

Załącznik 2

# Autoreferat

Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych w języku polskim (2a)  
i języku angielskim (2b)

**Dr inż. Wtold Walke**

Załącznik 2a

# Autoreferat

Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych w języku polskim

**Dr inż. Wtold Walke**

**1. Imię i nazwisko:**

**Witold Michał Walke**

**2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

Uzyskany tytuł: **Magister inżynier**

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny

Kierunek: Automatyka i Robotyka; Specjalność: Biomechanika i Sprzęt Medyczny

*Temat pracy dyplomowej magisterskiej:* Wyznaczenie charakterystyki biomechanicznej układu naczynie wieńcowe – stent z wykorzystaniem metody elementów skończonych

Promotor: Prof. dr hab. inż. Jan Marciniak, Politechnika Śląska,

Data obrony: 23.11.2000 r.

Uzyskany tytuł: **Doktor nauk technicznych**

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,

Dyscyplina naukowa: Inżynieria materiałowa.

*Temat pracy doktorskiej:* Własności fizykochemiczne stopu Co-Cr-W-Ni przeznaczonego na stenty stosowane w angioplastyce wewnątrznaczyniowej

Promotor: Prof. dr hab. inż. Jan Marciniak, Politechnika Śląska,

Recenzent zewnętrzny Prof. dr hab. inż. Monika Gierzyńska-Dolna, Politechnika Częstochowska,

Recenzent wewnętrzny: prof. dr hab. inż. Danuta Szewieczek, Politechnika Śląska,

Data nadania 16.11.2005 r.

Praca wyróżniona uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej.

Dodatkowo:

- Studium doskonalenia pedagogicznego dla nauczycieli akademickich, Politechnika Śląska w Gliwicach, Gliwice, 2004.
- Studia podyplomowe: „Biomateriały – materiały dla medycyny”, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Kraków 2008.
- Studia podyplomowe: „Menedżer badań naukowych i prac rozwojowych”, Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Lublin 2012.

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- **01.02.2006r. – 30.09.2011r.**, adiunkt (pracownik naukowo-dydaktyczny) w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej.
- **01.10.2011r. – 30.06.2014r.**, adiunkt (pracownik naukowo-dydaktyczny) w Katedrze Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej
- **01.07.2014r. – 30.06.2015r.**, adiunkt (pracownik naukowy) w Katedrze Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej
- **01.07.2015r. – nadal** adiunkt (pracownik naukowo-dydaktyczny) w Katedrze Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej

### 4. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego dzieło opublikowane w całości

*Moim osiągnięciem naukowym, uzyskanym po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna określonym w art. 16. ust. 2 pkt 1. Ustawy, będącym dziełem opublikowanym w całości, jest autorska monografia habilitacyjna:*

Witold Walke, 2017, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej,

**Zjawiska powierzchniowe na podłożach tytanowych z powłoką SiO<sub>2</sub> w układzie krwionośnym,**

*Recenzenci: dr hab. inż. Roman Major; prof. dr hab. Józef Lełątko*

Istotny wkład pracy habilitacyjnej do nauki w obszarze dyscypliny naukowej

**„Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna”** związany jest z:

- opracowaniem aplikacyjnej technologii kształtowania warstwy powierzchniowej z udziałem powłoki SiO<sub>2</sub> na podłożach tytanowych do zastosowań na wyroby implantowane w środowisku krwi,
- ustaleniem związku pomiędzy właściwościami fizykochemicznymi powierzchni podłoży cpTi(Grade4) i Ti6-Al-7Nb, a odpornością korozyjną w warunkach długotrwałej ekspozycji w sztucznym osoczu,
- analizą wpływu parametrów technologicznych procesów wytwarzania warstw powierzchniowych z udziałem powłoki SiO<sub>2</sub> na odporność korozyjną w sztucznym osoczu,

- oceną hemokompatybilności zaproponowanego wariantu obróbki powierzchniowej, poprzez realizację interdyscyplinarnego programu badań uwzględniającego, zarówno odpowiedź materiałową, jak i biologiczną z uwzględnieniem procesów sterylizacji medycznej (tlenek etylenu i para wodna),
- opracowaniem kompleksowego programu badawczego oraz uzyskaniem na tej podstawie wniosków niosących również znamiona aplikacji, które pozwolą na opracowanie metody modyfikacji struktury i właściwości fizykochemicznych powierzchni biomateriałów do kontaktu z krwią w odniesieniu do procesu certyfikacji i rejestracji wyrobu medycznego.
- uzyskaniem perspektywicznej możliwości dalszej kontrolowanej funkcjonalizacji powierzchni, poprzez regulowanie procesu powstawania grup funkcyjnych odpowiedzialnych, m.in. za adsorpcję białek, proces krzepnięcia, adhezję i aktywację płytek krwi, czy też dopełnienie procesu aktywacji.

Analiza danych statystycznych jednoznacznie wskazuje, że do 2050 roku choroby układu krążenia będą główną przyczyną umieralności, a wydłużająca się średnia długość życia spowoduje, że spotkamy się z nowymi ich rodzajami, co będzie skutkowało wprowadzeniem nowego rodzaju implantu (materiału), o którym dziś nie mamy pojęcia. Stąd też badania poznawcze prowadzone w tym zakresie dla określenia zależności jakie występują pomiędzy sztucznym materiałem a tkanką żywą wydają się być uzasadnione. Uzyskane w ten sposób odpowiedzi zarówno materiałowe, jak i biologiczne przyczynią się do lepszego zrozumienia zjawisk powstających w wyniku wprowadzenia wszczepu do układu krwionośnego. Dla pełniejszej identyfikacji i oceny podjętego problemu należało opracować niestandardowe podejście badawcze. Zaproponowanie planu badawczego opartego na metodach badawczych zaprzęgniętych z nauk biologicznych, medycznych i technicznych w przypadku opisu materii ożywionej i nieożywionej jest nieodzowne. Zaproponowany w rozprawie habilitacyjnej autorski program badań poznawczych i aplikacyjnych wykraczający poza dziedzinę nauk technicznych umożliwił w sposób kompleksowy analizę wpływu struktury morfologicznej i właściwości fizykochemicznych warstwy powierzchniowej z udziałem powłoki  $\text{SiO}_2$ , kształtowanych warunkami procesu technologicznego, na przebieg procesów zachodzących na powierzchni implantów tytanowych po ich wprowadzeniu do układu krwionośnego.

Pomimo dużego zainteresowania problematyką hemokompatybilności implantów tytanowych do kontaktu z krwią w dalszym ciągu, stosowane metody modyfikacji powierzchni, jak wykazano w oparciu o analizę danych literaturowych, nie zawsze gwarantują wymagane właściwości biologiczne i fizykochemiczne pozwalające na jego bezpieczne użytkowanie. Prezentowane w literaturze wyniki badań dotyczące oceny przydatności powłok dla potrzeb tego rodzaju implantów wprowadzanych do



układu krwionośnego wskazują na brak rozważań syntetyzujących. Nierzadko ograniczenie zakresu badań jedynie do testów hemolizy, wykrzepiania, hodowli komórkowych w warunkach *in vitro* nie odzwierciedla pełnego spektrum ich właściwości użytkowych. W wielu pracach nie akcentuje się również roli procesu obróbki powierzchniowej biomateriału tytanowego, kształtującej mikrostrukturę i właściwości warstwy powierzchniowej implantu. Zagadnienia te są bardzo istotne i stanowią o jakości oraz adhezji warstwy powierzchniowej do podłoża biomateriału. Dodatkowo brak danych dotyczących mikrostruktury wytwarzanych warstw, ich podatności na odkształcenie, topografii powierzchni oraz odporności korozyjnej minimalizującej odczyn i powikłania pooperacyjne utrudnia kompleksową ocenę ich roli w zastosowaniach na implanty w kardiologii interwencyjnej i kardiochirurgii.

