcyjny świat mózgu ....

IS: Właśnie, studiował Pan fizykę na UW, skąd się wzięło zainteresowanie tematyką mózgu, jak znalazł się Pan w Instytucie?

AW: To był, oczywiście, przypadek. Wiedziałem, że po studiach biofizycznych u prof. D. Shugara chcę dalej badać prawa przyrody. Dowiedziałem się wtedy, że po 20 latach przerwy, w Instytucie Nenckiego prof. J. Konorski otwiera studia doktoranckie z neurofizjologii. Przeszedłem i od pierwszej wizyty, na której zobaczyłem rejestrację elektrofizjologiczną pojedynczej komórki na ekranie oscyloskopu wiedziałem, że to jest to... Kot pod narkozą, a w jego mózgu na ruch mojej ręki aktywuje się komórka i trzeba tylko odpowiedzieć na proste pytanie: jak to się dzieje, że ta komórka wysyła potencjały czynnościowe wtedy, kiedy ja macham ręką? 45 lat mnie to już zajmuje. Zacząłem w grudniu 1969 r., czyli 44 lata i pół.

IS: Wracając do mózgu, jaka jest rola automatyzmów w procesach przetwarzania informacji wzrokowej lub czuciowej?

AW: Automatyzmy to jest podstawowy sposób działania naszego mózgu. Uświadamiamy sobie nie więcej niż  $10^7$  rejestrowanej informacji zmysłowej. To jest drobny ułamek, można by powiedzieć – błąd ewolucji. Cała reszta naszego zachowania opiera się na procesach automatycznych. Bez automatyzmów nie moglibyśmy na przykład chodzić. Mamy ok. czterystu mięśni ruchowych, więc gdybyśmy mieli myśleć, że do wykonania następnego kroku należy uaktywnić prostowniki stawu kolanowego, a rozluźnić jego zginacze (aby się nie zerwały) itd. dla wszystkich innych stawów, to mózg nie dałby rady przetworzyć tej ilości informacji. Większość procesów kontrolujących nasze ciało dzieje pod automatyczną kontrolą mózgu. To jest jedna z przyczyn, że mamy taki duży mózg. Z podobnego powodu dużym mózgiem charakteryzuje się delfin. Jego zadaniem jest w dużej mierze nadawanie ciału kształtu opływowej kropli, żeby w czasie pływania uniknąć turbulencji. W tym celu skomplikowane, automatyczne reakcje w układzie czuciowo-ruchowym wygładzają skórę poprzez odpowiednie reakcje mięśniowe. Ewolucja mózgu



# „Mózg niezależnie od tego czy patrzy się na białą ścianę z jedną czarną kropką (siedzącą muchą), czy kiedy rozwiązuje równanie różniczkowe Shroedingera zawsze działa w 100%”

człowieka skierowała się przede wszystkim na zwiększenie kory mózgu, aby rozwinąć mechanizmy szybkiej adaptacji do zmieniających się warunków środowiska oraz uczenia się. Wyobrażam sobie, że w którymś momencie ten skomplikowany układ korowo-wzgorzowego przetwarzania informacji zewnętrznej stworzył własny system kontroli, który w sytuacji mniejszego obciążenia zaczął tworzyć abstrakcyjne, ale funkcjonalne skojarzenia. Może to właśnie stało się źródłem rozwoju kultury, sztuki i nauki – aktywności z początku nieoczywiście koniecznych dla biologii gatunku, ale dzięki którym nasz gatunek opanował świat.

IS: Czyli „mózg a zachowanie” jest uwarunkowane automatyzmami?

AW: W przeważającym stosunku. Gdyby zapytał mnie ktoś, czy kognitywna aktywność człowieka jest marginesem ewolucji, to bym nie oponował. Ewolucja nie jest celowa i z pewnością nie prowadziła do tego, żebyśmy umieli myśleć i rozwiązywać problemy. Te umiejętności, i zbudowana na ich bazie kultura, stały się możliwe dzięki skomplikowaniu ludzkiego mózgu, które pierwotnie miało służyć szybkiemu przystosowaniu się do zmieniających się warunków zewnętrznych. Nie można jednak powiedzieć, że mózg wykorzystał w tym celu jakąś „nadmiarową” część. W obiegowym pojęciu, utrwalanym czasem przez dziennikarzy, uważa się, że w wykorzystujemy jedynie 20% mózgu – to jest oczywisty błąd. Mózg niezależnie od tego czy patrzy się na białą ścianę z jedną czarną kropką (siedzącą muchą), czy kiedy rozwiązuje równanie różniczkowe Shroedingera zawsze działa w 100%. To, że tylko specyficzna część komórek jest w danej chwili aktywna, jest równie ważne jak to, że cała reszta – w kontraście – jest nieaktywna. Przenta tych aktywnych został źle zinterpretowany przez dziennikarzy ...

IS: że 20% mózgu jest wykorzystywane efektywnie ...

AW: Żaden układ złożony, w którym jednocześnie aktywne są wszystkie elementy nie mógłby działać. W ewolucji mózgu okazało się, że efektywne działanie wymaga jednoczesnej aktywności tylko jednej piątej neuronów.

IS: W swoim zespole ma Pan młodych naukowców. Jak się dzisiaj pracuje z młodymi ludźmi? Czy są wystarczająco przygotowani w macierzystych uczelniach do pracy w takich placówkach jak Instytut?

AW: Przez 12 lat pracowałem równoległe na uczelni, bo kontakt z młodymi ludźmi jest bardzo stymulujący. Na każdej uczelni, państwowej czy prywatnej, są błyskotliwi studenci, potencjalni pracownicy naukowcy, rzesza takich, którzy ją skończą i sprawdzą się w wyuczonym zawodzie oraz sporo takich, którzy nie powinni w ogóle studiować. Oczywiście kandydatów na doktorantów

wybieramy z tej pierwszej grupy. Przez ostatnich dwadzieścia lat obserwuję wielki postęp w ogólnym przygotowaniu studentów. Młodzi ludzie, którzy teraz do nas przychodzą na studia doktoranckie, po pierwsze mówią perfekcyjnie w języku angielskim, który jest podstawowym językiem w nauce; po drugie większość miała już jakieś doświadczenie badawcze, staże naukowe Erasmusa za granicą lub pracę na macierzystej uczelni; po trzecie są inteligentni, niezwykle ciekawi świata i chłonnie uczą się. Często zazdroszczę im możliwości rozwoju w nowym systemie. Chociaż myśmy mieli swoje wyzwania ...

IS: Czy neurofizjologia jest w centrum Pana zainteresowań, czy starcza czasu na coś innego, czy są jakieś inne dziedziny, które Pana fascynują, interesują?

AW: Przez dłuższy czas oddawałem się przede wszystkim nauce, ale im jestem starszy, tym bardziej zdaję sobie sprawę, że ta cegiełka, którą ustawiam w murze wiedzy, to nie jedyna istotna rzecz w życiu. Staram się cenić własne zadowolenie płynące w pierwszym rzędzie z życia rodzinnego. To jest niezwykle ważny element emocjonalny naszej egzystencji i stanowi dla niej pozytywny feedback, neuro, oczywiście.

IS: Czyli rodzina jako pierwszoplanowe źródło zadowolenia.

AW: Są jeszcze inne, dobra książka czy puszka Kaszubska, takie rzeczy też umiem doceniać.

Rozmawiała: Ilona Sadowska

**Profesor Andrzej Wróbel**, kierownik Pracowni Układu Wzrokowego w Instytucie Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego. Przewodniczący Komitetu Neurobiologii PAN. Był prezesem Polskiego Towarzystwa Badań Układu Nerwowego, długoletnim kierownikiem Zakładu Neurofizjologii Instytutu Nenckiego oraz członkiem zarządów międzynarodowych towarzystw: *International Brain Research Organization*, *European Neuroscience Association*, *European Brain and Behaviour Society*, *International Neuroinformatics Coordinating Facility*. Wypromował dziewięciu doktorów; opublikował 66 prac w czasopiśmie z listy ISI, 28 rozdziałów w książkach i podręcznikach, 37 publikacji popularnonaukowych, zredagował 6 monografii lub podręczników akademickich. Założyciel i kierownik Katedry Neurokognitywistyki w Szkole Wyższej Psychologii Społecznej w Warszawie, pierwszej w Polsce specjalności psychologicznej opartej na badaniach mózgu. Organizator zespołu neuroinformatycznego w Instytucie Nenckiego. Obecnie kieruje również konsorcjum do naukowych badań neurofeedbacku. Prowadzi badania nad dynamiką aktywności neuronalnej w systemach zmysłowych zwierząt i ludzi. Używając technik elektrofizjologicznych do zbierania danych oraz neuroinformatycznych metod ich analizy, koreluje reakcje komórek nerwowych i aktywność matych obwodów neuronalnych oraz większych systemów funkcjonalnych mózgu z ich kontekstem behawioralnym.



# Mario Botta – współczesny Człowiek Renesansu

*Uważany za przedstawiciela neomodernistycznego regionalizmu w architekturze jest jednocześnie jednym z najbardziej rozpoznawalnych twórców architektury europejskiej XX wieku. Jego działalność projektowa wywiera ogromny wpływ na architekturę światową.*

Niezwykle rzadko mamy okazję gościć w Polsce światowej sławy architekta. Dlatego otwarty wykład prof. Mario Botty, autora ponad stu zrealizowanych już projektów, stanowił unikatową możliwość zapoznania się z twórczością jednego z najbardziej rozpoznawalnych twórców architektury. Odczyt profesora pt. *Najnowsze realizacje* odbył się 10 czerwca 2014 r. w ramach Konwersatorium Politechniki Warszawskiej dzięki zaangażowaniu Wydziału Architektury PW, Centrum Studiów Zaawansowanych PW, przy współpracy Kieleckiego Oddziału SARP oraz Ambasady Szwajcarii w Warszawie. Zaproszenie twórcy zainicjował, zaprzyjaźniony z prof. Mario Botta, prof. Stefan Westrych, założyciel i kierownik Zakładu Architektury Współczesnej, Wnętrz i Form Przemysłowych Wydziału Architektury PW. Okazja spotkania światowej rangi architekta i urbanisty sprawiły, że zarówno autorkom artykułu, jak i pozostali słuchaczom tego wykładu udzieliła się atmosfera wyjątkowości wydarzenia i duże emocje. Radość sprawiła również liczna grupa zebranych, w tym kilku przedstawicieli Wydziału Architektury. Na spotkanie z twórcą przybyli między innymi: Dziekan Wydziału Architektury PW, prof. Stefan Wrona, prof. Konrad KuczaKuczyński i prof. Stefan Westrych.

Inspirujący dorobek profesora, opisywany w dalszej części artykułu, wymaga choćby krótkiego biogramu. Profesor Mario Botta urodził się 1 kwietnia 1943 r. w Mendrisio, Szwajcarskim kantonie Ticino, gdzie podobnie jak Le Corbusier, rozpoczynał swoją przygodę z architekturą jako kreślarz w studiu Carloniego i Camenisha w Lugano. Swoją pierwszą poważną projekt, przebudowę domu parafialnego w

Genestrerio, rozpoczął w wieku 16 lat – czterdzieści lat później dla tej samej parafii zaprojektował przebudowę wejścia do kościoła p.w. Św. Antonio Abate. Po skończeniu mediolańskiego liceum artystycznego i studiach w Instytucie Architektury na Uniwersytecie w Wenecji, w 1969 r. obronił pracę dyplomową (jego koreferentem był m.in. znany włoski architekt Carlo Scarpa).

Praktykę architektoniczną odbył w biurze Le Corbusiera. W czasie swojego pobytu w Wenecji miał okazję pracować z inną wybitną osobowością – przedstawicielem amerykańskiego modernizmu – architektem Louistem I. Kahnem.

Swoją praktykę architektoniczną otworzył w 1970 r. w Lugano.

Profesor Mario Botta jest znany na świecie z wielu interesujących projektów architektonicznych, nagradzanych licznymi międzynarodowymi nagrodami m.in.: *Chicago Architecture Award* w 1986 r. i *International Architecture Award* w 2007 (przyznaną przez Athenaeum

Museum of Architecture and Design), *Europejską Nagrodą Kultury Karlsruhe*, *Grande Ufficiale al Merito* Republiki Włoskiej w 2005, *European Union Prize for Cultural Heritage Europa Nostra* w Hadze w 2006. W 2010 r. fundacja Architecture + Design & Spectrum w Kuala Lumpur przyznała mu nagrodę *the Golden Award for Global Contribution in Architecture*.

Niezwykle ceniony za pracę dydaktyczną – był profesorem wizytującym w Ecole Polytechnique Federale w Lozannie w 1976 r., w Yale School of Architecture, w 1987 r. w New Heaven, USA oraz w Escuela de Altos Estudios del CAyC w Buenos Aires w 1989 r. W Szwajcarii, kraju, z którego pochodzi i gdzie rozpoczęła się jego kariera architekta, był pomysłodawcą utworzenia nowej uczelni – Akademii Architektury w Mendrisio. Jest honorowym członkiem wielu międzynarodowych instytucji kulturalnych, doktorem honoris causa kilku uniwersytetów w Argentynie, Brazylii, Grecji, Rumunii

15

→



→ Profesor Mario Botta wraz z profesorem Stefanem Westrychem z Wydziału Architektury PW



↑ Muzeum Sztuki Nowoczesnej MOMA, San Francisco

i w Szwajcarii. Od 1982 do 1987 był członkiem Federalnej Komisji Sztuk Pięknych w Szwajcarii. Od 1983 jest profesorem tytularnym w Szwajcarskich Szkołach Politechnicznych.

Ponadto, jak pisze o nim jego przyjaciel prof. Stefan Westrych:

*Kiedy się nad tym zastanawiam, dostrzegam kilka powodów mojej fascynacji osobowością twórczą Mario Botty. Jest to zarówno jego warsztat projektowy i niezwykle bogaty dorobek twórczy, jak i sam Mario Botta – człowiek bezpośredni, serdeczny, ciepły, otwarty...*

Przedmiotem prezentacji profesora na Politechnice Warszawskiej były projekty zrealizowane w ostatnich latach, większość nigdy niepublikowana w Polsce. Z dorobku obejmującego ponad 300 projektów dla klientów instytucjonalnych (szkół, bibliotek, muzeów, galerii i teatrów oraz obiektów kultu religijnego) czy indywidualnych (realizacje domów jedno- i wielorodzinnych, spa, zespołów budynków biurowych), mieliśmy okazję zapoznać się z najnowszymi realizacjami mistrza. Poniżej postaramy się przywołać kilka najważniejszych i najbardziej charakterystycznych dla twórcy realizacji. Najbardziej znanym

jest Muzeum Sztuki Nowoczesnej tzw. SF MOMA, zrealizowane w latach 1989–1995 w San Francisco. Charakterystyczna monumentalna bryła jednego z najbardziej rozpoznawalnych elementów przestrzeni tego miasta łączy w sobie proste ascetyczne formy geometryczne z niezwykle wyrafinowanym detalem. Wznoszącą się schodowo kompozycję prostopadłościennych ceglanych bloków przecina, umieszczona na planie koła, wieża w poziomych szaro-czarnych granitowych pasach z dachem – ukośną przeszkloną płaszczyzną doświetlającą wnętrze atrium.

Profesor Mario Botta jest mistrzem wtapiania nowoczesnej struktury w tkankę zabudowy historycznych miast. Udało się to również w przypadku MART – Muzeum Sztuki Nowoczesnej w Rovereto (miasto Pokoju i Sztuki niedaleko jeziora Garda) we Włoszech (1988–2002). Jest ono kompozycją przestrzenną wpisaną w istniejącą tkankę XVIII-wiecznego *corso*. Konstrukcja centralnego dziedzińca umożliwia jego doskonałe doświetlenie światłem słonecznym. Kopuła ze stali i szkła licząca 40 metrów wysokości odpowiada dokładnie wymiarowi kopuły rzymskiego

Panteonu. Nowoczesne fasady wykonano z kamienia nawiązującego do kolorystyki istniejących historycznych budynków publicznych i prywatnych. Budynek zachwyca lekkością.

*Szacunek dla otoczenia, niebywała dbałość o detal, szlachetny dobór materiałów oraz projektowanie „kompletne” od bryły budynku po mebel we wnętrzu – wszystko to powoduje, że dzieła Mario Botty są wyjątkowe, rozpoznawalne i ponadczasowe.*

– tak jego twórczość charakteryzuje prof. Stefan Westrych.

Przy projektowaniu galerii czy muzeum istotna jest, zdaniem Mario Botty, wzajemna koegzystencja dwóch przestrzeni. Pierwsza z nich, łatwo rozpoznawalna i umożliwiająca swobodną komunikację, jest przeznaczona dla widowni, uczestników, którzy mogą czuć się bohaterami spektaklu czy wydarzenia artystycznego. Druga – to przestrzeń, w której sztuka skupia uwagę na sobie. Budynek znika – dociera do nas tylko przekaz. W tej wewnętrznej, sekretnej przestrzeni, artysta mówi do widza. Wspaniałymi realizacjami tej idei są: Muzeum Bechtlera w USA czy



Muzeum Leeum w Korei Płd. Niewielkie muzeum w Charlotte, w Północnej Karolinie jest unikatową architekturą – rzeźbą w przestrzeni miejskiej. Czterokondygnacyjną strukturę bryły, z terakotowych elementów, podpartą kolumną akcentującą wejście, przenika szklany rdzeń, rozświetlający wnętrze. Z kolei zaprojektowane w Seulu muzeum z ekspozycją tradycyjnej sztuki koreańskiej, będące częścią założenia Samsung Museum of Arts tworzą dwie monumentalne bryły o terakotowych fasadach, zmieniające kolory w zależności od intensywności i kąta padania promieni słonecznych. Symbolika użytego przez M. Botte tradycyjnego materiału nawiązuje do sposobu wytwarzania koreańskiej ceramiki w zetknięciu dwóch żywiołów „ziemi” i „ognia”. Również współczesne rozwiązanie atyki wokół dachu na sześciobocznej bryle wykorzystuje elementy geometryczne formy fortecy – bastionu, który kryje dziedzictwo koreańskiej kultury.

