

dr inż. Jarosław Jan Jasiński
Politechnika Częstochowska

ZAŁĄCZNIK NR 3

AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych albo artystycznych,
w szczególności osiągnięcia, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy
z dnia 14 marca 2003 r.

Częstochowa, 25 kwietnia 2019

1. Imię i Nazwisko:

Jarosław Jan Jasiński

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Stopień naukowy: **Doktor nauk technicznych** Dyscyplina: **Inżynieria Materiałowa**
Politechnika Częstochowska
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Instytut Inżynierii Materiałowej

Data i miejsce uzyskania stopnia naukowego: **28 października 2014 r., Częstochowa**

Tytuł rozprawy doktorskiej: **Zjawiska i efekty oddziaływania ekranów aktywnych
(active screen) w procesie azotowania jonowego**

Promotor rozprawy doktorskiej: **Dr hab. inż. Tadeusz Frączek prof. PCz**

Recenzenci rozprawy doktorskiej: **Prof. dr hab. inż. Andrzej Lis**

Dr hab. inż. Jerzy Robert Sobiecki prof. PW

Stopień naukowy : **Magister inżynier**

Dyscyplina: **Inżynieria Materiałowa**

Specjalność: **Ochrona przed korozją**

Akademia Górniczo – Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

Katedra Fizykochemii Ciała Stałego

Data i miejsce uzyskania stopnia naukowego: **7 lipca 2009 r., Kraków**

Tytuł pracy magisterskiej: **Dyfuzja wzajemna w geometrii trójwymiarowej**

Promotor pracy magisterskiej: **Prof. dr hab. inż. Marek Danielewski**

Recenzent pracy magisterskiej: **Dr hab. Bartłomiej Wierzba**

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 01.10.2009 ÷ 28.10.2014 **Doktorant**
Politechnika Częstochowska
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Instytut Inżynierii Materiałowej
- 03.06.2015 ÷ 30.09.2015 **Koordynator Działu Badawczo-Rozwojowego B+R**
Narzędziownia Bogdan Pszenica
ul. Częstochowska 1b
46 – 320 Praszka
- 01.03.2015 ÷ obecnie **Adiunkt**
Politechnika Częstochowska
Wydział Zarządzania
Instytut Logistyki i Zarządzania Międzynarodowego

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Funkcjonalizacja podłoży tytanowych dla poprawy bioaktywności w zastosowaniach biomedycznych

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

Publikacje:

1. **J.J. Jasiński**, M. Lubas, Ł. Kurpaska, W. Napadłek, M.Sitarz, (2018), Functionalization of Ti99.2 Substrates Surface by Hybrid Treatment Investigated with Spectroscopic Methods, **Journal of Molecular Structure, Vol.1164, 412÷419 (JCR JIF = 2.011)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przeprowadzeniu badań, analizie wyników, opracowaniu i interpretacji wyników, napisaniu rozdziałów i wniosków manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 75%.

2. M. Lubas, **J.J. Jasiński**, P. Jeleń, M.Sitarz, (2018), Effect of ZrO₂ Sol-Gel Coating on the Ti99.2 - Porcelain Bond Strength Investigated with Mechanical Testing and Raman Spectroscopy, **Journal of Molecular Structure**, Vol.1168, **316÷321 (JCR JIF = 2.011)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

3. **J.J. Jasiński**, Ł. Kurpaska, M. Lubas, M. Leśniak, J. Jasiński, M. Sitarz, (2016), Effect of hybrid oxidation on the titanium oxide layer's properties investigated by spectroscopic methods, **Journal of Molecular Structure**, **1126**, **165÷171 (JCR JIF = 1.753)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przeprowadzeniu badań, analizie wyników, opracowaniu i interpretacji wyników, napisaniu rozdziałów i wniosków manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 75%.

4. **J.J. Jasiński**, Ł. Kurpaska, M. Lubas, J.Jasiński, M. Sitarz, (2016), Duplex Titanium Oxide Layers for Biomedical Applications, **ASTM Materials Performance and Characterization**, Vol. 5, No 4, **461÷471**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przeprowadzeniu badań, analizie wyników, opracowaniu i interpretacji wyników, napisaniu rozdziałów i wniosków manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 75%.

5. M. Lubas, **J.J. Jasiński**, M.Sitarz, Ł.Kurpaska, P.Podsiad, J.Jasiński, (2014), Raman Spectroscopy of TiO₂ Thin Films Formed by Hybrid Treatment for Biomedical Applications, **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Vol.133, **867÷871 (JCR JIF = 2.353)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 45%.

6. M. Lubas, M. Sitarz, **J.J. Jasiński**, P.Jeleń, L. Klita, P. Podsiad, J. Jasiński, (2014), Fabrication and Characterization of Oxygen - Diffused Titanium Using Spectroscopy Method, **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Vol.133, **883÷886 (JCR JIF = 2.353)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów i wniosków manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

7. M.Lubas, P.Podsiad, **J.J. Jasiński**, J.Jasiński, M.Sitarz, (2014), Właściwości tribologiczne tytanu po procesie utleniania w złożu fluidalnym, **Inżynieria Materiałowa**, R.35, Nr 5 (201), **393÷396**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów i wniosków manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 35%.

8. J. Jasiński, B. Rajchel, M. Lubas, **J.J. Jasiński**, B. Kucharska, P. Podsiad, (2013) Investigation of TiO₂ Thin Coatings for Medical Applications by X-Ray Diffraction and Raman Microspectroscopy, **Solid State Phenomena, Vols. 203-204, 165÷168**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

9. J. Jasiński, M. Lubas, **J.J. Jasiński**, P. Wieczorek, (2013), Titanium Oxidation Effects After Various Surface Modification Methods, **Engineering of Biomaterials, Vol.16, R.16, No 120, 41÷47**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 35%.

10. J. Jasiński, M. Lubas, **J.J. Jasiński**, P. Podsiad, J. Gawroński, L. Jeziorski, (2013), Aktywowanie warstwy wierzchniej Ti Grade 2 w procesach utleniania, **Inżynieria Materiałowa, Nr 5 (195), R.34, 455÷458**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 45%.

11. **J.J. Jasiński**, T. Frączek, J. Gawroński, J.Jasiński, (2013), Ekran aktywny w procesie azotowania jarzeniowego i jego wpływ na kinetykę procesu, **Inżynieria Materiałowa, Nr 5 (195), R.34, 451÷454**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 75%.

12. T. Frączek, J.Jasiński, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, A. Skuta, (2012), Tlenoazotowanie jonowe tytanu Grade 2 metodą active screen (AS), **Inżynieria Materiałowa, Nr 3 (187), R.33, 173÷176**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 45%.

13. J. Jasiński, P. Podsiad, **J.J. Jasiński**, M.Lubas, (2012), Właściwości warstwy wierzchniej tytanu Grade 2 po utlenianiu w złożu fluidalnym, **Inżynieria Materiałowa, R.33, Nr 5 (189), 366÷369**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów i wniosków manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

14. T. Frączek, L. Jeziorski, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, (2010), Analiza profilowa tytanu Grade 5 po procesie azotowania jarzeniowego, **Inżynieria Materiałowa, Nr 4(176), R.31, 957÷960**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów i wniosków manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 33%.

15. T. Frączek, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, (2010), Warstwa wierzchnia stopów tytanu po azotowaniu jarzeniowym, **Inżynieria Powierzchni, Nr 2, 69÷73**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 33%.

16. T. Frączek, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, (2010), Warstwa wierzchnia tytanu po niekonwencjonalnym azotowaniu jarzeniowym, **Inżynieria Materiałowa, R.31, nr 4(176), 961÷964**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników, opracowaniu i interpretacji graficznej wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 33%.

Patenty i zgłoszenia patentowe

17. **Patent PL nr 221053**, Sposób modyfikowania warstwy wierzchniej implantów ze stopów tytanu, P. Podsiad, **J.J. Jasiński**, J. Jasiński, R. Czyż

Mój wkład w powstanie patentu polegał na realizacji procesów utleniania indukcyjnego tytanu w parze wodnej oraz przygotowania opisu patentowego. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

18. **Zgłoszenie patentowe nr Pat-24/05/07/12**, Sposób obróbki cieplno-chemicznej metali i stopów metali, J. Jasiński, P. Podsiad, **J.J. Jasiński** zgłoszenie z dnia 05.07.2012

Mój wkład w powstanie patentu polegał na realizacji procesów hybrydowego utleniania tytanu oraz przygotowania opisu patentowego. Mój udział procentowy szacuję na 33%.

Zrealizowane osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne

19. P. Podsiad, **J.J. Jasiński**, J. Jasiński, R. Czyż, Opracowanie i wykonanie stanowiska laboratoryjnego do realizacji procesów indukcyjnego utleniania tytanu w parze wodnej do zgłoszenia patentowego [Patent PL nr 221053 – załącznik nr 4 poz. I.B17]

Mój wkład w powstanie stanowiska laboratoryjnego polegał na opracowaniu dokumentacji układu do nagrzewania indukcyjnego i układu wytwarzania pary wodnej. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

Streszczenia w materiałach konferencyjnych, postery, referaty plenarne wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

20. **J.J. Jasiński**, (2018), Titanium oxide duplex hybrid layers for biomedical applications **NOVATHERM 3 Innovative Solutions in Heat Treating – Seminar, Piekary Śląskie 03-05 10.2018** – referat plenarny

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników, realizacji prezentacji i wygłoszeniu referatu. Mój udział procentowy wynosi 100%.

21. **J.J. Jasiński**, (2017), Low-emission techniques in surface engineering in terms of environmental and operational conditions improvement in the metalworking sector – hybrid treatment of titanium, **International Scientific Conference**

Chemical Safety and Health Protection, AGH Cracow 10÷11. 10. 2017
– referat plenarny

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników, realizacji prezentacji i wygłoszeniu referatu. Mój udział procentowy wynosi 100%.

22. **J.J. Jasiński**, M.Lubas, Ł. Kurpaska, W.Napadłek, M.Sitarz, (2017), Spectroscopic Investigation of Titanium Based Functional Materials Formed with Different Hybrid Treatments, **XIVth International Conference on Molecular Spectroscopy, Białka Tatrzańska 3÷7 september, 2017, p.171** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 55%.

23. M. Lubas, **J.J. Jasiński**, Ł. Kurpaska, E. Długoń, M. Sitarz, (2017) Titanium - Bioceramics Sol-Gel Layer Interface Bond Strength Investigation with Mechanical Testing and Raman Spectroscopy, **XIVth International Conference on Molecular Spectroscopy, Białka Tatrzańska 3÷7 september 2017, Book of Abstracts p.172** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

24. **J.J. Jasiński**, T. Frączek, M. Lubas, Ł. Kurpaska, J. Jasiński, M. Sitarz, (2017) Hydroxyapatite Molecules Formation on Titanium 99.2 Substrates after Duplex/Hybrid Treatment, **XIVth International Conference on Molecular Spectroscopy, Białka Tatrzańska 3÷7 września 2017, Book of Abstracts p.169** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 55%.

25. **J.J. Jasiński**, Ł. Kurpaska, M. Lubas, M. Leśniak, J. Jasiński, M. Sitarz, (2015), Effect of hybrid oxidation on the titanium oxide layer's properties investigated by spectroscopic methods, **XIIIth International Conference on Molecular Spectroscopy ICMS 2015 09÷13.09.2015 Wrocław** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 55%.

26. M.Lubas, M.Leśniak, **J.J. Jasiński**, J.Jasiński, E.Długoń, M.Sitarz, (2015), Wpływ obróbki powierzchniowej na siłę połączenia tytan-porcelana stomatologiczna, **XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa "Tytan i jego stopy - 2015", Zawiercie 11÷14 października 2015, Spis streszczeń s.48** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

27. M. Lubas, **J.J. Jasiński**, J.Jasiński, P.Jeleń, L. Klita, (2013), Fabrication and Characterization of Oxygen-Diffused Titanium by Raman Spectroscopy Method, **XIIth International Conference on Molecular Spectroscopy. From Molecules to Nano- and Biomaterials, 8÷12 September, Kraków - Białka Tatrzańska, 2013, p.191** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

28. J. Jasiński, M. Lubas, **J.J. Jasiński**, P. Wieczorek, (2013), Titanium oxidation effects after various surface modification methods, **Miedzynarodowa Konferencja Naukowa Biomaterials in Medicine and Veterinary Medicine 2013, Rytro, 10÷13.10.2013** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

29. B. Rajchel, J. Jasiński, E. Proniewicz, W. Kowalski, P. Strączek, M. Lubas, **J.J. Jasiński**, (2013), Raman Microspectroscopy of the Amorphous C(Ti) Coatings Formed with Selected Ionic Methods on Titanium and UHMWPE, **XIIth International Conference on Molecular Spectroscopy. From Molecules to Nano- and Biomaterials, 8÷12 september 2013, Kraków - Białka Tatrzańska, Book of Abstracts p.185** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

30. P. Podsiad, M. Lubas, M. Sitarz, J. Jasiński, **J.J. Jasiński**, P. Jeleń, Ł. Klita, Ł. Kurpaska, (2013), Raman Spectroscopy of TiO₂ Thin Films Formed by Hybrid Treatment for Biomedical Applications, **XIIth International Conference on Molecular Spectroscopy. From Molecules to Nano- and Biomaterials, 8÷12 september 2013, Kraków - Białka Tatrzańska, Book of Abstracts p. 199** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

31. J. Jasiński, M. Lubas, **J.J. Jasiński**, P. Podsiad, J. Gawroński, L. Jeziorski, (2013), Aktywowanie warstwy wierzchniej Ti Grade 2 w procesach utleniania, **V Ogólnopolska Konferencja Naukowa Nowoczesne Technologie w Inżynierii Powierzchni Łódź – Spała 18÷21.09.2013** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

32. J. Jasiński, B. Rajchel, P. Podsiad, **J.J. Jasiński**, M. Lubas, B. Kucharska, (2012), Investigation of TiO₂ Thin Coatings for Medical Applications by X-ray Diffraction and Raman Microspectroscopy, **XXII Conference on Applied Crystallography, 2÷6 september, Targanice 2012, Book of Abstracts 97÷98** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

33. B. Rajchel, **J.J. Jasiński**, P. Podsiad, J. Jasiński, (2012), Raman Microspectroscopy of TiO₂ Thin Coatings for Medical Applications Formed in Fluidized Bed, SemPiSC. **XII Seminarium Powierzchnia i Struktury Cienkowarstwowe, 9÷12 maj, Szklarska Poręba, 2012, Book of Abstracts p.1** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

34. B. Rajchel, J. Jasiński, E. Proniewicz, L. Jeziorski, **J.J. Jasiński**, (2012), Amorphous (a-C:Ti) coatings formed by dual beam IBAD method, **SemPiSC, XII Seminarium Powierzchnia i Struktury Cienkowarstwowe, Szklarska Poręba, 2012** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

35. T. Fraczek, J. Michalski, M. Olejnik, **J.J. Jasinski**, (2012), Mechanism of Ti99.2 titanium unconventional ion nitriding, **13th International Conference on Plasma Surface Engineering PSE 2012, 10÷14.09.2012, European Society of Thin Films, Garmisch-Partenkirchen, Niemcy** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

36. J.Jasiński, P.Podsiad, **J.J.Jasiński**, M.Lubas, (2012), Właściwości warstwy wierzchniej tytanu Grade 2 po utlenianiu w złożu fluidalnym, **NMNT '2012. V Krajowa Konferencja Nowe Materiały - Nowe Technologie w Przemśle Okrętowym i Maszynowym, 28÷31 maja 2012, Międzyzdroje, Spis streszczeń s. 97** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

37. **J.J. Jasiński**, M. Olejnik, T. Frączek: Odporność tribologiczna tytanu Grade 2 po azotowaniu jarzeniowym, **Nowe Technologie i Osiągnięcia w Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, XI Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Częstochowa 2010** – prezentacja posteru

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań oraz prezentacji posteru. Mój udział procentowy szacuję na 35%.