Do czynników ograniczających skuteczność stosowania wyrobów medycznych w leczeniu schorzeń układu sercowo-naczyniowego zalicza się procesy wykrzepiania krwi oraz proliferacji mięśniowo-włóknistej w obrębie wewnętrznych ścian naczynia. Stanowią one efekt nie w pełni dostosowanych właściwości fizykochemicznych ich powierzchni do specyfiki układu krwionośnego. Do tej pory nie w pełni zostały poznane mechanizmy generowania, jak i rozwoju tych niekorzystnych procesów. Przeprowadzona przez Autora analiza uwarunkowań biochemicznych i biofizycznych układu serce – naczynia krwionośne pozwoliła uwypuklić cechy środowiska tkankowego, które powinny być kompatybilne z cechami biomateriału i powierzchni implantu. Istotne zagadnienie, z uwagi na procesy generowania oraz rozchodzenia potencjałów czynnościowych komórek mięśnia sercowego, stanowią właściwości elektryczne i magnetyczne badanych w pracy biomateriałów cpTi i Ti-6Al-7Nb. Wprowadzenie implantu metalowego do układu naczyń krwionośnych nie może zakłócać przebiegu tych procesów.

Właściwości fizyczne biomateriałów nabierają również szczególnego znaczenia ze względu na możliwość zainicjowania procesu hemostazy przez wprowadzenie implantu do układu krwionośnego. Dane literaturowe wskazują, że proces interakcji krwi z materiałami implantacyjnymi nie został jeszcze w pełni poznany. Dodatkowo, składniki krwi wykazują określone właściwości magnetyczne. Decyduje o nich głównie hemoglobina. Zatem zarówno właściwości elektryczne powierzchni implantu, jak i magnetyczne biomateriału wywierają znaczący wpływ na przebieg występujących procesów elektromagnetycznych. W tym kontekście zagadnieniem wymagającym również wyjaśnienia jest rola zastosowanej obróbki powierzchniowej biomateriału w procesie kształtowania struktury morfologicznej i właściwości fizykochemicznych warstwy powierzchniowej.

Zagadnienia te są bardzo istotne i decydują o przebiegu zjawisk na granicy implant – krew. Należy również pamiętać że bezpieczeństwo stosowania wyrobów medycznych wiąże się z koniecznością przestrzegania odpowiednich procedur zapobiegających przenoszeniu drobnoustrojów patogennych do organizmu ludzkiego. Procedury te mają na celu usuwanie i skuteczne niszczenie

mikroorganizmów, czyli uzyskanie wyrobów sterylnych spełniających określone normami wymogi jakości – sterylność SAL =  $10^{-6}$  (SAL - Sterility Assurance Level). Zatem:

Zasadniczym celem prowadzonych badań było ustalenie korelacji pomiędzy strukturą i właściwościami fizykochemicznymi powłok SiO<sub>2</sub> (kształtowanymi warunkami technologicznymi procesu) nanoszonych na podłoża cpTi (Grade4) i Ti-6Al-7Nb przeznaczonych do kontaktu z krwią, a ich hemokompatybilnością. Ograniczenie procesu wykrzepiania krwi na powierzchni wyrobów medycznych wprowadzonych do układu sercowo-naczyniowego realizowano poprzez prawidłowe ukształtowania struktury i właściwości mechanicznych zastosowanego biomateriału, a także morfologii i właściwości fizykochemicznych powłok adekwatnych do specyfiki biofizycznych i biochemicznych uwarunkowań układu krwionośnego.

Z tego też względu zaproponowany program badawczy ukierunkowany został na określenie korelacji pomiędzy strukturą, właściwościami fizykochemicznymi warstw powierzchniowych, a ich hemokompatybilnością. Na podstawie przeprowadzonego studium literaturowego przyjęto następującą tezę badawczą:

**Wytworzenie warstwy powierzchniowej, z udziałem powłoki SiO<sub>2</sub>, na podłożu biomateriałów cpTi (Grade4) i Ti-6Al-7Nb o morfologii i właściwościach fizykochemicznych dostosowanych do biofizycznych i biochemicznych uwarunkowań układu sercowo-naczyniowego poprawia hemokompatybilność wyrobów implantowanych w środowisku krwi.**

Weryfikacja przyjętej tezy wymagała zrealizowania odpowiedniego zakresu badań, który pozwolił na pełną charakterystykę zachowania się powłok SiO<sub>2</sub> w warunkach implantacji, a także w trakcie długotrwałego kontaktu ze środowiskiem tkankowym podczas użytkowania implantu. Przyjęty w pracy program badań obejmował:

- Badania składu chemicznego,
- Badania mikrostrukturalne,
- Badania własności mechanicznych
- Badania własności fizycznych
- Badania własności elektrochemicznych
- Badania biologiczne in-vitro

Dla zapewnienia wymaganych właściwości fizykochemicznych powierzchni cpTi (Grade4) oraz Ti-6Al-7Nb opracowane zostały warunki ich obróbki powierzchniowej. Pierwszym zabiegiem obróbki powierzchniowej było szlifowanie mechaniczne zrealizowane na automatycznej szlifierko-polerce przy użyciu wodnego papieru ściernego ze ścierniwem karborundowym. Zabieg ten pozwolił na uzyskanie chropowatości powierzchni - Ra < 0,25µm. Drugim etapem było polerowanie

elektrolityczne w komercyjnie stosowanej kąpeli w temperaturze pokojowej ( $T = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) w czasie  $t = 3$  min, co pozwoliło na uzyskanie chropowatości powierzchni  $Ra < 0,12\mu\text{m}$ . Nanoszenie powłoki  $\text{SiO}_2$  realizowano z wykorzystaniem metody zol-żel. Chemiczna i strukturalna jednorodność binarnego tlenku metalu jakim jest  $\text{SiO}_2$  zależy w dużym stopniu od natury zastosowanych prekursorów oraz od metod otrzymywania wpływających na reakcje hydrolizy i kondensacji. Z tego punktu widzenia właściwy wybór prekursora, jak i dodatków stosowanych w trakcie preparatyki jest bardzo ważny, ponieważ może zapobiec separacji faz składników tworzących żel. Istotne jest to nie tylko na etapie hydrolizy, ale może również wpłynąć na procesy zachodzące podczas obróbki cieplnej. Stosowanym w badaniach prekursorem krzemionki był tetraetoksylan  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$  tzw. TEOS, i tetrametoksylan  $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$  tzw. TMOS. Pozostałe składniki wyjściowe zawierały alkohol etylowy (EtOH) i wodę. Jako katalizator zastosowano kwas solny (HCl). Aplikacja tego rodzaju metody obróbki powierzchniowej nie miała wpływu na strukturę i właściwości mechaniczne materiału podłoża.

Zdaniem wielu autorów prac jednym z podstawowych kryteriów kwalifikujących różne postaci implantów jest ich odporność korozyjna, a w konsekwencji biokompatybilność w roztworach symulujących płyny fizjologiczne. Dlatego też czynnikiem wstępnej oceny przydatności proponowanej warstwy powierzchniowej z udziałem powłoki  $\text{SiO}_2$  były badania odporności korozyjnej w środowisku symulującym warunki rzeczywiste. Zagadnienie korozji poszczególnych wariantów rozstrzygnięto w badaniach potencjodynamicznych przeprowadzonych w sztucznym osoczu, o stałym pH i stałej temperaturze w warunkach *in vitro* zgodnie z zaleceniami norm ISO i ASTM. Badania odporności korozyjnej realizowano dwuetapowo. Pierwszy obejmował badania wstępne, których celem było ustalenie warunków nanoszenia powłoki  $\text{SiO}_2$ . W tym etapie pracy skoncentrowano się na wytworzeniu powłok przy zróżnicowanych parametrach procesu, zmieniając, m.in. stężenie poszczególnych składników zolu, prędkość zanurzania i wynurzania próbek ( $v = 2,5 - 3,5\text{ mm/min}$ ), czas ( $t = 30 - 60\text{ min}$ ) i temperaturę ich wygrzewania ( $T = 400 - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Pozwoliło to wygenerować 16 wariantów próbek, które zostały poddane ocenie, pozwalającej na wytypowanie wariantów spełniających podstawowe wymogi. W drugim etapie badań korozyjnych wytypowany wariant obróbki powierzchniowej, zarówno tytanu cpTi (Grade4), jak i Ti-6Al-7Nb poddano procesowi sterylizacji medycznej, w której zastosowano dwie metody: parową, realizowaną w autoklawie (hydroliza, denaturacja i koagulacja enzymów i struktur komórkowych drobnoustrojów ( $T = 134\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 2,1\text{ bar}$ ,  $t = 7\text{ min}$ ) oraz z wykorzystaniem tlenku etylenu (czynnik o działaniu alkilującym, bakteriobójczym i wirusobójczym ( $T = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,0\text{ bar}$ ,  $t = 330\text{ min}$ )). Parametry procesu sterylizacji dobrano zgodnie z wytycznymi i zaleceniami Centralnej Sterylizatorni.