Szacunek do przestrzeni, nawiązanie dialogu projektowanego obiektu z krajobrazem i wreszcie, kontemplacyjny

charakter wnętrz charakteryzują projekty budynków sakralnych autorstwa prof. Mario Botty. Widać to m.in. w takich realizacjach, jak: kościół św. Jana Chrzciciela w Mogno (1986–1998), katedra Zmartwychwstania Ewry, Francja (1992–1995), kościół pod wezwaniem bł. Jana XXIII w Sierate we Włoszech (1994–2004), kościół Santa Marie Nuovo w Terranuovo, Bracciolini (2005–2010), Synagoga i Żydowskie Centrum Dziedzictwa Cymbalista (1996–1998), kaplica Granato w Pekenjoch, w Finkenbergu (2011–2013), kościół Del Santa Volto w Turynie (2001–2006).

Ten ostatni projekt, najbardziej kontrowersyjny na zewnątrz, nawiązujący do postindustrialnego charakteru otoczenia, ma niezwykle rozwiązanie ołtarza. Jego tło stanowi olbrzymi relief z wizerunkiem twarzy z Całunu Turyńskiego, wykonany z horyzontalnych płyt granitowych ciętych pod kątem i polerowanych. Efekt osiągnięty przy zastosowaniu najnowszej techniki obróbki kamienia jest zaskakujący – światło wydobywa fragmenty twarzy Chrystusa, współtworzy tajemnicę

wewnętrznego sacrum, wpisana na stałe w mury kościoła.

Synagoga i Żydowskie Centrum Dziedzictwa Cymbalista wybudowane w Tel Aviwie są częścią kampusu uniwersyteckiego. Monumentalną budowlę tworzą dwa „bastiony” o kwadratowych podstawach. W tym domu spotkań, podzielonym wyraznie na dwie przestrzenie, do modlitwy oraz do czytania i komentowania Pisma, geometryczna struktura tworzy niezwykle symbolikę. Zaprojektowane dwa kwadratowe baldachy zawieszono są pod przeszklonymi przekryciami niczym żydowskie „weselne chupy”. Alabastrowe obramienie *Hekhal* – tradycyjne miejsce przechowywania zwojów Tory – przepuszcza promienie słoneczne do wnętrza, co daje dodatkowy efekt „nieziemskiego światła”.

Jedną z najciekawszych realizacji o charakterze sakralnym jest kaplica Granato w Pekenjoch, w Finkenbergu (region Zillertal w Austrii). Jej niezwykły kształt i nazwa związane są z nazwą miejscowego kamienia, który ma strukturę dwunastościanu. Przestrzenna

→

↓ Muzeum Sztuki Nowoczesnej MART, Rovereto | fot: profesor J. Stefańska

17





struktura tego miejsca modlitwy i skupienia, obłożona na zewnątrz płytami ze stali korten, emanuje niezwykłą siłą wyrazu. Wewnątrz, geometryczny kształt łagodzi drewno modrzewiowe.

Zastosowany tu sposób traktowania formy jako znaku graficznego w przestrzeni można również odnaleźć w realizacjach Mario Botty o innym charakterze, jak: winiarnia Chateau Faugeres w Saint Emilion we Francji (2005-2009) czy stacja kolejki górskiej z restauracją na ośmiobocznym podstavie na Monte Generoso w szwajcarskich Alpach (jeden z najnowszych projektów).

Nie sposób nie wspomnieć o Wellnes Centre Tschuggen Berg Oase, hotelowym spa w szwajcarskiej Arosie wybudowanym w latach 2003-2006, które jest jedną z najbardziej znanych realizacji tego typu obiektów na świecie. Schodzące z kamiennego zbocza przeszklone, organiczne struktury, rzeźbiarsko ukształtowane wnętrza, w których wykorzystano jedynie naturalne materiały, tworzą niepowtarzalną atmosferę odpoczynku w łączności z naturą. Podobny charakter ma SPA di Rigi w Kaltbadzie. Na płaskim tarasie z widokiem na Jezioro Czterech Kantonów zrealizowano ideę „mineralnego ogrodu” ze szklanymi kapsułami wprowadzającymi światło dzienne do wewnętrznych przestrzeni pokoi kąpielowych, zaprojektowanych w uporządkowanej modułowej strukturze. Club House „Agora” na koreańskiej wyspie Jeju (2005-2008) także został zaprojektowany na modularnej, kwadratowej siatce. Podobnie jak w poprzednich realizacjach udało się architektowi stworzyć przestrzenną rzeźbę wpisana w krajobraz. Szklana piramida, ścięta górą i wsparta na kamiennym, obustronnie podcięty „stylobacie”, nawiązuje do wulkanicznego charakteru wyspy. W środku ogromna 7-metrowej średnicy „kula” ze stalowych wstęg odbija światło, tworząc niezwykły element nocnego krajobrazu.

Studio Mario Botty zaprojektowało wiele znaczących budynków użyteczności publicznej, począwszy od własnej siedziby w Palazzo Fuoriporta w Mendrisio (2005-2011), biu centrali Campari wraz z budynkiem wielorodzinnym Residenze Sesto San Giovanni Sesto w okolicach Mediolanu (2004-2009) czy założenie urbanistyczne – kompleks budynków Area Ex - Appiani w Treviso (1994-2011). W Azji – bibliotekę nauk humanistycznych Uniwersytetu Tsinghua w Pekinie (2008-2011), biura Tata Consultancy Services w Noidzie w New Delhi

(1996-2002) i w Hyderabadzie (2001-2003) w Indiach.

Spośród tych najbardziej współczesnych realizacji należy wymienić także Hotel 12AT przy Hengshan Road w Shanghaiu (2007-2012). Jest on ciekawym, współczesnym rozwiązaniem fragmentu przestrzeni miejskiej – wewnętrzny dziedzińiec z eliptycznym ogrodem z tradycyjnym chińskim *secret garden* dla gości hotelu jest strefą intymną, której strzeże wielki portyk elewacji wejściowej, wpisujący się w historyczną zabudowę dzielnicy. Od 2012 r. Mario Botta pracuje nad jednym z największych projektów edukacyjnych LAFA (Lu Xun Academy of Fine Arts) w Shenyang w Chinach.

Twórczość profesora nie ogranicza się do architektury zewnętrznej i wynikających z jej założeń rozwiązań wnętrzarskich. W 1999 r., z okazji obchodów 400-lecia urodzin słynnego architekta Francesco Borrominiego, zaprojektował niezwykłą realizację przestrzenną – San Carlino. Jako scenograf, prof. Mario Botta ma na swoim koncie również wiele wystaw, od prezentacji dorobku Carla Scarpy w Wenecji w 1984 r., poprzez projekty obiektów na Triennale w Mediolanie czy wystawy tematyczne m.in. twórczości F. Durrenmatta w Zurychu w 1993 r. Jest on również projektantem przedmiotów codziennego użytku – m.in. lampy Shogun z 1985 r. i mebli – m.in. znanych w świecie designu Siede Primera i Seconda z 1982 r.

Podsumowaniem tego niezwykłego i inspirującego spotkania z prof. Mario

Botą w ramach Konwersatorium Politechniki Warszawskiej mogłaby być osobista refleksja prof. Stefana Westrycha:

*Fascynuje mnie także, poza architekturą, wachlarz twórczych zainteresowań Maria Botty: od malarstwa i scenografii po wzornictwo przemysłowe i filozoficzne dywagacje na temat istoty architektury. Na tym jednak nie koniec – Botta znajduje również czas, aby uczyć studentów projektowania w stworzonej przez siebie Akademii Architektury w Mendrisio, swoim rodzinnym miasteczku we włoskojęzycznym kantonie Ticino. Można pozazdrościć tamtejszym studentom...*

*Myszę, że Botta jest niezwykle rzadkim w naszych czasach uosobieniem współczesnego Człowieka Renesansu, żyjącego i pracującego w epoce komputerów, który jednak swoje wizje twórcze przekazuje w formie pełnych wrażliwości odręcznych szkiców tak jak robili to Jego wspaniali poprzednicy – Michelangelo Buonarroti i Leonardo da Vinci. Tak rodzi się Jego Architektura.*

#### BIBLIOGRAFIA

*Key Houses of the Twentieth Century*, Colin Davies, Laurence King Publishing 2006;

*Mario Botta. Serie di Architettura*, pod red. Emilio Pizzi, wyd. Zanichelli 2000;

*The World of contemporary architecture*, wyd. Konemann 2000;

*Mario Botta. Architetture 1980-2010*, wyd. Silvana Editoriale 2010;

*Mario Botta. Architecture and memory*, wyd. Silvana Editoriale 2013.

**Małgorzata Jodłowska**, mgr inż. architekt, mgr sztuki. Absolwentka Wydziału Architektury PW oraz Wydziału Architektury Wnętrz ASP. Była asystentką profesora Michała Gutta, obecnie prowadzi Pracownię Projektowania Wnętrz na Wydziale Architektury Wnętrz ASP oraz własną praktykę architekta-projektanta w pracowni STUDIOSTUDIO (wspólnie z arch. Wojciechem Godzińskim). Stypendystka AIESTE w Hiszpanii oraz TEMPUS w Holandii w Akademii Industrielle w Eindhoven w 1991 r. Pracowała m.in. dla firm budowlanych SKANSKA i „Trakon” oraz w pracowni „ARTA”.

**Beata Stelmach-Fita**, dr inż. architekt, urbanista, nauczyciel akademicki, autorka projektów budynków użyteczności publicznej, mieszkalnych, miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (w tym rejonu ul. Twardej i Poznańskiej w Warszawie). Prowadzi badania naukowe związane z porządkowaniem geoinformacji. Otrzymała rekomendacje Izby Architektów RP do prac w komisjach dotyczących tematu danych przestrzennych „zagospodarowanie przestrzenne” – 2014 r. Otrzymała w 2013 r. wyróżnienie za rozprawę doktorską. W latach 2010-2012 była stypendystką CSZ PW (CAS/16/POKL). Obecnie współpracuje z Wydziałem Architektury PW i innymi uczelniami wyższymi.

## PRZEWODZĄCE WŁÓKNINY TERMOPLASTYCZNE DO ZASTOSOWAŃ W LOTNICTWIE

mgr inż. Paulina Latko

### Kierunek → Wielka Brytania

Pamiętam bardzo dobrze swój pierwszy lot samolotem. Lipiec, trasa Kraków-Londyn, tanie bilety i pierwsza praca za granicą. Najpierw strach podczas oczekiwania w sali odlotów, a potem fascynacja podczas startu, lotu i lądowania. Zrodzony wówczas zachwyty towarzyszy mi już teraz w trakcie każdego lotu. Tak też było podczas mojej ostatniej podróży na trasie Warszawa-Londyn. Jednakże tym razem to nie Londyn był moim ostatecznym celem podróży a Coventry - mała miejscowość oddalona o ok. 150 km na północ od Londynu. Tam mieści się wybrany przeze mnie ośrodek badawczy - International Institute for Nanocomposite Manufacturing w Warwick University. Głównym czynnikiem, który wpłynął na wybór tego miejsca, były podejmowane tam zagadnienia związane z tematem mojej pracy doktorskiej. Ponadto, profesor, z którym kontaktowałam się przed przyjazdem i który był później moim opiekunem, jest cenionym uczonym w dziedzinie nanokompozytów przewodzących. Dodatkowo, dostępna aparatura i możliwość pobytu w kraju anglojęzycznym przyczyniły się do wzrostu zainteresowania właśnie tym ośrodkiem.

### Samoloty i pioruny

Wróćmy jednak do samolotów, które w obecnych czasach stały się prawie tak powszechnym środkiem transportu jak autobusy. Według Międzynarodowego Zrzeszenia Przewoźników Powietrznych (IATA) co 4 sekundy gdzieś na świecie startuje samolot i zdarza się, że w jednej przestrzeni powietrznej może znajdować się równocześnie 25 000 samolotów. Ludzie przemierzają tysiące kilometrów w zaledwie parę godzin. Wygoda, szybkość i bezpieczeństwo to hasła, które przemawiają za coraz częstszym wybieraniem samolotów, jako środka komunikacyjnego. Dane IATA podają również, że wskaźnik wypadków lotniczych dla krajów Unii Europejskiej wynosi 1: 1 miliona, zaś prawdopodobieństwo zderzenia dwóch samolotów jest równe zeru. Oczywiście jest fakt, że wypadki samolotowe się zdarzają, ale znacznie rzadziej niż np. wypadki samochodowe. Ich przyczyny mogą być związane z wadami maszyny, błędami

pilota lub czynnikami zewnętrznymi, np. złą pogodą. Jednym z takich czynników pogodowych jest burza i możliwość uderzenia pioruna w samolot. Nie słyszymy o nich zbyt często, ale się zdarzają. Jeden z nich pokazano w programie z cyklu Katastrofy w przestworzach - była to historia lotu Pan Am 214.

Boeing 707-121 lecący z Baltimore do Filadelfii w wyniku uderzenia pioruna w lewe skrzydło i zapalenia się znajdującego tam paliwa runął na ziemię. Zginęło 81 osób. Podobnie, lot LANSA 508 w wyniku uderzenia pioruna tym razem w prawe skrzydło i zapalenia paliwa runął w Peru. Katastrofy te miały miejsce w latach 70. ubiegłego wieku, dlatego zastosowana w nich ochrona przeciw piorunowa pozostawiała wiele do życzenia. W miarę upływu lat, samoloty były modernizowane tak, aby ochrona przed piorunami była coraz skuteczniejsza.

Wydawało się, że zagrożenie uderzeniem pioruna zniknęło, zwłaszcza w odniesieniu do dużych nowoczesnych samolotów. Jednak w 2009 roku zdarzył się kolejny wypadek. W samolot francuskiej linii lotniczych Air France uderzył piorun, powodując zwarcie w instalacji elektrycznej. Maszyna runęła do Oceanu Atlantyckiego z 228 osobami na pokładzie. Dwa lata później, największy wówczas samolot Airbus A380 został uderzony piorunem na lotnisku w Londynie z 500 osobami na pokładzie. W tym wypadku nie doszło do żadnej awarii i lot okazał się szczęśliwy, ale zagrożenie wystąpiło. Ochrona przeciw piorunowa w samolotach opiera się częściowo na zasadzie puszki Faradaya (ekran) zbudowanej z metalu, przez który nie wnika pole elektryczne. Oznacza to, że korpus samolotu ulega naładowaniu, ale ludzie wewnątrz nie odczuwają tego. Konstrukcje dzisiejszych samolotów stosują osłonę elektrostatyczną w postaci gęstej siatki metalowej, taśm metalicznych, czy cienkich folii. Ma to umożliwić ochronę nie tylko osób siedzących w środku, ale także urządzeń elektronicznych.

### Kompozyty polimerowe

Od dłuższego czasu widać wielkie zainteresowanie nowymi materiałami konstrukcyjnymi, które mogłyby poprawić właściwości użytkowe samolotów.

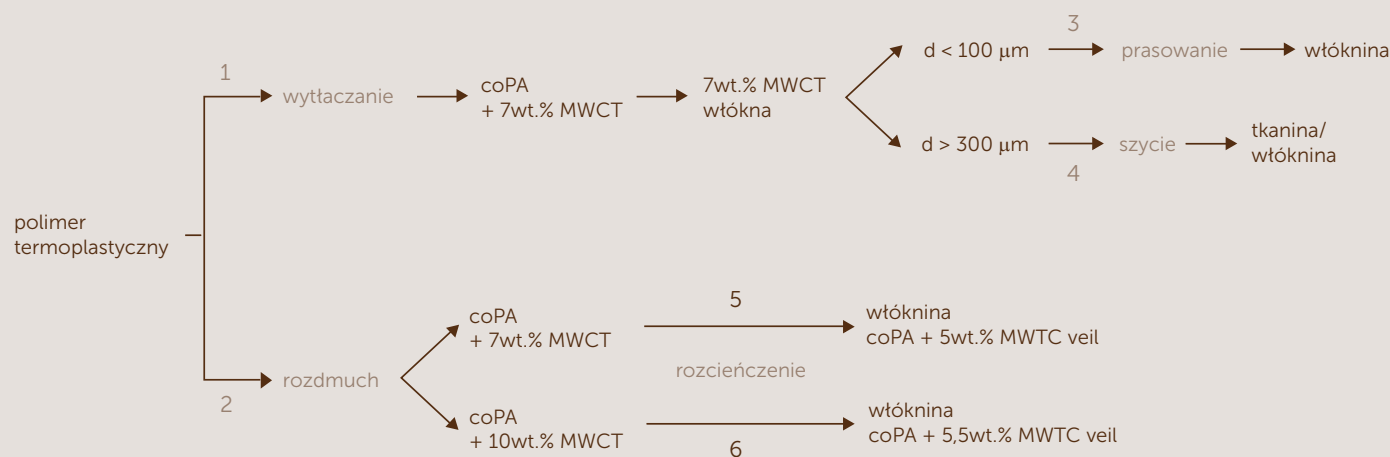
Ich głównym zadaniem jest obniżenie całkowitej masy samolotu, co przekłada się na efektywniejsze zużycie paliwa, a tym samym na obniżenie kosztów transportu. Ponadto, poprawie może ulec wytrzymałość maszyny, a także jej aerodynamika. Żeby osiągnąć te cele, szereg prac badawczych skupionych jest na otrzymywaniu kompozytów polimerowych, czyli połączeniu polimeru z drugim składnikiem o innych właściwościach. Polimer stanowi osnowę dla rozproszonego w niej napelnacza. Ze względu na możliwość zastąpienia cięższych elementów konstrukcyjnych wykonanych głównie ze stali czy aluminium, kompozyty polimerowe znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle lotniczym. Przykładowo, udział kompozytów polimerowych w Boeingu 787 to 50%, a w Airbusie A350 XWB prawie 52%. Nowe trendy w dziedzinie kompozytów polimerowych obejmują zastąpienie napelnaczy występującymi w skali mikro, znacznie mniejszymi, których przynajmniej jeden wymiar mieści się w przedziale nano ( $10^{-9}$  m). Takie kompozyty zwane są nanokompozytami i otwierają nowe możliwości aplikacyjne.