- c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

WPROWADZENIE

Obecnie coraz powszechniejszym problemem, związanym ze statystycznym wydłużaniem się życia społeczeństwa jest dążenie do zapewnienia komfortu, co pociąga za sobą konieczność poszukiwania nowych rozwiązań między innymi w dziedzinie biomedycyny i implantologii, aby zapewnić jak największą biozgodność i korzystne właściwości mechaniczne stosowanych implantów. Zagadnienia obejmujące poprawę aktywności chemicznej materiałów metalicznych, stosowanych w implantologii i biomedycynie, w tym głównie w regeneracji i zastępowaniu tkanki kostnej, mają istotne znaczenie aplikacyjne, ze względu na eliminację toksycznego współoddziaływania tkanki kostnej organizmów żywych z płynami fizjologicznymi, podczas eksploatacji implantów. Od wielu lat materiałem inżynierskim zajmującym szczególne miejsce w dziedzinie bioinżynierii jest tytan i jego stopy. Szeroka aplikacja tytanu jest związana z jego unikalnymi właściwościami mechanicznymi oraz dobrą odpornością korozyjną i biotolerancją. Zastosowanie tytanu na implanty stomatologiczne, czy elementy endoprotez współpracujące z żywym organizmem pozwala na wyeliminowanie ryzyka związanego ze szkodliwym wpływem pierwiastków stopowych (Co, Cr, Ni) występujących w innych materiałach metalicznych (stale, stopy specjalne itp.). Początkowo, w literaturze twierdzono, że metaliczny tytan jest obojętny dla organizmu [1]. Jednak w bezpośrednim kontakcie z tkankami organizmów ulega zjawisku metalozy, które polega na uwalnianiu jonów metalu do środowiska ustrojowego. Skutkuje to występowaniem obrzęku oraz stanów zapalnych, a w rezultacie prowadzi do odrzutu implantu, co wiąże się z problemami zdrowotnymi pacjentów i kosztami. Stwierdzono również, że biozgodność tytanu jest w znacznym stopniu związana z właściwościami fizykochemicznymi powierzchni implantu, to jest z tworzeniem się pasywnej powłoki tlenkowej, w wyniku dużego powinowactwa tytanu do tlenu. Cienka powłoka tlenkowa TiO_2 tworzy się już w temperaturze pokojowej, jest stabilna i dobrze przylega do podłoża, jednak często jest zbyt cienka. Natomiast w wysokiej temperaturze tytan utlenia się gwałtownie, czego wynikiem jest uzyskanie grubszej powłoki tlenkowej, która często jest adhezyjnie słabo związana z podłożem i ulega złuszczeniu oraz pękaniu. Warto podkreślić, że powłoka tlenkowa na powierzchni tytanu zapewnia również w przypadku implantów kostnych poprawę procesu osseointegracji, czyli zrastania się tkanki z wszczepem tytanowym. Dlatego też, utlenianie tytanu z przeznaczeniem do zastosowań biomedycznych jest nadal aktualnym wyzwaniem inżynierii biomedycznej, pod względem uzyskania zarówno dobrych właściwości mechanicznych, jak i fizykochemicznych cienkich powłok tlenkowych oraz wymaganej ich dobrej adhezji do podłoża. Wyzwanie to ma na celu opracowanie nowych technologii modyfikowania struktury i powierzchni

tytanu, wzrost jego odporności na korozję, a w szczególności poprawę właściwości wytrzymałościowych powłok i bioaktywności podłoży tytanowych [2,3]. W obecnie stosowanych technologiach wyżej wymienione powłoki można uzyskać między innymi metodami: elektrochemiczną, elektroiskrową, plazmowymi metodą PVD oraz laserowymi (ablacja laserowa, teksturowanie laserowe) lub przez dyfuzyjne nasycanie warstwy wierzchniej tytanu tlenem np. w złożu fluidalnym [4-8]. Istotą każdej z wymienionych metod jest wytworzenie warstwy TiO_2 charakteryzującej się zwartą i szczelną budową, wysoką stabilnością elektrochemiczną i termodynamiczną oraz zdolnością do repasywacji po uszkodzeniu w obecności środowiska korozyjnego. Autorzy szeregu prac dużą uwagę skupiali na współoddziaływaniu parametrów procesów utleniania w tym, temperaturę, czas procesu, medium utleniające, ciśnienie itp.. Stwierdzili występowanie dwóch mechanizmów utleniania w zakresie temperatury $300\div 550^\circ\text{C}$ [9]. W temperaturze niższej od 550°C na powierzchni tytanu powstaje powłoka stechiometrycznego rutylu, a pod nią strefa tytanu wzbogacona w tlen, ale o bardzo gwałtownej zmianie profilu jego koncentracji. Natomiast w temperaturze 550°C i wyższej, dominującą rolę podczas procesu utleniania odgrywa dyfuzja tlenu w podłożu, przez co zwiększa się jego stężenie na znacznie większej odległości od powierzchni, co sprzyja złagodzeniu profilu stężenia tlenu w warstwie. Porównując utlenianie tytanu w piecu komorowym z utlenianiem metodami PVD (utlenianie jarzeniowe, tlenoazotowanie jarzeniowe) stwierdzono niewielkie różnice w efektach utlenienia. W obu przypadkach w temperaturze 700°C wytwarzano podobne powłoki tlenków na powierzchni dobrze przylegające do podłoża, składające się z TiO_2 oraz TiN_xO_y .

W prezentowanym osiągnięciu naukowym zrealizowano również niskotemperaturowe procesy, głównie azotowania oraz tlenoazotowania podłoży tytanowych w plazmie w celu weryfikacji możliwości zastosowania tego typu procesów w warunkach biomedycznych. Głównym celem realizowanych procesów jonowych było określenie wpływu aktywacji jonowej podłoża na możliwości maksymalnego obniżenia temperatury nasycania warstwy wierzchniej tytanu azotem oraz tlenem dla uzyskania odpornych na ścieranie, jednorodnych i zwartych warstw tleno-azotków tytanu o dobrych właściwościach antykorozyjnych. W zrealizowanych badaniach określono również model nasycania tytanu azotem oraz tlenem i wskazano parametry procesów najbardziej korzystnych w aspekcie zastosowań biomedycznych. W trakcie realizacji badań wykazano, że kontrolowane warunki prowadzenia aktywacji jonowej podłoży pozwalają na sterowanie wzrostem warstwy azotków i tlenków oraz pozwalają na skrócenie czasu nasycania tytanu azotem i tlenem. W badaniach procesy wykonywano innowacyjną metodą tlenoazotowania plazmowego, z zastosowaniem tzw. ekranów aktywnych active screen. Ustalono, że zastosowanie ekranów w procesie pozwala na uzyskanie korzystnych morfologii powierzchni podłoży w kontekście zastosowań biomedycznych.

Zrealizowane badania oraz uzyskane wyniki stanowiły inspirację do zgłębienia problematyki obróbki podłoży tytanowych dla poprawy właściwości biomedycznych z zastosowaniem różnych

metod (azotowanie, tlenoazotowanie, utlenianie plazmowe, fluidalne), jak również wskazały na doskonalenie realizacji procesów aktywacji tytanu przed obróbką cieplną zarówno metodami mechanicznymi, jak i plazmowymi. Realizowane badania w ramach osiągnięcia naukowego stanowią zatem kolejny etap badań wytwarzania podłoży o kontrolowanych właściwościach fizykochemicznych oraz pozwala określić wpływ rodzaju aktywacji powierzchni na procesy nasycania tytanu tlenem i następnie docelowe uzyskanie właściwości biofunkcjonalnych, w tym głównie bioaktywność [zał.4 B.J12., B.J8. zał 3. poz. 4.B12, 4.B14-4.B16].

Najczęściej jednak, oprócz metod plazmowych, do utleniania tytanu i jego stopów stosuje się urządzenia retortowe, z kontrolowaną atmosferą oraz metody elektrochemiczne. Mechanizm i kinetykę utleniania w urządzeniach retortowych opracował S. Król, natomiast w metodach elektrochemicznych J. Marciniak, a w metodach plazmowo-próżniowych T. Wierzchoń wraz ze współpracownikami [13-15]. Powłoki tlenkowe otrzymane wymienionymi metodami charakteryzują się małą grubością, a w przypadku powłok wytwarzanych metodą elektrochemiczną nie zawsze dobrą adhezją, co ma również związek z przygotowaniem powierzchni utlenianego tytanu. Z analizy zagadnień dotyczących zastosowania tytanu w biomedycynie po procesie utleniania, dobrymi właściwościami charakteryzują się powłoki otrzymywane metodami dyfuzyjnymi, między innymi z zastosowaniem procesu utleniania w złożu fluidalnym. Odpowiedni dobór parametrów wstępnej obróbki powierzchniowej (aktywacja powierzchni) oraz parametrów utleniania, w tym medium fluidyzującego, temperatury, przepływu atmosfery znacznie wpływa na intensyfikację procesów zachodzących na powierzchni tytanu zwiększając dyfuzję tlenu do jego warstwy wierzchniej, tworząc równomierną powłokę tlenkową o dobrej przyczepności, korzystnym układzie naprężeń oraz łagodnej zmianie stężenia na granicy powłoka tlenkowa / strefa dyfuzyjna.

Zasadnym są więc prace mające na celu wytworzenie powłoki tlenkowej dla zapewnienia jej przyczepność przy maksymalnym ograniczeniu naprężeń pomiędzy powłoką, a warstwą wierzchnią i wytworzenie warstwy wierzchniej o najlepszych parametrach użytkowych [poz. 4.B9, 4.B12, 4.B14]. Procesy utleniania tytanu są aktywowane cieplnie, dlatego też rozpatrywanie kinetyki procesu nasycania warstwy wierzchniej tlenem oraz ustalenie siły napędowej zarodkowania powłok tlenkowych TiO_2 oraz ocena zmian właściwości mechanicznych, fizycznych i chemicznych uzyskanych powłok stwarza warunki do kompleksowej oceny zjawisk i mechanizmów procesów utleniania Ti. Znajomość mechanizmu utleniania tytanu dla oceny najistotniejszych etapów przebiegu zjawisk, prowadzących do generowania centrów aktywnych, pozwoliła w prezentowanym osiągnięciu, z jednej strony na skrócenie długotrwałych procesów, jak i również opracowanie technologii łączących efekty dyfuzyjne z efektami zachodzącymi na powierzchni podłoży tytanowych. Założeniem prowadzonych badań związanych z osiągnięciem naukowym jest zatem opracowanie takiego podłoża tytanu, które zapewniłoby niejako „fundament” dla powłoki tlenkowej z wytworzeniem umocnionej dyfuzyjnej strefy roztworowej tlenu w tytanie [poz. 4.B6, 4.B13]. Taka kombinacja właściwości powłoki

i podłoża metalicznego zapewnia ograniczenie naprężeń własnych z uzyskaniem dobrej przyczepności powłoki. Pomimo znacznej ilości publikacji naukowych i technicznych, dotyczących rozwiązań technologicznych w procesach utleniania tytanu i jego stopów brak jest publikacji uwzględniających kompleksową analizę i opis zjawisk wraz z ich kinetyką oraz mechanizmami przebiegu utleniania w wymienionych technologiach. Analiza ta powinna dotyczyć również przemian fazowych zachodzących w tytanie w czasie poszczególnych procesów, dla zmiennych parametrów (temperatura, ciśnienie, atmosfera). Z tego też względu w osiągnięciu naukowym podjąłem badania analizy poszczególnych zjawisk w procesie utleniania różnymi technologiami, w tym nowatorską metodą hybrydową, stanowiącą połączenie metod dyfuzyjnych FADT – fluid atmospheric diffusive treatment – (złoża fluidalne) z metodami powierzchniowymi PVD – rozpylanie magnetronowe, teksturowanie laserowe LST – laser surface texturing, utlenianie indukcyjne w parze wodnej – Steam-Ox, uwzględniając przebieg zjawisk i efektów przemian fazowych, zachodzących w poszczególnych technologiach.

CEL NAUKOWY I WYNIKI OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Wskazane hybrydowe metody powierzchniowego utleniania, ze względu na warunki oddziaływania fizykochemicznego atmosfery z powierzchnią, transport ciepła, zdefektowania powierzchni w bardzo ograniczonym stopniu wpływają na procesy dordzeniowej dyfuzji tlenu w warstwie wierzchniej. Skomplikowane jest zatem w procesach obróbki powierzchniowej uzyskanie korzystnej strefowej budowy podłoży tytanowych to jest jednorodną, szczelną powłokę tlenkową TiO_2 / umocniony roztwór stały tlenu w tytanie $Ti_\alpha(O)$ / podłoże Ti_α . Analiza problematyki dotyczącej zastosowania tytanu w biomedycynie z dobrymi właściwościami wskazuje, że dobre właściwości wytrzymałościowe posiadają podłoża otrzymywane metodami dyfuzyjnymi, między innymi z zastosowaniem procesu utleniania w złożu fluidalnym FADT [poz. 4.B6]. Takie utlenianie tytanu, jako jeden ze sposobów nasycania warstwy wierzchniej, zapewnia poprawę właściwości wytrzymałościowych warstwy wierzchniej oraz powoduje utworzenie na powierzchni porowatej powłoki tlenkowej o dobrych właściwościach korozyjnych, jednak niezadawalającej bioaktywności. Dlatego nadal poszukuje się metod poprawy biokompatybilności podłoża, w celu uzyskania zwiększenia intensywności oddziaływania związków posiadających właściwości wspomagające regenerację tkanek (osseointegrację) np. hydroksyapatytu. Zjawisko dyfuzji tlenu do podłoża tytanu w procesie dyfuzyjnym FADT zachodzi mechanizmem międzywęzłowym, z drogami łatwej dyfuzji w wyniku ciągłego defektowania powierzchni przez materiał ziarnisty złoża. W rezultacie sprzyja to zmianie profilu stężenia tlenu z wytworzeniem strefy dyfuzyjnej roztworu stałego tlenu w tytanie $Ti_\alpha(O)$ i porowatej powłoki tlenku tytanu TiO_2 w odmianie rutylu o korzystnym stanie naprężeń podłoże-powłoka. Natomiast tak uzyskane podłoże tytanu po fluidalno-atmosferowej obróbce

dyfuzyjnej FADT (fluid atmosphere diffusive treatment) z obszarami porowatymi ma ograniczone zastosowanie w aspekcie poprawy bioaktywności w wyniku niedostatecznej adhezji związków hydroksyapatytu do podłoża. Zasadne są więc badania realizowane w ramach osiągnięcia naukowego, mające na celu wytworzenie jednorodnej, nieporowatej powłoki tlenkowej, zapewniającej bardzo dobrą przyczepność związkom biozgodnym. W literaturze procesy utleniania tytanu często obejmują konwencjonalne procesy nasycania zarówno w warunkach quasi-równowagi (dyfuzji), jak i nierównowagi termodynamicznej (PVD, LST itd.) [16-20]. W ramach osiągnięcia naukowego zostały zrealizowane dwustopniowe procesy utleniania hybrydowego, w tym dyfuzyjnego w złożu fluidalnym (FADT) i utleniania powierzchniowego (PVD, LST, Steam-Ox), w których warunki termodynamiczne procesu będą oddziaływać na siebie synergicznie z podłożem. Celem realizowanych badań jest zatem opracowanie takich podłoży tytanowych, których strefa przypowierzchniowa stanowi dyfuzyjnie nasycony roztwór stały tlenu w Ti_6O o wysokich właściwościach wytrzymałościowych – stanowiący fundament podłoża, a zewnętrzną strefę stanowi cienka powłoka tlenkowa TiO_2 wytwarzana wybranymi metodami powierzchniowymi (PVD, LST, Steam-Ox) [poz. 4.B1-4.B3]. Uzyskana hybrydowa kombinacja powłok ma zapewnić z kolei synergiczny wzrost właściwości istotnych z punktu widzenia biozgodności układu implant – tkanka. Właściwości te to głównie, ograniczenie gradientu naprężeń własnych pomiędzy strefą dyfuzyjnego (FADT) nasycenia tytanu tlenem, a szczelną i jednorodną powłoką otrzymaną w procesie hybrydowym, przy równoczesnej poprawie jej morfologii. Połączenie metod w wymienionym układzie hybrydowym pozwala więc na synergiczną poprawę efektów powierzchniowych, mających wpływ na intensywność późniejszego osadzania związków hydroksyapatytowych. Wymienione metody (FADT+PVD lub LST lub Steam-Ox) w układzie hybrydowym pozwoliły na wykorzystanie zalet samoistnego aktywowania mechanicznego powierzchni, w wyniku oddziaływania czynnika aeromechanicznego złoża fluidalnego, co wiąże się z ciągłym defektowaniem powierzchni podłoża z równoczesnym jej utlenianiem, a to z kolei przy wzroście ilości centrów aktywnych decyduje o późniejszym transporcie masy tlenu do tworzenia powłoki tlenkowej TiO_2 (proces FADT). Natomiast zastosowanie metody hybrydowej (powierzchniowej) zapewnia uzyskanie korzystnej morfologii zewnętrznej cienkiej powłoki tlenkowej, dla poprawy zarodkowania związków biozgodnych (np. HAp), a tym samym poprawy bioaktywności podłoży tytanowych [poz. 4.B4].

Dla zrealizowania zakresu badań przyjąłem następującą tezę badawczą oraz cel realizowanych badań:

Teza badawcza

Zastosowanie hybrydowych metod wytwarzania powłok tlenkowych na podłożach tytanowych pozwala na utworzenie synergicznego układu podłoże – powłoka, z możliwością kontrolowania stanu powierzchni, dla uzyskania znaczącej poprawy właściwości bioaktywnych.

Cel badań

Celem prowadzonych badań jest opracowanie procesów hybrydowej obróbki podłoży tytanowych oraz ocena kinetyki i mechanizmu tworzenia powłok tlenkowych, w aspekcie funkcjonalizacji powierzchni tytanu, dla podwyższenia właściwości bioaktywnych do zastosowań biomedycznych.

Pierwszym etapem realizowanych badań było określenie efektów aktywowania powierzchni tytanu, przeznaczonego do utleniania w złożu fluidalnym oraz metodami hybrydowymi. Na tym etapie przeprowadzono metalograficzne badania mikrostruktury tytanu w stanie dostawy i porównano z cechami stereometrycznymi tytanu po procesie utleniania w złożu fluidalnym. Do badań utleniania hybrydowego zastosowano tytan GRADE 2 do zastosowań biomedycznych z atestem KOBE STEEL LTD. w postaci prętów o średnicy $\varnothing = 20$ mm, w stanie po przesycaniu. Tytan stosowany w badaniach utleniania posiadał strukturę jednofazową Ti_{α} , gdzie średnia wielkość ziarna dla badanego materiału wynosiła ok. 16-20 μm . Ponadto uzyskane wyniki wskazują, że przyjęte parametry utleniania wpływają nieznacznie na rozrost ziarna po utlenianiu dyfuzyjnym, gdyż po poszczególnych procesach utleniania wielkość ziarna wynosiła odpowiednio dla utleniania w temperaturze 580°C / 22 μm , 610°C / 24 μm i dla temperatury 640°C / 26 μm [poz. 4.B7, 4.B11, 4.B13].

Kolejnym etapem badań było przygotowanie powierzchni tytanu Grade 2 do procesów utleniania w złożu fluidalnym poprzez aktywację mechaniczną, która polegała na szlifowaniu podłoży tytanowych z zastosowaniem papierów metalograficznych o uziarnieniu od 360 do 2000 oraz na aktywacji mechanicznej w procesie piaskowania różnymi mediami piaskującymi, w tym Al_2O_3 oraz SiO_2 o uziarnieniu 110 μm . Piaskowanie wykonano również z zastosowaniem mieszanin piaskujących poprzez odpowiedni dobór składów mediów piaskujących, w tym między innymi mieszaniną $Al_2O_3 + NaAl + Si_3O_8 + ZrO_2 + TiO_2$. Wykonano również aktywację chemiczną z zastosowaniem roztworów kwasu HF oraz mieszaniny kwasów $HCl + HNO_3$ w stosunku 3:1 oraz aktywację mechaniczno-chemiczną $Al_2O_3 + NaAl + Si_3O_8 + ZrO_2 + TiO_2 + H_2SO_4$ 90°C / HCl 60°C tzw. SLA – Sand blasted, Large grit, Acid etched. Aktywację powierzchni podłoży tytanowych zrealizowano w celu modyfikacji powierzchni pod względem zmiany jej topografii powierzchni oraz weryfikacji korzystnych metod aktywacji pod względem uzyskiwania dyfuzyjnych warstw wierzchnich oraz porowatych powłok tlenkowych o najbardziej korzystnych właściwościach do dalszych procesów hybrydowych. [poz. 4.B6, 4.B9]. Analizując wyniki właściwości powierzchni tytanu po aktywacji mechanicznej stwierdzono, że chropowatość powierzchni w znacznym stopniu zależy od zastosowanej metody co sugeruje, że powierzchnia aktywowana stanowi bardzo ważny czynnik w wytwarzaniu dyfuzyjnych warstw i powłok tlenkowych, a rola aktywowanej powierzchni jest zmienna z temperaturą procesu utleniania tytanu w aspekcie zjawisk rekrytalizacji. Na podstawie uzyskanych wyników stanu powierzchni stwierdzono, że zastosowane drobniejsze cząstki związków mieszaniny piaskującej (poniżej 110 μm) znacznie wpływają na zmniejszenie chropowatości powierzchni, w stosunku do

powierzchni piaskowanych Al_2O_3 , a tym samym prowadzą do tworzenia się jednorodnych, zwartych powłok tlenkowych w procesie utleniania. W pracy ustalono również, że dodatkowym czynnikiem aktywującym powierzchnię utlenianego tytanu stanowi czynnik aeromechaniczny fluidyzującego złoża, bezpośrednio w czasie procesu utleniania, który nie tylko decyduje o przyczepności powłoki, ale również sprzyja procesom dyfuzyjnym tlenu do podłoża tytanu. Utlenianie w złożu fluidalnym jest to zatem jedna z nielicznych metod utleniania, która łączy w sobie zalety dyfuzyjnego nasycania wraz z tworzeniem się adhezyjnie związanej z podłożem porowatej powłoki tlenkowej TiO_2 .