Wstępna ocena odporności na korozję wżerową wykazała, że największy wpływ na właściwości barierowe powłoki  $\text{SiO}_2$  ma temperatura oraz czas wygrzewania. Szczegółowe wyniki odporności korozyjnej, właściwości mechanicznych oraz adhezji do podłoża uzyskane podczas optymalizacji



procesu nanoszenia powłoki SiO<sub>2</sub> zostały opublikowane w postaci artykułów zamieszczonych w czasopismach o zasięgu krajowym, jak i międzynarodowym. Na podstawie uzyskanych wyników na tym etapie badań ustalono, że nakładanie powłoki ze stałą szybkością zanurzenia i wynurzenia  $v = 3$  cm/min, a następnym wygrzewaniu w temperaturze  $T = 430$  °C w czasie  $t = 60$  min zapewnia najlepszą odporność na korozję wżerową, zarówno dla czystego tytanu cpTi (Grade4), jak i stopu Ti-6Al-7Nb. Dodatkowo przeprowadzone badania potencjostatyczne wykazały, że powłoka SiO<sub>2</sub> również zabezpiecza podłoża tytanowe przed korozją szczelinową. Badania odporności na korozję na tym etapie zostały uzupełnione o pomiary potencjodynamiczne i potencjostatyczne w warunkach 28-dniowej ekspozycji w sztucznym osoczu. Uzyskane wyniki badań woltaamperometrycznych jednoznacznie wykazały, że powłoka SiO<sub>2</sub> naniesiona w proponowanych warunkach technologicznych w pełni zabezpiecza podłoża tytanowe przed korozją wżerową i szczelinową również po długotrwałym oddziaływaniu roztworu symulującego środowisko krwi. Uzupełniając, dla pełnej oceny właściwości elektrochemicznych wytypowanego wariantu obróbki powierzchniowej przeprowadzono badania z wykorzystaniem elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej. Proces nanoszenia powłoki SiO<sub>2</sub> na podłoża tytanowe spowodował dużą stabilność elektrochemiczną warstwy powierzchniowej o czym świadczy relatywnie duża wartość oporu przeniesienia ładunku  $R_{ct}$ . Uzyskane kształty charakterystyk dla próbek po 28-dniowej ekspozycji w sztucznym osoczu wskazują na występowanie porowatej warstwy tlenkowej w wyniku oddziaływania roztworu. Jest to prawdopodobnie spowodowane wynikiem częściowej degradacji warstwy SiO<sub>2</sub> w powierzchniowej subwarstwie przy jednoczesnym wytworzeniu warstewek typu membranowego w warstwie wewnętrznej (warstwa adsorpcyjna). Powstawanie dodatkowej warstwy adsorpcyjnej nie powoduje obniżenia odporności na korozję powłoki, a związane jest jedynie z jej własnościami fizycznymi (zwilżalność powierzchni i swobodna energia powierzchniowa).

Na reakcje odczynowe i immunologiczne związane z procesami biochemicznymi oprócz podstawowego kryterium jakim jest odporność korozyjna zasadniczy wpływ ma skład chemiczny warstwy powierzchniowej. Dlatego też w kolejnym etapie badań tej rozprawy przeprowadzono analizę ilościową i jakościową składu chemicznego warstwy powierzchniowej w celu identyfikacji i rozkładu występujących w niej ewentualnych pierwiastków stopowych pochodzących od podłoża. Badania składu chemicznego wykazały, że powłoka SiO<sub>2</sub> naniesiona metodą zol-żel przy założonych parametrach procesu skutecznie eliminuje z warstwy powierzchniowej pierwiastki stopowe, a tym samym powoduje zwiększenie biotolerancji analizowanych biomateriałów. Na powierzchni powłoki niezależnie od rodzaju podłoża stwierdzono jedynie obecność Si i O. Z kolei profil wgłębny wyznaczony dla warstwy powierzchniowej wykazał dyfuzyjny charakter powłoki SiO<sub>2</sub>. Mikrostruktura warstwy powierzchniowej ma również zasadniczy wpływ na biotolerancję implantu w środowisku tkankowym. Analiza warstwy powierzchniowej przeprowadzona za pomocą dyfrakcji

elektronowych (SAEDP) oraz przy pomocy wysokorozdzielczej techniki TEM (HRTEM) wykazała, że powłoka SiO<sub>2</sub> charakteryzowała się strukturą amorficzną. Dużą skuteczność struktury amorficznej powłoki SiO<sub>2</sub> w ograniczeniu transferu jonów z podłoża tytanowego potwierdzono podczas 28-dniowej ekspozycji w sztucznym osoczu wykorzystując metodę emisyjnej spektrometrii atomowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie. Podczas oddziaływania roztworu powłoka nie uległa degradacji, nie stwierdzono obecności w próbce roztworu sztucznego osocza pierwiastków pochodzących z podłoża tytanowego, a co za tym idzie, stanowiła skuteczną barierę dla jonów Ti, Al i Nb. Szczelność powłoki potwierdzono również w badaniach impedancyjnych, gdzie nie stwierdzono obecności impedancji Warburga, świadczącej o występowaniu równoległych kanalików z przewodzeniem jonowym oraz procesu jej degradacji.

Nałożenie powłoki SiO<sub>2</sub> zarówno na podłoża tytanowe jednofazowe  $\alpha$  jak i dwufazowe  $\alpha+\beta$  miały również na celu zidentyfikowanie ewentualnych różnic występujących w tych obszarach. Stwierdzono, że udział fazy  $\beta$  w stopie Ti-6Al-7Nb miał wpływ na zmniejszenie grubości powłoki SiO<sub>2</sub> w stosunku do powłoki nałożonej na podłożę cpTi(Grade4) co wykazano w badaniach elipsometrycznych. Może być to spowodowane mniejszą tendencją do powstawania fazy tlenku TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> w obszarze występowania fazy  $\beta$ . Niektórzy autorzy zwracają uwagę, że nie tyle grubość warstwy powierzchniowej, co topografia jej powierzchni, mają zasadniczy wpływ na destrukcję czerwonych ciałek krwi z wydzieleniem hemoglobiny oraz ich przyleganie do powierzchni. Proces ten jest m.in. efektem zbyt dużej chropowatości powierzchni implantu. Dlatego też obróbka powierzchniowa przed nałożeniem powłoki SiO<sub>2</sub> obejmująca polerowanie elektrochemiczne zapewniająca uzyskanie chropowatości powierzchni Ra < 0,16 $\mu$ m była wymagana. Nałożenie powłoki SiO<sub>2</sub> na tak przygotowane podłoża nie powodowały istotnych zmian w topografii powierzchni cpTi(Grade4) i Ti-6Al-7Nb. Nieznaczna różnica w chropowatości powierzchni cpTi(Grade4) i Ti-6Al-7Nb po procesie polerowania elektrochemicznego mogła być spowodowana również obecnością fazy  $\beta$ , a tym samym innej kinetyki anodowego roztwarzania powierzchni stopu w tym obszarze. Udział fazy  $\beta$  miał także niekorzystny wpływ na adhezję powłoki do podłoża Ti-6Al-7Nb. Mimo dyfuzyjnego charakteru powłoki SiO<sub>2</sub> potwierdzonego w badaniach AES, w teście zarysowania (scratch-test) delaminację powłoki w przypadku cpTi(Grade4) obserwowano dla wyższej wartości krytycznej w stosunku do podłoża Ti-6Al-7Nb.