### Idea i założenia

Podsumowując... konstrukcje samolotowe mają już ochronę przeciw piorunową w postaci metalowych siatek, folii czy taśm. Jednak dąży się do obniżenia masy nowoczesnych samolotów przez użycie kompozytów polimerowych. Zatem należałoby stworzyć materiał, który mógłby zabezpieczać samolot przed uderzeniami pioruna, a przy tym byłby lekki, ale wytrzymały. I właśnie to jest idea mojej pracy: stworzenie termoplastycznego nanokompozytu polimerowego o właściwościach przewodzących, który mógłby być w łatwy sposób przetworzony do produktu użytkowego.

Potrzebny był materiał konstrukcyjny zdolny zastąpić miedziane siatki używane obecnie w samolotach. Idealnym kandydatem okazał się nanokompozyt powstały przez zmieszanie polimeru z przewodzącym nanododatkiem. Na wstępie postawiono warunki, co do właściwości materiału wyjściowego.





↑ Sposoby otrzymania włókien z nanorurkami węglowymi

Zgodnie z nimi, wybrany materiał powinien cechować się temperaturami topnienia między 110 a 130°C, właściwościami włóknotwórczymi, a w końcu polepszać właściwości przewodzące i mechaniczne gotowego laminatu (kompozytu warstwowego).

#### Od granulatu do laminatu

Materiałami wyjściowymi do otrzymania nanokompozytu były komercyjnie dostępne kopoliamidy (coPA) spełniające postawione wymagania a dodatkowo mające właściwości lepkie. Jako nanonapełniacz wybrano wielościenne nanorurki węglowe (MWCT). Schematycznie można opisać je jako zwinięte pojedyncze płaszczyzny grafitu. Nanorurki węglowe, dzięki swoim niezwykle właściwościom, stały się cennym dodatkiem do wielu polimerów. Charakteryzuje je moduł Younga równy ok. 1,2 TPa, wytrzymałość 45-200 GPa i przewodnictwo elektryczne ( $10^3$ - $10^5$  S/m) – znacznie wyższe w porównaniu np. do miedzi. Kopoliamidy zostały zmieszane z MWCT w ilości 7 lub 10% wag. i dostarczone przez partnerów projektów (Nanocyl, Belgia). Otrzymano nanokompozyt o strukturze mikro z widocznymi na powierzchni MWCT. W trakcie trwania projektu testowano różne techniki otrzymywania przewodzącej włókniny (ang. *veil*), które ostatecznie doprowadziły do osiągnięcia postawionego celu. Zastosowano dwie technologie. Pierwsza z nich,

laboratoryjna, obejmuje najpierw produkcję włókien z kopoliamidu z dodatkiem MWCT techniką wytłaczania, a następnie ich prasowanie lub tkanie do produktu finalnego. Z kolei druga, półprzemysłowa, odbywa się przy użyciu techniki wytłaczania z rozdmuchem.

Technologia ta jest znacznie szybsza niż wytłaczanie i prasowanie w skali laboratoryjnej, a uzyskane w ten sposób tkaniny mają splecione włókna o małych średnicach.

Końcowym etapem procesu było sprawdzenie zachowania się wyprodukowanej tkaniny w procesie otrzymywania laminatu. Próby zostały wykonane przez partnerów projektu. Włókniny z nanorurkami użyto jako międzywarstwy pomiędzy warstwami wzmocnienia z tkanin węglowych. Następnie wykonano infuzję ciekłej żywicy. Zastosowana podczas utwardzania temperatura doprowadziła do stopienia tkaniny termoplastycznej, która dzięki swoim właściwościom działa jak klej łączący poszczególne warstwy laminatu.

Uzyskany w ten sposób laminat stanowi nowatorski materiał konstrukcyjny dla przemysłu lotniczego. Dalsze badania obejmują monitoring właściwości przewodzących i mechanicznych materiałów na poszczególnych etapach produkcji. Niemniej jednak wstępne wyniki są obiecujące dla realizacji kolejnych zadań projektu, a dla mnie stanowią motywację do dalszej pracy

nad termoplastycznymi włókninami z nanorurkami węglowymi.

*Przedstawione rezultaty są realizowane w ramach dwóch europejskich projektów o akronimach SARISTU - Smart Intelligent Aircraft Structures i ELECTRICAL - Novel Aeronautical Multifunctional Composite Structures with Bulk Electrical Conductivity and Self-Sensing capabilities.*

#### BIBLIOGRAFIA

- <http://www.samoloty.pl/noweSamoloty/>  
<http://www.iata.org/Pages/default.aspx>  
 K. McDaniel, R.J. Downs, H. Meldner, C. Beach, Ch. Adams, Copyright © 2009 by Cubic Tech Corp  
 P. Balocchi, M. Fogel, P. Parlevliet, R. Walsh, SAMPE Conference  
 V. Udmale, D. Mishra, R. Gadhave, D. Pinjare, R. Amgar, Oriental Journal of Chemistry - Vol. 29, No.3, pp. 927-936, 2013  
 Z. Lewandowski, A. Ziabicki, L. Jarecki, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Vol. 15, No. 5 - 6 (64 - 65), 2007  
 K. Song, Y. Zhang, J. Meng, E.C. Green, N. Tajaddod, H. Li, M.L. Minus, Materials, 6, 2543-2577, 2013  
 P. Pötschke, H. Brüning, A. Janke, D. Fischer, D. Jehnichen, Polymer 46, 10355, 2005  
 I. Alig, P. Pötschke, D. Lellinger, T. Skipa, S. Pegel, G.R. Kasaliwal, T. Villmow, Polymer 53, 4-2, 2012  
 P.J. Hogg, Material Science and Engineering A - 412, 97-103, 2005  
 C. LoFaro, A. Abusafieh, W.E. Webb, M. Doyle, US Patent, 0252334 A1, 2006  
 K. Song, Y. Zhang, J. Meng, E.C. Green, N. Tajaddod, H. Li, M.L. Minus, Materials, 6, 2543-2577, 2013  
 Z. Spitalsky, D. Tasis, K. Papagelis, C. Galiotis, Progress in Polymer Science 35, 357-401, 2010  
 V. Safarova, J. Greg, 7<sup>th</sup> International Conference - TEXSCI 2010  
 S. Rebouillat, M.E.G. Lyons, Int.J.Electrochem.Sci., 6, pp. 5731-5740, 2011

{ **Mgr inż. Paulina Latko**, doktorantka na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej w Zakładzie Materiałów Ceramicznych i Polimerowych. Posiada podwójny stopień mgr. inż. zdobyty na Politechnice Krakowskiej i Fachhochschule Muenster w Niemczech. Jej zainteresowania to kompozyty i nanokompozyty na bazie polimerów, szczególnie te przewodzące prąd elektryczny. Stypendystka CSZ w ramach konkursu CAS/35/POKL na naukowe stypendia wyjazdowe. }

# EMULSJE WIELOKROTNE DO ENKAPSULACJI I UWALNIANIA SUBSTANCJI BIOLOGICZNIEM I CHEMICZNIEM AKTYWNYCH

dr hab. inż. Ewa Dłuska

## Wprowadzenie

Emulsje wielokrotne to hierarchicznie zorganizowane układy rozproszone o strukturze „kropel w kroplach”, utworzone przez nierozpuszczalne w sobie ciecze. Układy takie nazywane są niekiedy „emulsjami podwójnymi”. Struktura wewnętrzna emulsji wielokrotnych jest dużo bardziej złożona niż powszechnie znanych, prostych układów emulsyjnych i wymaga odpowiednich metod wytwarzania (rys. 1). Układy rozproszone składają się z jednej lub kilku faz rozproszonych (kropel, cząstki stałe czy pęcherzyki gazowe) oraz z fazy ciągłej (ciecz, gaz). Występują jako naturalne w przyrodzie lub powstają w wyniku działania człowieka, ze względu na potrzebę ich praktycznych zastosowań.

Oprócz znanych klasycznych układów rozproszonych typu zawiesin, pian, emulsji prostych czy aerozoli, obiektami coraz większego zainteresowania stają się układy mniej znane, takie jak: mikroemulsje, nanozawiesiny i nanoaerozole, struktury micelarne i lamelarne, liposomy oraz ciekłe lub stałe hierarchicznie zorganizowane układy, w których występuje kilka wzajemnie rozproszonych faz ciekłych, stałych lub gazowych. Do tej grupy należą emulsje wielokrotne, składające się w najprostszej postaci z trzech faz ciekłych: wewnętrznej, środkowej i zewnętrznej. Faza wewnętrzna występuje w postaci kropelek zawartych w większych kroplach fazy środkowej, które z kolei rozproszone są w zewnętrznej fazie ciągłej emulsji (rys. 1). Duże krople fazy środkowej pełnią funkcję ciekłej membrany układu, oddzielającej składniki małych kropelek wewnętrznych od fazy zewnętrznej emulsji. Możliwa jest też obecność kolejnych faz rozproszonych (kropelek) w takich układach.

Emulsje wielokrotne charakteryzują się dużą powierzchnią międzyfazową i funkcjonalną strukturą, która umożliwia m.in. zamykanie (enkapsulację) składników aktywnych (leki, kosmetyki, materiał biologiczny, np. komórki macierzyste i inne) w rozproszonej fazie wewnętrznej i ich selektywne uwalnianie z określoną szybkością, kontrolowaną parametrami fizykochemicznymi i rozmiarem kropelek stanowiących przepuszczalną membranę ciekłą. Struktura emulsyjna pozwala też na zwiększenie trwałości preparatów, oddzielnie reagujących ze sobą składników, ich ochronę przed negatywnym wpływem środowiska, zamaskowanie smaku i zapachu oraz zmniejszenie lotności składników zamkniętych, ich toksyczności czy palności, a także łatwe przekształcanie do innych postaci np. mikro/nanocząstek oraz żeli.

Główne kierunki badawcze i zastosowania emulsji wielokrotnych związane są z medycyną, biotechnologią, przemysłem farmaceutycznym, chemicznym (selektywny transport składnika), kosmetycznym i spożywczym oraz z ochroną środowiska (usuwanie metali ciężkich i zanieczyszczeń organicznych, paliwa ekologiczne). W zakresie medycyny i farmacji można wymienić zastosowania emulsji wielokrotnych m.in. do kontrolowanego uwalniania leków w terapiach antynowotworowych, chemioterapii, dostarczaniu antygenów, leków trudno rozpuszczalnych w wodzie, leczeniu choroby alkoholowej czy detoksykacji.

## Tematyka i zainteresowania naukowo-badawcze

Zakres badawczy i tematyka dotyczące emulsji wielokrotnych należą do kierunku rozwojowego *Nowe Technologie i Materiały*, który reprezentuje

interdyscyplinarny charakter i wiąże prace badawczo-naukowe z zakresu inżynierii chemicznej i procesowej, bioinżynierii, biologii, matematyki i fizyki oraz inżynierii materiałowej. W ramach tej tematyki, nad którą pracuję od szeregu lat, zajmujemy się w naszym zespole, a także w ramach współpracy z ośrodkami z Polski i z zagranicy, następującymi zagadnieniami szczegółowymi (rys. 2):

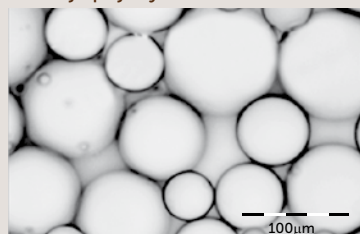
- wytwarzaniem emulsji wielokrotnych opatentowaną metodą jednostopniową, oryginalną na tle tradycyjnych metod dwustopniowych, w kontaktorze/biokontaktorze) z przepływem Couette'a-Taylor'a (przepływ helikoidalny) oraz ich chemiczno-termicznego utrwalania do postaci stałej, tj. mikrosfer;
- enkapsulacją (zamykaniem) składników aktywnych (np. leki, komórki/komórki macierzyste) w strukturze emulsji wielokrotnych;
- badaniami mechanizmów i szybkości uwalniania jednego oraz kilku leków jednocześnie enkapsulowanych w strukturze emulsji wielokrotnych i z ich postaci stałej, tj. z mikrosfer;
- modelowaniem procesu uwalniania składnika aktywnego z emulsji wielokrotnych oraz nano- i mikrosfer;
- ekstrakcją emulsyjną zanieczyszczeń typu fenole i metale ciężkie, w tym ekstrakcją emulsyjną z reakcją chemiczną realizowaną jako proces zintegrowany w reaktorze helikoidalnym.

W ostatnim czasie bardzo duże znaczenie w terapiach antynowotworowych i medycynie regeneracyjnej oraz w walce z chorobami Alzheimera,

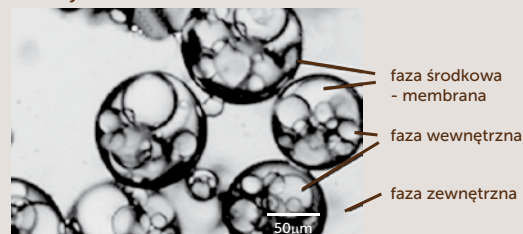
{21}

Rys.1. Emulsje proste typu W/O i wielokrotne typu  $O_1/W/O_2$  wytwarzane w biokontaktorze helikoidalnym w laboratorium badawczym Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej PW (O- faza organiczna, W-faza wodna,  $O_1$ - faza organiczna 1,  $O_2$ - faza organiczna 2)

emulsja pojedyncza



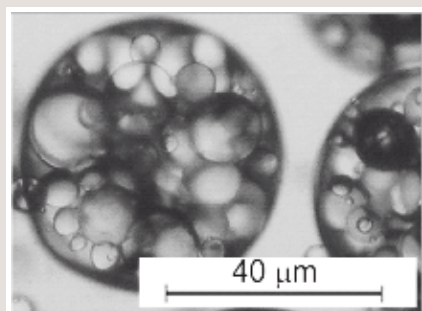
emulsja wielokrotna



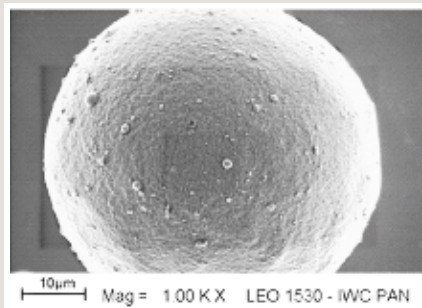


Parkinsona, wątroby czy serca oraz udarami pełnią komórki macierzyste. W związku z tym wciąż poszukiwane są nowe bionośniki komórek, zapewniające ich wysoką przeżywalność. Można tu wymienić opracowane niedawno bionośniki typu *core-shell* z ciekłymi rdzeniami. Zapewniają one większą przeżywalność komórek w porównaniu do tradycyjnych stałych matryc 3D dzięki swobodnej migracji komórek, łatwemu dostępowi do składników odżywczych i czynników

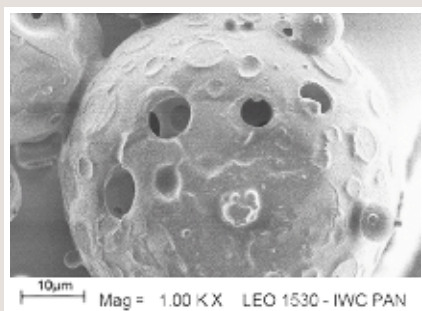
↑ uwalnianie składnika (leku)  
z emulsji wielokrtonych



↓ utrwalanie / żelowanie



↓ uwalnianie składnika (leku)  
z mikrosfer



↑ Rys. 2. Emulsje wielokrotne i mikrosfery do badań uwalniania leku/komórek macierzystych, wytwarzane w laboratorium badawczym Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej PW

wzrostu oraz łatwości odprowadzania produktów ubocznych. Tematyka dotycząca opracowania nowych bionośników komórek/komórek macierzystych z ciekłymi rdzeniami była przedmiotem moich badań w Instytucie Inżynierii Biomedycznej Uniwersytetu Oksfordzkiego.