Następnie wykonano utlenianie dyfuzyjne (FADT) podłoża tytanu w reaktorze fluidalnym ze złożem materiału ziarnistego w postaci korundu (Al_2O_3). Czynnikiem fluidyzującym stanowiło powietrze, w którym tlen był jednocześnie nośnikiem atomów do dyfuzji. Zrealizowane badania dla ograniczenia liczby procesów oraz wyboru tylko najbardziej celowych, były wykonywane w oparciu o matematyczne planowanie doświadczeń. Taki sposób prowadzenia badań pozwalał bowiem w stosunkowo krótkim czasie przeanalizować wpływ parametrów technologicznych na ocenę przebiegu intensywności transportu ciepła i masy w procesie wytwarzania powłok tlenkowych. Zrealizowane procesy utleniania FADT w zakresie temperatury $580\text{--}640^\circ\text{C}$ w czasie 6, 8, 10, 12 godzin, pozwoliły na uzyskanie w warstwie wierzchniej podłoża tytanowych strefy dyfuzyjnej nasyconej tlenem, stanowiącej roztwór stały tlenu w tytanie $\text{Ti}_\alpha(\text{O})$, natomiast na powierzchni porowatego tlenku TiO_2 . Utlenianie tytanu w podwyższonej temperaturze $> 550^\circ\text{C}$ powoduje powstawanie krystalicznej powłoki tlenkowej. Posiada ona strefową budowę składającą się z przylegającej do podłoża metalicznego strefy TiO , strefy pośredniej Ti_2O_3 oraz strefy bezpośrednio oddziaływującej ze środowiskiem w postaci TiO_2 – rutil, anataz lub mieszaniny tych odmian [poz. 4.B2, 4.B3, 4.B5]. Na podstawie zrealizowanych badań stwierdzono, że transport tlenu w wyżej wymienionych strefach zależy w znacznym stopniu od zdefektowania struktury podłoża, gęstości defektów oraz ich rodzaju i odbywa się najprawdopodobniej przez dominującą dordzeniową dyfuzję tlenu lub po wakancjach anionowych [poz. 4.B4]. Dlatego też, mechanizm utleniania w złożu fluidalnym FADT różni się od przebiegu metodami konwencjonalnymi. Wynika to z zalet samoistnego aktywowania mechanicznego powierzchni, w wyniku oddziaływania czynnika aeromechanicznego złoża fluidalnego w trakcie utleniania, co wiąże się z ciągłym defektowaniem powierzchni podłoża z równoczesnym utlenieniem, decydującym o zwiększonej ilości centrów aktywnych do tworzenia powłoki faz tlenkowych podczas nasycania tlenem. Tytan aktywny powierzchniowo poprzez silne powinowactwo do tlenu, które powoduje, że mechanizm utleniania fluidalnego połączony jest z równoczesnym rozpuszczaniem tlenu w fazie metalicznej i tworzeniem porowatej (wynik aktywacji powierzchni) warstwy tlenkowej. Zauważyć można również, że szczególnie intensywnie nasycanymi tlenem obszarami podłoża są granice międzyziarnowe o zwiększonej energii i zmiennym stanie naprężeń, w wyniku aktywowania cząstkami Al_2O_3 . Wykonanie obróbki powierzchniowej tytanu z zastosowaniem złoża fluidalnego, pozwoliło na otrzymanie zwartych, porowatych powłok

tlenkowych. Na ich podstawie określono zmiany grubości powłok w zależności od zastosowanych parametrów procesu utleniania. Grubości uzyskanych powłok tlenkowych określono także na podstawie wyników profili rozkładu stężenia tlenu po procesie utleniania, a uzyskane wyniki dobrze korelowały z wynikami otrzymanymi w ramach obserwacji przełomów. Na podstawie uzyskanych profili rozkładu pierwiastków w warstwie wierzchniej utlenianego tytanu Grade 2 oszacowano głębokość dyfuzji tlenu w zależności od zastosowanego czasu procesu utleniania, która wynosiła ok. 9 – 15 μm . Dodatkowo zauważono zmianę intensywności stężeń w strefie przejściowej, charakteryzującą się łagodnym spadkiem stężenia tlenu w miarę odległości od powierzchni, która będzie decydować o zmianie rodzaju mechanizmu dyfuzji z mechanizmu wakancyjnego na dordzeniową dyfuzję tlenu po makrodefektach (otwarte pory, granice ziaren, szczeliny, warstwy), co również wpływa na stan naprężeń w powłoce tlenkowej [poz. 4.B6, 4.B13, 4.B15]. Takie przygotowanie powierzchni powoduje znaczny wzrost rozwinięcia powierzchni, zwiększenie aktywności powierzchni, zwiększenie adsorpcyjności powierzchni i pozwala na zwiększenie zakotwiczenia mechanicznego tworzących się tlenków, lub poprzez krótkookresowe utlenianie w złożu fluidalnym o niskim współczynniku oddziaływania aeromechanicznego materiału ziarnistego na powierzchnię w strumieniu przepływającego gazu, będącego nośnikiem tlenu do wytwarzania powłok, osadzanie powłoki tlenkowej wytwarzanej metodą powierzchniową.

Przygotowane w procesie FADT podłoża tytanowe następnie poddano procesom hybrydowej obróbki utleniania metodami powierzchniowymi. Metodologia badań hybrydowego utleniania była realizowana w trzech etapach. Pierwszy etap dotyczył realizacji technologii wytwarzania podłoży tytanowych w procesach szerokorozumianego utleniania hybrydowego, czyli połączenia wskazanego procesu utleniania w złożu fluidalnym FADT kolejno z wytworzeniem cienkich powłok tlenkowych na powierzchni podłoży metodami powierzchniowymi: PVD – rozpylanie magnetronowe, LST – teksturowanie laserowe oraz Steam-Ox – metodą indukcyjną w parze wodnej. Na tym etapie, w wyniku realizacji badań fizykochemicznych powierzchni i badań adhezji oraz strefy granicznej tzw. kotwiczenia cienkich powłok tlenkowych do podłoży po FADT zostały wytypowane najbardziej korzystne procesy hybrydowe, które były weryfikowane w aspekcie poprawy właściwości funkcjonalności podłoży, w tym głównie bioaktywności. Procesy hybrydowe FADT+PVD – rozpylanie magnetronowe były realizowane dla następujących parametrów: I proces: ciśnienie 3 Pa, atmosfera 90% Ar / 10% O₂, moc 300W, target Ti, odległość próbka-target 60 mm; II proces: ciśnienie 3 Pa, atmosfera 100% Ar, moc 350W, target TiO₂, odległość próbka-target 60 mm. Z kolei proces FADT+LST był realizowany z zastosowaniem promieniowania laserowego Nd:YAG o długości fali $\lambda=1064\text{ nm}$, mocy 50 W, gdzie energia i czas impulsu wynosiły odpowiednio $0.90 \times 10^6\text{ W/cm}^2$ i 155 ns [poz. 4.B1, 4.B3, 4.B4]. Kolejną metodą hybrydowej obróbki utleniania była metoda indukcyjnego utleniania w parze wodnej, nazwana przez autorów Steam-Ox, będąca przedmiotem współautorskiego patentu PL nr 221053 pt. *Sposób modyfikowania warstwy wierzchniej implantów ze*

stopów tytanu (Method for modifying the surface layer of titanium alloy implants) [poz. 4.B17]. Proces utleniania powierzchni tytanu w parze wodnej w tym przypadku jest realizowany metodą indukcyjną, w wyniku działania zmiennego pola magnetycznego i indukcji prądów wirowych wokół elementu utlenianego w środowisku pary wodnej. Zaletą sposobu jest doprowadzenie ciepła głównie do powierzchni elementu, zmniejszenie wpływu ciepła na rdzeń z zachowaniem wymaganych właściwości wytrzymałościowych oraz poprawę odporności korozyjnej. Element jest początkowo nagrzewany w wodzie, wygrzewany w środowisku pary wodnej, otrzymanej w wyniku parowania wody po jej nagrzaniu od powierzchni elementu, a następnie schładzany do temperatury pokojowej bez dostępu powietrza. W wyniku katalitycznego oddziaływania powierzchni materiału metalicznego z parą, zwiększa się aktywność i potencjał utleniający układu $Me+H_2O$. Proces utleniania odbywa się w układzie naczyń połączonych, w wyniku czego ciśnienie pary wodnej w czasie procesu jest regulowane wysokością słupa wody w układzie zbiornik zasilający – uszczelniona komora robocza. Początkowo element zanurzany jest w wodzie, która w kontakcie z nagrzaną powierzchnią ulega zjawisku parowania, a powstająca para wodna wypełnia komorę roboczą i tym samym ustala się ciśnienie procesu. W wyniku tego procesu element znajduje się w środowisku pary wodnej. Wskazana hybrydowa kombinacja powłok zapewnia z kolei synergiczny wzrost właściwości istotnych z punktu widzenia bioaktywności układu implant – tkanka, w tym ograniczenia gradientu naprężeń własnych pomiędzy strefą dyfuzyjnego, fluidalnego nasycenia Ti tlenem, a szczelną i jednorodną, cienką powłoką TiO_2 , przy równoczesnym zmniejszeniu chropowatości powierzchni i poprawie jej morfologii. Połączenie metod w wymienionym układzie hybrydowym pozwala zatem na synergiczną poprawę efektów powierzchniowych mających wpływ na intensywność późniejszego osadzania związków hydroksyapatytowych, co zostanie udowodnione w dalszej części opisu osiągnięcia naukowego. Zastosowanie metod powierzchniowych, zapewnia uzyskanie szczelnej powłoki tlenkowej o korzystnej morfologii do zarodkowania związków na bazie hydroksyapatytu.

Drugi etap badań realizowanych w ramach osiągnięcia naukowego dotyczył określenia charakterystyki powłok tlenkowych, wytworzonych na podłożach po poszczególnych procesach hybrydowych. Wyznaczenie charakterystyk materiałowych tlenków polegało na badaniach mikrostruktury oraz określeniu ilościowych i jakościowych udziałów fazowych tlenków (rutyl, anataz) tworzących strukturę strefową podłoża oraz ich wpływu na stan powierzchni to jest topografię, stan naprężeń powłok, grubość, jednorodność.

W celu weryfikacji założeń celu naukowego osiągnięcia oraz realizacji badań wykonano następujące badania tytanu po utlenianiu, w tym między innymi:

- badania stereometryczne, w celu oceny wpływu aktywacji powierzchni oraz obróbki dyfuzyjnej na zmianę wielkości ziarna w rdzeniu i w strefie przypowierzchniowej przed i po procesach utleniania FADT, [poz. 4.B6, 4.B9, 4.B13],

- badania morfologii powierzchni z zastosowaniem mikroskopii sił atomowych (AFM – mikroskop AFM Veeco Instruments MultiMode), w celu porównania wpływu rodzaju procesu aktywacji na właściwości powierzchni przed i po utlenianiu w złożu fluidalnym oraz po obróbce metodami hybrydowymi [poz. 4.B1, 4.B9, 4.B10, 4.B14],
- metalograficzne badania strukturalne z zastosowaniem mikroskopii świetlnej (LM – metalograficzny mikroskop Axiovert Carl Zeiss) i elektronowej mikroskopii skaningowej (SEM – skaningowy mikroskop elektronowy JEOL JSM-6610LV), w celu oceny efektów zmian strukturalnych odpowiadających poszczególnym technologiom utleniania, ocenie strefowej budowy warstwy wierzchniej oraz jej składu chemicznego (SEM-EDX), jak również porównania efektów nasycania warstwy wierzchniej tytanu tlenem po FADT [poz. 4.B1, 4.B2, 4.B6],
- badania z zastosowaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej TEM, STEM, EFTEM – Mikroskop S/TEM Titan 80-300 firmy FEI, w celu oceny efektów utleniania hybrydowego (FADT+PVD), budowy warstwy utlenionej zarówno w strefie powierzchniowej, jak i w strefie przejścia (powłoka TiO_2 PVD / powłoka TiO_2 FADT) [poz. 4.B3],
- badania składu chemicznego powłok z zastosowaniem spektroskopii mas jonów wtórnych (SIMS – spektrometr IMS 6F CAMECA) oraz metodą optycznej spektroskopii emisyjnej w wyładowaniu jarzeniowym (GDOES – spektrometr HJY-JY GD-PROFILER 2), w celu oceny głębokości dyfuzji tlenu w strefach przypowierzchniowych [poz. 4.B3, 4.B11, 4.B12, 4.B13, 4.B15, 4.B16],
- badania analizy fazowej metodami rentgenowskimi, GID-XRD, μ -XRD – dyfraktometr rentgenowski Seifert 3003TT oraz Empyrean PANalytical; w celu oceny składu fazowego uzyskanych powłok tlenkowych [poz. 4.B1, 4.B3, 4.B5, 4.B8, 4.B11, 4.B13],
- badania analizy fazowej metodą spektroskopii Ramana (RS – spektrometr Horriba Yvon Jobin LabRAM HR) oraz badania analizy powierzchni z zastosowaniem laserowej konfokalnej mikroskopii skaningowej CLSM, w celu określenia rodzaju i udziału faz tlenkowych w powłoce TiO_2 na powierzchni [poz. 4.B1, 4.B2, 4.B3, 4.B5, 4.B8],
- badania mikrotwardości metodą Knoop’a – mikrotwardościomierz FUTURE-TECH FM-7, warstwy wierzchniej podłoży tytanowych po FADT w celu oceny rozkładu mikrotwardości oraz właściwości mechanicznych utlenionej warstwy wierzchniej [poz. 4.B6, 4.B7, 4.B15]
- badania naprężeń w warstwie wierzchniej metodą $\sin^2\Psi$ – dyfraktometr rentgenowski Seifert 3003TT, w celu weryfikacji wpływu rodzaju procesu utleniania hybrydowego na stan naprężeń w warstwie wierzchniej tytanu Grade 2 [poz. 4.B3, 4.B4],
- badania odporności na zużycie przez tarcie powłok tlenkowych metodą Scratch-Test i Kulotest, w celu oceny poprawy właściwości tribologicznych elementów i próbek tytanu po utlenianiu [poz. 4.B7, 4.B9, 4.B10, 4.B11, 4.B16],

- badania właściwości mechanicznych powłok po hybrydowej obróbce utleniania z zastosowaniem metody nanoindentacji – nanoindenter Micro Materials Ltd. NanoTest Vantage [poz. 4.B3],
- badania odporności na korozję elektrochemiczną metodą potencjodynamiczną (potencjostat AMEL 7050 wraz z układem trójelektrodowym i oprogramowaniem Juniorassist) [poz. 4. B13],
- badania odporności na korozję w środowisku symulującym płyny ustrojowe człowieka (SBF), w celu określenia wpływu warunków utleniania na właściwości korozyjne powłok tlenkowych oraz weryfikacji biogodności elementów tytanu, poprzez określenie występowania obszarów narastania związków hydroksyapatytowych [poz. 4.B1, 4.B3, 4.B4],
- badania orientacji płaszczyzn krystalograficznych metodą dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD – mikroskop SEM HITACHI SU70 z systemami analitycznymi Thermo Scientific), w celu określenia map dróg łatwej dyfuzji (granice ziaren fazowych i międzyfazowych) tlenu oraz wpływu ułożenia płaszczyzn krystalograficznych na efekty nasycania tytanu Grade 2 tlenem [poz. 4. B3],
- badania kinetyki tworzenia się powłok tlenkowych, w celu optymalizacji parametrów utleniania oraz określenia modelu mechanizmu w oparciu o teorię warstwy granicznej, bilansu tlenu oraz oceny oddziaływania czynnika aeromechanicznego złoża fluidalnego, intensyfikacji rozpylania jonowego w metodzie hybrydowej oraz oceny zjawisk dyfuzyjnych [poz. 4. B1, 4.B6, 4.B7, 4.B11, 4.B14, 4.B16].