Wprowadzenie biomateriałów metalowych, jak wspomniano we wcześniejszych rozdziałach tej monografii, skutkuje możliwością zainicjowania niekorzystnych zjawisk związanych m.in. z procesem zatrzymania krążenia krwi. Dlatego też zwrócono szczególną uwagę na konieczność stosowania powłoki o właściwościach paramagnetycznych i dielektrycznych (z uwagi na magnetotropizm elementów morfotycznych krwi). Stąd też istotną część realizowanych badań stanowiły pomiary własności magnetycznych i elektrycznych. Ta kwestia jest szczególnie istotna w odniesieniu do

implantów stosowanych w układzie krwionośnym. Pomiarzy MFM przeprowadzone w trybie AC magnetic force wykazały, że niezależnie od rodzaju podłoża tytanowego z udziałem powłoki SiO<sub>2</sub> stwierdzono brak występowania struktury domenowej, która świadczyłaby o namagnesowaniu bądź ferromagnetycznych własnościach którejkolwiek z powierzchni próbek. Wszelkie obserwowane zmiany własności magnetycznych były związane jedynie z topografią powierzchni podłoża, a zatem z oddziaływaniami niemagnetycznymi występującymi pomiędzy sondą a próbką. O dobrych właściwościach dielektrycznych warstwy powierzchniowej z udziałem powłoki SiO<sub>2</sub> świadczy również wysoka wartość oporu polaryzacyjnego R<sub>p</sub> wyznaczona w badaniach potencjodynamicznych oraz relatywnie wysoka wartość oporu przeniesienia ładunku R<sub>ct</sub> wyznaczona w pomiarach impedancyjnych. Z kolei pomiary z wykorzystaniem trybu „Kelvin Probe Force” nie wykazały znaczących zmian w rozkładzie potencjału powierzchniowego. Zaobserwowane zmiany korespondują ze zmianami obserwowanymi w obrazach przedstawiających topografię powierzchni co oznacza, że wynikają one ze zmian w ukształtowaniu powierzchni. Topografia i chropowatość powierzchni miały również wpływ na pomiary przesunięcia fazowego, które nie wykazały znaczących zmian we właściwościach fizycznych powłoki SiO<sub>2</sub>. Zaobserwowane zmiany korespondowały jedynie ze zmianami w topografii powierzchni analizowanej powłoki SiO<sub>2</sub>. Świadczy to o dużej jednorodności i homogeniczności powłoki SiO<sub>2</sub> a tym samym prawidłowym doborze parametrów procesu jej nanoszenia w metodzie zol-żel.

Dodatkowo, na hemokompatybilność oraz skuteczność w ograniczeniu niekorzystnych zjawisk występujących na granicy biomateriał – krew, takich jak agregacją krwinek czerwonych, naprężenia ścinające i graniczne wpływają takie właściwości fizyczne jak zwilżalność powierzchni i swobodna energia powierzchniowa. Zdaniem autora swobodna energia powierzchniowa jest parametrem bardziej precyzyjnym niż zwilżalność, ponieważ daje możliwość odpowiedzi na pytanie dotyczące względnej wielkości składowych: polarnej i niepolarniej (dyspersyjnej). Analizowane powłoki charakteryzowały się średnią wartością swobodnej energii powierzchniowej, co oznacza słabe właściwości adhezyjne, a także stosunkowo dużą odporność na wnikanie związków korozyjnych z wodą w strukturę powłoki SiO<sub>2</sub> co jest zjawiskiem korzystnym i potwierdza również jej dużą odporność na degradację w środowisku korozyjnym jakim jest krew. Dodatkowo, obecność ugrupowań Si-O-Si charakterystycznych dla krzemionki ujawnionych w pomiarach metodą spektroskopii absorpcyjnej z transformatą Fouriera (FTIR-ATR), pozwala w sposób kontrolowany na dalszą funkcjonalizację warstwy powierzchniowej, stanowiąc swoistego rodzaju matrycę do implikacji grup funkcyjnych poprawiających jej zwilżalność co jest zjawiskiem korzystnym.

Omówione wyniki badań wskazują że warstwa powierzchniowa z udziałem powłoki SiO<sub>2</sub> naniesionej metodą zol-żel w warunkach technologicznych opracowanych w monografii umożliwia zaprojektowanie powierzchni o właściwościach uwzględniających cechy biofizyczne i biochemiczne

środowiska krwi. Dla zweryfikowania przydatności proponowanej warstwy powierzchniowej do zastosowań klinicznych w ostatnim etapie pracy przeprowadzono badania biologiczne in-vitro. Przeprowadzone badania biologiczne in vitro: cytotoksyczności, hemolizy i oceny trombogenności w kontakcie z dedykowanym medium biologicznym – fibroblastami i krwią konserwowaną wykazały brak negatywnego oddziaływania zmodyfikowanych powierzchni podłoży tytanowych na cytotoksyczność i hemolizę. Z kolei badania trombogenności powłok SiO<sub>2</sub> po dynamicznym kontakcie z krwią pozwoliły na dokonanie selekcji materiału o najniższym potencjale trombogennym. Niezależnie od rodzaju podłoża wszystkie analizowane biomateriały po kontakcie dynamicznym z krwią generowały podobny poziom aktywacji płytek krwi. Najmniej zaadherowanych elementów morfotycznych do badanej powierzchni wykazano na podłożu cpTi(Grade4), co potwierdzono statystycznie.

Reasumując, przeprowadzone badania potwierdziły słuszność przyjętej tezy. Warstwa powierzchniowa, z udziałem powłoki SiO<sub>2</sub>, na podłożu biomateriałów tytanowych: cpTi(Grade4) i Ti-6Al-7Nb kształtowana określonymi warunkami technologicznymi procesu o morfologii i właściwościach fizykochemicznych dostosowanych do biofizycznych i biochemicznych uwarunkowań układu sercowo-naczyniowego poprawia hemokompatybilność wyrobów tytanowych w środowisku krwi.

Uzyskane na podstawie badań w ramach rozprawy wyniki pozwoliły sformułować następujące uogólnienia o charakterze poznawczym i aplikacyjnym:

- Warstwa pasywna wytworzona na podłożach cpTi (Grade4) i Ti-6Al-7Nb podczas wstępnej obróbki powierzchniowej (mechanicznej i elektrochemicznej) poprawia ich odporność korozyjną, natomiast nie stanowi skutecznej bariery, po 28. dniowej ekspozycji w roztworze sztucznego osocza, dla przenikania jonów Ti, Al, Nb wchodzących w skład materiału podłoża do środowiska układu krwionośnego.
- Dodatkowe naniesienie kompaktowej powłoki SiO<sub>2</sub> metodą zol-żel w warunkach zapewniających jej amorficzną strukturę i odpowiednią adhezję do podłoża w sposób skuteczny ogranicza migrację jonów analizowanych pierwiastków po 28. dniowej ekspozycji w roztworze sztucznego osocza.
- Badania cech morfologicznych powłoki SiO<sub>2</sub> wykazały tendencję do dziedziczenia parametrów stereometrycznych powierzchni badanych podłoży tytanowych ukształtowanych poprzez zabiegi poprzedzające proces jej nakładania ( $R_a < 0,16 \mu\text{m}$ ).
- Opracowane warunki nanoszenia powłoki SiO<sub>2</sub> metodą zol-żel zapewniają jej własności paramagnetyczne oraz jednorodność rozkładu potencjału powierzchniowego, co stanowi istotny wymóg procesu kształtowania własności fizykochemicznych powierzchni wyrobów do kontaktu z krwią z uwagi na magnetotropizm elementów morfotycznych krwi.

- Obecność fazy  $\beta$  w stopie Ti-6Al-7Nb miała wpływ na zwiększenie chropowatości powierzchni podłoża tytanowego oraz zmniejszenie grubości, przyczepności, obniżenie swobodnej energii powierzchniowej, a także właściwości optycznych powłoki SiO<sub>2</sub> w szczególności w warunkach sterylizacji tlenkiem etylenu powodując tym samym zwiększenie jej podatności na adhezję elementów morfotycznych krwi, co jest zjawiskiem niepożądanym.
- Wyniki badań cytotoksyczności (w kontakcie bezpośrednim), hemolizy i trombogenności (w warunkach dynamicznego kontaktu powierzchni materiału z krwią konserwowaną) przeprowadzone w warunkach in-vitro potwierdziły skuteczność powłoki SiO<sub>2</sub> w procesie ograniczania niekorzystnych zjawisk występujących w kontakcie ze środowiskiem tkankowym układu krwionośnego, m.in. nie powodując destrukcji czerwonych ciałek krwi z wydzielaniem hemoglobiny oraz ich przylegania do powierzchni wyrobu.
- Stwierdzona dodatkowo w badaniach obecność ugrupowań Si-O-Si na powierzchni powłoki SiO<sub>2</sub> jest zjawiskiem korzystnym i stwarza perspektywicznie możliwość dalszej kontrolowanej funkcjonalizacji powierzchni, poprzez regulowanie procesu powstawania grup funkcyjnych odpowiedzialnych, m.in. za adsorpcje białek, proces krzepnięcia, adhezje i aktywacje płytek krwi, czy też dopełnienie procesu aktywacji.