#### Instytucja zapraszająca - Uniwersytet Oksfordzki

Zespół zapraszający działa jako Oksfordzkie Centrum Inżynierii Tkanekowej i Bioprocessowej Uniwersytetu w Oksfordzie. Centrum zajmuje się opracowaniem warunków działania bioreaktorów do hodowli różnych kultur komórek stosowanych do odbudowy i regeneracji chorych i uszkodzonych tkanek (ścięgna, skóra, chrząstki - międzykręgowe, stawowe i kostne). Zespół prowadzi też badania procesów oczyszczania bioproduktów terapeutycznych, w tym z wykorzystaniem technologii membranowych, a także badania wymiany masy w układach rozproszonych gaz-ciecz w procesach natleniania w bioreaktorach. Ważnym profilem działalności Centrum Oksfordzkiego jest opracowywanie technik umożliwiających wykorzystanie komórek macierzystych, tj. technik kontroli i kierunków pozaustrojowego różnicowania komórek macierzystych (tzw. ekspansja *ex vivo*) oraz badanie możliwości ich potencjalnych zastosowań terapeutycznych, w tym do badań toksykologicznych leków. Zespół pracuje też nad technikami obrazowania i monitorowania metabolizmu komórek i ich funkcji w tworzeniu tkanek, w tym różnicowania komórek macierzystych. Laboratoria Oxfordzkiego Centrum wyposażone są w najnowszy sprzęt specjalistyczny np. konfokalny mikroskop multifotonowy, umożliwiający bezinwazyjne, precyzyjne i przestrzenne obrazowanie dowolnej wielkości preparatów (np. tkanek) bez potrzeby ich specjalnego przygotowania. Kolejnym obszarem badawczym jest opracowywanie i rozwój technologii kriokonserwacji komórek, zapewniających zachowanie funkcji żywych komórek, co jest istotne dla zwiększenia dostępności komórek w badaniach klinicznych. Centrum ma duże doświadczenie w enkapsulacji komórek, w tym komórek macierzystych. Można tu wymienić prace tamtejszego zespołu dotyczące m.in. wpływu metody enkapsulacji macierzystych komórek mezenchymalnych (np. zwierzęce komórki macierzyste szpiku kostnego, ludzkie komórki krwi pępowinowej lub tkanki tłuszczowej)

na ich różnicowanie i przeżywalność, oraz cykl prac dotyczących mezenchymalnych komórek macierzystych jako narzędzia terapeutycznego w regeneracji tkanek i narządów. Inżynieria tkankowa to dziedzina interdyscyplinarna. Mój udział, jako przedstawiciela inżynierii chemicznej i procesowej, wpisywał się w aktualny profil działalności zespołu w zakresie nowych metod i sposobów realizacji procesu enkapsulacji materiału biologicznego.

#### Badania prowadzone w ramach pobytu w ośrodku zagranicznym

W trakcie pobytu zajmowałam się analizą możliwości wykorzystania emulsji wielokrotnych jako nowych ciekłych bionośników komórek macierzystych. Celem badań było opracowanie składu i wytworzenie stabilnych emulsji wielokrotnych zdolnych do enkapsulacji (zamykania) w swojej strukturze materiału biologicznego oraz określenie jego żywotności w porównaniu do klasycznych rozwiązań, obejmujących enkapsulację komórek w alginianowych mikrosferach lub zawiesinie. Jako materiał biologiczny analizowane były linie komórkowe wykorzystywane w badaniach różnicowania się komórek, tj. sklonowane komórki raka mózgu (neuroblastoma), mysie macierzyste komórki embrionalne (mESCs) oraz ludzkie mezenchymalne komórki macierzyste pochodzące z tkanki tłuszczowej. Badania wstępne wykazały wyższy o ok. 11% stopień przeżywalności komórek zamykanych w ciekłych rdzeniach (kropole wewnętrzne emulsji wielokrotnej) w porównaniu do tradycyjnych stałych nośników matrycowych - 3D i potwierdziły, że emulsje wielokrotne mogą stanowić doskonałe mikrośrodowisko do przechowywania i badań komórek macierzystych. W przypadku materiału biologicznego każdy wzrost stopnia przeżywalności ma znaczenie. Zwiększenie przeżywalności komórek macierzystych umieszczonych w bionośniku emulsyjnym wynika z „elastyczności” ciekłych rdzeni oraz z większej efektywności transportu składników odżywczych i możliwości usuwania metabolitów do zewnętrznego medium przez ciekłą fazę membranową emulsji. Aktualnie tematyka ta jest kontynuowana w szerszym aspekcie badań eksperymentalnych i modelowania procesu uwalniania substancji biologicznie i chemicznie aktywnych z emulsji wielokrotnych w ramach współpracy z Zespołem z Uniwersytetu w Oksfordzie. W trakcie pobytu

w Oksfordzkim Centrum Inżynierii Tkankowej i Bioprocessowej sprawowałam opiekę nad dwoma pracami doktorskimi w zakresie modelowania uwalniania leków z nanostrukturyzowanych biomateriałów. Wyjazd pozwolił mi na nawiązanie współpracy z wiodącym w świecie partnerem w ramach bardzo istotnej i interesującej, interdyscyplinarnej tematyki dotyczącej rozwoju nowych metod leczenia chorób cywilizacyjnych. Miałam też możliwość zapoznania się z system i metodami kształcenia w ośrodku goszczącym.

## BIBLIOGRAFIA

A. Markowska-Radomska, E. Dłuska, 2014. *Enkapsulacja materiału i substancji biologicznie aktywne w emuljach wielokrotnych*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 53, 4, 274-275;

A. Markowska-Radomska, E. Dłuska, 2012. *The Multiple Emulsion Entrapping Active Agent Produced via One-Step Preparation Method in the Liquid-Liquid Helical Flow for Drug Release Study and Modeling*,

Colloid and Polymer Science: Progress in Colloid and Polymer Science, 139, 29-34;

E. Dłuska, A. Markowska-Radomska, 2010. *A mathematical model for predicting release rate from multiple emulsions and micro/nanospheres*, Chemical Engineering and Technology, 33, 1471-1480;

A. Aserin, 2008. *Multiple emulsions: Technology and Applications*, J.Wiley & Sons, USA.

{ Dr hab. inż. Ewa Dłuska, pracuje w Zakładzie Kinetyki i Termodynamiki Procesowej Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej. Stypendystka CSZ w ramach konkursu CAS/30/POKL o naukowe stypendia wyjazdowe dla nauczycieli akademickich. }

## NOWE NANOHYBRYDOWE SORBENTY GRAFENOWE DO ZASTOSOWAŃ W FILTRACJI WODY PITNEJ

dr inż. Agnieszka Jastrzębska

### Wprowadzenie

Nanomateriały wykazują wiele unikatowych właściwości fizykochemicznych, które czynią je szczególnie atrakcyjnymi czynnikami aktywnymi w procesach oczyszczania wody. W odniesieniu do masy mają znacznie większą powierzchnię i aktywność biologiczną powierzchni niż ich odpowiedniki objętościowe. Nanomateriały mogą być również sfunkcjonalizowane przez różne grupy chemiczne, które umożliwiają manipulację ich właściwościami.

Spośród licznej grupy nanomateriałów dużą uwagę w ostatnim czasie zyskał grafen i jego formy pochodne m.in. tlenek grafenu. Grafen charakteryzuje się unikatowymi właściwościami, tj. bardzo dobrym przewodnictwem ciepła, niezwykle małą rezystancją oraz dużą twardością przy jednoczesnej dużej elastyczności. To sprawia, że istnieje wiele możliwości jego zastosowania, zwłaszcza w dziedzinach z grupy *high-tech*.

Jednak z punktu widzenia możliwości modyfikacji chemicznych forma utleniona grafenu jest znacznie bardziej przydatna. Tlenek grafenu charakteryzuje się obecnością na swojej powierzchni grup tlenowych, które mogą wchodzić w różne reakcje chemiczne. Ta właściwość sprawia, że może być wykorzystywany np. w procesach oczyszczania wody. Przykładem takiego zastosowania jest zaprojektowana w ostatnim czasie membrana do nanofiltracji, składająca się z warstw tlenku grafenu połączonych specyficznymi grupami chemicznymi, co pozwala na zastosowanie w systemach oczyszczania i odsalania

wody metodą odwróconej osmozy. Zaletą grafenu w tym przypadku jest brak rozpuszczalności w wodzie oraz selektywność w stosunku do większości niepożądanych jonów, zanieczyszczeń i mikroorganizmów (rys. 1).

Zacznijmy jednak od początku. Najczęściej stosuje się uogólniony podział nanomateriałów mogących znaleźć zastosowanie w oczyszczaniu wody na cztery podstawowe klasy: (1) nanocząstki zawierające w swoim składzie metale; (2) nanomateriały węglowe; (3) zeolity; (4) dendrymery. Wszystkie charakteryzują się szerokim zakresem właściwości fizykochemicznych, użytecznych w procesach oczyszczania wody, z których najważniejszymi są: znacznie rozwinięta powierzchnia właściwa oraz wysoka bioaktywność. Przyjmując te właściwości za kryterium podziału, nanomateriały funkcjonalne można z kolei podzielić na dwie inne grupy: (1) nanosorbenty oraz (2) materiały bioaktywne.

### Nanosorbenty

Sorbenty są znane od lat i obecnie szeroko stosowane jako media separacyjne wykorzystywane do usuwania z wody zanieczyszczeń nieorganicznych, organicznych oraz bakterii. Nanosorbenty zaś oferują znacznie większą powierzchnię właściwą i lepszą aktywność sorpcyjną. Prowadzone są prace nad zastosowaniem w układach sorpcyjnych nanomateriałów takich jak: nanorurki węglowe, tlenek ceru naniesiony na powierzchnię nanorurek węglowych, nanoporowate tlenki metali czy chemicznie aktywowane włókna węglowe.

Jednocześnie brakuje danych dotyczących zastosowania grafenu i tlenku grafenu jako materiału adsorbującego bakterie. Dlatego też uzasadnione są działania podejmowane w celu zdobycia i pogłębienia wiedzy na ten temat.

### Materiały bioaktywne

Do oczyszczania wody z bakterii szeroko stosuje się silne utleniacze, takie jak chlor. Mechanizm dezaktywacji patogenu za pomocą chloru i jemu podobnych środków obejmuje (1) upośledzenie funkcji komórkowej patogenu i zniszczenie jej głównych składników (na przykład ściany komórkowej); (2) ingerencję w procesy metaboliczne; (3) hamowanie wzrostu patogenów poprzez blokowanie syntezy podstawowych składników komórkowych (np. DNA, koenzymów i białek ściany komórkowej). Niestety chlor ma tendencję do generowania toksycznych produktów ubocznych dezynfekcji, takich jak trihalometany, kwas halogenooctowy i aldehydy. Dlatego poszukiwane są alternatywne środki dezynfekcyjne.

### Poszukiwanie nowych materiałów

Bezprecedensowe możliwości opracowywania nowej generacji materiałów dezynfekcyjnych niezawierających w swoim składzie chloru i innych szkodliwych związków, dają nanomateriały. Badania wykazały, że nanocząstki MgO skutecznie niszczą bakterie Gram-dodatnie i Gram-ujemne (*Escherichia coli*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*). Również nanocząstki srebra są szeroko



wykorzystywane jako dodatek biobójczy do różnego rodzaju produktów mających zastosowanie biomedyczne, jak i produktów użytku codziennego. Skuteczność biobójczą potwierdzono dla nanosrebra przeciwko *Escherichia coli*, włókien celulozy pokrytych nanocząsteczkami Ag przeciwko *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* i *Pseudomonas aeruginosa*. Badania, które prowadziłam w ramach stypendium dla doktorantów i swojej rozprawy doktorskiej, wykazały, że także nanocząstki  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ag}$  wykazują skuteczne działanie przeciwko szczególnie *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* i *Bacillus subtilis*.

Innym kierunkiem poszukiwań jest bioaktywność grafenu i jego tlenku. Otrzymane do tej pory wyniki badań nad ich działaniem w stosunku do mikroorganizmów wskazują, że w przyszłości będą one mogły znaleźć zastosowanie jako materiały bakteriobójcze, niszczące bakterie. Przykładowo, jedne z ostatnich doniesień wskazuje, że tlenek grafenu zredukowany do grafenu z wykorzystaniem hydrazyny jest bardziej toksyczny dla bakterii niż tlenek niezredukowany. Do tej pory sprawdzano działanie tlenku grafenu na bakterie: *S. aureus* (ostre krawędzie grafenu niszczą ściany komórek bakterii), *E. coli* (wyniki nie są jednoznaczne, ponieważ znacznie grubsza ściana komórkowa nie ulega tak łatwo uszkodzeniu) oraz *Shewanella* (ze względu na ich oryginalną zdolność do transferu elektronów generowanych w trakcie oddychania beztlenowego wykorzystano je do tzw. „zielonego” procesu redukcji tlenku grafenu do formy zredukowanej).

Materiały na bazie grafenu, a zwłaszcza nanokompozyty, z uwagi na swoje szczególne właściwości syntezowane są obecnie różnymi metodami i pod kątem różnych zastosowań. Nanocząstki

Pt i Pd, Au Ag i Sn osadzano na powierzchni grafenu, wykorzystując metodę bezpośredniej dekoracji z koloidalnej zawiesiny nanocząstek. Nanocząstki  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  i  $\text{ZnO}$  наносono na powierzchnię grafenu, korzystając z tzw. metody solvothermalnej. Jednakże jak dotąd spośród powyższych materiałów jedynie nanokompozyty o składzie grafen-Ag były badane pod kątem bakteriobójczości. Nie sprawdzano ich przydatności do filtracji wody pitnej.

#### Mechanizm filtracji mikroorganizmów

Na podstawie literatury możemy wyróżnić dwa mechanizmy odpowiedzialne za filtrację mikroorganizmów w trakcie przepływu wody przez porowate medium sorpcyjne: retencyjny oraz adsorpcyjny. Mechanizm retencyjny polega na fizycznym zablokowaniu dalszego ruchu bakterii przez pory mniejsze niż średnica ich komórek. Na ten proces wpływ mają: rozmiar cząstek porowatych, wielkość komórek bakteryjnych i ich kształt, stopień nasycenia wodą i zapychanie materiału filtracyjnego. Mechanizm adsorpcji dominuje w porowatych nośnikach, których pory są większe niż komórki bakteryjne. W wielu doświadczeniach zaobserwowano, że adsorpcja stanowi ważny mechanizm wpływający na transport bakterii w ośrodkach porowatych.

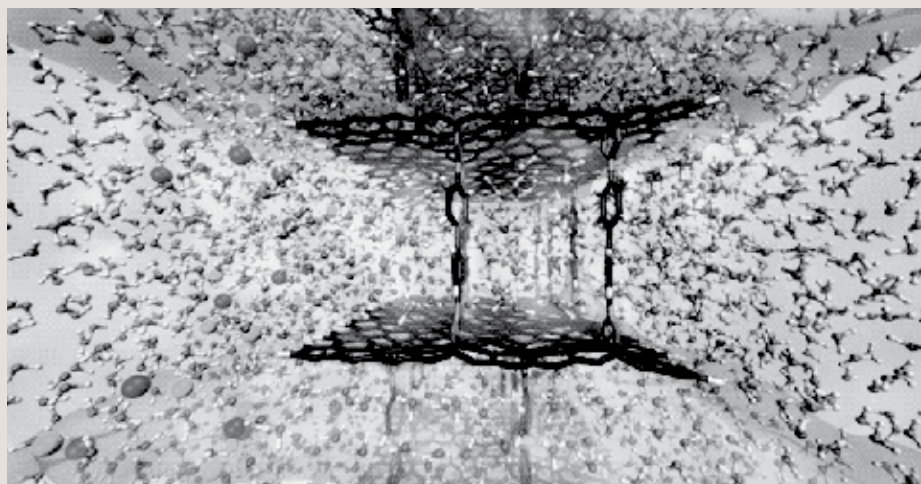
Generalnie, czynniki, które mogą wpływać na adsorpcję komórek bakteryjnych na nośniku porowatym można podzielić na trzy grupy: (1) fizyczne (morfologia i właściwości fizyczne nośnika porowatego, obecność materii organicznej w filtrowanej wodzie, temperatura i prędkość przepływu wody); (2) chemiczne (siła jonowa roztworu, rodzaje obecnych jonów i pH); (3) czynniki mikrobiologiczne (chemotaksja, rodzaj i ilość ładunków elektrostatycznych na

powierzchni komórek bakteryjnych, stężenie i żywotność bakterii).

Czynnikiem determinującym i regulującym przepływ bakterii jest wielkość cząstek materiałów filtracyjnych w postaci sypkiej. Mniejsze cząstki mają bardziej rozwiniętą powierzchnię właściwą i dzięki temu, oferują więcej dostępnych centrów aktywnych dla adsorpcji. Mają ponadto wielkość porównywalną z rozmiarami komórek bakteryjnych. To sprawia, że mechanizmem ograniczającym ruch bakterii w przypadku nanomateriałów filtracyjnych powinien być mechanizm retencyjny. Zakres, w którym bakterie są zatrzymywane poprzez odkształcenie, jest odwrotnie proporcjonalny do wielkości cząstek materiału filtracyjnego. Znaczenie dużej powierzchni właściwej i porowatość nanomateriału filtracyjnego jest tym bardziej istotna, że usprawnia proces adsorpcji poprzez obniżenie szybkości desorpcji a także zwiększenie aktywnej powierzchni filtracyjnej.