Uzyskane informacje o właściwościach warstw, powłok i faz umożliwiły ustalenie rodzaju mechanizmu utleniania oraz morfologii tworzenia strefowej budowy warstwy wierzchniej i powłok tlenkowych. Posłużyły też do kompleksowego porównania efektów utleniania tytanu różnymi metodami hybrydowymi oraz określenie wpływu danego procesu na strukturę i właściwości fizyczne, chemiczne i mechaniczne uzyskanych cienkich powłok tlenkowych TiO_2 . Wyniki badań utleniania podłoży tytanowych Grade 2 metodą hybrydową wskazują na różnice profilu rozkładu stężenia tlenu (SIMS) w warstwie wierzchniej po poszczególnych metodach utleniania. W metodzie PVD zauważyć można cienką strefę występowania powłoki tlenkowej TiO_2 oraz wcześniej utworzoną strefę roztworową $\text{Ti}_\alpha(\text{O})$, będącą wynikiem dyfuzyjnego nasycania podłoży tytanowych w złożu fluidalnym w procesie FADT. Konsekwencją tego jest uzyskanie w strefie utlenionej obszarów o stałym stężeniu tlenu – strefa tlenku TiO_2 PVD (ok. $1,0\ \mu\text{m}$) oraz obszarów ze zmiennym spadkiem stężenia tlenu wraz ze zwiększeniem odległości od powierzchni (ok. $1,5\text{-}2,0\ \mu\text{m}$) – strefa porowatego tlenku TiO_2 FADT oraz strefy dyfuzyjnej $\text{Ti}_\alpha(\text{O})$ o wartości od $9\text{-}15\ \mu\text{m}$. Powyższe spostrzeżenia potwierdzają wyniki map rozkładu stężenia tlenu z kontrastem pierwiastków w Ti Grade 2 po utlenianiu hybrydowym wykonane metodą transmisyjnej mikroskopii elektronowej z filtrowaniem widma TEM-EFTEM Energy Filtered Transmission Electron Microscopy [poz. 4.B3, 4.B4]. Przeprowadzone badania w strefie dyfuzyjnej oraz w strefie na granicy strefa dyfuzyjna / strefa PVD potwierdzają

występowanie porowatej powłoki tlenkowej TiO_2 po utlenianiu fluidalnym, tworzącej się w wyniku oddziaływania tlenu z aktywowaną aeromechanicznie powierzchnią podłoża oraz szczelnej powłoki tlenków TiO_2 PVD osadzonych i zakotwiczonych w strefie dyfuzyjnej. Wykonane badania metodą STEM dobrze uwidaczniają strefę przejściową, wytworzoną po utlenianiu hybrydowym (FADT+PVD). Grubość strefy przejściowej (interface) FADT–PVD wynosiła ok. 600-800 nm. W tej strefie widoczne są obszary nanoporów o nieregularnych kształtach i różnej wielkości w przedziale od 20 do 60 nm. Rozkład porów w strefie oraz ich wielkość dobrze obrazują mapy stężenia tlenu w podłożach tytanowych również wykonane metodą TEM-EFTEM. Wskazują również, że obszary z występowaniem nanoporów stanowią miejsca do łatwego kotwiczenia cząstek TiO_2 osadzonych metodą PVD. Z uzyskanych wyników zauważyć również można wyraźną strefę narastania tlenku TiO_2 PVD nad strefą przejścia w wyniku osiągnięcia krytycznej ilości cząstek w procesie chemisorpcji do dalszego tworzenia strefy w procesie adsorpcji na powierzchni strefy porowatego TiO_2 FADT. Badania TEM-EFTEM obrazują również osadzanie się powłok tlenkowych w wyniku łączenia się nanocząstek TiO_2 PVD (40 nm – 60 nm) o odmianie rutylu z cząstkami TiO_2 FADT.

Interesujących wyników dostarczyły również badania wpływu orientacji płaszczyzn krystalograficznych na transport tlenu z zastosowaniem dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (SEM/EBSD – Electron backscatter diffraction) [poz. 4.B3]. Z analizy wyników map EBSD można stwierdzić, że występuje zróżnicowanie orientacji płaszczyzn krystalograficznych faz tlenków przy powierzchni i w strefie dyfuzyjnej $\text{Ti}_\alpha(\text{O})$, gdzie widoczna jest korelacja z występowaniem płaszczyzn o orientacji krystalograficznej (1010). Jednak przy powierzchni występują również obszary o orientacji krystalograficznej (2110). Wynika z tego, że ułatwione zarodkowanie faz tlenkowych TiO_2 w strefie dyfuzyjnej następuje w ziarnach o orientacji (1010), co jest spowodowane zmianą szybkości strumieni dyfuzji dla tej orientacji ze względu na niecałkowite obsadzenie luk oktaedrycznych. W konsekwencji wolniejsze dostarczanie atomów tlenu (mniejszy strumień dyfuzji) do ziaren o tej orientacji doprowadzi do szybkiego nasycenia powierzchni Ti Grade 2, a to z kolei może prowadzić do wolniejszego zarodkowania faz tlenkowych TiO_2 . Wskazuje to na utworzenie się strefy przejściowej w wyniku zastosowanego utleniania hybrydowego, co potwierdziły wyniki wykonanych badania TEM. Dodatkowo analiza warstwy TiO_2 na grubości 1 μm wykazała silne stekstrowanie płaszczyzn w kierunku [200].

Równie atrakcyjnych wyników dotyczących składu fazowego Ti Grade 2 po utlenianiu hybrydowym dostarczyły wyniki rentgenowskiej analizy fazowej XRD (μ -XRD, GID) [poz. 4.B4, 4.B5]. Dyfraktogramy μ -XRD dla strefy dyfuzyjnej Ti po utlenianiu w złożu fluidalnym (FADT 640°C, 8 h) wykazały obecność pików TiO i TiO_2 w odmianie rutylu. Widoczne są również piki od Ti_α , co wiąże się ze zmianami struktury sieci krystalicznej tytanu przez tlen znajdujący się w obszarach międzywęzłowych i potwierdza tworzenie warstwy dyfuzyjnej $\text{Ti}_\alpha/\text{Ti}_\alpha(\text{O})$ podczas utleniania. Natomiast dyfraktogramy GID-XRD otrzymane dla tytanu po hybrydowej obróbce (głównie PVD) wykazały

obecność najsilniejszych pików pochodzących głównie od fazy TiO_2 anatazu, wytworzonej na powierzchni fazy TiO_2 FADT, ale widoczne są również piki od TiO_2 w odmianie rutylu, co sugeruje występowanie struktury mieszanej anatazu i rutylu po utlenianiu hybrydowym metodą PVD, metodą LST oraz Steam-Ox.

Fazy tlenkowe na powierzchni podłoża tytanowych po obróbce hybrydowej analizowano dodatkowo z zastosowaniem spektroskopii Ramana [poz. 4.B5, 4.B6, 4.B8]. Przeanalizowane dane literaturowe wskazują, że dla powłoki TiO_2 w odmianie rutylu aktywnymi są pasma w zakresie liczb falowych ok.: 143 cm^{-1} (B_{1g}), 236 cm^{-1} (szerokie pasmo), 447 cm^{-1} (E_g), 612 cm^{-1} (A_{1g}), i 826 cm^{-1} (B_{2g}) oraz sześć aktywnych pasm dla fazy anatazu czyli 144 cm^{-1} (E_g), 197 cm^{-1} (E_g), 399 cm^{-1} (B_{1g}), 513 cm^{-1} (A_{1g}), 519 cm^{-1} (B_{1g}) i 639 cm^{-1} (E_g) [21]. Ponadto zaobserwowano, że intensywność pasm charakterystycznych dla anatazu zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury utleniania, co potwierdza zmniejszanie udziału metastabilnego anatazu w wytworzonych powłokach TiO_2 , i stopniową jego przemianę w TiO_2 rutyl. Pozostałe charakterystyczne pasma w zakresie liczb falowych: $604\text{--}609\text{ cm}^{-1}$, $416\text{--}445\text{ cm}^{-1}$ i $231\text{--}243\text{ cm}^{-1}$ pochodzą od fazy tlenkowej TiO_2 w odmianie rutylu, która jest fazą dominującą w utlenionych próbkach Ti Grade 2 metodą FADT. Ponadto zaobserwowano, że pasma przesunięte są w stronę niższych wartości liczb falowych, co sugeruje występowanie naprężeń ściskających w powłokach potwierdzających tym samym ich zróżnicowanie fazowe. Analizując widma Ramana dla próbek poddanych hybrydowej obróbce z wykorzystaniem metody FADT+PVD zaobserwowano występowanie pików, głównie w zakresie liczb falowych: 143 cm^{-1} , 198 cm^{-1} , 395 cm^{-1} , 515 cm^{-1} , 634 cm^{-1} charakterystycznych dla anatazu. Natomiast w przypadku obróbki hybrydowej FADT+LST widoczne są piki w zakresie liczb falowych charakterystycznych dla rutylu: 612 cm^{-1} , 412 cm^{-1} i 237 cm^{-1} . Jest ona dominującą fazą w tych podłożach, ale o udziale anatazu świadczy również pik w zakresie liczb falowych przy 145 cm^{-1} . Zastosowane obróbki hybrydowe umożliwiły uzyskanie odmiennych struktur tlenkowych, ważnych z punktu widzenia zastosowań w biomedycynie. Liczne prace dowodzą, że tylko TiO_2 , w odmianie rutylu jest fazą aktywną dla narastania związków hydroksyapatytu, jednak wyniki uzyskane w osiągnięciu naukowym wskazują, że korzystnym stanem powierzchni dla poprawy bioaktywności jest mieszanina stabilnego TiO_2 w odmianie rutylu z metastabilnym TiO_2 w odmianie anatazu uzyskana w procesach hybrydowych, co zostanie potwierdzone badaniami bioaktywności [22-25 / poz. 4.B8].

W celu analizy i oceny stanu naprężeń podłoża i tworzących się powłok tlenkowych wykonano badania naprężeń metodą $\sin^2\psi$ dla refleksu (101), przy kącie dyfrakcji $2\theta=46.99^\circ$; ugięciu promieniowania w strefie przypowierzchniowej o grubości ok. $3,0\text{ }\mu\text{m}$. Pomiar wykonano z zastosowaniem urządzenia Seifert 3003TT w geometrii Bragga-Brentano oraz GIXRD z użyciem promieniowania $\text{K}\alpha\text{Co}$ $\lambda = 0,17902\text{ nm}$. Refleksy rejestrowano dla 3 symetrycznych rotacji kąta w zakresie $0\div15^\circ$. Analizy dyfraktogramów wykonano z użyciem oprogramowania Rayflex

i PDF4+2013. Naprężenia w strefie granicznej oszacowano na ok. -970 MPa. Naprężenia oszacowano za pomocą oprogramowania Rayflex/Analyze dla stałych sprężystości $E=112$ GPa i $\nu=0,33$. Położenia refleksów wyznaczono w oparciu o maksimum refleksów (Parabola Fit). Wyniki wykazały korzystną zmianę naprężeń na granicy podłoże FADT – powłoka tlenkowa TiO_2 PVD, co wskazuje na zaletę realizacji procesów utleniania hybrydowego w aspekcie poprawy stanu energetycznego powierzchni podłoża tytanowych, która ma z kolei bardzo istotne znaczenie w zastosowaniach biomedycznych [poz. 4.B4].

Jakość powierzchni implantu ma znaczący wpływ na reakcje zachodzące na granicy implant – biosystem. Modyfikacja powierzchni (funkcjonalizacja) poprzez wytwarzanie warstw czy powłok wpływa na intensyfikację procesów osseointegracji, regenerację tkanek, jak również zachowanie się implantu podczas eksploatacji. Największe znaczenie dla utworzenia trwałego połączenia implant – tkanka kostna ma chropowatość oraz skład chemiczny powierzchni podłoża [26-29]. W celu zwiększenia biogodności z organizmem człowieka oraz bioaktywności, tytanowe podłoża zostały poddane modyfikacji powierzchni poprzez utlenianie hybrydowe dla uzyskania odpowiedniej topografii powierzchni oraz jej stanu energetycznego, w celu możliwości uzyskania kontroli narastania związków na bazie hydroksyapatytu oraz regeneracji tkanki. Wiadomo, że tytan jest uznany jako materiał biogodny, jednak w niektórych przypadkach dla powłok tlenkowych o grubości powyżej $4\text{ }\mu\text{m}$ obserwowano stany zapalne w badaniach *in vitro* oraz *in vivo*, co świadczy o cytotoksyczności powłok tlenkowych i jest bardzo niekorzystne dla biofunkcjonalności implantów tytanowych. Analizując, zatem dane literaturowe celowym wydaje się rozwijanie metod hybrydowych w inżynierii powierzchni, pozwalających na otrzymywanie cienkich powłok tlenkowych o trwałym połączeniu z odpowiednio przygotowanym podłożem. Chropowatość ma znaczący wpływ na odpowiedź biologiczną implantów tytanowych. Osteoblasty mają większe prawdopodobieństwo przylegania do chropowatej powierzchni tytanu, natomiast fibroblasty i komórki nabłonkowe tworzą się głównie na gładkich powierzchniach implantów tytanowych. Chropowata powierzchnia jest bardziej preferowana w procesach osseointegracji ze względu na lepszy wzrost tkanki kostnej na powierzchni implantu, a tym samym większą przyczepność do implantu. Średnia chropowatość powierzchni i właściwości zależą jednak w znacznej mierze od zastosowanej obróbki powierzchniowej, która jest kluczowym aspektem poprawy właściwości implantów [30]. Warto wspomnieć, że większość danych literaturowych pokazuje, że parametr chropowatości powierzchni powinien być zbliżony do ok. $0,8\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$, aby poprawić szybkość osseointegracji na granicy podłoże – tkanka [31]. Obserwacje i badania podłoża tytanowych po utlenianiu hybrydowym wskazują na znaczące różnice w morfologii powierzchni, w porównaniu do efektów utleniania konwencjonalnego np. jedynie metodą PVD. Wyniki badań mikroskopii sił atomowych AFM wskazują, że skutkiem zastosowania metody hybrydowej jest uzyskanie bardzo korzystnej morfologii powierzchni, co wskazuje na synergiczne oddziaływanie zjawisk fizykochemicznych na powierzchni w trakcie utleniania FADT+PVD/LST/Steam-Ox. Związane

jest to z ułatwionym w wyniku obróbki fluidalnej transportem tlenu do nieustannie defektowanego podłoża Ti i tworzeniem porowatej strefy dyfuzyjnej w tytanie, która w konsekwencji ułatwia późniejszą adhezję TiO_2 w nierównowagowych metodach powierzchniowych (PVD, LST, Steam-Ox). Potwierdzeniem powyższego stwierdzenia jest tworzenie się w strefie dyfuzyjnej, dyspersyjnych tlenków TiO_2 , które wykazały badania rozkładu stężenia tlenu w warstwie wierzchniej metodą GDOS i SIMS. Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że głębokość penetracji tlenu wynosi ok. 1,5-2,5 μm , z tym że w strefie bezpośrednio przypowierzchniowej widoczne jest znacznie większe stężenie tlenu. Wynika z tego, że strefa aktywacji mechanicznej złoża odpowiada odległości, w której stężenie tlenu jest większe od 35 % at. tlenu (zgodnie z układem równowagi faz Ti-O) [poz. 4.B3, 4.B5]. Badanie i analiza podłoży po wstępnym utlenianiu hybrydowym wskazuje na znaczące różnice w morfologii powierzchni. Jest to związane z efektami różnych procesów utleniania, początkowo realizowanych w złożu fluidalnym (aktywacja mechaniczna) i oddziaływaniem tlenku porowatego TiO_2 FADT, z cienkimi powłokami tlenków utworzonych metodą PVD oraz metodą LST, co znacząco poprawia morfologię powierzchni podłoży tytanowych. Powstawanie cienkiej powłoki tlenku w metodzie teksturowania laserowego LST zależy głównie od parametrów wiązki laserowej (moc wiązki, długość impulsu, szybkość teksturowania), która tworzy mikrotekstury tlenkowe na powierzchni o głębokości ok. 2÷3 μm . Jednak mikrostruktura substratów po obróbce FADT+LST ujawniła również pęknięcia w obszarach poddanych obróbce, których z punktu widzenia zastosowań biomedycznych należy bezwzględnie unikać ze względu na podwyższony stan naprężeń, a w rezultacie spadek wytrzymałości mechanicznej podłoży i możliwość uwalniania efektów degradacji podłoży do organizmu, w rezultacie powodując stan zapalny tkanki [32]. Parametr chropowatości powierzchni po utlenianiu w złożu fluidalnym wynosił $R_a = 1,38 \mu\text{m}$ i po utlenianiu hybrydowym wynosił odpowiednio $R_a = 0,741 \mu\text{m}$ i $R_a = 0,977 \mu\text{m}$ dla metody PVD i LST oraz $R_a = 0,832 \mu\text{m}$ dla metody Steam-Ox. Analiza wyników sugeruje, że w wyniku zastosowania metody hybrydowej uzyskuje się korzystną morfologię powierzchni, co wskazuje na synergiczny efekt reakcji fizykochemicznej na powierzchni podłoży po hybrydowym utlenianiu [poz. 4.B1, 4.B3].

Trzecim etapem realizacji badań w ramach osiągnięcia naukowego było określenie właściwości biofunkcjonalnych podłoży tytanowych, poprzez ocenę bioaktywności powierzchni podłoży. Uzyskane warstwy zróżnicowane pod względem budowy chemicznej oraz mikro- i nanotopografii były oceniane z punktu widzenia właściwości bioaktywnych, w kontakcie ze sztucznymi płynami fizjologicznymi c-SBF2 w tzw. teście Kokubo [33]. Powszechnie wiadomo, że istnieją dwa rodzaje bioaktywności, bioaktywność osteoprodukcyjna i bioaktywność osteokondukcyjna, w zależności od szybkości i mechanizmów interakcji tkanek implantacyjnych [33-36]. Aby zoptymalizować aktywność biochemiczną i kompatybilność biomechaniczną podłoży tytanowych. Badania były ukierunkowane na funkcjonalizację hybrydowych podłoży tytanowych, zarówno poprzez wytworzenie na podłożach tytanowych warstw bioaktywnych, jak również modyfikację składu i właściwości fizykochemicznych

cienkich powłok tlenkowych (uzyskanie mieszaniny TiO_2 rutyl+anataz). Mechanizm przylegania implantu do tkanki jest bezpośrednio związany z odpowiedzią tkankową na granicy implantu. Każdy materiał wszczepiony do tkanek żywych nie jest obojętny i wywołuje odpowiedź tkankową. Gdy bioaktywny materiał zostaje zaimplantowany, na powierzchni implant-tkanka zachodzi szereg reakcji biofizycznych i biochemicznych. Wiadomo również, że materiał bioaktywny to taki, który zapewnia specyficzną odpowiedź biologiczną na granicy materiału, co powoduje utworzenie się wiązania między tkankami, a podłożem w środowisku zgodnym z osteogenezą. Dla różnych materiałów bioaktywnych, mechanizm wiązania (zależność czasowa), siła wiązania, grubość interfejsu wiązania są różne [37-40]. Jednak szybkość rozwoju wiązania międzyfazowego na granicy podłoże-tkanka, SBF itp. można określić jako poziom bioaktywności. Względna bioaktywność i zależność czasowa tworzenia międzyfazowego oraz poziom bioaktywności określonego materiału jest zatem związana z czasem wytworzenia ponad 50% udziałem interfejsu tkanka – podłoże [41-43]. W zrealizowanych badaniach podłoża tytanowe po obróbce hybrydowej zostały zweryfikowane pod względem ich odpowiedzi bioaktywnej, poprzez zanurzenie w c-SBF2 (test Kokubo) w czasie 7, 14 i 21 dni oraz analizę powstałych interfejsów metodą SEM-EDX. Badania powierzchni podłoży tytanowych po hybrydowym utlenianiu (szczególnie FADT+PVD) potwierdziły bardzo intensywną inkubację, a następnie osadzanie się dyspersyjnych, globularnych związków na bazie hydroksyapatytu (HAp), (stanowiącego podstawę do przyspieszonych procesów osseointegracji), tworzących się początkowo szczególnie intensywnie przy granicach oraz w obszarach zdefektowania powłoki, a następnie w wyniku stabilizacji energii powierzchniowej cząstek HAp, bardzo intensywnie na powierzchni podłoży [poz. 4.B1, 4.B3, 4.B4]. Cząstki HAp tworzą aglomeraty i klastery, co wskazuje na szerokie możliwości zastosowania zrealizowanych podłoży w aplikacjach biomedycznych. Można stwierdzić, że hybrydowe utlenianie tytanu obejmuje nowe sposoby łączenia zjawisk transportu tlenu w powłokach tlenkowych, w zakresie kształtowania korzystnych zmian właściwości powierzchni tytanu do zastosowań biomedycznych. Zintensyfikowany wzrost cząstek na bazie związków hydroksyapatytu i ich skupisk wskazuje na możliwość zastosowania wyżej wymienionych technik w procesach wzrostu tkanki kostnej i miękkiej.