## 5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

### 5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem

Jestem absolwentem Wydziału Mechanicznego Technologicznego, Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Na ostatnim roku studiów odbyłem miesięczną praktykę zawodową w Samodzielnym Publicznym Szpitalu Klinicznym Nr 7 Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach. Pracę dyplomową magisterską pt. „Wyznaczenie charakterystyki biomechanicznej układu naczynie wieńcowe – stent z wykorzystaniem metody elementów skończonych” wykonałem pod kierunkiem prof. Jana Marciniaka i obroniłem w 2000 roku. Wyniki uzyskane w pracy dyplomowej magisterskiej zostały zaprezentowane podczas III Sympozjum „Inżynieria Ortopedyczna i Protetyczna”, w Białymstoku w 2001, a także przedstawione w publikacji:

- Z. Paszenda, J. Marciniak, W. Walke: Zastosowanie metody elementów skończonych do wyznaczenia charakterystyki biomechanicznej stentu wieńcowego. Acta of Bioengineering and Biomechanics, 3/1, 2001, pp. 161-168.

W 2001 roku odbyłem szkolenie organizowane w ramach programu PHARE SPP dla przyszłych pracowników i konsultantów tworzonego wówczas Regionalnego Centrum Innowacji i Transferu Technologii, Górnośląskiej Agencji Przekształceń Przedsiębiorstw S.A. w Katowicach dotyczące waloryzacji technologicznej. W 2002 roku podjąłem indywidualne studia doktoranckie pod

kierunkiem prof. Jana Marciniaka z zakresu inżynierii materiałowej (biomateriałów) w Zakładzie Inżynierii Materiałów Biomedycznych, Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej, których byłem słuchaczem do 2004 roku. Główną tematykę prowadzonych w tym okresie prac naukowych stanowiły również badania, które realizowałem w ramach projektów:

- Gwoździe śródszpikowe o podwyższonej odporności na korozję z biomateriałów metalicznych wraz z instrumentarium, projekt badawczy MNiSzW, celowy nr 7T08 C04999C/4535, wykonawca, 2000-2002r.
- Biomateriały metaliczne o zmodyfikowanej strukturze i określonych cechach mechanicznych z warstwami powierzchniowymi o dobrych własnościach mechanicznych, korozyjnych i biotolerancji przeznaczonych do rekonstrukcji i elastycznego zespalania tkanek, projekt MNiSzW zamawiany, PBZ-KBN-082/T08/2002, wykonawca 2002-2005r.
- Nowe materiały i technologie dla inżynierii biomedycznej, projekt zamawiany 03/PBZ-KBN-082/T08/2002, wykonawca, 2002-2005.

Wyniki badań uzyskanych w trakcie realizacji zarówno pracy doktorskiej, jak i badań realizowanych w ramach działalności naukowej zostały przedstawione na 8 konferencjach międzynarodowych (m.in. European Society of Biomechanics – ESB 2002, European Conference on Biomaterials – ESB 2005) i 2 krajowych oraz w 11 publikacjach naukowych.

Dodatkowo podnosiłem swoje kwalifikacje podczas rozmaitych kursów i szkoleń prowadzonych, zarówno w kraju, jak i za granicą. Między innymi, podczas pobytu w University for Technology and Economics w Győr (Węgry) w ramach 20<sup>th</sup> Danubia – Adria Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics, brałem udział w w szkoleniach dotyczących mechaniki eksperymentalnej. W 2004 roku ukończyłem Studium Doskonalenia Pedagogicznego dla Nauczycieli Akademickich w Gliwicach, spełniając tym samym wymagania dotyczące możliwości prowadzenia zajęć dla przyszłych nauczycieli akademickich. Z kolei podczas European Conference on Biomaterials ESB 2005 organizowanej we Włoszech wzięłem udział w warsztatach - Young Scientist Forum.

W dniu 16.11.2005 obroniłem z wyróżnieniem pracę doktorską pt. „Własności fizykochemiczne stopu Co-Cr-W-Ni przeznaczonego na stenty stosowane w angioplastyce wewnątrznaczyniowej”. Praca dotyczyła zagadnień związanych z doskonaleniem technologii wytwarzania materiałów pod kątem spełnienia wymagań stawianym takim specyficznym wyrobom, jak stenty stosowane w angioplastyce wewnątrznaczyniowej z wykorzystaniem nowych rozwiązań z zakresu inżynierii materiałowej, powierzchni i biomechaniki. Zagadnienia własności mechanicznych biomateriałów i fizykochemicznych powierzchni implantów w kontekście łącznego uwzględnienia warunków technologicznych i procesów przebiegających w wytworzonej warstwie wierzchniej o dużej hemokompatybilności w organizmie człowieka stanowią w dalszym ciągu ważne, złożone i perspektywiczne zagadnienia zarówno poznawcze jak i aplikacyjne.

## 5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora

### Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej (2006-2011)

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych rozpocząłem pracę w Zakładzie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej na stanowisku adiunkta w 2006 roku. W tym samym roku utworzyłem Studenckie Koło Naukowe Inżynierii Biomedycznej „Hybryda” działające przy Instytucie, którego byłem opiekunem naukowym do 2011 roku. Wcześniejsze doświadczenia zdobyte m.in. podczas realizacji pracy doktorskiej stały się podstawą do wyznaczenia dalszego kierunku badań nad modyfikacją powierzchni biomateriałów metalowych, m.in. do kontaktu z krwią. Główna tematyka badawcza dotyczyła szeroko pojętej modyfikacji powierzchni biomateriałów metalowych stosowanych na implanty w chirurgii małoinwazyjnej. Prowadzone badania z tego zakresu oraz zdobyta wiedza umożliwiły mi zostać współautorem monografii:

- J. Marciniak, Z. Paszenda, W. Walke, M. Kaczmarek, J. Tyrlik-Held, W. Kajzer: Stenty w chirurgii małoinwazyjnej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.

za którą w 2007 roku otrzymałem zespołową Nagrodę Rektora I-go stopnia za osiągnięcia w dziedzinie naukowej. W tym samym roku wzbogacałem swoje doświadczenie, m. in. jako uczestnik szkoleń w ramach 7<sup>th</sup> International Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy EIS 2007 we Francji oraz w Young Scientist Forum w ramach European Conference on Biomaterials ESB2007 w University of Brighton, Faculty of Science and Engineering, w Wielkiej Brytanii oraz w ramach Światowego Kongresu nt.: "Materials and Manufacturing Engineering and Technology COMMENT 2007 Gliwice – Kraków – Zakopane prowadzone przez Stowarzyszenie Komputerowej Nauki o Materiałach i Inżynierii Powierzchni ACMS&SE. Odbyłem również staż technologiczny w Żywieckiej Fabryce Sprzętu Szpitalnego – FAMED S.A w ramach projektu „Tworzenie sieci współpracy Śląskiego Centrum Zaawansowanych Technologii na poziomie regionalnym”. Podnoszenie kwalifikacji a tym samym inwestowanie we własny rozwój naukowy realizowałem w kolejnych latach pracy poprzez ukończenie, m.in. studiów podyplomowych: „Biomateriały – materiały dla medycyny” na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki w Katedrze Biomateriałów Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie (2008). Odbyłem również szkolenia w zakresie wykorzystania metody elementów skończonych w zastosowaniach inżynierskich, organizowanych przez Ansys Support Coordinator. ANSYS, Mescos, na Uniwersytecie Warszawskim w Warszawie (2008), a także dotyczące wykorzystania impedancji w nauce o materiałach na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach (2008). Dzisiejsza nauka to również wiedza o jej utylitarnych możliwościach, stąd też mój udział w cyklu szkoleń dotyczących niszowych kierunków rozwoju (Katowice, 2010), innowacyjności (Gliwice, 2010), negocjacji (Gliwice, 2010), ochrony własności intelektualnej (Gliwice, 2011) oraz sposobów finansowania (Gliwice, 2010)

realizowanych w ramach projektu „Wiedza kluczem do sukcesu”. W dodatkowo w szkolenie w ramach projektu „Innowacyjne kadry akademickie” organizowanego w ramach programu systemowego „Zarządzanie, wdrażanie i monitorowanie Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Śląskiego” a także w kursie doształcającym w zakresie: Aktywizacji Postaw Przedsiębiorczych zrealizowany w ramach projektu: Aktywizacja społeczności akademickiej jako element realizacji Regionalnej Strategii Innowacji w Centrum Innowacji i Transferu Technologii Politechniki Śląskiej w Zabrze. Uzyskana w ten sposób wiedza umożliwiła mi również zostać członkiem zespołu ds. programu wspierania infrastruktury badawczej w ramach Funduszu Nauki i Technologii Polskiej w latach 2011 – 2012. Posiadana wiedza i nabyte umiejętności wpłynęły również pozytywnie na moją współpracę naukową. W latach 2006-2011 aktywnie współpracowałem z naukowcami z następujących jednostek:

- University College London, Eatsman Dental Institute, Londyn, Wielka Brytania
- Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska.
- Zakład Inżynierii Medycznej, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Politechnika Śląska, Katowice, Polska.
- Katedra Technologii Materiałowych, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Politechnika Śląska, Katowice, Polska.
- Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski, Katowice, Polska
- Zakład Protetyki Stomatologicznej, Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, Polska.
- Instytut Techniki i Aparatury Medycznej ITAM, Zabrze, Polska
- Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. Prof. Zbigniewa Religi, Zabrze, Polska

Stąd też obszar moich zainteresowań w tym okresie obejmował swym zakresem:

- badania nad modyfikacją własności fizykochemicznych powierzchni stali austenicznej Cr-Ni-Mo, tytanu i stopów tytanu Ti-6Al-4V oraz Ti-6Al-7Nb, stopów Ni-Ti, stopu Co-Cr-W-Ni do zastosowań w ortopedii, kardiologii urologii i stomatologii.
- badania nad modyfikacją własności fizykochemicznych powierzchni stali Cr-Ni oraz Cr-Ni-Mo do zastosowań na przewodniki kardiologiczne i urologiczne
- analizy numeryczne i doświadczalne właściwości mechanicznych zespoleń kości długich z zastosowaniem płytki do osteotomii korekcyjnej, śruby dwuwchodowej oraz różnego rodzaju stabilizatorów płytkowych (również do zespoleń kości zuchwy).
- analizy numeryczne dotyczące zastosowania implantów kardiologicznych (stentów i zastawek serca) w leczeniu schorzeń układu sercowo-naczyniowego.

W tych obszarach realizowałem również prace badawcze jako wykonawca w ramach następujących projektów:

- Projekt badawczy rozwojowy nr R08 016 01 pt.: „Implanty metalowe nowej generacji o zmodyfikowanej strukturze warstw powierzchniowych i kontrolowanej sztywności do rekonstrukcji i zespalania kości”. Projekt MNiSzW zamawiany nr R08 016 01, 2006-2009.
- Opracowanie biomechanicznych zasad kształtowania geometrycznych i materiałowych cech konstrukcyjnych całkowitych protez zębowych dla trudnych warunków ich posadowienia. Nr 4256/B/T02/2009/36, projekt badawczy MNiSzW, 2009-2011.
- Kształtowanie warstw powierzchniowych stopu Ni-Ti przeznaczonych na implanty stosowane w chirurgii małoinwazyjnej tkanek miękkich. N N507 464538, projekt badawczy MNiSzW, 2010-2012.
- Modyfikacja powierzchni implantów ze stopów tytanowych. N N507 513338, projekt badawczy MNiSzW, 2010-2012.
- Technologia wytwarzania przewodników stosowanych w kardiologii inwazyjnej. N N508 627840, projekt badawczy MNiSzW, 2011-2014.



W tym okresie byłem również wykonawcą trzech ekspertyz: dwóch dotyczących implantów i jednej - narzędzi chirurgicznych, tj.:

- „Analiza makroskopowa endoprotez stawu biodrowego” dla Samodzielny Publiczny Wojewódzki Szpital Chirurgii Urazowej im. Dr J. Daaba, 2007.
- „Ocena prawidłowości wykonania tyżeczki artroskopowej” dla Sąd Okręgowy w Bielsku-Białej, I Wydział Cywilny, 2007.
- „Ocena poprawności wykonania płytki indyjskiej typu DCS pod względem zaleceń normatywnych” dla BHH Mikromed, Sp. z o.o., 2009.

W efekcie pracy naukowo-badawczej na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w latach 2006-2011 byłem autorem lub współautorem 100 publikacji zamieszczonych w czasopiśmie krajowych (67) oraz zagranicznych (33), a także uczestnikiem 38 konferencji krajowych (11) i międzynarodowych (27). Byłem również recenzentem publikacji zamieszczonych, m.in. w czasopiśmie: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering (2) czy Archives of Materials Science and Engineering (1). Moja działalność naukowa w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych została wysoko oceniona, dlatego też w 2011 roku zaproponowano mi pracę na nowo utworzonym, najmłodszym wydziale Politechniki Śląskiej – Wydziale Inżynierii Biomedycznej.

#### Wydział Inżynierii Biomedycznej (2011 – nadal)

Od 2011 jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Wydziału Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej. W tym samym roku utworzyłem Studenckie Koło Naukowe Inżynierii Biomateriałów „Synergia” działające przy Katedrze, którego jestem opiekunem naukowym do dziś. Wcześniejsze doświadczenia zdobyte w trakcie pracy naukowej na Wydziale Mechanicznym Technologicznym pozwoliły na kontynuację własnego rozwoju poprzez rozszerzenie współpracy z naukowcami z następujących jednostek:

- Faculty of Pharmacy, University of Sydney, Sydney, Australia
- Katedra Optoelektroniki, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska
- Instytut Geologii Stosowanej, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska
- Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej, Polska Akademia Nauk, Warszawa, Polska.

W obszarze moich zainteresowań dodatkowo znalazły się zagadnienia związane z:

- zastosowaniem stopów Co-Cr, ceramiki cyrkonowej oraz kompozytów wzmacnianych włóknem szklanym na wkłady koronowo-korzeniowe stosowane w odbudowie protetycznej zębów
- badaniem struktury morfologicznej i własności fizykochemicznych warstw powierzchniowych do zastosowań w układzie sercowo-naczyniowym

Dla podniesienia własnych kompetencji współpracy nauki z biznesem w 2012 roku ukończyłem menedżerskie studia podyplomowe: „Menedżer badań naukowych i prac rozwojowych” w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie oraz szkolenie z zakresu „Przygotowania do pracy w charakterze kierownika projektów badawczych” realizowane na Politechnice Śląskiej w Gliwicach. Z



kolei w 2013 roku szkolenie z zakresu wdrażania i komercjalizacji innowacji, mechanizmu wdrażania innowacji z uwzględnieniem ryzyka projektu innowacyjnego oraz komercjalizacji badań w ramach projektu „Transfer wiedzy i praktyki” w Zabrze. Natomiast w 2015 roku szkolenie w zakresie wprowadzanie do obrotu i używania wyrobów medycznych zgodnie z zasadami obowiązującymi w krajach Unii Europejskiej (w tym rejestracja wyrobu medycznego, oznakowanie CE) prowadzone w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii im. Zbigniewa Religii w Zabrze. Wzorem lat poprzednich wzbogaciłem również swoje doświadczenie, m.in. jako uczestnik szkoleń prowadzonych w ramach konferencji Achievements in Mechanical and Materials Engineering AMME (2012 i 2013) czy Inżynieria Biomedyczna w Stomatologii (2012 i 2014). Dla podniesienia własnych kwalifikacji odbyłem również staże naukowe w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii im. Prof. Zbigniewa Religii (2014) oraz w Instytucie Techniki i Aparatury Medycznej – ITAM w Zabrze (2015).

Uczestniczyłem również jako wykonawca w realizacji dwóch prac badawczych:

- Kształtowanie struktury morfologicznej i własności fizykochemicznych warstw powierzchniowych do zastosowań w układzie sercowo-naczyniowym. Nr 2011/03/B/ST8/06499, 2012-2015.
- Kształtowanie własności fizykochemicznych warstw powierzchniowych stali Cr-Ni-Mo przeznaczonej na implanty do kontaktu z krwią. Nr 2014/13/D/ST8/03230, 2015-2017.