#### Filtracja bakterii a ładunek elektrostatyczny

Obecna wiedza pozwala także na stwierdzenie, że ładunek elektrostatyczny (potencjał zeta) materiału filtracyjnego może również wpływać na elektrostatyczne przyciąganie bakterii przez materiały filtracyjne. Jednak pomimo dużej liczby przeprowadzonych badań, adsorpcja bakterii przez materiały filtracyjne pozostaje wciąż skomplikowanym problemem. Wynika to z faktu, że komórka bakteryjna jest skomplikowana ze strukturalnego punktu widzenia. Mechanizm adsorpcji bakterii na powierzchni ciała stałego jak dotąd najlepiej opisuje teoria DLVO (Derjaguin, Landau, Verwey, Overbeek) jako wzajemne oddziaływanie sił van der Waals'a i oddziaływań elektrostatycznych pochodzących z komórki i stałej powierzchni. Można więc zakładać, że adsorpcja bakterii może zajść tylko wtedy, gdy jej komórka pokona elektrostatyczne siły odpychające między nią a powierzchnią materiału i w rezultacie, fizycznie zetknie się z powierzchnią materiału. W późniejszym czasie teoria DLVO została rozszerzona o interakcje kwas-zasada, ściśle związane z wartością pH, zależną od konkretnego środowiska. Niektóre dane literaturowe sugerują, że ładunek elektrostatyczny na powierzchni drobnoustrojów może wynikać z dysocjacji różnych grup nieorganicznych (grupy karboksylowe i aminowe), znajdujących się na zewnętrznej powierzchni i usytuowane w głębszych warstwach ściany komórkowej. W takim



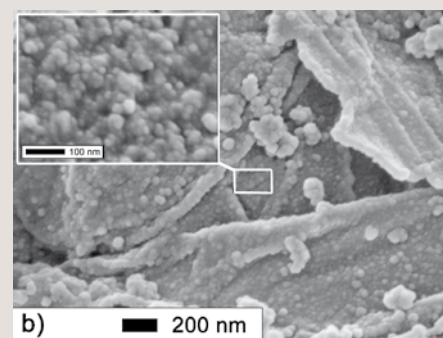
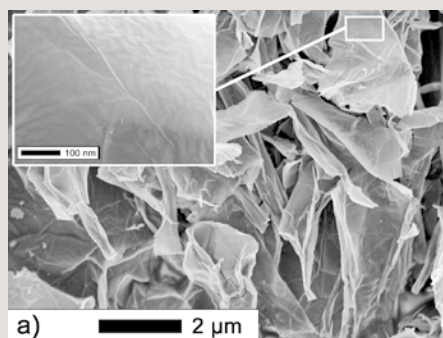
↑ Rys. 1 Wizualizacja membrany z modyfikowanego grafenu, mającej zastosowanie do systemów odwróconej osmozy [<http://www.ornl.gov>]

wypadku będą to grupy nadające lokalny ładunek ujemny lub dodatni ścianie komórkowej bakterii. Potencjał zeta natomiast będzie opisywał sumaryczną wartość ładunku powierzchniowego komórki zrównoważoną przez zaadsorbowane z otoczenia jony. Jeśli założymy, że liczba ładunków dodatnich i ujemnych zrówna się w wyniku dodawania jonów  $H_3O^+$  (kwasu) lub  $OH^-$  (zasady), otrzymamy wartość zerową ładunku, czyli punkt izoelektryczny. Dla większości gatunków bakterii punkt izoelektryczny znajduje się w zakresie pH 1,5-4,0 i jest zależny od fazy i szybkości wzrostu komórek.

Komórki bakteryjne znajdujące się w środowisku neutralnym (pH ok. 7) mają zwykle ujemny ładunek powierzchniowy, czyli ujemną wartość potencjału zeta. Ciała stałe zanurzone w wodzie również w większości przypadków będą wykazywać ładunek ujemny na powierzchni. Ładunek ten zależy od stopnia jonizacji atomów powierzchniowych oraz ilości zaadsorbowanych jonów z wody. Zarówno jonizacja, jak i adsorpcja jonów, podobnie jak w przypadku żywych komórek bakteryjnych, będzie zależna od pH roztworu. Można więc oczekiwać, że materiały filtracyjne mające największą różnicę w wartości potencjału zeta w stosunku do bakterii będą wykazywały najlepszą adsorpcję. Ciekawe wyniki uzyskano dotychczas w badaniach adsorpcji bakterii do naturalnych glinokrzemianów. Stwierdzono, że efektywność adsorpcji bakterii spadała wraz ze zmniejszaniem się ich potencjału zeta. Stwierdzono ponadto, że dobra adsorpcja ujemnie naładowanych komórek bakterii do cząstek glinokrzemianów jest wynikiem dodatniego ładunku występującego na brzegach płaskich cząstek o strukturze płytkowej.

#### Nanocząstki ceramiki i metali – badania własne

W swojej pracy badawczej, praktycznie od początku doktoratu oraz w ramach stypendium dla doktorantów CAS/8/POKL, aż do teraz, zajmuję się charakteryzacją nanocząstek ceramiki, metali oraz różnymi metodami ich wytwarzania. W szczególności zainteresowały mnie ich właściwości bioaktywne, które zależne są zarówno od morfologii i struktury jak i właściwości fizykochemicznych. Z punktu widzenia adsorpcji bakterii, ze względu na swoją strukturę płytkową oraz niejednorodnie występujące tlenowe grupy funkcyjne, ciekawym materiałem jest tlenek grafenu. Charakteryzuje się



↑ Rys. 2 Obrazy powierzchni: a) - tlenku grafenu; b) - tlenku grafenu z naniesionymi nanocząstkami  $Al_2O_3$ , uzyskane techniką skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM)

on niejednorodnym rozmieszczeniem ładunków na powierzchni. Biorąc pod uwagę możliwość modyfikacji powierzchni różnymi nanocząstkami ceramiki i metali, stanowi również dobry materiał wyjściowy do manipulacji jego właściwościami powierzchniowymi.

Dzięki stypendium dla młodych doktorów uzyskanym z CSZ w ramach konkursu CAS/32/POKL miałam możliwość przeprowadzenia wstępnych prac badawczych mających na celu rozpoznanie możliwości modyfikacji właściwości powierzchniowych tlenku grafenu poprzez pokrycie go nanocząstkami ceramiki i metali szlachetnych i wytworzenie nowego materiału – nanohybrydowych materiałów sorpcyjnych. Nanohybrydowe sorbenty grafenowe są całkowicie nowym materiałem, który dotychczas nie był charakteryzowany. Na zdjęciach przedstawiłam morfologię przykładowego układu grafen/ $Al_2O_3$ . Na gładkiej powierzchni tlenku grafenu widać osadzone nanocząstki  $Al_2O_3$ , tworzące jednolitą warstwę (rys. 2b). Unikatowe na skalę światową zastosowanie metody zol-żel do wytwarzania opisanych materiałów, umożliwia manipulację nie tylko ich morfologią, strukturą i fizykochemią powierzchni, ale także składem chemicznym, co pozwoliło na otrzymanie materiałów o różnej charakterystyce elektrostatycznej powierzchni, mającej wpływ na mechanizm sorpcji bakterii. Obecnie zajmuję się badaniem mechanizmu adsorpcji bakterii na powierzchni opracowanych sorbentów grafenowych, który może się różnić od poznanego dotychczas dla innych rodzajów materiałów.

Patrząc z perspektywy czasu, mogę uznać, że oba stypendia uzyskane z Centrum Studiów Zaawansowanych stanowiły dla mnie duże wsparcie w planowaniu dalszych badań nad nowymi materiałami, w tym poznanie ich właściwości oraz rozpoznanie możliwości aplikacyjnych. Osiągnięte

wyniki i poczynione plany zaowocowały otrzymaniem dofinansowania z Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu nr UMO-2013/09/D/ST8/04001, którego jestem kierownikiem. Tematyka badawcza, którą się zajmuję, jest konkurencyjna w stosunku do badań obecnie prowadzonych nie tylko w krajach Unii Europejskiej, ale także Chinach, Stanach Zjednoczonych czy Japonii. Wkład z prowadzonych prac do istniejącego stanu wiedzy niewątpliwie przyczyni się do rozwoju wielu dyscyplin nauki istotnych dla poprawy jakości życia człowieka a także umożliwi bardziej dynamiczny rozwój cywilizacji. Osiągnięcia naukowe niniejszej pracy znajdą także w przyszłości praktyczne wykorzystanie. Umożliwią bowiem zaprojektowanie i wytworzenie biofiltrów nowej generacji na bazie opracowanych nanohybrydowych grafenowych materiałów sorpcyjnych, charakteryzujących się stabilnymi i łatwymi do modyfikowania właściwościami filtracyjnymi, dzięki którym będą one mogły dalej znaleźć zastosowanie w różnych technologiach filtracji wody.

{ Dr inż. Agnieszka Jastrzębska,  
Pracuje na Wydziale Inżynierii  
Materiałowej PW w Zakładzie  
Materiałów Ceramicznych  
i Polimerowych. Stypendystka  
CSZ w ramach konkursu CAS/8/  
POKL na stypendia naukowe dla  
doktorantów oraz CAS/32/POKL  
dla młodych doktorów. Obecnie  
kierownik projektu badawczego  
nr UMO-2013/09/D/  
ST8/04001 dofinansowanego  
z Narodowego Centrum Nauki. }



## ZAGRANICZNY STAŻ NAUKOWY - INSPIRACJA NAUKOWA I NIE TYLKO

dr inż. Rafał Wróblewski

Głównym celem mojego pobytu w College of Engineering of Boise State University (COEN BSU), Idaho, USA, było wytworzenie 3-, 4- i 5-składnikowych mokoryształów, na bazie fazy Heuslera  $Ni_2YZ$ , przy użyciu metody Bridgmana-Stockbargera oraz opanowanie tej techniki w celu wykorzystania jej na Wydziale Inżynierii Materiałowej PW.

Dlaczego Bridgman, a nie Czochralski? Przecież będąc wychowankiem i obecnie pracownikiem Politechniki Warszawskiej, powinienem próbować promować i wykorzystywać wynalazek Profesora naszej *Alma Mater*. Niestety metoda Czochralskiego nie jest odpowiednia dla stopów Heuslera  $Ni_2YZ$ , głównie ze względu na znaczną zawartość manganu, gdyż wysoka prężność par powoduje jego ucieczkę z ciekłego stopu, będącego nieodłącznym elementem tej metody. W procesie wykorzystującym metodę Bridgmana mamy zaś do czynienia z zamkniętym tygłem, co w dużej mierze zapobiega ubytkowi manganu w trakcie krystalizacji. Badane materiały mają zastosowanie do wytwarzania elementów z magnetyczną pamięcią kształtu. Na ich bazie budowane są aktuatory uruchamiane polem magnetycznym, tłumiki drgań czy też mikropompy podające dokładnie odmierzone ilości płynów – ten ostatni wynalazek jest efektem działań badaczy z COEN BSU i stosowany może być w medycynie czy budowie tzw. *lab-on-chip*.

Stopy  $Ni_2YZ$  mogą być też wykorzystane jako aktywne regeneratory ciepła w urządzeniach do chłodzenia opartych na efekcie magnetokalorycznym. Zjawisko to jest od kilkunastu lat bardzo intensywnie badane, gdyż potencjalne korzyści są ogromne – wyeliminowanie gazów, cyklu sprężania-rozsprężania oraz podniesienie sprawności procesu grzania-chłodzenia mogłyby doprowadzić do znaczących oszczędności zużycia energii, w skali globalnej sięgających nawet 6%. Ponadto w ciągu ostatnich kilku lat pojawiły się publikacje dowodzące, że monokryształy wykazujące anizotropię magnetostrukturalną mogą się charakteryzować również anizotropią właściwości magnetokalorycznych, którą można wykorzystać do uproszczenia konstrukcji chłodziarek magnetycznych.

Skąd wybór uniwersytetu mającego swoją siedzibę w półpustynnym stanie o populacji ok. 1,5 mln ludzi? Otóż w tej jednostce znajduje się pracownia materiałów magnetycznych, prowadzona przez dra Petera Müllnera, która jako jedna z niewielu na świecie potrafi wytwarzać wspomniane monokryształy na skalę niemal przemysłową. Poza nią nad tymi materiałami pracują grupy w Niemczech, Hiszpanii czy Ukrainie, lecz żadna z nich nie potrafi wytworzyć kryształu mierzącego kilkadziesiąt milimetrów. Ponadto grupa dra Müllnera z COEN BSU jest jedyną skłoną podzielić się swoją wiedzą i doświadczeniem, czego dowodzi lista naukowców wizytujących tę jednostkę, znajdujących się w TOP 10 badaczy poświęconych stopom Heuslera, takich jak: Kari Ullakko, Volodymyr Chernenko czy Antoni Planes. Podczas mojego pobytu w COEN BSU gościem był też dr Feng Chen, z Harbin Institute of Technology. Na uwagę zasługuje również fakt, iż w maju zakończyła działalność fińska firma AdaptaMat, która jako jedyna na świecie prowadziła produkcję i sprzedaż monokryształów  $NiMnGa$ . Powstała zatem luka na rynku, o której wypełnienie można się pokusić, np. uruchamiając przedsiębiorstwo *spin-off* we współpracy z Politechniką Warszawską. Zadanie to powinno być o tyle ułatwione, że w Zakładzie Materiałów Konstrukcyjnych i Funkcjonalnych WIM PW już trwają prace nad modyfikacją stanowiska do krystalizacji metodą Bridgmana i przystosowania go do pracy nad stopami Heuslera. Ostatnim elementem układanki jest know-how przywieziony z COEN BSU.

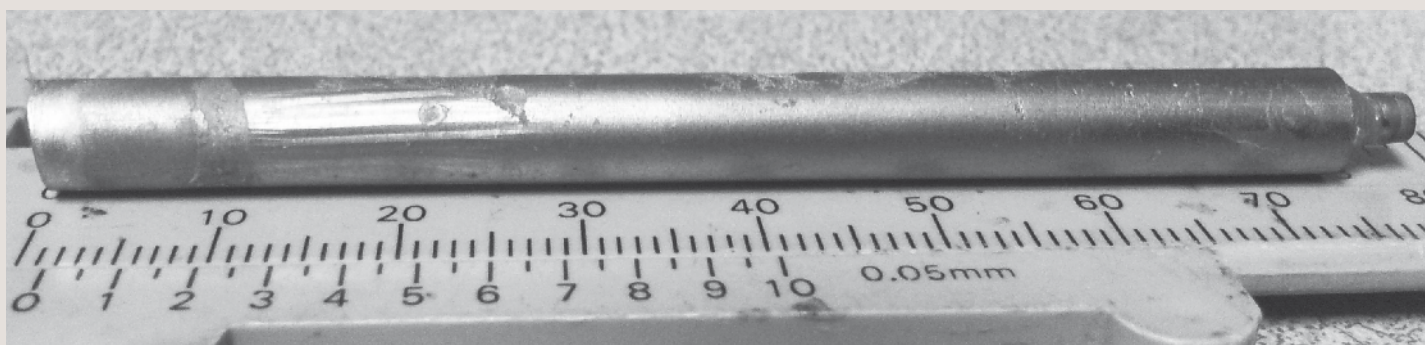
W ciągu dwóch pierwszych tygodni miałem za sobą wszelkie szkolenia związane z bezpieczeństwem i higieną pracy, prowadzone głównie on-line, jak też dotyczące obsługi urządzeń badawczych i mogłem przystąpić do badań wytworzonych monokryształów. Pierwszy proces okazał się sukcesem – 4-składnikowy monokryształ (na zdjęciu) miał pożądaną strukturę oraz stabilny skład chemiczny na 2/3 swojej długości, czyli ok. 50 mm. Badania magnetyczne ujawniły istnienie fazy martenzytycznej w temperaturze pokojowej oraz 3 przemian różnego

typu, zachodzących powyżej 340 K. Z naukowego punktu widzenia taki kryształ jest bardzo ciekawy, gdyż stwarza możliwość badania zjawiska magnetokalorycznego nie tylko w zależności od orientacji krystalograficznej, ale też dla przemian magnetostrukturalnych 1. i 2. rzędu.

W trakcie mojego pobytu udało się wytworzyć jeszcze sześć monokryształów 4- i 5-składnikowych zawierających kobalt, miedź i cynę. Przeprowadzone badania ujawniły występowanie w nich całej gamy struktur charakterystycznych dla stopów Heuslera: martenzytu i austenitu tak ferro- jak i paramagnetycznego. Oprócz tego otrzymałem do badań kryształ o składzie rzeczywistym  $Ni_{51,6}Mn_{26,4}Ga_{22}$ . Wycięte z niego trzy sześciennie próbki posłużyły do badań wpływu orientacji krystalograficznej oraz martenzytu o różnej modulacji – 10 i 14 M – na wielkość efektu magnetokalorycznego. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów i obliczeń udało się napisać artykuł pt.: *Magnetocaloric properties in various martensitic structures in Ni-Mn-Ga magnetic shape memory alloys* (autorzy: Rafał Wróblewski, Marcin Leonowicz, Eric Rhoads, Peter Müllner), przyjęty na konferencję ICAS2014: 25nd International Conference on Adaptive Structures and Technologies. Publikacja jest pierwszą z serii poświęconej monokryształom na bazie fazy  $Ni_2YZ$  przeznaczonych do chłodzenia magnetycznego.

Korzyścią pierwszorzędного znaczenia wynikającą z odbytego stażu jest poznanie technologii wytwarzania monokryształów ze stopów Heuslera, jednakże nie do przecenienia jest nawiązanie kontaktów z pracownikami oraz studentami COEN BSU. Zdobyte w ten sposób znajomości mogą zapoczątkować w przyszłości współpracę w ramach projektów badawczych czy też działań o charakterze komercyjnym – należy pamiętać, że nauka w USA jest bardzo ściśle związana z przemysłem i nakierowana na osiągnięcie efektów, które można zastosować w życiu codziennym.

Oprócz doświadczeń czysto naukowych, staż zagraniczny dostarcza wiedzy o funkcjonowaniu innych jednostek naukowych czy naukowo-dydaktycznych. Co przede wszystkim



↑ Pierwszy produkt - monokryształ o składzie nominalnym Ni50 Mn18,75 Cu6,25 Ga25

zadziwia po przyjeździe do USA, to ogromna życzliwość i bezpośredniość ludzi, wynikająca z gramatyki języka angielskiego, niezależnie od zajmowanego stanowiska. Nie oznacza to jednak, że przyjeżdżający na amerykański uniwersytet będzie niańczony – duży nacisk kładziony jest na samodzielność przy jednoczesnym, dość ścisłym, podziale obowiązków. Tak więc, nie musiałem spędzać godzin na wypełnianiu formularzy – jedyne miejsce, gdzie musiałem udać się osobiście w celach administracyjnych, to biuro przepustek, w którym dostałem kartę identyfikacyjną będącą jednocześnie legitymacją, kartą dostępu do wybranych biur i laboratoriów oraz biletom na komunikację miejską. Ciekawostką jest to, że znaczna część obiektów uniwersyteckich obsługiwana jest przez studentów, a nie pracowników etatowych. Jeśli chodzi o podział obowiązków, to przyjemnie zostałem zaskoczony przez pracowników administracyjnych COEN BSU, którzy na moje pytanie: czy powinienem samodzielnie wyjaśnić jakąś sprawę związaną z zakwaterowaniem stwierdzili, że moim zadaniem są badania, a oni zajmą się „papierologią”. Nie trzeba wyjaśniać, że bardzo ułatwiało to pracę badawczą i skupienie się na problemach naukowych.