PODSUMOWANIE

Metodyka wykonanych badań pozwoliła na realizację celów osiągnięcia naukowego w trzech etapach. Pierwszy etap dotyczył technologii wytwarzania podłoży tytanowych w procesach utleniania hybrydowego, czyli połączenia procesów utleniania w złożu fluidalnym, kolejno z wytworzeniem cienkich powłok tlenkowych na powierzchni podłoży metodami PVD, LST o metody Steam-Ox. Na tym etapie, w wyniku realizacji badań fizykochemicznych powierzchni i badań adhezji oraz strefy granicznej tzw. kotwiczenia cienkich powłok tlenkowych do podłoży zostały wytypowane

najbardziej korzystne procesy hybrydowe, które zweryfikowano w aspekcie poprawy właściwości biofunkcjonalnych podłoży, w tym głównie bioaktywności.

Drugi etap zrealizowanych badań dotyczył opracowania charakterystyk powłok tlenkowych wytworzonych na podłożach po poszczególnych procesach hybrydowych. Wyznaczenie charakterystyk materiałowych tlenków polegało na badaniach mikrostruktury oraz określeniu ilościowych i jakościowych udziałów fazowych tlenków (rutyl, anataz) tworzących strukturę warstwową podłoży oraz ich wpływu na stan powierzchni to jest morfologię, stan naprężeń powłok, grubość, jednorodność itp..

Natomiast trzeci etap badań polegał na określeniu biofunkcjonalności podłoży w wyniku realizacji testów bioaktywności powierzchni. Uzyskane warstwy zróżnicowane pod względem budowy chemicznej oraz mikro- i nanotopografii były oceniane z punktu widzenia właściwości bioaktywnych w kontakcie ze sztucznymi płynami fizjologicznymi c-SBF2 w teście Kokubo. Wyniki tych badań zostały zweryfikowane w oparciu o badania adhezyjności warstw i powłok, jak i badania związane z uzyskaną topografią i fizykochemią powierzchni.

Podsumowując należy stwierdzić, że zwiększenie bioaktywności materiałów jest zawsze aktualnym wyzwaniem dla inżynierii biomedycznej i inżynierii powierzchni. W celu poprawy właściwości tytanu do aplikacji biomedycznych zastosowano metody hybrydowego utleniania i uzyskano korzystny układ: podłoże Ti_{α} / roztwór stały tlenu w tytanie $Ti_{\alpha}(O)$ – dyfuzyjna warstwa wierzchnia / cienka powłoka tlenkowa TiO_2 (korzystnie mieszanina rutylu i anatazu). Taki układ stanowi jeden ze sposobów zabezpieczenia powierzchni podłoży tytanowych, przy jednoczesnym zapewnieniu właściwości biofunkcyjnych (bioaktywność) dla zwiększenia intensywności oddziaływania związków posiadających właściwości wspomagające regenerację tkanek np. hydroksyapatytu. W rezultacie zrealizowanych badań otrzymano zmianę profilu stężenia tlenu z wytworzeniem strefy dyfuzyjnej roztworu stałego tlenu w tytanie $Ti_{\alpha}(O)$ i porowatej powłoki tlenku tytanu TiO_2 w odmianie rutylu o korzystnym stanie naprężeń podłoże-powłoka, co stanowi jednorodny i wytrzymały „fundament” do dalszych modyfikacji w procesach powierzchniowych (PVD, LST, Steam-Ox itp). Wymienione metody utleniania (FADT+PVD / LST / Steam-Ox) w układzie hybrydowym pozwoliły na wykorzystanie zalet samoistnego aktywowania mechanicznego powierzchni, w wyniku oddziaływania czynnika aeromechanicznego złoża fluidalnego, co wiąże się z ciągłym defektowaniem powierzchni podłoża, z równoczesnym jej utlenianiem, a to z kolei przy wzroście ilości centrów aktywnych decyduje o późniejszym transporcie masy tlenu przy tworzeniu cienkiej powłoki tlenkowej TiO_2 . Tak utworzona hybrydowa kombinacja powłok zapewnia synergiczny wzrost właściwości istotnych z punktu widzenia biogodności układu implant – tkanka. Właściwości te to głównie, ograniczenie gradientu naprężeń własnych pomiędzy strefą dyfuzyjnego fluidalnego nasycenia Ti tlenem, a szczelną i jednorodną powłoką PVD, przy równoczesnej poprawie jej morfologii. Połączenie metod w wymienionym układzie hybrydowym pozwala więc na funkcjonalizację podłoży

poprzez zmianę kinetyki zjawisk i efektów powierzchniowych, mających wpływ na zintensyfikowaną bioaktywność podłoży, potwierdzoną wzmożoną intensywnością osadzania związków hydroksyapatytowych w teście Kokubo. Powłoki tlenkowe otrzymane wymienionymi metodami charakteryzują się niewielką grubością i bardzo dobrą adhezją, co zależy od wielu czynników, w tym między innymi od przygotowania powierzchni podłoży tytanowych do procesów hybrydowych. Hybrydowe utlenianie tytanu obejmuje zatem nowe sposoby łączenia zjawisk transportu tlenu w powłokach tlenkowych, w zakresie kształtowania korzystnych zmian właściwości powierzchni tytanu do zastosowań biomedycznych. Intensywny wzrost związków hydroksyapatytu i globularnych aglomeratów wskazuje na możliwość zastosowania wyżej wymienionych technik w procesach wzrostu tkanki kostnej, co będzie inspiracją do dalszego zgłębiania przyczyn przyspieszonego wzrostu i osadzania cząstek HAP z wykorzystaniem zrealizowanych technologii.

WNIOSKI

1. Modyfikacja podłoży Ti Grade 2 metodą utleniania w złożu fluidalnym powoduje wytworzenie zdefektowanej strefy dyfuzyjnej wzbogaconej w tlen $Ti_{\alpha}(O)$ charakteryzującej się korzystnym stanem naprężeń i stanowiącej podłoże dla późniejszych procesów hybrydowych, stosowanych do wytwarzania cienkich powłok tlenkowych TiO_2 w odmianie rutylu i anatazu.
2. Atrakcyjność podłoża Ti Grade 2 wytworzonego metodą fluidalnej obróbki cieplno-dyfuzyjnej (FADT) jest związane z ciągłym defektowaniem warstwy wierzchniej podczas nasycania tytanu tlenem, w wyniku oddziaływania czynnika aeromechanicznego złoża z atmosferą medium fluidyzującego, poprzez zmianę liczby fluidyzacji. Pozwala to na kontrolowane defektowanie strefy przypowierzchniowej w czasie utleniania, a tym samym wytwarzanie i zwiększanie ilości centrów aktywnych, dróg łatwej dyfuzji, jak również tworzenie mikro- nanoporowatej struktury TiO_2 w odmianie rutylu.
3. Metoda FADT w wyniku aktywacji powierzchni bezpośrednio w procesie nasycania z transportem tlenu, w Ti Grade powoduje wytworzenie strefy dyfuzyjnej $Ti_{\alpha}(O)$ o korzystnym stanie naprężeń ściskających, stanowiącej podłoże dla późniejszego intensywnego osadzania powłoki tlenkowej TiO_2 w odmianie rutylu i anatazu. Pozwala to na defektowanie strefy przypowierzchniowej w czasie utleniania, a tym samym wytwarzanie i zwiększanie ilości centrów aktywnych, przy równoczesnym zwiększeniu udziału dróg łatwej dyfuzji tlenu.
4. Zastosowanie obróbki hybrydowej FADT+PVD pozwala na wytworzenie, jednorodnej, zwartej i ciągłej powłoki tlenkowej z mieszaniną faz TiO_2 w odmianie rutylu i anatazu na powierzchni podłoży tytanowych. Związane jest to z adhezyjnym oddziaływaniem powłok TiO_2 PVD z podłożem FADT (wyniki TEM) oraz przebiegiem powierzchniowych procesów sorpcyjnych (chemisorpcja, adsorpcja, desorpcja). Taki stan zjawisk i efektów utleniania tytanu w metodzie

hybrydowej decyduje o wytwarzaniu poszczególnych stref oraz ich synergicznym oddziaływaniu w hybrydowym sposobie ich łączenia.

5. Połączenie sposobów utleniania podłoży tytanowych w metodzie hybrydowej wpływa na poprawę stanu chropowatości powierzchni podłoży, co jest przydatne w aspekcie ułatwionego i bardziej zintensyfikowanego procesu osadzania związków hydroksyapatytu w postaci globularnej.
6. Zaprezentowany sposób osadzania powłok tlenkowych metodą hybrydową stanowi nowe rozwiązanie do zastosowań biomedycznych wskazujące kierunki wytwarzania biozgodnych warstw w zastosowaniach biomedycznych.

WYKORZYSTANIE WYNIKÓW I PERSPEKTYWY BADAWCZE

Szerokopojętym celem realizacji osiągnięcia naukowego jest ograniczenie często występujących w układach implant-tkanka zjawisk metalozy oraz poprawa właściwości funkcjonalnych powierzchni podłoży tytanowych, w tym przede wszystkim bioaktywności. Zrealizowane wielowariantowe procesy hybrydowego utleniania powierzchni podłoży tytanowych pozwoliły na uzyskanie poprawy właściwości biofunkcyjnych podłoży tytanowych. Prezentowane osiągnięcie dotyczy istoty i znaczącej dziedziny zapewnienia komfortu życia ludzi, których organizmy uległy między innymi schorzeniom stawów układu kostnego. Taki stan rzeczy powoduje ograniczoną motorykę i obniżenie sprawności osób w okresie produkcyjnym, zmniejszenie sprawności fizycznej i ból przede wszystkim, w wieku emerytalnym. Przeprowadzenie badań utleniania hybrydowego pozwoliło na porównanie uzyskanych efektów utleniania z różnymi metodami stosowanymi w ośrodkach naukowych i przemysłowych oraz poszerzenie wiedzy nie tylko na temat kinetyki, przebiegu zjawisk podczas realizacji procesu utleniania hybrydowego, dla uzyskania możliwie optymalnych właściwości do konkretnych zastosowań biomedycznych, ale również opracowania mechanizmów utleniania dla uzyskania powtarzalności procesów. Prowadzone przez autora badania obejmowały początkowo procesy fluidalno atmosferycznej obróbki dyfuzyjnej tytanu FADT, jednak poznanie mechanizmów i kinetyki utleniania pozwoliło na zapoczątkowanie idei synergicznego łączenia właściwości fizycznych, chemicznych i użytkowych podłoży po różnych procesach utleniania. Uzyskane informacje o kinetyce i mechanizmach utleniania oraz morfologii tworzenia strefowej budowy powłok tlenkowych i warstwy wierzchniej, posłużyły do opracowania innowacyjnych technologii hybrydowych dla realizacji nowoczesnych podłoży tytanowych (implanty VI generacji) do zastosowań w inżynierii biomedycznej dla poprawy komfortu życia. Realizacja badań pozwoliła na kompleksową ocenę efektów utleniania hybrydowego tytanu na jego strukturę i właściwości fizyczne, chemiczne i mechaniczne. Z kolei zastosowanie metod powierzchniowych pozwoliła na znaczące skrócenie czasu technologii utleniania oraz znaczącą poprawę właściwości adhezyjnych powłok tlenkowych. Uzyskane wyniki realizacji procesów hybrydowych były prezentowane na międzynarodowych i o konferencjach

naukowych oraz seminariach z udziałem przemysłu. Zaproponowane rozwiązanie hybrydowej obróbki utleniania tytanu wskazuje na nowe możliwości modyfikacji i kształtowania właściwości warstw tlenkowych, w aspekcie aplikacji biomedycznych. Intensyfikowanie wzrostu cząstek i klasterów hydroksyapatytu wskazuje na możliwość zastosowania ww. technik w procesach wzrostu tkanek kostnych w implantologii kostnej i stomatologii.

Przedstawiony sposób osadzania powłok tlenkowych metodą hybrydową jest nowym rozwiązaniem dla zastosowań biomedycznych, zgodnym z obecnymi trendami w inżynierii biomateriałów i inżynierii powierzchni łączącymi różne techniki inżynierii materiałowej, w celu ulepszenia implantów i urządzeń medycznych. Zrealizowane badania pozwoliły na opracowanie nowych rozwiązań technologicznych w zakresie hybrydowego utleniania podłoży tytanowych, a uzyskanie oryginalnych wyników właściwości przygotowanych podłoży materiałów na określenie charakteru odpowiedzi biologicznej oraz szybkości i rodzaju osseointegracji, co pozwoliło na poszerzenie wiedzy na temat zjawiska bioaktywności tytanowych podłoży dla implantologii.

LITERATURA:

1. H.J. Rack, J.I. Qazi: Titanium alloys for biomedical applications. *Materials Science and Engineering C* 26,2006, 1269-1277
2. D. Li, S.J. Ferguson, T. Beutler, D.L. Cochran, C. Siting, H.P. Hirt, D.J. Buser, Biomechanical comparison of the sandblasted and acid-etched and the machined and acid-etched titanium surface for dental implants, *Journal of Biomedical Materials Research Vol. 60*, 2002, p. 325-332.
3. Y.X. Leng, J.Y. Chen, P. Yang, H. Sun, N. Huang: Structure and properties of passivating titanium oxide films fabricated by DC plasma oxidation. *Surface and Coatings Technology* 166, 2003, 176-182
4. R. Sabetrasekh, H. Tiainen, S.P. Lyngstadaas, J. Reseland, H. HaugenA novel ultra-porous titanium dioxide ceramic with excellent biocompatibility *J. Biomater. Appl.*, 25 (2011), pp. 559-580
5. Bin Sun, Shufeng Li, Hisashi Imai, Takanori Mimoto, Junko Umeda, Katsuyoshi Kondoh, Fabrication of high-strength Ti materials by in-process solid solution strengthening of oxygen via P/M methods *Materials Science and Engineering: A* Volume 563, 15 February 2013, Pages 95-100
6. Ochsenbein A., Chai F., Winter S., Traisnel M., Breme J., Hildebrand H. F. Osteoblast responses to different oxide coatings produced by the sol-gel process on titanium substrates. *Acta Biomaterialia*. 2008;4(5):1506–1517
7. Bing Zhou, Xiaohong Jiang, Zhubo liu, Ruiqi Shen, Aleksandr V. Rogachev Preparation and characterization of TiO₂ thin film by thermal oxidation of sputtered Ti film, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Volume 16, Issue 2, April 2013, Pages 513-519
8. F. Toptan, A.C. Alves, A.M.P. Pinto, P. Ponthiaux Tribocorrosion behavior of bio-functionalized highly porous titanium, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Volume 69, May 2017, Pages 144-152
9. S. Izman et al., "Effect of Thermal Oxidation Temperature on Rutile Structure Formation of Biomedical TiZrNb Alloy", *Advanced Materials Research*, Vols. 393-395, pp. 704-708, 2012

10. Radmanesh M, Kiani A, Bioactivity enhancement of titanium induced by Nd:Yag laser pulses, *J Appl Biomater Funct Mater*. 2016 vol. 14(1) pg. e70-77
11. Riveiro, A & Soto, R & Comesaña, R & Boutinguiza, Mohamed & Del Val, J & Quintero, Felix & Lusquiños, Fernando & Pou, Juan. (2012). Laser surface texturing of bioactive materials. *ICALEO 2012 - 31st International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics*. 889-895
12. J. Heinrichs, T. Jarmar, U. Wiklund, H. Engqvist, Physical Vapour Deposition and Bioactivity of Crystalline Titanium Dioxide Thin Films *Trends Biomater. Artif. Organs*, Vol 22(2), pp 104-110 (2008)
13. T. Wierzchon, E. Czarnowska, D. Krupa, Surface engineering of biomaterials in the manufacture of titanium *Warsaw University of Technology Publishers*, 2004 (in Polish)
14. A. Gil, A. Kuc, Application of two-stage oxidation method for growth mechanism studies of rutile scale on titanium, *Ceramic Materials Vol. 64*, 2012, p. 188-191.
15. P. Chowdhury, H.C. Barshilia, N. Selvakumar, B. Deepthi, K.S. Rajam, A.R. Chaudhuri, S.B. Krupanidhi, The structural and electrical properties of TiO₂ thin films prepared by thermal oxidation, *Physica B: Condensed Matter Vol. 403*, 2008, p. 3718-3723.
16. Z. Ding, X. Hu, P.L. Yue, G.Q. Lu, P.F. Greenfield, Synthesis of anatase TiO₂ supported on porous solids by chemical vapor deposition, *Catal. Today* 68 (2001) 173–182.
17. Y. Adraider, Y.X. Pang, M.C. Sharp, S.N. Hodgson, F. Nabhani, A. Al-Waidh, Fabrication of titania coatings on stainless steel via laser-induced deposition of colloidal titanium oxide from sol–gel suspension, *Mater. Chem. Phys.* 138 (2013) 245–252.
18. Mehranpour H, Askari M, Ghamsari MS, Farzalibeik H. Study on the phase transformation kinetics of sol-gel driven TiO₂ nanoparticles. *J Nanomater* 2010;2010:31.
19. M.Jamesh, T.S.N.Sankara Narayanan^bPaul K.Chu^a Thermal oxidation of titanium: Evaluation of corrosion resistance as a function of cooling rate, *Materials Chemistry and Physics Volume 138, Issues 2–3, 15 March 2013, Pages 565-572*
20. Mitra Radmanesh, Amirkianoosh Kiani, Effects of Laser Pulse Numbers on Surface Biocompatibility of Titanium for Implant Fabrication, *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 2015 (6) 168-175
21. M. Goldman, G. Juodzbals, V. Vilkinis, Titanium surfaces with nanostructures influence on osteoblasts proliferation: a systematic review, *J. Oral Maxillofac. Res.* 5 (2014) e1.
22. J.T. Filho, M. Rocco, Titanium oxide nanotubes: synthesis of anatase phase, characterization and photocatalytic application, *Rev. Virtual Quim.* 5 (2013) 630–645.
23. Shannon RD, Pask JA. Kinetics of the anatase-rutile transformation. *J Am Ceram Soc* 1965;48(8): p. 391-398
24. Satoh N, Nakashima T, Yamamoto K. Metastability of anatase: size dependent and irreversible anatase-rutile phase transition in atomic-level precise titania. *Sci Rep* 2013;3:1959.
25. Nimisha Pawar, Ankita Bhargava, Saurabh Dayal, and C. Sasi Kumar, Synthesis and characterization of pure anatase phase nanocrystalline TiO₂ thin film by magnetron sputtering method *AIP Conference Proceedings* 1728, 020561 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4946612>
26. X. Liu, P.K. Chu, C. Ding, Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications, *Mater. Sci. Eng. R. Rep.* 47 (2004) 49–121.