Za opracowanie i wdrożenie do produkcji nowego rozwiązania implantu stosowanego w osteotomii korekcyjnej kości podudzia jestem laureatem (jako członek zespołu) Nagrody Marszałka Województwa Śląskiego „Innowator Śląska 2011” przyznawanej w kategorii jednostek badawczo – rozwojowych.

W 2013 roku zostałem współtwórcą patentu (No. 214699): Jerzy Cieplak, Jan Marciniak, Marcin Kaczmarek, Witold Walke - „Płytko do osteotomii kości podudzia”.

W 2014 roku otrzymałem Indywidualną Nagrodę Rektora III-go stopnia za osiągnięcia naukowe.

W latach 2013-2015 byłem kierownikiem (3) i wykonawcą (7) ekspertyz:

- „Wykonanie kompleksowych badań porównawczych wyekstrahowanych zębów poddanych procesowi abrazyj powietrznej z wykorzystaniem płaszcza wodnego i w metodzie „na sucho” oraz przy zastosowaniu proszku ściernego o różnej gradacji” w ramach programu „BON NA INNOWACJE” BNI/24/0732/13 dla Innovative Micro Dentistry Sp. z o.o., Kierownik, 2013.
- „Ekspertyza techniczna płyty tytanowej stosowanej do stabilizacji złamania kości” dla Sopotkiego Towarzystwa Ubezpieczeniowego Ergo Hestia SA, Wykonawca, 2013
- „Określenie przyczyn uszkodzenia złączki gwintowanej pochodzącej z konsoli wodomierzowej” dla Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o., Wykonawca, 2014
- „Badania własności fizykochemicznych wybranych biomateriałów metalowych” dla BHH Mikromed Sp. z o.o., Kierownik, 2014
- „Badania jakości materiału, z którego wykonano narzędzia chirurgiczne o nr katalogowym BF 431R oraz BH 443R” dla Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego, Kierownik, 2014
- „Ocena poprawności wykonania narzędzi chirurgicznych” dla Uniwersyteckiego Szpitala Dziecięcego w Krakowie, Kierownik, 2015.
- „Badania klamer ze stopu Ni-Ti” dla BHH Mikromed Sp. z o.o., Kierownik, 2015.
- „Badania jakości narzędzi chirurgicznych” dla Medicom Sp. z o.o., Wykonawca, 2015.
- „Badania jakości kardiologicznych cewników balonowych” dla Aesculap Chifa Sp. z o.o., 2015.

- Praca pt. „Ocena własności mechanicznych warstw fotokatalizatorów naniesionych na stal nierdzewną” dla Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii, Wykonawca, 2015.

W efekcie pracy naukowo-badawczej na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej od roku 2011 jestem autorem lub współautorem 146 publikacji zamieszczonych w czasopismach krajowych (78) oraz zagranicznych (68), a także uczestnikiem 42 konferencji krajowych (14) i międzynarodowych (28).

Byłem również recenzentem publikacji zamieszczonych, m.in. w czasopismach: Journal of Tissue Engineering (2), Acta of Biomechanics and Bioengineering (2), Advances in Materials Science (5), Materials and Design (1), Recent Patents on Corrosion Science (1), Applied Surface Science (1), Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering (3), Archives of Materials Science and Engineering (4), Aktualne Problemy Biomechaniki (10).

Zdobyte doświadczenie naukowe umożliwiło mi zostać ekspertem w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014-2020 w dziedzinach Badania naukowe, rozwój technologiczny i innowacje w medycynie; Technologie medyczne (ochrony zdrowia); Infrastruktura badawczo-rozwojowa w obszarze regionalnych inteligentnych specjalizacji realizowanego przez Śląski Urząd Marszałkowski oraz w ramach POIR (Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój) w latach 2014-2020 realizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Nieprzerwanie od 2008 roku jestem członkiem Sekcji Biomateriałów, Komitetu Nauki o Materiałach PAN, członkiem zwyczajnym Polskiego i Europejskiego Stowarzyszenia Biomateriałów, a od 2016 roku członkiem Rady Naukowej Centrum Nanotechnologii Politechniki Śląskiej.

## 6. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej

Reasumując, łącznie jestem autorem/współautorem **282** publikacji, (**64** publikacje indeksowane w bazie Web of Science<sup>TM</sup>, w tym **45** w bazie ISI Master Journal List (tzw. lista filadelfijska) oraz **27** w bazie Journal Citation Reports (IF) za sumaryczną liczbę punktów MNiSW > **1000**).

Aktualna liczba cytowań publikacji wg bazy Web of Science<sup>TM</sup> – **239 (139)**,

indeks Hirsha – **h = 10**, sumaryczny **IF = 26,475**.

(z uwzględnieniem suplementów: IF = 41,146 oraz publikacji zaakceptowanych do druku w roku obowiązywania IF, a wydanych w roku jego odebrania – IF = 45,521)

Dane bibliometryczne otrzymane z baz Web of Science<sup>TM</sup>, Scopus i Google Scholar przedstawione są w tablicy 1.

Tabela 1. Dane bibliometryczne otrzymane z baz Web of Science™, Scopus i Google Scholar (30.06.2017)

	Web of Science™	Scopus	Google Scholar
Liczba publikacji	64	87	173
Indeks H	10	10	14
Liczba cytowań	239	362	824

## 7. Działalność dydaktyczna

Moją działalność dydaktyczną rozpocząłem w trakcie studiów doktoranckich (2000-2005) prowadząc zajęcia na Wydziałach: Mechanicznym Technologicznym (2000-2005) oraz Inżynierii Środowiska i Energetyki (2001-2002) z następujących przedmiotów:

1. Podstawy nauki o materiałach – zajęcia laboratoryjne.
2. Materiały metalowe – zajęcia laboratoryjne.
3. Zasady doboru materiałów inżynierskich – zajęcia laboratoryjne.
4. Zasady konstrukcji urządzeń do technologii procesów materiałowych – zajęcia projektowe.
5. Automatyzacja i robotyzacja procesów materiałowych – zajęcia projektowe.
6. Automatyzacja i robotyzacja procesów technologicznych – zajęcia projektowe.
7. Automatyzacja i robotyzacja technologii procesów materiałowych – zajęcia projektowe.
8. Technologie procesów materiałowych – zajęcia projektowe.
9. Biomateriały i materiały medyczne – zajęcia laboratoryjne.
10. Instrumentarium medyczne – zajęcia projektowe.

Natomiast będąc zatrudniony na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego od 2006 roku prowadziłem zajęcia na Wydziałach: Mechanicznym Technologicznym (2006-2011), Inżynierii Biomedycznej (2011-2017), Automatyki Elektroniki i Informatyki (2010-2013) z następujących przedmiotów:

1. Instrumentarium chirurgiczne – zajęcia projektowe.
2. Metody badań biomateriałów – zajęcia laboratoryjne.
3. Instrumentarium i sprzęt medyczny – zajęcia projektowe i laboratoryjne (opracowanie własne).
4. Implanty – zajęcia projektowe (opracowanie własne).
5. Zasady projektowania instrumentarium chirurgicznego – zajęcia projektowe.
6. Procesy korozji i degradacji biomateriałów – zajęcia laboratoryjne.
7. Grafika inżynierska – zajęcia projektowe, wykład (opracowanie własne).
8. Inżynieria powierzchni biomateriałów – zajęcia laboratoryjne, wykład (opracowanie własne).
9. Implanty i instrumentarium w chirurgii małoinwazyjnej – zajęcia projektowe (opracowanie własne).
10. Implanty w ortopedii i traumatologii – zajęcia projektowe (opracowanie własne).
11. Komputerowe wspomaganie projektowania inżynierskiego – zajęcia laboratoryjne (opracowanie własne).
12. Komputerowe wspomaganie projektowania wyrobów medycznych – zajęcia projektowe (opracowanie własne).
13. Technologie obróbki powierzchniowej – zajęcia laboratoryjne, wykład (opracowanie własne).