Co do samodzielności to jest ona możliwa dzięki dość łatwemu dostępowi do urządzeń badawczych – po kilkugodzinnym szkoleniu i sprawdzeniu możliwe było uzyskanie dostępu do mikroskopu elektronowego, dyfraktometru rentgenowskiego czy magnetometru. Takie podejście umożliwiło ułożenie indywidualnego planu badań dostosowanego do postępów pracy w laboratorium wzrostu kryształów. Tu po raz kolejny uwidoczniła się różnica między uczelniami polską i amerykańską. U nas większość urządzeń obsługiwana jest przez pracowników technicznych lub doktorantów,

zaś tam głównymi użytkownikami są studenci. Zaangażowanie studentów przejawia się również uczestnictwem w projektach badawczych, w których odgrywają oni niepoślednią rolę. Są pełnoprawnymi członkami zespołów badawczych, poświęcają minimum 20 godzin tygodniowo na pracę na rzecz COEN BSU i dostają za to wynagrodzenie. Można rzec, że uniwersytet jest ich pierwszym miejscem pracy, gdzie zdobywają doświadczenie pod okiem kadry naukowej. Z rozmów przeprowadzonych z tymi młodymi, pełnoprawnymi pracownikami uniwersytetu wynika, że taka aktywność podczas studiów jest bardzo wysoko oceniana przez pracodawców i znacząco ułatwia zdobycie pracy po ukończeniu nauki.

Pozostając przy studentach i studio-waniu – godną uwagi jest interdyscyplinarność amerykańskich uniwersytetów. Podczas studiowania na kursie inżynierskim można uczestniczyć w zajęciach o profilu humanistycznym, zaś studiując sztuki piękne, nikt nie zabroni nam uczęszczać na zajęcia z grafiki inżynierskiej. Bardzo ciekawe są wykłady z tzw. *Foundation course* przeznaczone dla wszystkich studentów jak i doktorantów. Niezdecydowanym pomagają obrać właściwą ścieżkę edukacji, zaś tym o konkretnych preferencjach ukazują różne aspekty ich przyszłej działalności. Przykładem takiego wykładu jest *Invention and Discovery in History and Society*, prowadzony przez dwóch wykładowców: inżyniera oraz historyka, przedstawiający wpływ wynalazków i odkryć na historię oraz społeczeństwo. Wykład ma postać złożoną z trzech części: wykład głoszony przez nauczycieli, dyskusja oraz *last but not least*, studentom przydzielane są projekty realizowane w grupach.

Piszę o tych pozanaukowych aspektach mojego pobytu w COEN BSU, gdyż sam jestem nauczycielem akademickim i bardzo interesujące wydają

mi się niektóre rozwiązania dotyczące „wciągania” studentów zarówno w tok studiowania, jak i do pracy przy projektach badawczych – taki przedsmak prawdziwej pracy wydaje się niezłym pomysłem na ich aktywizację wobec trudnego rynku pracy w Polsce i Europie.

Podsumowując – mój staż w Boise State University dał mi możliwość poznania technologii monokryształizacji stopów Heuslera, pozwolił nawiązać kontakty i współpracę z naukowcami amerykańskimi oraz otworzył oczy na możliwości drzemące w naszym, skostniałym nieco, systemie nauczania.

{ Dr inż. Rafał Wróblewski, adiunkt na Wydziale Inżynierii Materiałowej PW w Zakładzie Materiałów Konstrukcyjnych i Funkcjonalnych. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na badaniach stopów z magnetyczną pamięcią kształtu, metalicznych materiałów porowatych oraz dawnych metodach otrzymywania i obróbki stopów żelaza. Stypendysta CSZ w ramach konkursu CAS/34/POKL na naukowe stypendia wyjazdowe dla nauczycieli akademickich. Prywatnie interesuje się jazdą konną, odtwarzaniem kultury materialnej średniowiecza, ASG }



# Projekt: Bezpieczeństwo i obronność kraju

*Realizacja projektów związanych z obronnością i bezpieczeństwem na Politechnice Warszawskiej*

Prace badawcze i rozwojowe związane z obronnością i bezpieczeństwem zawsze były i są nadal wiodącym czynnikiem rozwoju technologicznego. Mamy wprawdzie dzisiaj dziedziny takie jak telekomunikacja, w której rozwój technologii cywilnych, dzięki masowemu zastosowaniu, potrafi wyprzedzić technologie militarne. Jednak prace na rzecz obronności i bezpieczeństwa są niezaprzeczalnym motorem postępu technicznego. Poszczególne kraje, aby utrzymać się w tym wyścigu, muszą angażować weń swoje najlepsze ośrodki badawcze.

Badania na rzecz obronności mają duże znaczenie dla gospodarki narodowej. Polska jest krajem, który na skutek wojen i komunizmu jest opóźniony w rozwoju gospodarczym względem krajów zachodnich, nieposiadającym własnych wielkich korporacji, o dochodach obywateli kilkakrotnie niższych niż na zachodzie Europy. W dzisiejszym świecie ten dystans gospodarczy można nadrobić jedynie przez rozwój technologii i innowacyjności. W dobie globalnego rynku dochody uzyskiwane przez pracowników w Polsce zależą od wartości, jaką przedstawia wykonywana przez nich praca w jej międzynarodowym podziale. Konkurowanie niskimi zarobkami jest może korzystne dla wielkich korporacji, ale nie dla przeciętnego Kowalskiego. Trudno zresztą sobie wyobrazić, abyśmy konkurowali w tym zakresie z Chinami, Indiami czy Bangladeszem. Stąd konieczność rozwijania branż, w których wartość wykonywanej pracy będzie wysoka, aby znaleźć odpowiednie miejsce w jej międzynarodowym podziale. Przemysł obronny niewątpliwie do takich należy.

W wyniku przemian gospodarczych ostatnich lat większość krajowego przemysłu znalazła się w rękach zagranicznych koncernów. Ich ośrodki badawcze zazwyczaj znajdują się za granicą – w Polsce pozostawiono jedynie wytwórczość. Tego procesu nie przeszedł krajowy przemysł obronny. Jest on obecnie w złej kondycji i stale jest poddawany coraz to nowym procesom

restrukturyzacyjnym. Brak mu nowych produktów i technologii. Jest jednocześnie zbyt słaby finansowo i niestabilny organizacyjnie, aby rozwinąć własne szerokie zaplecze badawcze. Stąd jest tu duże pole do działalności ośrodków naukowych. Jako pracownik Politechniki Warszawskiej pozwolę sobie na stwierdzenie, że jest to nie tylko nasza szansa, ale również obowiązek wobec państwa. Działalność tę warto podjąć, ponieważ przemysł obronny ma większe szanse na rozwój technologiczny w kraju niż inne branże. Pozostaje w polskich rękach państwowych lub prywatnych. Reguły rządzące rynkiem uzbrojenia pozwalają na jego częściową ochronę przed konkurencją.

Przy odpowiednich działaniach rządu i mniejszej uległości wobec zagranicznego lobbingu, może on stać się kołem zamachowym naszej gospodarki oraz dać Polsce szansę na udział w wyścigu technologicznym a polskim inżynierom i technikom ciekawą, rozwijającą pracę za godziwe wynagrodzenie. Nie można oczywiście zapomnieć, że powodzenie całego procesu zależy od nowych opracowań i tu olbrzymia rola uczelni i ośrodków badawczych. Tylko współpraca z jednostkami naukowymi może zagwarantować krajowym wytwórcom uzbrojenia opracowanie odpowiedniego sprzętu dla własnej armii oraz możliwość eksportu. Doświadczenia i analizy rynku światowego wykazały,

↓ Pojazd do wykrywania min zaprojektowany i wykonany na Politechnice Warszawskiej



że zdolności eksportowe mają tylko takie systemy, których technologie zostały opracowane i w całości są kontrolowane w kraju. Podczas gdy eksport produktów, w których część istotnych technologicznie podzespołów nie jest produkowana w kraju, jest łatwy do zablokowania i przez to praktycznie niemożliwy. Każda firma zewnętrzna dąży do sprzedaży własnego produktu a nie bycia tylko poddostawcą. Przykładem na prawdziwość tej tezy są pociski Grom i Spike. Obydwa produkowane są w naszym kraju. Jednak w pierwszym przypadku całość technologii jest krajowa, w drugim – na licencji – tylko ich część została udostępniona polskiemu przemysłowi. Grom jest sprzedawany na eksport, Spike jedynie w kraju dla własnych sił zbrojnych a możliwości eksportu mają tu jedynie charakter deklaracyjny. Niezależnie od sposobu pozyskania poszczególnych technologii – tylko produkt, w którym krajowy producent kontroluje całość procesu jego wytworzenia, ma szanse eksportowe. Powinniśmy dołożyć wszelkich starań, aby takie systemy uzbrojenia mogły być w przyszłości rozwijane i doskonalone w naszym kraju przez rodzimych producentów.

Na tle możliwości rozwoju technologicznego kraju, jakie daje aktywizowanie całego przemysłu obronnego, należy wspomnieć olbrzymie znaczenie własnego przemysłu obronnego dla bezpieczeństwa kraju. Jednak tego tematu, jako oczywistego, nie będę tu szerzej rozwijał.

Politechnika Warszawska ma bogate tradycje prac na rzecz obronności. W okresie międzywojennym prace badawcze na potrzeby wojska prowadziły głównie uczelnie cywilne, wśród których Politechnika Warszawska odgrywała wiodącą rolę. Warto tu wspomnieć chociażby profesora Czochrańskiego, który był patronem roku 2013. W okresie powojennym przyjęto sowiecką zasadę rozdziału badań cywilnych i wojskowych. Skutkiem czego prace na rzecz obronności kierowano głównie do uczelni i instytutów wojskowych. Jednak i wówczas było w nie zaangażowanych wielu pracowników naszej uczelni.

Politechnika Warszawska jest największą uczelnią techniczną w Polsce i jednocześnie jednym z największych ośrodków badawczych w naszym kraju. Dysponuje liczną kadrą, reprezentującą prawie wszystkie dziedziny współczesnej techniki oraz szerokim zapleczem badawczym i laboratoryjnym. Jednakże potencjał ten do tej pory był

mało wykorzystywany w pracach na rzecz obronności i bezpieczeństwa kraju. Projekty badawcze z tego zakresu trafiają głównie do ośrodków historycznie związanych z MON i MSW. Polska powinna, wzorem innych krajów NATO i Unii Europejskiej, w dużo większym stopniu angażować cywilne ośrodki badawcze do opracowań na rzecz bezpieczeństwa narodowego.

Obserwując sposób organizacji badań naukowych w krajach przodujących w rozwoju nowoczesnej gospodarki opartej na wiedzy, widzimy wiodącą rolę najlepszych uczelni technicznych, jednostek badawczo-rozwojowych należących do przemysłu oraz firm typu *spin-off*. Model ten, w zasadzie jako jedyny działający, powinien być zastosowany również w naszym kraju. W sytuacji kiedy współpraca pomiędzy przemysłem a nauką kuleje, to nie podlega

Warszawskiej. Dzięki temu mają one interdyscyplinarny charakter, przez co bardziej odpowiadają oczekiwaniom MON i przemysłu. Powstanie UC-BOiB było bezpośrednio związane ze staraniami Politechniki o uzyskanie koncesji MSW na wytwarzanie i obrót materiałami wybuchowymi i sprzętem specjalnym. Jej brak blokował możliwość współpracy z przemysłem zbrojeniowym oraz udział w niektórych programach MON. Uzyskanie tej koncesji było trudnym zadaniem ponieważ jej charakter pasuje bardziej do przemysłu lub firm sprzedających uzbrojenie niż do wyższej uczelni. Jednak szczęśliwie mamy ten etap już za sobą. W zeszłym roku oddano również nową kancelarię tajną na PW. Spełnia ona wymagania umożliwiające przyjmowanie i wytwarzanie dokumentów do kategorii „tajne”.

## „Tradycyjne przyzwyczajenia rozdzielające sferę nauki cywilnej i wojskowej nigdzie się nie sprawdziły”

dyskusji, jaki model przyjąć a jedynie jakie rozwiązania organizacyjne należy wprowadzić, aby ten model zadziałał również u nas. Tradycyjne przyzwyczajenia rozdzielające sferę nauki cywilnej i wojskowej nigdzie się nie sprawdziły. Zmiana tego stanu rzeczy wymaga większej otwartości na tę tematykę zarówno ze strony uczelni cywilnych, jak i decydentów wojskowych i przemysłu obronnego. Potrzebna jest chociażby większa rola ekspertów cywilnych w gremiach doradczych.

W ostatnich latach Politechnika Warszawska intensyfikuje swoje działania w dziedzinie obronności i bezpieczeństwa. Są one pozytywnie postrzegane przez Ministerstwo Obrony Narodowej (MON) i przemysł obronny. Rozwojowi prac w opisywanej tematyce służy między innymi, powstałe trzy lata temu na Politechnice Warszawskiej, Uczelniane Centrum Badawcze Obronności i Bezpieczeństwa (UCBOiB), które za cel stawia sobie zwiększenie zaangażowania pracowników naszej uczelni w rozwój krajowych technologii związanych z obronnością i bezpieczeństwem. Centrum skupia i integruje zespoły badawcze działające w tym zakresie na Politechnice

Dzięki podjętym działaniom wzrasta zaangażowanie Politechniki Warszawskiej w prace badawcze z opisywanej dziedziny. Jednak jest ono wciąż niewielkie w stosunku do jej potencjału badawczego. Dla przykładu roczny budżet prac realizowanych przez Politechnikę na rzecz obronności i bezpieczeństwa to kilkanaście milionów złotych. W Wojskowej Akademii Technicznej jest to kwota większa o rząd wielkości. Przypomnę tu, że jest to uczelnia o czterokrotnie mniejszym od naszej potencjale kadrowym.

Starania Centrum koncentrują się głównie na współpracy bezpośrednio z Ministerstwem Obrony Narodowej, uczelniami, instytutami wojskowymi oraz przemysłem krajowym. Mam tu na myśli zarówno przemysł państwowy, który ma być skupiony w powstającej właśnie Polskiej Grupie Zbrojeniowej, jak i firmy prywatne. Powoli rozwija się również współpraca z firmami zagranicznymi takimi jak Lockheed Martin czy Oshkosh. Jest ona wynikiem dążenia do tego, aby badania i prace rozwojowe prowadzone przez naszą uczelnię, były finansowane nie tylko



z funduszy państwowych, ale również bezpośrednio przez zainteresowane firmy. Politechnika stara się odpowiadać na zainteresowania i potrzeby zgłaszane przez MON i firmy, ale również sama inicjuje działania w tematyce ważnej dla bezpieczeństwa kraju. Przykładem jest tu podjęcie inicjatywy budowy przez Polskę systemu obrony powietrznej siłami własnej nauki i przemysłu. Inicjatywa wyszła właśnie z PW. Powołano dwanaście zespołów tematycznych do własnych prac studialnych. W pracę tych zespołów zaangażowano szerokie grono specjalistów naszej Uczelni. Prace te trwają od półtora roku. Dołączyli do niej kolejno: Wojskowa Akademia Techniczna oraz firmy zbrojeniowe, takie jak PIT-RADWAR, MESKO i PHO. Na zlecenie przemysłu opracowano studium wykonalności, które przekazano do MON. Głównym redaktorem tego opracowania była Politechnika.

Decyzją władz Uczelni powołano specjalne studium doktoranckie z zakresu techniki raketowej. Istnieje ono od roku. Jego zadaniem jest przygotowanie kadr do przyszłego programu budowy polskiego systemu obrony powietrznej. Studium dotyczy techniki raketowej, ponieważ w trakcie prowadzonych prac studialnych w tym zakresie stwierdzono największe braki kadrowe. Biorą w nim udział doktoranci z różnych wydziałów i zespołów badawczych, którzy dodatkowo przechodzą przez cykl wykładów związanych z różnymi aspektami techniki raketowej. Mają również seminaria, na których prezentują swoje prace badawcze przed przedstawicielami krajowych firm produkujących elementy systemów obrony powietrznej. Biorą również udział w próbach poligonowych oraz ćwiczeniach OP.

Warto też na łamach biuletynu wspomnieć o innych aktualnie realizowanych pracach oraz dziedzinach, w których nasza uczelnia ma sukcesy związane z opisywaną branżą. Intensywnie rozwijane są prace nad platformami bezzałogowymi, latającymi i naziemnymi oraz nawodnymi, w tym robotami dla wojska i policji. Szczególny nacisk jest kładziony na rozwijanie autonomii ich pracy oraz poruszania się. Do ciekawszych tego typu projektów należy platforma do detekcji i niszczenia min niemetalowych lub robot do wykonywania prac kryminalistycznych w warunkach zagrożenia. Dodatkową wartością tych prac jest to, że są one realizowane we współpracy kilku wydziałów Politechniki.

Z pracami nad platformami wiąże się zagadnienie rozwijania krajowych opracowań w zakresie symulatorów i trenażerów. Politechnika przoduje w opracowywaniu modeli dynamiki obiektów ruchomych. Dotyczy to zarówno obiektów latających, np. samolotów, śmigłowców, pocisków, raket, jak również pojazdów lądowych, np. robotów mobilnych, transporterów opancerzonych, platform bezzałogowych. Prace rozwojowe dotyczyły tu m.in. zachowania się KTO Rosomak w sytuacjach uszkodzenia na skutek eksplozji.