27. A. Barfeie, J. Wilson, J. Rees, Implant surface characteristics and their effect on osseointegration, *Br. Dent. J.* 218 (2015) E9
28. M. Goldman, G. Juodzbals, V. Vilkinis, Titanium surfaces with nanostructures influence on osteoblasts proliferation: a systematic review, *J. Oral Maxillofac. Res.* 5 (2014) e1.
29. Rosales-Leal J. I., Rodríguez-Valverde M. A., Mazzaglia G., et al. Effect of roughness, wettability and morphology of engineered titanium surfaces on osteoblast-like cell adhesion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2010;365(1–3):222–229.
30. T. Kokubo, H.M. Kim, M. Kawashita, T. Nakamura, Bioactive metals: preparation and properties, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine Vol. 15*, 2004, p. 99-107.
31. Bull SJ, Berasetegui EG. An overview of the potential of quantitative coating adhesion measurement by scratch testing. *Tribol Int* 2006;39: p. 99–114.
32. P.Pou, A.Riveiro, J.del Val, R.Comesaña, J.Penide, F.Arias-González, R.Soto, F.Lusquiños, J.Pou, Laser surface texturing of Titanium for bioengineering applications, *Procedia Manufacturing*, Volume 13, 2017, Pg. 694-701
33. Kokubo T et al. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity. *Biomaterials* 2006;27:2907–15.
34. A. Sengottuvelan, P. Balasubramanian, J. Will, A.R. Boccaccini, Bioactivation of titanium dioxide scaffolds by ALP-functionalization Department of Materials Science and Engineering, Institute of Biomaterials, University of Erlangen-Nuremberg, Cauerstraße 6, 91058 Erlangen, Germany
35. Oyane A, Onuma K, Ito A, Kim HM, Kokubo T, Nakamura T. Formation and growth of clusters in conventional and new kinds of simulated body fluids. *J Biomed Mater Res* 2003;64A:339–48.
36. J. Forsgren, F. Svahn, T. Jarmar, H. Engqvist, Formation and adhesion of biomimetic hydroxyapatite deposited on titanium substrates, *Acta Biomater.* 3 (2007) 980-984
37. S.S. Pradhan, S. Sahoo, S.K. Pradhan, Influence of annealing temperature on the structural, mechanical and wetting property of TiO₂ films deposited by RF magnetron sputtering, *Thin Solid Films* 518 (2010) 6904–6908
38. Novaes AB Jr, de Souza SL, de Barros RR, Pereira KK, Iezzi G, Piattelli A, Influence of implant surfaces on osseointegration, *Braz Dent J.* 2010;21(6):471-81
39. He J., Zhou W., Zhou X., et al. The anatase phase of nanotopography titania plays an important role on osteoblast cell morphology and proliferation. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2008;19(11):3465–3472
40. He J, Zhou W, Zhou X, Zhong X, Zhang X, Wan P, et al. The anatase phase of nanotopography titania plays an important role on osteoblast cell morphology and proliferation. *Journal of materials science: materials in medicine* 2008;19:3465-72
41. F. Torrent, L. Lavis, P. Berger, G. Pillon, C. Lopes, F. Vaz, M.C. Marco de Lucas Influence of the composition of titanium oxynitride layers on the fretting behavior of functionalized titanium substrates: PVD films versus surface laser treatments, *Surface & Coatings Technology* 255 (2014) 146–152
42. Nazanin Rahimi, Randolph A. Pax, Evan MacA. Gray, Review of functional titanium oxides. I: TiO₂ and its modifications, *Progress in Solid State Chemistry* 44 (2016) 86e105
43. B. Major, R. Ebner, P. Zieba, W. Wolczynski, Titanium-based films deposited using a Nd:YAG pulsed laser, *Applied Physics A* 1999, Volume 69, Supplement 1, pp S921–S923 titania films on titanium metal via anodic oxidation, *Dental Materials Vol. 25*, 2009, p. 80-86.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (artystycznych)

5.1. Przebieg pracy zawodowej – informacje ogólne

Urodziłem się w dniu 25 czerwca 1985 roku w Częstochowie. Po ukończeniu II Liceum Ogólnokształcącego im. Romualda Traugutta w Częstochowie, w roku 2004 podjąłem studia magisterskie na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W roku 2009, ukończyłem studia z wynikiem bardzo dobrym, uzyskując dyplom magistra inżyniera w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa o specjalności Ochrona przed korozją. W trakcie studiów od III do V roku uzyskałem stypendium naukowe. Od roku 2005 byłem członkiem międzynarodowej organizacji studenckiej IAESTE – International Association for the Exchange of Students for Technical Experience, prowadzącej program wymiany zagranicznych praktyk zawodowych dla studentów kierunków technicznych. W ramach działalności w IAESTE byłem przewodniczącym sekcji promocji praktyk zagranicznych dla studentów, jak również opiekunem studentów odbywających praktyki na AGH w Krakowie, w tym m.in. z Turcji, Norwegii, Hiszpanii, Niemiec. W czasie studiów, przez dwa lata byłem również przewodniczącym Rady Mieszkańców Wydziałowego Domu Studenckiego oraz brałem czynny udział w pracach Wydziałowej Rady Samorządu Studenckiego m.in. w organizacji corocznego Balu Ceramika. Byłem również członkiem sekcji B piłki siatkowej AZS przy AGH. W roku 2009 po uzyskaniu dyplomu magistra inżyniera, rozpocząłem studia doktoranckie na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej. Jako doktorant byłem trzykrotnym stypendystą Rektora Politechniki Częstochowskiej dla Najlepszych Studentów III stopnia, jak również w latach (2013÷2014) stypendystą projektu stypendialnego na rzecz innowacyjnego Śląska DoktoRIS. Pracę doktorską pt. **Zjawiska i efekty oddziaływania ekranów aktywnych (active screen) w procesie azotowania jonowego**, którą obroniłem w roku 2014 uzyskując stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Obecnie od marca roku 2015, w związku z utworzeniem kierunku studiów Logistyka Inżynierska, jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Logistyki i Zarządzania Międzynarodowego na Wydziale Zarządzania Politechniki Częstochowskiej. Równolegle za zgodą Rektora Politechniki Częstochowskiej, od 3 czerwca do 30 września 2015 roku, w ramach projektu realizowanego we współpracy z przemysłem byłem zatrudniony na stanowisku koordynatora działu badawczo-rozwojowego B+R firmy Narzędziownia Bogdan Pszenica Praszka. W roku 2016 zostałem stypendystą prestiżowego konkursu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Stypendium dla Wybitnych Młodych Naukowców” – Konkurs XI. Obecnie jestem opiekunem Komitetu Lokalnego Organizacji Studenckiej IAESTE przy Politechnice Częstochowskiej. Pełnię również funkcję Przewodniczącego Komisji ds. Innowacji i Wynalazczości przy FSNT – NOT w Częstochowie oraz Członka Zarządu Międzynarodowego Stowarzyszenia Ciągarskiego MSC w Polsce (The Wire Association International Poland Chapter).

5.2. Działalność naukowo-badawcza

Moją działalność badawczą rozpocząłem początkowo w ramach realizacji pracy magisterskiej pt. **Dyfuzja wzajemna w geometrii trójwymiarowej**, na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Praca dyplomowa dotyczyła analizy zjawisk dyfuzji wzajemnej w stopach aluminium AA6061, jak również w tzw. parach i wieloparach dyfuzyjnych (diffusion couples, diffusion multiples) w aspekcie modelowania dyfuzji w geometrii trójwymiarowej, do zastosowań nowych stopów Cu-Ag-Ni-Sn na lutowia bezołowiowe w procesach dyfuzyjnego spajania materiałów dla przemysłu elektronicznego i lotniczego. Badania realizowałem pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Marka Danielewskiego we współpracy z pracownikami Uniwersytetu Delft w Holandii oraz Instytutu EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology w Szwajcarii. Wyniki badań posłużyły do oceny wpływu zmian składu chemicznego w poszczególnych obszarach styku par i wielopar dyfuzyjnych na właściwości użytkowe stopów, związane ze zmianą ich lepkości i zwilżalności podczas procesów spajania stopów lekkich. Uzyskane wyniki badań prowadzonych w pracy magisterskiej przedstawiłem w ramach prezentacji pt. **3D Geometry Interdiffusion**, która została wyróżniona na międzynarodowym konkursie prac magisterskich w ramach GENIUS EUROPA '2009 w Budapeszcie, w roku 2009.

Po uzyskaniu dyplomu magistra inżyniera, podjąłem studia doktoranckie na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej w Instytucie Inżynierii Materiałowej. Problematyka moich badań naukowych w tym okresie dotyczyła zagadnień transportu ciepła i masy w procesach dyfuzyjnego nasycania warstwy wierzchniej materiałów metalicznych, w tym stopów na bazie żelaza (Fe armco, stale austenityczne, stale narzędziowe) i stopów na bazie tytanu (Ti Grade 2, Ti Grade 5), atomami azotu i tlenu w procesach, azotowania, tlenoazotowania jonowego regulowanego azotowania gazowego oraz utleniania jonowego i fluidalnego. Realizowane badania polegały między innymi na zastosowaniu nowatorskiej metody azotowania jonowego *active screen*, dla oceny kinetyki zjawisk dyfuzyjnych oraz mechanizmów procesu oraz poprawy efektywności nasycania warstwy wierzchniej, z ograniczeniem występowania niekorzystnych stref w warstwie azotowanej. Istota badań dotyczyła również porównania kinetyki procesów azotowania, w tym często stosowanego w warunkach przemysłowych, regulowanego azotowania gazowego NITREG z procesami azotowania jonowego metodą *active screen*. Inspirację do realizacji badań naukowych oraz poszukiwania zalet metody azotowania jonowego *active screen* stanowiły prowadzone w międzynarodowych ośrodkach naukowych i przemysłowych badania nad rozwojem technologii azotowania, a zwłaszcza nad skróceniem długotrwałych procesów przy jednoczesnym obniżeniu temperatury oraz modyfikowaniem składu fazowego warstw azotowanych. Zaproponowane kryteria oceny efektów azotowania prowadzą bowiem do ograniczenia zużycia mediów gazowych i energetycznych, a także zwiększenia trwałości eksploatacyjnej elementów azotowanych, stosowanych w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, jak również w biomedycynie. Efektem realizowanych badań naukowych było opracowanie modeli mechanizmu oraz transportu ciepła i masy w procesach azotowania *active screen*. Znaczące obniżenie temperatury procesów, wraz z ustaleniem siły napędowej zarodkowania faz w nanoskali, podczas

azotowania w niskiej temperaturze pozwoliły również na szeroki wybór parametrów do zoptymalizowania procesów dla specyficznych zastosowań eksploatacyjnych, w tym między innymi w sensorach gazowych, materiałach magnetycznych i biomateriałach. Rozwiązywana problematyka badań odpowiadała wówczas trendom w inżynierii powierzchni i przemyśle, związanym z zachowaniem powtarzalności zarówno efektów nasycania, jak i właściwości mechanicznych i użytkowych obrabianych cieplno-chemicznie wyrobów. Zrealizowanie badań naukowych w ramach pracy doktorskiej pozwoliło na:

- dokonanie analizy właściwości azotowanego podłoża dla oceny oddziaływania energii układu faz, z uwzględnieniem wpływu aktywacji mechanicznej i fizykochemicznej składników strukturalnych, na siłę napędową zarodkowania w skali mikro- i nanometrycznej, w procesie azotowania gazowego i jonowego metodą *active screen*,
- porównanie morfologii mikrostruktur i właściwości warstw azotowanych otrzymanych metodą gazową, regulowaną i jonową *active screen*, w celu doboru parametrów procesu azotowania (temperatura, czas, skład atmosfery),
- porównanie kinetyki azotowania jonowego, katodowego z azotowaniem jonowym metodą *active screen*, w celu ustalenia oddziaływania ekranów aktywnych *active screen* na zjawiska i efekty występujące podczas procesu nasycania,
- opracowanie modelu mechanizmu azotowania metodą *active screen* stopów na bazie żelaza i tytanu.

Wybór metod azotowania w trakcie realizacji badań naukowych podyktowany był w celu ograniczenia występowania wad w warstwie azotowanej, związanych między innymi z gwałtowną zmianą stężenia azotu w warstwie dyfuzyjnej i na granicy warstwa azotowana / rdzeń podłoża, zmniejszeniem grubości strefy azotków płytkowych $\gamma'_{\text{płytkowe}}$, oraz ograniczeniem występowania porowatej i kruchej strefy $\varepsilon/\varepsilon+\gamma'$. Z kolei wybór szerokiego zakresu temperatury w badaniach umożliwił pozyskanie informacji na temat zależności oraz zmian w konstytuowaniu warstwy wierzchniej stopów dla:

- określenia wpływu zastosowania ekranów aktywnych, na procesy nasycania warstwy wierzchniej azotem, kinetykę wzrostu warstwy azotowanej i jej właściwości strukturalne i wytrzymałościowe,
- określenia oddziaływania i roli atomów węgla w Fe armco na procesy dyfuzyjnego nasycania azotem, w czasie azotowania jonowego metodą *active screen* oraz występowania efektu dyfuzji *uphill*,
- określenia efektów aktywacji powierzchni podczas nagrzewania i późniejszego dyfuzyjnego nasycania Fe armco, w aspekcie występowania rozdrobnienia ziarna, w wyniku zjawiska rekrytalizacji podłoża, oraz zdefektowania strefy przypowierzchniowej, decydujących o transporcie ciepła i ilości dróg łatwej dyfuzji oraz naprężeń własnych w warstwie azotowanej Fe armco,
- określenia kinetyki nasycania dyfuzyjnego w zależności od temperatury procesu i chłodzenia po procesie azotowania oraz jego wpływ na udział poszczególnych faz, a przede wszystkim $\varepsilon/\varepsilon+\gamma'$ i $\gamma'_{\text{płytkowe}}/\gamma'_{\text{dyspersyjne}}$, na kształtowanie dyfuzyjnych warstw azotowanych, z łagodnym profilem rozkładu stężenia azotu.

Szczególnie istotnym, podsumowującym etapem realizowanych badań naukowych było opracowanie modelu mechanizmu azotowania jonowego metodą *active screen*,

z uwzględnieniem efektów oddziaływania zjawisk transportu ciepła i masy na strukturę azotowanego podłoża (stopy Fe, stopy Ti) z aktywowaną powierzchnią. Ważnym aspektem w opracowaniu modelu mechanizmu azotowania jonowego była analiza warstw azotowanych jonowo metodą dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD), w celu określenia map dróg łatwej dyfuzji azotu (granice ziaren fazowych i międzyfazowych) oraz wpływu ułożenia płaszczyzn krystalograficznych na efekty nasycania. Wykonane dodatkowo badania profilu rozkładu stężenia węgla od powierzchni (w stopach Fe) ujawniły występowanie zjawiska odrdzeniowej / wspinającej dyfuzji węgla zwanej *uphill diffusion*. Zjawisko to polega na migracji atomów C pod strefę roztworową $\varepsilon+\gamma'$ lub $\varepsilon/\varepsilon+\gamma'$. Lokalna zmiana stężenia węgla pod strefą roztworową prowadzi do wytworzenia gradientu stężenia oraz zmiany aktywności termodynamicznej węgla, w obecności zwiększającego się w strefie udziału azotu, co w konsekwencji jest siłą napędową do jego dyfuzji w stopach żelaza.