Byłem również promotorem prac dyplomowych inżynierskich, projektów inżynierskich i prac dyplomowych magisterskich:

1. Wydział Mechaniczny Technologiczny:

Prace dyplomowe inżynierskie – 10 (na kierunkach: Automatyka i Robotyka, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Mechanika i Budowa Maszyn oraz Edukacja Techniczno - Informatyczna)  
Prace dyplomowe magisterskie – 12 (na kierunkach: Automatyka i Robotyka, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Mechanika i Budowa Maszyn oraz Edukacja Techniczno - Informatyczna)

2. Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki:

Projekty inżynierskie – 12 (na kierunku: Inżynieria Biomedyczna)

3. Wydział Inżynierii Biomedycznej:

Projekty inżynierskie – 10 (na kierunku: Inżynieria Biomedyczna)  
Prace dyplomowe magisterskie – 12 na specjalności: (Inżynieria Wytwarzania Implantów Sprzętu Szpitalnego i Rehabilitacyjnego)  
Prace dyplomowe magisterskie – 1 na specjalności: (Biomechanika i Sprzęt Medyczny)

W ogólnopolskich konkursach o Dyplom i Nagrodę Prezesa SIMP na najlepszą pracę dyplomową o profilu mechanicznym zostały docenione 3 prace dyplomowe, których byłem opiekunem (IX Edycja - Wyróżnienie II Stopnia, X Edycja - I Nagroda, XIII Edycja – II Nagroda).

Sprawowałem również opiekę naukową nad pracami przejściowymi (48), a także nad studentami w trakcie wyjazdów edukacyjnych (m.in. Famed S.A, B.H.H. Mikromed, Centralna Sterylizatornia, Klinika Chirurgii Endoskopowej Sp. z o.o.). Brałem również udział w organizacji warsztatów „Koncepcja rozwoju inteligentnych specjalizacji w województwie śląskim” w ramach projektu Punkt Informacji Europejskiej Europe Direct – Śląsk” Sieć Punktów Informacji Europejskiej Europe Direct w latach 2013-2017 w Zabrze 2014.

Uzyskane doświadczenie dydaktyczne pozwoliło mi na zorganizowanie i kierowanie kursem ze strony Politechniki Śląskiej nt. „Implanty i instrumentarium stosowane w chirurgii kostnej i protetyce stomatologicznej” prowadzonego dla kierowników centralnych sterylizatori i osób nadzorujących wytwarzanie sterylnych wyrobów medycznych w podmiotach leczniczych i innych podmiotach wykonujących usługi na rzecz podmiotów leczniczych w latach 2015-2016.

Prowadziłem również gościnnie edukacyjne wykłady plenarne, m.in. w ramach XI Ogólnopolska Konferencja „Sterylizacja” (Siemianowice Śląskie, 2016); Sympozjum naukowo-szkoleniowego „Bezpieczna Sterylizatornia” (Katowice 2014); Blok operacyjny i sterylizatornia partnerami w zarządzaniu jakością (Poznań, 2014); XXI Zjazdu Polskiego Stowarzyszenia Rozwoju Sterylizacji i Dezynfekcji Medycznej (Stare Jabłonki, 2013) czy też XVIII Zjazdu Polskiego Stowarzyszenia Rozwoju Sterylizacji i Dezynfekcji Medycznej, Pasym 2010. Ponadto kilkadziesiąt wykładów oraz pokazów popularyzujących naukę dla uczniów szkół średnich w ramach rozmaitych pikników naukowych czy też targów edukacji.

W celu podniesienia własnych kwalifikacji związanych z dydaktyką ukończyłem w 2004 roku Studium Doskonalenia Pedagogicznego dla Nauczycieli Akademickich. W dobie rosnącej konkurencji

na rynku usług edukacyjnych, a co za tym idzie, wzrastających oczekiwań studentów, dla przebudowy własnego warsztatu pracy, nie tylko jako badacza i naukowca, ale również nowoczesnego, kompetentnego w swych działaniach nauczyciela akademickiego jestem uczestnikiem kursu „Innowacyjna dydaktyka nauczyciela akademickiego Politechniki Śląskiej” realizowany przez Kolegium Nauk Społecznych i Filologii Obcych Politechniki Śląskiej.

Za działalność dydaktyczną otrzymałem 3 zespołowe nagrody JM Rektora Politechniki Śląskiej – pierwszego (1) i trzeciego (2) stopnia.

## 8. Działalność organizacyjna

Moją działalność organizacyjną rozpocząłem w trakcie studiów doktoranckich (2001) będąc członkiem zespołu ds. promocji Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. Działalność tą realizowałem do roku 2010.

W 2009 roku ukończyłem Kurs: "Auditor Wewnętrzny ISO 9001:2008" – prowadzony przez BSI Management Systems, przez co zostałem członkiem zespołu ds. wdrożenia Systemu Zarządzania Jakością w oparciu o standard PN EN - ISO 9001:2001, w zakresie usług dydaktycznych i badawczych w obszarze inżynierii materiałowej w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej.

W 2007 roku byłem sekretarzem konferencji naukowej: Contemporary of Achievements Biomaterials and Biomedical Engineering CABBE 2007 w ramach The Worldwide Congress of Materials and Manufacturing Engineering and Technology - COMMENT'2007. Z kolei w 2007 roku byłem organizatorem seminarium naukowego „Inżynieria Biomedyczna – realia i perspektywy”, organizowanego w Centrum Edukacyjno-Kongresowe Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Ponadto w roku 2011, 2012 i 2014 byłem przewodniczącym komitetu organizacyjnego konferencji Inżynieria Biomedyczna w Stomatologii, a także głównym organizatorem sesji studenckiej „Lekarz i inżynier – wspólne dzieło” w ramach II i III edycji tej konferencji. Uczestniczyłem również w pracach komitetów organizacyjnych konferencji: Śląska Inżynieria Biomedyczna (2011, 2012, 2013, 2014 i 2015) oraz Innovation in Biomedical Engineering (2016 i 2017). Z kolei w 2016 roku zorganizowałem konferencję SKN Inżynierii Biomateriałów – „SYNERGIA” (którego jestem opiekunem naukowym) połączoną z warsztatami z zakresu podstaw projektowania inżynierskiego oraz analiz przepływu z wykorzystaniem MES.

Od 2011 roku jestem pełnomocnikiem Dziekana Wydziału Inżynierii Biomedycznej ds. Promocji. Z tego też powodu w latach 2011-2017 brałem czynny udział w promocji Wydziału oraz popularyzacji nauki podczas różnego rodzaju wydarzeń, m.in. Industriada, Śląski Salon Maturzystów, Dni Nauki, Giełda Pracodawcy i Przedsiębiorczości, Noc Naukowców Politechniki Śląskiej, Dzień Otwarty

Politechniki Śląskiej, Dzień Gliwickich Młodych Naukowców, Dni Nauki i Przemysłu, Nocny Festiwal Nauki i Sportu, Ogólnopolskie Targi „EDUKACJA”, Dni Otwarte Politechniki Śląskiej, Student Fest, Europejski Kongres Małych i Średnich przedsiębiorstw oraz w wielu imprezach organizowanych przez szkoły średnie, podczas których prezentowano osiągnięcia z dziedziny inżynierii biomedycznej.

Dodatkowo, swoją działalność organizacyjną skupiłem na pracach związanych z adaptacją przestrzeni budynków Wydziału na potrzeby laboratoryjne. W tym zakresie aktywnie uczestniczyłem również w opracowaniu wniosku do Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego celem pozyskania środków finansowych na sprzęt laboratoryjny (z sukcesem) nowo tworzonego Wydziału Inżynierii Biomedycznej. Brałem również udział w organizacji laboratorium Zintegrowanych Procesów Materiałowych w Protetyce Stomatologicznej w ramach Centrum Biotechnologii, Bioinżynierii i Bioinformatyki – Śląska „BIO-FARMA” (2011), której jestem opiekunem. Ponadto pełniłem funkcje kierownika laboratorium obróbki cieplnej (2011-2016) oraz badań elektrochemicznych (2011-2014).

Od roku 2011 pełnię również funkcję administratora Wydziału Inżynierii Biomedycznej ds. Bazy Ekspertów, Aparatury i Technologii.

Od 2015 roku jestem zaangażowany w organizację laboratoriów: badań elektrochemicznych biomateriałów oraz badań własności fizycznych warstw powierzchniowych w ramach kluczowego projektu Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2014-2020: Śląskiego Centrum Inżynierskiego Wspomagania Medycyny i Sportu realizowanym na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej.

W 2016 roku zostałem członkiem Uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej ds. Nauczycieli Akademickich na lata 2016-2020.

Mimo tak dużego zaangażowania moja 16-letnia działalność organizacyjna nie została w żaden sposób zauważona, doceniona czy uhonorowana.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wate'.