Ciekawe osiągnięcia uzyskano również w pracach nad radarami. Opracowania dotyczyły demonstratorów radaru pasywnego PARADE, radaru szumowego czy lotniczego radaru rozpoznania morskiego ARS-800. Ten ostatni został zainstalowany w samolocie Bryza do monitorowania obszarów morskich. Prace nad radarami pasywnymi plasują PW w światowej czołówce tej nowej technologii.

Inny obszar intensywnych prac dotyczy czujników skażeń chemicznych, biologicznych i radiologicznych. Badania koncentrują się na zbudowaniu nowoczesnych czujników pracujących w czasie rzeczywistym, które mogłyby zostać zaaplikowane do pracy na platformach mobilnych. Ciekawe opracowania oparte są na metodzie *surface plasmon resonance*. Kolejnym urządzeniem zbudowanym na Politechnice jest elektroniczny nos wykorzystywany do analiz substancji chemicznych w tym materiałów wybuchowych.

Prowadzone są również inne prace z dziedziny chemii, które dotyczą materiałów wysoko energetycznych, w tym technologii opartych na nitrocelulozie, materiałów miotających i syntezy nowych materiałów wybuchowych. W zakresie inżynierii materiałowej trwają prace nad inteligentnymi pancerzami pasywnymi z zastosowaniem cieczy reologicznych ze strukturami nano. W ich trakcie opracowywane są technologie pasywnych nanostrukturalnych pancerzy kompozytowych z cieczą koloidalną

i z cieczą magnetoreologiczną. Wyniki tych prac mają posłużyć do zwiększenia bezpieczeństwa poprzez lepszą ochronę ciała człowieka (wkłady do kamizelek ochronnych, w tym kuloodpornych i nożoodpornych, z miękkimi pancerzami, jak również w postaci mat, plandek) oraz wzmocnienie opancerzenia środków transportu i obiektów nieruchomych.

Celem innego projektu jest opracowanie demonstratora technologii nowoczesnego modułowego pancerza kompozytowego (wielowarstwowego) zapewniającego odpowiedni stopień ochrony balistycznej do poziomu IV w/g STANAG 4569 dla pojazdów lądowych oraz normy dla obiektów latających.

Politechnika ma też na swoim koncie liczne konstrukcje, obliczenia i badania naboju z pociskami podkalibrowymi oraz projektowanie i konstrukcję wolframowych stopów ciężkich do zastosowań wojskowych i cywilnych m.in. opracowanie i wdrożenie do produkcji seryjnej 23 i 35 mm naboju z pociskiem FAPDS.

Kolejne realizowane tematy to udział w opracowaniu nowego Bojowego Wozu Piechoty, prace nad egzozkielkami oraz prace z zakresu kryptologii i techniki satelitarnej.

Warto tu też wspomnieć o regularnie organizowanych od trzech lat na PW seminariach Forum Obronności i Bezpieczeństwa. Spotkania te są okazją do wymiany myśli i opinii na temat procesu modernizacji Sił Zbrojnych. Gromadzą przedstawicieli nie tylko nauki, ale również parlamentu, MON czy kadry zarządzającej przemysłu obronnego.

Podsumowując, chciałbym podkreślić, że nie tylko możemy, ale powinniśmy rozwijać prace z zakresu obronności i bezpieczeństwa. Może jest jeszcze wiele barier do pokonania, ale w tym obszarze prac naukowych jesteśmy po prostu potrzebni.

{ Prof. dr hab. inż. Robert Głębocki, pracownik na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa. Dyrektor Uczelnianego Centrum Badawczego Obronności i Bezpieczeństwa Politechniki Warszawskiej. }

## WSPÓŁPRACA POLSKIEGO HOLDINGU OBRONNEGO Z POLITECHNIKĄ WARSZAWSKĄ

W celu poprawy swojej pozycji konkurencyjnej na wymagającym rynku uzbrojenia i sprzętu wojskowego Polski Holding Obronny przyjął w strategii rozwoju Grupy jako priorytetowe działania pozwalające w sposób elastyczny na opracowanie i wdrażanie do produkcji nowoczesnych technologii i rozwiązań. Jednym z głównych czynników pozwalających na poprawę pozycji konkurencyjnej Grupy jest innowacyjność, wpisana trwale w system zarządzania jako główna kreatywna siła Grupy PHO. Realizowana jest ona poprzez

- prowadzenie w szerokim zakresie ukierunkowanej działalności badawczej i rozwojowej (B+R);
- przeznaczanie na działalność B+R oraz na inwestycje w nowoczesne urządzenia wytwórcze coraz większych własnych środków finansowych i optymalne ich wykorzystanie;
- wdrażanie do produkcji nowych i nowoczesnych rozwiązań naukowo-technicznych w produktach spełniających oczekiwania strategicznego klienta oraz klientów zagranicznych.

Wiele z tych działań Grupa PHO realizuje w ścisłej współpracy z uczelniami, w tym z Politechniką Warszawską.

Z perspektywy czasu można ocenić, że efekty tej współpracy są niezwykle korzystne dla obu stron. Uczelnia

pozyskuje nowe pola badawcze, w których możliwa jest realizacja naukowych pasji polskich uczonych, zaś spółki PHO – nowoczesne technologie do bezpośredniego wdrożenia do produkcji. Współpraca realizowana jest na kilku płaszczyznach i dotyczy w szczególności

- realizacji projektów z zakresu bezpieczeństwa i obronności w ramach konkursów ogłaszanych przez NCBR;
- wspólnej organizacji konferencji naukowo-technicznych, warsztatów, seminariów mających zasięg zarówno krajowy, jak i międzynarodowy, np. Sympozjum Przetwarzania Sygnałów;
- uczestnictwa w „Targach Pracy” organizowanych przez uczelnię w celu rekrutacji nowych pracowników – absolwentów i studentów ostatnich lat studiów (I i II stopnia);
- wdrożenia mechanizmów umożliwiających odbywanie przez studentów praktyk w spółkach PHO;
- rozwoju naukowego kadry technicznej spółek PHO (obrony rozpraw doktorskich, otwieranie nowych przewodów doktorskich, studia podyplomowe);
- promowania osiągnięć Kół Naukowych Politechniki Warszawskiej np. w ramach ekspozycji PHO na MSPO Kielce.

Jednym z najbardziej efektywnych sposobów aktywizacji i rozwijania współpracy nauki z przemysłem jest tworzenie konsorcjów naukowo-przemysłowych powoływanych do realizacji ściśle określonych projektów realizowanych samodzielnie czy też w ramach programów. Konsorcja, które umożliwiają bezpośredni transfer wiedzy z ośrodków naukowo-badawczych do praktyki przemysłowej, tworzą eksperci z różnych dziedzin, o różnym stopniu połączenia wiedzy naukowej z doświadczeniem i o różnej świadomości potrzeb oraz mechanizmów przemysłowo-rynkowych.

Przykłady realizowanych projektów w ramach konsorcjów naukowo-przemysłowych, z udziałem spółek PHO i PW:

- Opracowanie prototypu radaru wielofunkcyjnego kierowania ogniem ze skanowaniem fazowym wiązki w dwóch płaszczyznach dla zestawu raketowego OP krótkiego zasięgu.
- Opracowanie prototypu radaru wielofunkcyjnego kierowania ogniem ze skanowaniem fazowym wiązki w dwóch płaszczyznach dla zestawu raketowego OP średniego zasięgu.
- Mobilna, trójwspółrzędna stacja radiolokacyjna dalekiego zasięgu.
- Opracowanie systemu radiolokacji pasywnej na potrzeby zestawów raketowych obrony powietrznej.
- BPL (platforma średnia 800 kg).
- System zarządzania profilami psychologicznymi żołnierzy z opracowaniem i wykorzystaniem technologii HEALTH-CHIPS.
- Egzoszkielet kompatybilny z systemem przenoszenia indywidualnych systemów walki.
- Opracowanie i wdrożenie technologii produkcji stopu ciężkiego – kompozytu wolframowego.

W czerwcu 2014 r. Politechnika Warszawska wspólnie z WAT i spółkami Polski Holding Obronny sp. z o.o., PIT-RADWAR S.A. i MEŠKO S.A. zrealizowała pierwszą część opracowania: *Studium zdolności polskiego przemysłu obronnego i polskiej nauki w zakresie możliwości realizacji krajowym potencjałem programu pk. Narew.*

*Tomasz Korza*

*Ekspert w Dziale Innowacji  
Polskiego Holdingu Obronnego sp. z o.o.*

Strefa współpracy z Politechniką Warszawską  
↓ stoisko PHO podczas MSPO 2013 Kielce | fot: M. Zbikowski





# PR PW w CSZ – 2008-2014

Stypendia, staże zagraniczne, szkolenia, wykłady specjalne oraz program dla profesorów wizytujących Centrum Studiów Zaawansowanych w ramach projektu Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej

Budowanie przyszłości nas wszystkich w dużym stopniu – jeśli nie całkowicie – opiera się na osiągnięciach naukowych. Dlatego to właśnie na naukowcach spoczywa odpowiedzialność za znalezienie właściwych kierunków, które pozwolą na utrzymanie wysokich standardów innowacyjności i celowości prowadzonych działań, a co za tym idzie, spełnią złożone wymagania cywilizacyjne. Niezaprzeczalnie, olbrzymi potencjał ludzi z wizją przyszłości stanowią doktoranci i młodzi naukowcy, którzy przy wsparciu doświadczonej kadry profesorskiej potrafią odważnie formułować nowatorskie koncepcje. Centrum Studiów Zaawansowanych (CSZ), dzięki działalności o interdyscyplinarnym charakterze, stało się miejscem skupiającym takich naukowców.

Centrum Studiów Zaawansowanych, jako jedyna placówka tego typu w Polsce, zostało powołane na Politechnice Warszawskiej jako jednostka zrzeszająca wybitnych profesorów, młodą kadre akademicką oraz ambitnych, najzdolniejszych doktorantów Uczelni. Kadre dydaktyczną Centrum tworzą naukowcy prezentujący niestandardowe, interdyscyplinarne podejście do

przekazywanej wiedzy z misją aktywizowania potencjału drzemącego w młodych umysłach. W ten sposób realizowane jest podstawowe założenie Jednostki, czyli twórcza wymiana intelektualna pomiędzy pokoleniami oraz różnymi środowiskami akademickimi, prowadząca do nowatorskich rozwiązań badawczych i poznawania złożoności zagadnień naukowych w wymiarze wielodyscyplinarnym.

## Zakres podstawowej działalności CSZ:

- Uczelniana Oferta Dydaktyczna (wykłady podstawowe, specjalne oraz wykłady profesorów wizytujących);
- Konwersatorium PW (odczyty, Scientia Suprema, sympozja Toptechnika, seminaria specjalistyczne);
- program stypendialny dla profesorów wizytujących;
- naukowe stypendia wyjazdowe dla doktorantów i nauczycieli akademickich;
- dwuletnie stypendia naukowe dla doktorantów i młodych doktorów;
- szkolenia z zakresu dodatkowych umiejętności dla doktorantów PW;

- warsztaty naukowe CSZ;
- wykłady popularne, kółka matematyczne, warsztaty dla młodzieży;
- wydawnictwa (*Lecture Notes, CAS Textbooks, Male Monografie*).

Szczegółowe informacje o działalności Centrum znajdują się na łamach biuletynu i stronie internetowej <http://www.csz.pw.edu.pl>.

Istotną częścią wyżej opisanych działań podejmowanych w Centrum jest realizacja zadania 3 i 4 w ramach projektu *Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej (PR PW)*. Zakres tych zadań został tak skonstruowany, aby wspierać uczestników studiów doktoranckich, ale również innych naukowców, którzy nie obawiają się wyzwań, jakie stawia nauka i gospodarka. Realizujemy rozbudowany program stypendialny obejmujący: stypendia naukowe, staże zagraniczne oraz stypendia dla profesorów wizytujących. Innym istotnym elementem działalności Centrum, objętym dofinansowaniem, jest rozszerzenie oferty dydaktycznej (Uczelnianej Oferty Studiów Zaawansowanych) o nowe wykłady specjalne. Pozwoliło to podnieść jakość kształcenia na



studiach II stopnia i studiach doktoranckich. Dodatkową inspiracją dla społeczności Politechniki są wykłady prowadzone przez profesorów wizytujących z prestiżowych jednostek naukowo-badawczych.

### Zakres zadania 3:

- naukowe stypendia dla doktorantów;
- naukowe stypendia dla młodych doktorów;
- stypendia dla profesorów wizytujących.

Wykorzystane środki 2008-2014: 10 776 290 zł.

### Zakres zadania 4:

- naukowe stypendia wyjazdowe dla doktorantów;
- naukowe stypendia wyjazdowe dla nauczycieli akademickich;
- wykłady specjalne w ramach Uczelnianej Oferty Studiów Zaawansowanych;
- szkolenia dla doktorantów z zakresu umiejętności „miękkich”.

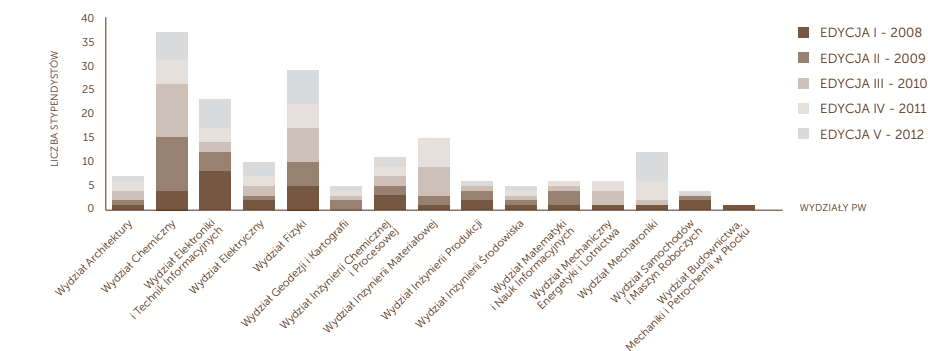
Wykorzystane środki 2008-2014: 8 201 503 zł.

Od 2008 roku Centrum przeprowadziło 5 konkursów na dwuletnie stypendia naukowe dla doktorantów, 5 dla młodych doktorów oraz 6 edycji na naukowe stypendia wyjazdowe. W każdej z 6 edycji zorganizowano konkursy: podstawowy i uzupełniający. Na przestrzeni 6 lat realizacji Projektu Komisja Konkursowa CSZ przyznała łącznie 490 stypendiów, w tym

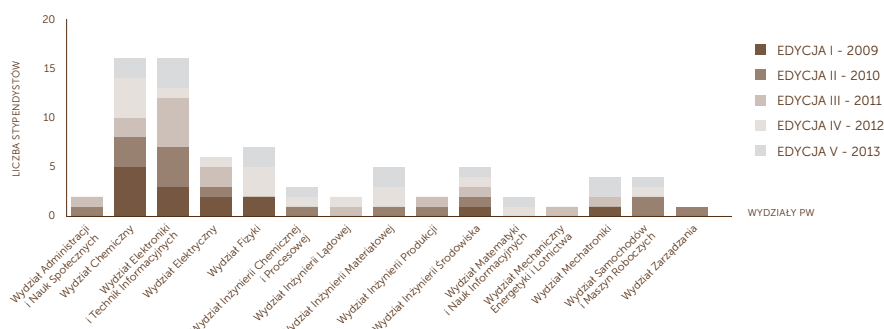
- 173 stypendia naukowe dla doktorantów,
- 76 stypendiów dla młodych doktorów,
- 122 stypendia wyjazdowe dla doktorantów,
- 119 stypendiów wyjazdowych dla nauczycieli akademickich.

Dzięki otrzymanemu wsparciu stypendyści realizują swoje plany naukowo-badawcze zarówno w macierzystych jednostkach Politechniki Warszawskiej, jak również za granicą. Wiele odbytych staży zagranicznych zaowocowało stałą współpracą z wiodącymi ośrodkami naukowymi na całym świecie.

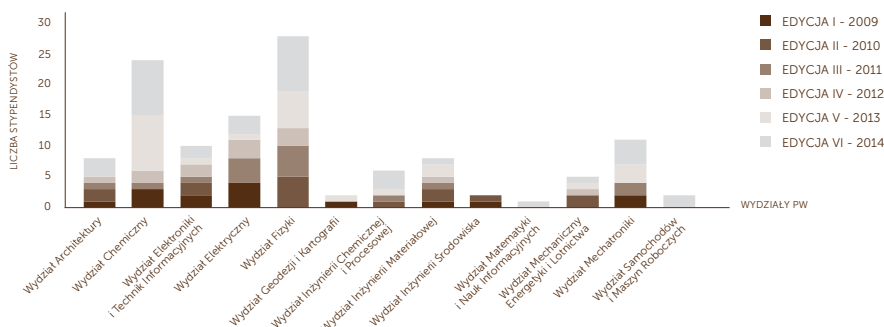
W ramach zadania 3 Centrum realizuje także program stypendialny dla profesorów wizytujących. Na zaproszenie Dyrektora CSZ i członków Komisji Stypendialnej na Politechnice Warszawskiej goszczą znakomici naukowcy reprezentujący światowe ośrodki



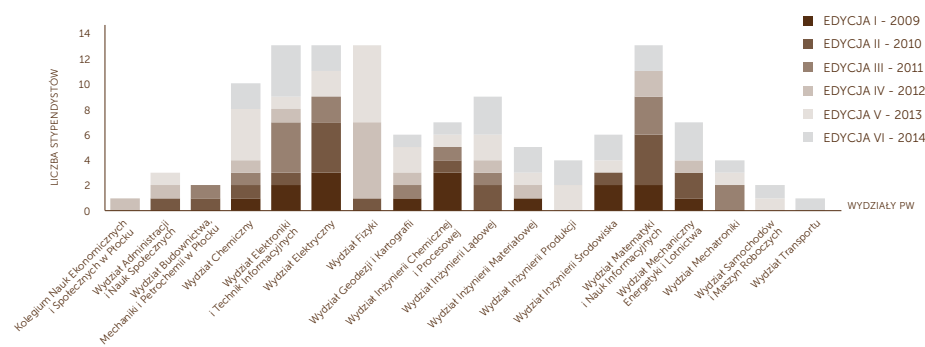
↑ Liczba doktorantów PW - laureatów konkursów na stypendia naukowe



↑ Liczba młodych doktorów PW - laureatów konkursów na stypendia naukowe



↑ Liczba doktorantów PW - laureatów konkursów na naukowe stypendia wyjazdowe



↑ Liczba nauczycieli akademickich PW - laureatów konkursów na naukowe stypendia wyjazdowe

naukowe. Celem takich stypendiów jest stworzenie płaszczyzny spotkań i współpracy studentów i doktorantów z wybitnymi naukowcami. Organizowane wykłady, seminaria i spotkania służą uzupełnianiu wiedzy i rozwijaniu zainteresowań słuchaczy, a także stanowią inspirację w planowanej pracy badawczej. Do tej pory dzięki temu programowi gościliśmy na Uczelni 69. profesorów, którzy przeprowadzili łącznie ponad 800 godzin wykładów.