Uzyskane wyniki opisywanych badań naukowych pozwoliły na opracowanie mojej rozprawy doktorskiej pt. **Zjawiska i efekty oddziaływania ekranów aktywnych (active screen) w procesie azotowania jonowego**, którą obroniłem w dniu 17 października 2014 r. uzyskując stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Promotorem mojej pracy doktorskiej był dr hab. inż. Tadeusz Frączek prof. PCz. Wyniki badań posłużyły zarówno do projektowania kolejnych technologii azotowania jonowego, jak również do modelowania mechanizmu i morfologii warstw azotowych jonowo. Potwierdzeniem powyższego stwierdzenia jest znaczne zainteresowanie proponowanymi rozwiązaniami w azotowaniu jonowym przez jednostki przemysłowe i międzynarodowe jednostki naukowe, o czym świadczą otrzymane na międzynarodowych wystawach wynalazków i innowacji w Brukseli, Zagrzebiu i Bukareszcie, współautorskie wyróżnienia, dyplomy i nagrody [załącznik nr 4 poz. II. D1-D7]:

1. T. Frączek, J.Jasiński, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, 16.09.2009, Unconventional technology of ion nitriding of austenitic stainless steels, 7th International Fair of Inventions New Ideas, Products and Technologies Zagreb 2009 – Silver medal, Chorwacja 2009
2. T. Frączek, J.Jasiński, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, 28.10.2009, Unconventional glow discharge nitriding technology of high-chromium steels, The 13th edition of The International Trade Show for Inventions and New Technologies Inventica Bucarest – Gold medal, Rumunia 2009
3. T. Frączek, J.Jasiński, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, 19.11.2009, Short-term and low-temperature glow discharge nitriding technology of high-chromium steels, The Belgian and International Trade Fair for Technological and Innovation Brussels – Gold medal, Bruksela, Belgia 2009
4. T. Frączek, J.Jasiński, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, 7.12.2009, Short-term and low-temperature glow discharge nitriding technology of stainless steels, Seoul International Invention Fair SIIF 2009 – Silver prize for commending excellent and creative effort to invention, South Korea, 2009
5. T. Frączek, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, 22.10.2010, High-chromium steels economical glow discharge nitriding technology – Wystawa wynalazków International Warsaw Invention Show IWIS 2010, Złoty medal, Polska 2010

Równolegle realizowaną problematyką naukowo-badawczą w trakcie studiów doktoranckich w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Częstochowskiej, były badania utleniania podłoża tytanowych z zastosowaniem metody fluidalnego nasycania dyfuzyjnego, a następnie metod hybrydowych, które miały na celu modyfikowanie warstwy

wierzchniej podłoży tytanowych oraz funkcjonalizację powierzchni wyżej wymienionych podłoży. Prowadzone badania utleniania podłoży tytanowych stanowią podstawę prezentowanego, mojego osiągnięcia naukowego pt. **Funkcjonalizacja podłoży tytanowych dla poprawy bioaktywności w zastosowaniach biomedycznych**, wymaganego zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789).

Szczegółowe omówienie celu naukowego osiągnięcia oraz uzyskane wyniki zaprezentowałem w pkt. 4 a-c, Załącznik nr 3.

Po doktoracie, od 1 marca 2015 roku badania dotyczące problematyki wskazanej w osiągnięciu naukowym realizuję w ramach zatrudnienia na stanowisku adiunkta w Instytucie Logistyki i Zarządzania Międzynarodowego na Wydziale Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, co było związane z utworzeniem nowego kierunku Logistyka Inżynierska. Moja działalność naukowo-badawcza w Instytucie Logistyki i Zarządzania Międzynarodowego dotyczy głównie dyscypliny inżynieria materiałowa i inżynieria powierzchni, w tym badań dotyczących osiągnięcia naukowego, związanego z zagadnieniami dyfuzyjnego i hybrydowego wytwarzania powłok tlenkowych, o szczególnych właściwościach funkcjonalnych w procesach utleniania.

Realizacja problematyki badawczej zawartej w osiągnięciu naukowym pozwoliła mi na opracowanie i wykonanie biofunkcjonalnych podłoży tytanowych w procesach obróbki hybrydowej, stanowiącej połączenie procesów dyfuzyjnego nasycania tytanu w złożu fluidalnym FADT (fluid atmospheric diffusive treatment) z metodami powierzchniowego wytwarzania cienkich powłok tlenku tytanu TiO_2 . Uzyskane w wyniku badań zmienne udziały faz tlenkowych (mieszanina $\text{TiO}_{2\text{rutyl}} + \text{TiO}_{2\text{anataz}}$) na powierzchni podłoży tytanowych pozwoliły następnie, w zrealizowanych badaniach bioaktywności, na określenie zmiany intensywności narastania powłok hydroksyapatytowych, a tym samym optymalizacji podłoży do wybranych zastosowań biomedycznych, w tym głównie w implantach tkanki kostnej i stomatologii. Istotą realizowanych badań naukowych była również analiza zjawisk oddziaływania wybranych ośrodków nagrzewających, stosowanych w procesie hybrydowego utleniania tytanu, po wcześniejszym procesie aktywacji powierzchni różnymi metodami, w tym mechanicznymi i mechaniczno-chemicznymi. Wykonane badania miały również na celu analizę procesów utleniania tytanu metodą fluidalno-atmosferowej obróbki dyfuzyjnej (FADT) oraz metodą hybrydową (utlenianie fluidalne FADT + metody powierzchniowe: I: PVD rozpylanie magnetronowe, II: metoda indukcyjnego utleniania – STEAM-OX / wg. współautorskiego patentu PL nr 221053, III: metoda laserowego teksturowania powierzchni – LST (laser surface texturing)).

Szczególnie istotne zagadnienie w realizowanych przeze mnie badaniach dotyczyło oceny zjawisk i efektów oddziaływania wytworzonej strefy granicznej podłoża Ti99.2 / tlenek TiO_2 na adhezję powłok tlenkowych i ich właściwości fizykochemiczne, a następnie właściwości biofunkcjonalne, głównie bioaktywność. Realizacja badań granicy podłoża/tlenek pozwoliło na określenie wpływu stanu wymienionej strefy granicznej na właściwości mechaniczne, chemiczne i powierzchniowe (topografia, struktura) powłok tlenkowych oraz ustalenie mechanizmu tworzenia się strefowej budowy powłok tlenkowych i warstwy wierzchniej podłoży, po danym procesie hybrydowym, celem określenia najkorzystniejszej

kompozycji warstw pod względem bioaktywności. Analiza wyników badań naukowych dotyczyła również opracowania kinetyki przebiegu dyfuzyjnego nasycania tytanu tlenem, z uwzględnieniem przemian fazowych, zachodzących w czasie poszczególnych procesów dla zmiennych parametrów, w tym zmiennej aktywacji mechanicznej, temperatury, atmosfery, parametrów prądowo-napięciowych. Grubości uzyskanych powłok tlenkowych oraz głębokość dyfuzji tlenu po procesie fluidalnego utleniania tytanu w tytanie określono na podstawie wyników profilu rozkładu stężenia tlenu metodami GDEOS i SIMS. Zgodnie z oczekiwaniami powłoka tlenkowa oraz głębokość warstwy dyfuzyjnej tlenu wzrasta, wraz ze wzrostem temperatury i czasu procesu utleniania. Wykazałem również, że zmiana intensywności stężeń w strefie przejściowej, charakteryzuje się łagodnym obniżeniem stężenia tlenu względem odległości od podłoża, co w przypadku utleniania fluidalnego FADT decyduje o zmianie rodzaju mechanizmu dyfuzji i wpływa korzystnie na zmianę stanu naprężeń w powłoce tlenkowej i strefie dyfuzyjnej, których pomiary wykonałem metodą $\sin^2\Psi$, a ich wyniki jednoznacznie potwierdziły występowanie korzystnych naprężeń ściskających w powłokach tlenkowych. Następnie utlenione w złożu fluidalnym podłoża poddano procesom hybrydowym z zastosowaniem obróbek powierzchniowych metodą rozpylania magnetronowego PVD oraz metodą utleniania indukcyjnego STEAM-OX i metodą laserowego teksturowania LST. W ramach badań wykonano również tlenoazotowanie jonowe, innowacyjną metodą active screen. Strefową budowę oraz właściwości otrzymanych powłok tlenkowych i strefę przejściową powłok hybrydowych oceniałem na podstawie badań przełomów próbek utlenianych, z zastosowaniem mikroskopii elektronowej z analizą składu w mikroobszarach (SEM-EDX) oraz z zastosowaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej TEM i STEM, jak również rentgenowskiej analizy fazowej GID-XRD i μ -XRD oraz spektroskopii Ramana, które wykazały występowanie na powierzchni podłoża po obróbce hybrydowej quasirównowagowej mieszaniny tlenków tytanu w odmianie rutylu i anatazu. Badania mechaniczne powłok wykonałem z zastosowaniem metody nanoindentacji. W celu zaprezentowania efektów nasycania dyfuzyjnego tytanu tlenem oraz różnicy orientacji krystalograficznej badanych faz tlenkowych wykonałem również badania metodą dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych SEM – EBSD (Electron Backscatter Diffraction). W ramach realizowanych badań wykonałem również ocenę odporności na korozję uzyskanych powłok tlenkowych, w warunkach symulujących środowisko płynów ustrojowych człowieka SBF (Simulated Body Fluid), a ich analizę wykonałem w oparciu o obrazy SEM oraz analizę składu chemicznego w mikroobszarach SEM-EDX, gdzie stwierdziłem intensywne narastanie biozgodnych związków hydroksyapatytowych HAp, co wskazuje na korzystne warunki dla wytwarzania powłok o dobrej, a ściślej precyzując wymaganej biozgodności np. w implantologii. Realizacja badań naukowych pozwoliła mi na kompleksową ocenę porównania efektów utleniania tytanu różnymi metodami hybrydowymi oraz określenie wpływu zastosowania danej metody utleniania na strukturę, właściwości fizyczne, chemiczne i mechaniczne otrzymanych cienkich powłok tlenkowych. Z kolei zastosowanie metod aktywowania powierzchni pozwoliło na znaczące skrócenie czasu technologii utleniania (utlenianie indukcyjne, utlenianie hybrydowe PVD) oraz poprawę właściwości adhezyjnych powłok tlenkowych do podłoża po obróbce dyfuzyjnej FADT. Na podstawie uzyskanych wyników badań i ich analizy można było stwierdzić, że utlenianie tytanu w złożu fluidalnym

przy oddziaływaniu aeromechanicznym złoza, sprzyja wytworzeniu porowatych powłok tlenkowych na roztworowym podłożu dyfuzyjnym $Ti\alpha(O)$, korzystnych z punktu widzenia łagodnych zmian stanu naprężeń i stężenia tlenu w warstwie wierzchniej, z możliwością modyfikacji w procesach PVD, STEAM-OX i LST i aplikacji w biomedycynie. Wyniki powyższych badań pozwoliły jednoznacznie zweryfikować poprawę właściwości biofunkcjonalnych podłoży, jak również wytypować podłoża funkcjonalne do konkretnych zastosowań w implantologii. Zrealizowanie założonych celów badań dotyczących funkcjonalizacji powierzchni tytanu stanowić będzie istotne poszerzenie wiedzy o procesach utleniania podłoży tytanowych, wytwarzania cienkich powłok tlenkowych oraz wpływu rodzaju i morfologii powierzchni na uzyskanie przewidywanych i powtarzalnych właściwości bioaktywnych implantów do zastosowań w schorzeniach układu kostnego, w tym między innymi kręgosłupa oraz kończyn dolnych i górnych, jak również w stomatologii.

Zrealizowane badania pozwoliły na określenie następujących najważniejszych wniosków:

1. Metoda dyfuzyjnego utleniania podłoży tytanowych w złożu fluidalnym (FADT) powoduje wytworzenie porowatej powłoki tlenkowej TiO_2 oraz nasyconej w tlen strefy dyfuzyjnej $Ti\alpha(O)$ o korzystnym stanie naprężeń układu powłoka / strefa dyfuzyjna.
2. Uzyskany układ porowata powłoka / strefa dyfuzyjna stanowi fundament dla późniejszego osadzania cienkich powłok tlenkowych TiO_2 rutyl/anataz w procesach hybrydowego utleniania.
3. Atrakcyjność podłoży tytanowych wytworzonych metodą fluidalnej obróbki cieplno-dyfuzyjnej (FADT) jest związana z aktywowaniem mechanicznym i ciągłym defektowaniem strefy przypowierzchniowej podczas utleniania, a tym samym generowaniem nowych centrów aktywnych i zwiększeniem ilości dróg łatwej dyfuzji z wytworzeniem na powierzchni podłoży nanoporowatej powłoki TiO_2 .
4. Zastosowanie obróbki hybrydowej po fluidalnym utlenianiu pozwala na wytworzenie, jednorodnej, zwartej powłoki tlenku TiO_2 w odmianie rutylu i anatazu na powierzchni porowatego tlenku TiO_2 otrzymanego metodą FADT.
5. Synergiczne oddziaływanie procesów utleniania metodą hybrydową wpływa na uzyskanie gradientowego stanu naprężeń i korzystnej chropowatości powierzchni podłoży tytanowych dla intensywnego osadzania związków hydroksyapatytowych i w konsekwencji podwyższenia bioaktywności podłoży.
6. Spośród zastosowanych metod hybrydowych dla funkcjonalizacji podłoży tytanowych najbardziej korzystną metodą w aspekcie poprawy bioaktywności jest metoda FADT+PVD.
7. Zaprezentowane wyniki funkcjonalizacji podłoży tytanowych metodą hybrydową stanowią perspektywiczne rozwiązanie do zastosowań biomedycznych i mogą wskazywać nowe kierunki wytwarzania biozgodnych powłok, warstw i podłoży dla implantologii.

Prace w opisywanych badaniach realizowałem w ramach 12 projektów badawczych, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Narodowe Centrum Nauki, Fundację na rzecz Nauki Polskiej FNP oraz projektów finansowanych ze środków

Unii Europejskiej, jak również Badań Statutowych BS w macierzystej jednostce naukowej. Spośród nich wymieniam:

1. Projekt nr BS/MN – 604/302/2018/P – Analiza transportu masy w zagadnieniach procesu dyfuzyjnego nasycania materiałów dla przemysłu elektromaszynowego i biomedycyny, (2018-2019), Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, projekt wydziałowy dla Młodych Naukowców – kierownik projektu.
2. Projekt nr BS/MN – 604/302/2016/P, Analiza transportu masy w zagadnieniach procesu dyfuzyjnego nasycania materiałów dla przemysłu elektromaszynowego, (2016-2017), Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, projekt wydziałowy dla Młodych Naukowców – kierownik projektu.
3. Projekt nr RPLU.01.02.00-06-0050/16-00, Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych w zakresie opracowania samoobsługowych maszyn recyklingowych i inteligentnego systemu zbiórki odpadów, (2016-2019), Regionalny Program Operacyjny Województwa Lubelskiego na lata 2014-2020, Badania i innowacje, realizacja zadania 3/D.1.2RPOWL/2018 – wykonawca projektu.
4. Projekt HOMING PLUS/2013-8/7 Mechanical properties of zirconium/zirconia system at high temperatures – the role of internal and interfacial stress, (2014-2015), Fundacja na rzecz Nauki Polskiej FNP – wykonawca projektu.
5. Projekt nr NN 507231240, Aktywowanie procesów utleniania tytanu z przeznaczeniem do zastosowań biomedycznych, (2011-2014), Narodowe Centrum Nauki NCN – wykonawca projektu.
6. Projekt stypendialny DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska, (2013-2014), POKL 2007-2013 Działania 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałania 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji, Regionalne Kadry Gospodarki; Europejski Fundusz Społeczny – stypendysta projektu.
7. Projekt nr NN 507472837, Modyfikacja struktury tytanu i stopów nowej generacji w aspekcie zastosowań biomedycznych, (2009-2013), Narodowe Centrum Nauki NCN – wykonawca projektu.
8. Projekt nr NN 507296239 Krótkookresowe i niskotemperaturowe azotowanie jarzeniowe trudnoazotujących się tworzyw metalicznych, (2010-2013), Narodowe Centrum Nauki NCN – wykonawca projektu.
9. Projekt nr BS/MN-202-306/2011 Kinetyka azotowania jonowego Fe armco z zastosowaniem ekranów aktywnych (Active Screen), (2011-2012), Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, projekt wydziałowy dla Młodych Naukowców – kierownik projektu.
10. Projekt nr BW-202-201/2010 Modelowanie procesów obróbek cieplno–chemicznych tworzyw metalicznych, (2010-2012), Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, badania własne – wykonawca projektu.
11. Projekt nr R150352 Technologie kształtowania struktur materiałów przeznaczonych na elementy silników o podwyższonej trwałości eksploatacyjnej, (2007-2011), Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego / Projekty badawczo-rozwojowe – wykonawca projektu.
12. Projekt nr NN507445434, Niekonwencjonalne metody niskotemperaturowego azotowania jarzeniowego tworzyw metalicznych stosowanych w medycynie, (2008-2011), Narodowe Centrum Nauki NCN – wykonawca projektu.

Szczególnie istotnym etapem mojej działalności naukowo-badawczej w zakresie realizacji badań było koordynowanie projektu WNDROP.01.03.02-16-007/13, Rozbudowa Działu Rozwoju firmy NARZĘDZIOWNIA BOGDAN PSZENICA finansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalny Program Operacyjny, Województwa Opolskiego na lata 2007-2013 Poddziałanie 1.3.2, Inwestycje w innowacje w przedsiębiorstwach, Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego, w którym we współpracy z przedsiębiorstwem Narzędziownia Bogdan Pszenica realizowałem prace projektowe i próby technologiczne

związane z uruchomieniem i wdrożeniem do Działu B+R firmy prasy do tuszowania wielkogabarytowych form (ok. 30 ton) do odlewania ciśnieniowego elementów ze stopów lekkich Al i Mg dla przemysłu automotive, w tym m.in. dla czołowego producenta pojazdów ciężarowych. Całkowita wartość projektu wynosiła 1 968 000,00 PLN.

Uczestniczyłem również w 2 projektach w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki finansowanych z Unii Europejskiej, w tym:

1. Priorytet IX Rozwój wykształcenia i kompetencji w regionach, Program Operacyjny Kapitał Ludzki 2007-2013, Europejski Fundusz Społeczny, (2012-2013), Projekt nr UDAPOKL.09.05.00-24 792/11-00 pt. Energia odnawialna szansą rozwoju obszarów wiejskich.
2. Program Operacyjny Kapitał Ludzki 2007-2013, Europejski Fundusz Społeczny EFS, Priorytet I. "Zatrudnienie i integracja społeczna", Działanie 1.1 "Wsparcie systemowe instytucji rynku pracy", (2011-2013), Projekt nr POKL.01.01.00-00-019/10, Rozwijanie zbioru krajowych standardów kompetencji zawodowych wymaganych przez pracodawców – wykonawca projektu,

gdzie w ramach wymienionych projektów byłem wykładowcą w seminariach dotyczących Odnawialnych Źródeł Energii OZE oraz opracowywałem karty krajowych kompetencji zawodowych dla zawodu: Operator pieców do obróbki cieplnej.

Realizacja wyżej wymienionych projektów i prac pozwoliła na opracowanie przeze mnie i jako współautora sumarycznie 68 publikacji opublikowanych w czasopismach naukowych krajowych i międzynarodowych, w tym 14 publikacji indeksowanych w bazie JCR (lista A MNiSW). Publikacje według bazy Web of Science (WoS), były cytowane 61 razy, a ich sumaryczny Impact Factor wynosi 25,45. Mój Indeks Hirscha według WoS wynosi 5. Uzyskane wyniki badań, które są ściśle związane z moim osiągnięciem naukowym oraz realizowanymi projektami badawczymi, pozwoliły mi na otrzymanie jako współautor 4 patentów krajowych oraz opracowanie 1 zgłoszenia patentowego. W ramach prezentacji wyników realizowanych badań wygłosiłem 7 referatów na krajowych i międzynarodowych konferencjach i seminariach naukowych oraz aktywnie uczestniczyłem w 20 konferencjach naukowych, w tym 4 krajowych i 16 międzynarodowych.