Do końca realizacji Projektu planowane są jeszcze wizyty 15. znakomitych gości.

Inną propozycją rozwoju młodych naukowców Politechniki Warszawskiej, realizowaną z kolei w ramach zadania 4, są szkolenia z zakresu dodatkowych umiejętności „miękkich” dla doktorantów. Od 2009 roku zorganizowano 14 takich szkoleń, w których





wzięło udział 95. doktorantów. W zakresie przeprowadzonych szkoleń realizowana była tematyka: zarządzania zasobami ludzkimi, zarządzania projektami, komunikacji interpersonalnej, asertywności i zarządzania emocjami, negocjacji i wykorzystywania inteligencji społecznej w budowaniu relacji interpersonalnych i kierowaniu nimi, efektywnych technik zarządzania informacją, autoprezentacji w świecie nauki i biznesu oraz prawa własności intelektualnej - w tym prawa patentowego.

Realizacja Projektu przyczyniła się w znacznym stopniu do rozszerzenia oferty wykładów specjalnych dla doktorantów w ramach Uczelnianej Oferty Studiów Zaawansowanych. Do tej pory odbyło się 1355 godzin wykładów współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej, natomiast łączna liczba uczestników wynosi 1605. Informacje o aktualnych i najbliższych wykładach, a także zapisy są prowadzone pod adresem:

<http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta/>

Podsumowując i oceniając 6 lat udziału Centrum Studiów Zaawansowanych w realizacji Projektu, bezsprzecznie

stwierdzamy, że dla nas największym sukcesem są ludzie - goście, stypendyści, słuchacze, wykładowcy - to właśnie oni są najlepszym potwierdzeniem sensu podejmowania takich wyzwań. Dzięki szerokiej ofercie, skierowanej w dużej mierze do młodych naukowców, udało się skupić w Centrum Studiów Zaawansowanych ludzi z pasją nauki. To dzięki nim - ich zaangażowaniu i otwartości na nowe wyzwania - Centrum w pełni stało się jednostką studiów zaawansowanych, wyjątkową w skali kraju.

Już w tej chwili możemy powiedzieć, że z powodzeniem udało się zrealizować prowadzone przez Centrum

zadania projektowe w niemalże 100%. Zbierając dane i opinie, możemy również z całą pewnością potwierdzić ich celowość. Wszystkie działania w tym zakresie spotkały się z dużym zainteresowaniem. Uczestnicy często dopytują się o inne rodzaje wsparcia i chętnie korzystają zarówno z oferty wykładowej, jak i stypendialnej. Dzięki tym wszystkim formom podnoszenia jakości kształcenia na Uczelni udało się nawiązać kontakt z wieloma naukowcami, którzy angażują się w różnego rodzaju działania podejmowane w Centrum.

*Małgorzata Zielińska*

Osoby zaangażowane w realizację Projektu w Centrum:

prof. Stanisław Janeczko - dyrektor CSZ

Grażyna Wojewoda - główny specjalista ds. finansowych

Anna Żubrowska-Zembrzuska - kierownik zadania 3

Aleksandra Burzyńska - specjalista ds. programów stypendialnych

Małgorzata Zielińska - kierownik zadania 4

Ewa Stefaniak - specjalista ds. staży i szkoleń

# Wizyta profesora Sabu Thomasa na Politechnice Warszawskiej

Profesor Sabu Thomas z Uniwersytetu Mahatmy Gandhiego jest cenionym, światowej klasy naukowcem, mającym znaczący dorobek naukowy. Jest on autorem i współautorem 604 publikacji, 41 książek oraz 4 patentów. W trakcie dotychczasowej pracy naukowej wypromował 64. doktorów, a obecnie pod jego kierunkiem jest realizowanych 25 kolejnych rozpraw doktorskich. W 2008 roku zajął piąte miejsce na liście indyjskich naukowców z największymi osiągnięciami. Obecnie pracuje na Uniwersytecie Mahatmy Gandhiego w Indiach, gdzie piastuje stanowisko dyrektora International and Inter University Centre for Nanoscience and Nanotechnology. Obszar zainteresowań profesora to obecnie przede wszystkim nanokompozyty, jednak wśród głównych zagadnień, którymi

zajmuje się w ramach prowadzonych badań nie można nie wymienić: polimerów, kompozytów polimerowych, elastomerów, przenikających się systemów polimerowych, zjawisk perwaporacji, separacji, sorpcji i dyfuzji, zagadnień starzenia i degradacji oraz recyklingu i ponownego wykorzystania odpadów z tworzyw sztucznych.

Od połowy maja, przez miesiąc, Wydział Inżynierii Produkcji gościł u siebie profesora Sabu Thomasa. Pobyt został zorganizowany w ramach programu dla profesorów wizytujących realizowanego przez CSZ. Z powodu pełnionych przez profesora funkcji, udziału w licznych projektach, częstych wyjazdów do zagranicznych ośrodków, wizyta była wielokrotnie przekładana, jednak kiedy już doszła do skutku, okazała się bardzo udana

i uwieńczona wieloma wspólnymi projektami. Pobyt profesora na naszej uczelni umożliwił rozwinięcie wcześniej zainicjowanej, na spotkaniu konferencyjnym, współpracy oraz określenie jej nowych kierunków.

Pracownicy wydziału, studenci oraz zgromadzeni goście mieli możliwość wysłuchania dwóch wykładów przygotowanych przez profesora Sabu Thomasa. W wykładzie z 21 maja br. przybliżył on zagadnienia związane z biododatkami stosowanymi w mikro- i nanokompozytach. Przedstawił możliwości zastosowania włókien celulozy, chityny i skrobi w najnowszych materiałach polimerowych z gumy i tworzyw sztucznych oraz wpływ tych dodatków w różnych kompozycjach na właściwości mechaniczne, wytrzymałościowe i sztywność. Profesor

podkreślił, że lekkie włókna naturalne i polimery połączone ze sobą, dają kompozyty o bardzo wysokiej wytrzymałości w stosunku do masy. Nie można zapomnieć o ważnym aspekcie ekologicznym, ponieważ w przeciwieństwie do włókien syntetycznych, włókna naturalne są liczne, odnawialne i stosunkowo tanie. Podczas wykładu profesor zaprezentował możliwości wykorzystania włókien naturalnych, takich jak włókna liści ananasa, kokosu, szałalu, palmowych, jako materiałów wzmacniających dla różnych tworzyw termoplastycznych, termoutwardzalnych i gum. W celu stworzenia możliwości ich szerokiego zastosowania powierzchnia tych włókien niestety wymaga różnej obróbki chemicznej, co pozwala na poprawę ich adhezji w matrycy – co również zostało szeroko omówione. Uczestnikom przedstawiono także zagadnienia właściwości reologicznych i dielektrycznych oraz termicznego starzenia.

Kolejny wykład odbył się 10 czerwca br. w ramach seminarium wydziałowego realizowanego w każdy wtorek na Wydziale Inżynierii Produkcji. Zgromadzone audytorium z uwagą wysłuchało najnowszych informacji i zapoznało się z wynikami badań uzyskanymi w Uniwersytecie Mahatmy Ghandiego, dotyczącymi nanokompozytów polimerowych. Profesor przybliżył słuchaczom historię rozwoju badań nad kompozytami oraz obecny stan wiedzy. Omówił również różne techniki przygotowania nanokompozytów polimerowych, środki powierzchniowo czynne poprawiające interakcję pomiędzy polimerem i wypełniaczem oraz techniki badania ich właściwości. Przedstawił także zgromadzonym słuchaczom wyniki ostatnich prac badawczych realizowanych przez jego ośrodek naukowy w zakresie zastosowania nanocelulozy. Wystąpienie zakończyła dyskusja na temat przyszłości nanokompozytów, jak również ich zastosowania w inżynierii biomedycznej i opakowalnictwie.

Jeszcze przed przyjazdem profesora do Warszawy rozmawiano o możliwości przygotowania wspólnego projektu w ramach ogłoszonego przez MNiSW programu współpracy polsko-indyjskiej. W trakcie pobytu przygotowano ostateczne wnioski wymagane od strony polskiej i indyjskiej i zgłoszono temat programu wymiany osobowej z Republiką Indii na lata 2014-2016, który brzmi „Opracowanie nowego atramentu i farb drukowych na bazie czarnego pigmentu pozyskanego ze skórki owocu Rambutanu”.

W projekcie planowane jest wykorzystanie skórki z owoców rambutanu (*Nephelium lappaceum*) do syntezy czarnego pigmentu. Na uwagę zasługuje fakt, iż skórka ta jest zazwyczaj wyrzucana i stanowi odpad. Proponowane rozwiązanie będzie zakładało jej wykorzystanie w celu pozyskania pigmentu do wytwarzania atramentów i farb drukarskich. Przygotowany wniosek ma duże znaczenie ekologiczne i jest w pełni innowacyjny. Prowadzone działania mają poprawić jakość i wielkość plonów, co tym bardziej podkreśla zasadność i przydatność zaproponowanej tematyki polegającej na wykorzystaniu odpadu, jaki stanowi skórka owocu. Proponowana tematyka badawcza jest nowa, gdyż dotąd nie stosowano skórki owocu rambutanu do wytwarzania sadzy. Uzyskanie pozytywnych wyników i rezultaty zaplanowanych badań znacznie rozszerzą dotychczasową wiedzę i stworzą możliwość nowych patentów i wdrożeń. Doświadczenie polskiego zespołu z Zakładu Technologii Poligraficznych (ZTP), Instytutu Mechaniki i Poligrafii, Wydziału Inżynierii Produkcji w zakresie modyfikowania i formułowania receptur nowych farb drukowych stworzy możliwość szerokiego zastosowania nowego produktu pozyskanego przez stronę indyjską, która ma łatwy i tani dostęp do unikatowego surowca. Planowane do zastosowania w badaniach owoce rambutanu są dostępne w dużych ilościach od czerwca do września właśnie w południowych Indiach, gdzie mieści się Uniwersytet Mahatmy Ghandiego (Kerala). Efektem prowadzonych prac mają być wspólne publikacje i patenty. Ostatecznym celem projektu jest natomiast produkcja ekologicznych farb drukowych, co powoduje, że ma on nie tylko charakter badań podstawowych, ale być może i znaczenie aplikacyjne.

Czas spędzony przez profesora Sabu Thomasa w WIP PW upłynął bardzo szybko, ale staraliśmy się wykorzystać każdą chwilę. Wraz z profesorem przygotowaliśmy konspekt książki zatytułowanej „Printing on Polymers:

Fundamentals and Applications” do wydawnictwa Elsevier. Zaproponowana tematyka spotkała się z dużym zainteresowaniem i akceptacją wydawnictwa. W przyszłym roku na rynku powinna ukazać się gotowa publikacja, zawierająca rozdziały opracowane przez największe autorytety z poszczególnych obszarów, pod redakcją Joanny Izdebskiej i Sabu Thomasa.

Jednym z głównych celów pobytu w Warszawie było również omówienie możliwości i zakresu prowadzenia wspólnych badań oraz rozwinięcia współpracy międzynarodowej. Obecnie przygotowywana jest umowa o współpracy pomiędzy WIP PW i Centrum Nanonauki i Nanotechnologii Uniwersytetu Mahatmy Ghandiego. Kilka tygodni temu do ZTP zostały przesłane z Indii specjalnie przygotowane przez doktorantów profesora Sabu Thomasa podłoża drukowe, które będą w naszej uczelni badane pod kątem drukowności i jakości nadruku. Obie strony mają nadzieję na ciekawą i długotrwałą współpracę w tym zakresie.

Zacieśnieniu współpracy z Indiami, jak i rozszerzeniu jej o nowego kooperatora, służył również wspólny wyjazd dr Joanny Izdebskiej i profesora Sabu Thomasa na Słowenię do Zakładu Inżynierii Powierzchni i Optoelektroniki w Jožef Stefan Institute. Profesor Miran Mozetic będący dyrektorem zakładu od wielu lat współpracuje z profesorem Sabu Thomasem. Wyjazd do Ljubljany został zorganizowany w trakcie trzeciego tygodnia pobytu profesora Sabu Thomasa na PW. Spotkanie umożliwiło określenie obszaru współpracy pomiędzy trzema ośrodkami, które dysponują wiedzą i aparaturą umożliwiającą wspólne prowadzenie obszernych, interdyscyplinarnych badań w zakresie przygotowywania nowych, innowacyjnych materiałów polimerowych oraz ich modyfikowania i uszlachetniania. Wizyta, która była możliwa dzięki wsparciu CSZ, stworzyła nam wiele nowych możliwości. Mamy nadzieję, że nakreślona współpraca będzie rozwijała się dalej i przyniesie wiele sukcesów.

{ Dr inż. Joanna Izdebska, pracownik na Wydziale Inżynierii Produkcji PW. Laureatka konkursu na naukowe stypendia wyjazdowe dla nauczycieli akademickich CAS/30/POKL. Koordynator wizyty profesora Sabu Thomasa w ramach stypendium dla profesorów wizytujących Politechnikę Warszawską }



Celem Uczelnianej Oferty Studiów Zaawansowanych jest poszerzenie wiedzy w wybranych kierunkach, a także pomoc i inspiracja w planowanej działalności naukowej. Program oferty adresowany jest do całego środowiska akademickiego Politechniki Warszawskiej, a także chętnych spoza Uczelni. Na propozycję UOSZ składają się m.in. cykle interdyscyplinarnych wykładów podstawowych i specjalnych.

Merytoryczną opiekę nad UOSZ sprawuje Rada Programowa Centrum, którą tworzą naukowcy z Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Warszawskiego, Uniwersytetu Jagiellońskiego i Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, a także Polskiej Akademii Nauk.

# Uczelniana Oferta Studiów Zaawansowanych

## WYKŁADY - semestr zimowy 2014/2015

wykłady podstawowe  
(30 h)



- Podstawy fizyki ciała stałego – prof. Jerzy Garbarczyk (PW)
- My i nasze geny; nadzieje i obawy – prof. Ewa Bartnik (UW)\*
- Mini, mikro, nano - laboratorium na chipie – prof. Zbigniew Brzózka (PW)\*
- Równania różniczkowe cząstkowe – prof. Krzysztof Chętmiński (PW)\*
- Kosmonautyka – prof. Piotr Wolański (PW)\*
- Podstawy mechaniki kwantowej – prof. Franciszek Krok (PW)
- Statystyka w zastosowaniach z użyciem pakietu R i Statistica – dr hab. inż. Anna Dembińska (PW)

wykłady specjalne  
(15 h)



- Model informacji inżynierskich, BIM – profesorowie z Wydziałów Architektury, Inżynierii Środowiska (PW)
- Jak działa Wszechświat? – prof. Marek Demiański (UW)\*
- Rezonans Magnetyczny w zastosowaniach biomedycznych – dr hab. inż. Piotr Bogorodzki (PW), dr inż. Ewa Piątkowska-Janko (PW), mgr inż. Wojciech Obrębski (PW), dr inż. Błażej Sawionek (PW), mgr inż. Wojciech Gradkowski (PW), prof. dr hab. Paweł Grieb, dr Michał Fiedorowicz (IMDiK PAN)
- Ewolucja poglądów na naturę światła – prof. Kazimierz Regiński (Instytut Technologii Elektronowej)
- Wstęp do filozofii – dr Justyna Grudzińska (UW)
- Psychologia w praktyce życia zawodowego i osobistego – dr Leszek Mellibruda (Active Business Mind Psychologia biznesu)\*

*Lista wykładów specjalnych jest w ciągu roku poszerzana.*

*\* – wykład współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego*

*Uaktualniona lista przedmiotów w ciągu roku akademickiego znajduje się na stronie internetowej Centrum*

Biuletyn Centrum Studiów Zaawansowanych „Profundere Scientiam”

Pl. Politechniki 1, p.152-154, 00-661 Warszawa; e-mail: [csz@csz.pw.edu.pl](mailto:csz@csz.pw.edu.pl), [www.csz.pw.edu.pl](http://www.csz.pw.edu.pl)

Zespół redakcyjny: Małgorzata Zielińska - redaktor naczelna, Aleksandra Burzyńska, Joanna Jaszuska, Ilona Sadowska, Ewa Stefaniak, Anna Żubrowska-Zembrzuska | Opieka merytoryczna: prof. Stanisław Janeczko

Projekt graficzny: Emilia Bojańczyk / Podpunkt | Skład: Małgorzata Zielińska / CSZ