Moja działalność naukowo-badawcza obejmowała również współautorstwo i realizację stanowisk laboratoryjnych. Za najważniejsze uważam stanowisko do badań związanych z osiągnięciem naukowym, stosowane do procesów indukcyjnego utleniania w parze wodnej oraz wykonywania badań hybrydowego utleniania podłoży tytanowych, które było opracowane w ramach zgłoszenia patentowego [załącznik nr 4. poz. I.B.19]; jak również opracowanie założeń konstrukcyjnych urządzenia indukcyjnego i technologii badania zmęczenia cieplnego materiałów ze stali do pracy na gorąco w kontekście ich zastosowania do procesu wyciskania stopów aluminium oraz w produkcji tarcz hamulcowych do przemysłu automotive [załącznik nr 4. poz. II.B.4]; W ramach działalności w Instytucie Inżynierii Materiałowej na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów współorganizowałem Laboratorium Badawczo-Dydaktyczne Inżynierii Powłok, w którym wdrażałem urządzenie do obróbki PVD – magnetronowe rozpylanie oraz urządzenie do laserowych metod obróbki powierzchni, z zastosowaniem których realizowałem pilotażowe procesy badawcze hybrydowego utleniania związane z osiągnięciem naukowym [załącznik nr 4. poz. II.F.2]. Obecnie jestem zaangażowany w realizację osiągnięcia projektowego, związanego

z opracowaniem i wdrożeniem innowacyjnej konstrukcji ścian szczelnych wymienników ciepła bloków energetycznych w elektrowniach konwencjonalnych, fluidalnych i elektrociepłowniach. Proponowane rozwiązanie polega na zastąpieniu dotychczasowej technologii konstruowania i wytwarzania ścian szczelnych, polegającym na łączeniu elementów rura-płaskownik-rura nowym sposobem, poprzez usunięcie płaskowników oddzielających i zastosowanie tzw. rur dwuwypustkowych, spawanych bezpośrednio jedną spoiną czołową. Rozwiązanie pozwala na ograniczenie ilości i długości spoin, redukcję naprężeń oraz zmniejszenie awaryjności urządzeń energetycznych i wzrost ich sprawności, co zostało potwierdzone zrealizowanymi badaniami symulacji naprężeń, w przygotowanym modelu ściany szczelnej kotła energetycznego [załącznik nr 4. poz. II.B.1].

Zdobyte doświadczenie badawcze posłużyło mi oprócz realizacji prac o aspekcie poznawczym do współwykonawstwa badań zleconych przez podmioty gospodarcze w zakresie opracowań technologicznych budowy maszyn i urządzeń, oceny jakości materiałów i ustalania przyczyn zniszczenia elementów maszyn i narzędzi. Spośród najistotniejszych moim zdaniem, należy wymienić opracowania z wytycznymi mającymi na celu ograniczenie, a często i wyeliminowanie przyczyn niszczenia i przedwczesnego zużywania się elementów części maszyn i narzędzi dla przemysłu motoryzacyjnego, szklarskiego, odlewniczego, przetwórstwa i recyklingu materiałów, kosmetycznego, w tym między innymi:

1. **J.J. Jasiński**, K.Wojsyk, (2019), Opinia dotycząca przyczyn uszkodzenia łopat mieszadła kotwicowego urządzenia MZUTL-200 CCF dla firmy CENTRUM MEDICUM POLAND Mgr farmacji Małgorzata Karpińska-Trojanowska Łódź – kierownik pracy.
2. J. Nowakowska-Grunt, **J.J. Jasiński**, K. Wojsyk, K.Kudła, (2018), Projekt nr RPLU.01.02.00-06-0050/16-00, realizacja zadania 3/D.1.2RPOWL/2018 – raport z pracy badawczej BZ-604-07/2018 Analiza rozwiązania i walidacji systemu pod kątem uzyskania certyfikatu bezpieczeństwa urządzeń do skupu, sortowania i wstępnego przetwarzania wybranych surowców wtórnych, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2018.
3. **J.J. Jasiński**, (2018), Ocena występowania wad odlewniczych na powierzchni odlewów żeliwnych kół 275/119 i kół 7741 dla firmy GUSS-EX Warszawa, Opinia Rzecznawcy Regionalnej Izby Przemysłowo-Handlowej RIPH w Częstochowie – kierownik pracy.
4. **J.J. Jasiński**, (2018), Ocena występowania zanieczyszczeń powierzchni w odlewach żeliwnych kół 275/119 i kół 7741 dla firmy GUSS-EX Warszawa, Opinia Rzecznawcy Regionalnej Izby Przemysłowo-Handlowej RIPH w Częstochowie – kierownik pracy.
5. **J.J. Jasiński**, (2017), Weryfikacja wystąpienia wad w odlewach żeliwnych po obróbce mechanicznej dla firmy GUSS-EX Warszawa, Opinia Rzecznawcy Regionalnej Izby Przemysłowo-Handlowej RIPH w Częstochowie 2017 – kierownik pracy.
6. **J.J. Jasiński**, (2017), Weryfikacja wystąpienia wady w obudowie radiotelefonu KENWOOD NX-5200E, dla firmy PPHU MARKO Marek Chwist, Poraj, Opinia rzeczoznawcy Regionalnej Izby Przemysłowo-Handlowej RIPH w Częstochowie 2017 – kierownik pracy.
7. **J.J. Jasiński**, J.Jasiński, (2016), Ekspertyza Badania i analiza materiałowa tłoczysk do zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym dla firmy FA KROSNO S.A., Częstochowa 2016.
8. **J.J. Jasiński**, (2016), Ocena metalograficzna próbek po oziębianiu w roztorze polimerowym i oleju hartowniczym dla firmy ZKZ Zakład Kół Zębatych S.C. Borkowski, Olszacki Oleśnica – kierownik pracy.

9. J.Jasiński, **J.J. Jasiński**, (2014), Badania metalograficzne i analiza przyczyn pęknięcia wałka W2040100 dla Neapco Europe Sp. z o.o. Praszka – wykonawca pracy.
10. J.Jasiński, **J.J. Jasiński**, (2013), Badania metalograficzne zglądów i analiza przyczyn pęknięcia matrycy do wyciskania stopów aluminium dla firmy EDP Obróbka Stali Sp. z o.o. Bytom – wykonawca pracy.
11. J. Jasiński, M.Lubas, **J.J. Jasiński**, (2012), Ekspertyza Analiza metalograficzna materiałów form do produkcji wyrobów szklanych dla firmy Huta Szkła Stolzle Częstochowa Sp. z o.o., Częstochowa 2012 – wykonawca pracy.
12. J. Jasiński, **J.J. Jasiński**, (2012), Ekspertyza Analiza przyczyn pęknięcia nitów VW360KB dla firmy TRW Polska (ZF Friedrichshafen AG) – wykonawca pracy wraz z prezentacją wyników badań dla kontrahentów zagranicznych z zakresu analizy przyczyn pęknięcia nitów w procesie produkcyjnym wytwarzania nitów pt. Analysis of cracking in VW360KB tubular rivets, Częstochowa 2012.
13. J. Jasiński, **J.J. Jasiński**, (2011), Ekspertyza Analiza metalograficzna krzyżaka Spider 2400 po teście DYNO dla firmy Neapco Europe Sp. z o.o., Częstochowa 2011 – wykonawca pracy.
14. J. Jasiński, **J.J. Jasiński**, (2011), Ekspertyza Analiza metalograficzna półosi dla firmy Neapco Europe Sp. z o.o., Częstochowa 2011 – wykonawca pracy.
15. J. Jasiński, M., Lubas, **J.J. Jasiński**, (2009), Metalograficzna analiza mikroskopowa żeliwa stosowanego na formy do produkcji wyrobów szklanych dla Huta Szkła Stolzle Częstochowa Sp. z o.o., Częstochowa 2009 – wykonawca ekspertyzy.
16. J. Jasiński, **J.J. Jasiński**, Ekspertyza Analiza metalograficzna struktur krzyżaków 1S6W 3W008-AA dla firmy TeDrive Poland Sp. z o.o., Częstochowa 2009 – wykonawca ekspertyzy.

Istotnym moim osiągnięciem w ramach realizacji badań zleconych na zamówienie jednostek przemysłowych jest wykonanie 28 opinii o innowacyjności dla firm, które wniosowały o pozyskanie projektów finansowanych ze środków Unii Europejskiej, przeznaczonych na podniesienie innowacyjności i konkurencyjności przemysłu, w wyniku wdrażania nowoczesnych technologii. Wśród najważniejszych opinii rozwiązań technologicznych, które otrzymały finansowanie oraz które w roku 2019 aplikowały o pozyskanie funduszy unijnych chciałbym wskazać:

1. **J.J. Jasiński**, (2019), Opinia o innowacyjności: Technologia produkcji złożonych geometrycznie komponentów turbowentylatorowych silników lotniczych nowej generacji dla firmy AVIOMECHANIKA Sp. z o.o. – PCz BZ-604-06/2019 – kierownik pracy.
2. **J.J. Jasiński**, (2019), Opinia o innowacyjności: Wdrożenie mobilnych systemów SOPHUS dla firmy SOPHUS Sp. z o.o. – Zespół Usług Technicznych i Szkolenia NOT 2019 – kierownik pracy.
3. **J.J. Jasiński**, (2018), Opinia o innowacyjności: Wdrożenie zaawansowanego systemu informatycznego sterującego procesami produkcji, dostaw oraz montażu bram, rolet i moskitier dla firmy MIROLA MISZKA Sp. J. – PCz BZ-604-09/2018 – kierownik pracy.
4. **J.J. Jasiński**, (2018), Opinia o innowacyjności: Wdrożenie i komercjalizacja innowacyjnego procesu kompleksowego mycia pojazdów samochodowych, w tym pojazdów użytkowych i specjalnych dla firmy PPHU FERGOPOL – PCz BZ-604-08/2018 – kierownik pracy.
5. **J.J. Jasiński**, (2018), Opinia o innowacyjności: Wprowadzenie na rynek usług w zakresie zaawansowanej obróbki skrawaniem detali wielkogabarytowych, w tym piast wirników morskich elektrowni wiatrowych dla firmy USŁUGI FREZARSKO-TOKARSKIE DANIEL BULENDA – PCz BZ-604-02/2018 – kierownik pracy.

6. **J.J. Jasiński**, (2017), Opinia o innowacyjności: Technologia automatycznego gięcia prętów zbrojeniowych w układzie 2D i 3D z zastosowaniem serwomotorów wdrażanej w celu wprowadzenia na rynek innowacyjnego produktu w postaci kotew do geosyntetyków stosowanych w budownictwie inżynierskim dla firmy PRZEDSIĘBIORSTWO OBROTU WYROBAMI HUTNICZYMI CENTROSTAL KIELCE S.A.– PCz BZ-604-09/2017 – kierownik pracy.
7. **J.J. Jasiński**, (2017), Opinia o innowacyjności: Technologia przygotowania powierzchni multimetali przed malowaniem proszkowym w oparciu o innowacyjną technologię konwersji cyrkonowo – chromowej dla firmy CENTRUM LAKIEROWANIA PROSZKOWEGO ECOLAK Sp. z o.o. – PCz BZ-604-06/2017 – kierownik pracy.
8. **J.J. Jasiński**, (2017), Opinia o innowacyjności: Wdrożenie innowacyjnych drukarek 3D do procesu produkcji ozdób choinkowych dla firmy PPH IMPULS – PCz BZ-604-04/2017 – kierownik pracy.
9. **J.J. Jasiński**, (2017), Opinia o innowacyjności: Zastosowanie innowacyjnych elementów i rozwiązań w nowoczesnej portalowej automatycznej myjni pojazdów samochodowych dla firmy SPEED OIL SP. J. – PCz BZ-604-01/2017 – kierownik pracy.
10. **J.J. Jasiński**, (2015), Opinia o innowacyjności: Wdrożenie drukarki UV do produkcji szklanych ozdób choinkowych dla firmy PPH IMPULS – PCz BZ-604-03/2015 – kierownik pracy.
11. **J.J. Jasiński**, (2015), Opinia o innowacyjności: Rozwiązanie innowacyjnych elementów w najnowszej technologii mycia pojazdów KARCHER SB/MB dla firmy AUTOLUX Grzegorz Gicala – PCz BZ-604-01/2015 – kierownik pracy.
12. Z. Wojtynia, **J.J. Jasiński**, (2012), Opinia o technologii: Produkcja elementów łukowych drzwi obudowy wyrobisk korytarzowych z kształowników typu V (TH) z wykonanymi rowkami do współpracy ze strzemionami w łączy dla firmy ZK KOZAMEX ZPChr – Zespół Usług Technicznych i Szkolenia FSNT – NOT 2012 – wykonawca pracy.

Szczególną promocją osiągnięć związanych z działalnością naukowo-badawczą, w tym głównie z zakresu azotowania jarzeniowego metodą active screen stopów żelaza i stopów tytanu były wspomniane wcześniej innowacyjne rozwiązania zaprezentowane na międzynarodowych wystawach innowacji i wynalazków, które zostały nagrodzone nagrodami specjalnymi, nagrodami Ministra, medalami i dyplomami, w tym:

1. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Politechniki Częstochowskiej, Instytut Inżynierii Materiałowej, (2011) Technologia ekonomicznego azotowania jonowego stali wysokochromowych, T. Frączek, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, Warszawa 2011
2. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, (2010), Technologia krótkookresowego, niskotemperaturowego azotowania jonowego trudnoazotujących się stali wysokochromowych, (2010), T. Frączek, J. Jasiński, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, Warszawa, 2010
3. Nagroda Ministra Edukacji, Innowacji i Rozwoju Rumunii, (2009), Short- term and low-temperature glow discharge nitriding technology of high- chromium steels, T. Frączek, J. Jasiński, M. Olejnik, **J.J. Jasiński**, INNOVA Brussels, Belgia 2009
4. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Politechniki Częstochowskiej za promocję wynalazków na krajowych i zagranicznych wystawach innowacji i wynalazków w roku 2011, Warszawa 2012
5. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Politechniki Częstochowskiej za promocję wynalazków na krajowych i zagranicznych wystawach innowacji i wynalazków w roku 2010, Warszawa 2011

Moja działalność naukowa jest również związana z recenzowaniem projektów współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju NCBiR oraz publikacji w renomowanych czasopismach z bazy JCR. Jako ekspert NCBiR byłem recenzentem 2 projektów w programie INNOCHEM POIR 1/1.2/2017/ Operational Programme Smart Growth. Wykonałem również 20 recenzji publikacji w następujących renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych, w tym:

1. ASTM Materials Performance and Characterization (2 recenzje)
2. Journal of Laser and Optics (1 recenzja)
3. Archives of Metallurgy and Materials (1 recenzja)
4. Hutnik Wiadomości Hutnicze (1 recenzja)
5. Przemysł Chemiczny (1 recenzja)
6. Advances in Materials Physics and Chemistry (1 recenzja)
7. Zeitschrift für Metallkunde: International Journal of Materials and Research (1 recenzja)
8. Journal of Molecular Structure (3 recenzje) (*Certyfikat: Outstanding Reviewer z 01.2018*)
9. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy (1 recenzja)
10. International Journal of Engineering and Technology Innovation IJETI South Korea (2 recenzje)
11. International Conference on Advanced Technology Innovation 2017 South Korea (4 recenzje)
12. Advances in Technology Innovation AITI South Korea (1 recenzja)
13. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej WAT (1 recenzja).

W trakcie studiów magisterskich, doktoranckich, jak również po doktoracie odbyłem również 3,5 miesięczną międzynarodową praktykę studencką w firmie Kennametal Sintec HTM w Biel/Bienne (Szwajcaria) z zakresu metalurgii proszków i technologii izostatycznego prasowania na gorąco HIP, w ramach której wykonałem raporty technologiczne związane z określeniem krzywych odpuszczania proszkowych stali ledeburytycznych do zastosowań w przetwórstwie polimerów oraz procedurami przygotowywania próbek nowo-otrzymanych stali proszkowych do testów udarnościowych metodą Charpy V, co zaprezentowałem w opracowaniach:

1. **J.J. Jasiński**, PM Steel X255W, X260W2 tempering curves determination.
2. **J.J. Jasiński**, Reference Charpy impact test PM specimens preparation.

Obyłem również 3,5 miesięczny staż zagraniczny w firmie E-Control Glas GmbH w Furth im Wald (Niemcy) z zakresu technologii wytwarzania materiałów inteligentnych stosowanych do produkcji okien typu Smart Windows, gdzie realizowałem zadania związane z wytworzeniem urządzenia sterowniczego wewnętrznego i zewnętrznego do wykonywania testów rozjaśniania i zaciemniania 48 okien inteligentnych, w celu optymalizacji parametrów ich pracy i prekondukcjonowania przed docelową eksploatacją, co zaprezentowałem w opracowaniach:

1. **J.J. Jasiński**, Internal 48 Controllers Electronic Hardware.
2. **J.J. Jasiński**, External 48 Controllers Electronic Hardware.
3. **J.J. Jasiński**, VBG 120x40 transparency measurements and preconditioning optimization.

W ramach działalności naukowo-badawczej w Politechnice Częstochowskiej odbyłem staż przemysłowy w firmie Bodycote Polska Sp. z o.o., który był realizowany między innymi w celu pozyskania wyników badań do pracy doktorskiej z tematyki procesów azotowania gazowego

i jonowego, dla analiz porównawczych wymienionych technologii. W ramach stażu zapoznałem się również z technologiami obróbki cieplnej (hartowanie próżniowe) i cieplno-chemicznej (azotowanie gazowe regulowane, azotonawęglanie, tlenoazotowanie) elementów i narzędzi dla przemysłu motoryzacyjnego, obronnego i elektromaszynowego oraz z metodami preparatyki prób metalograficznych i analizą składników strukturalnych w warstwie wierzchniej stali konstrukcyjnych i narzędziowych. Odbylem również 10-dniowy staż w firmie Vacummschmelze GmbH & Co. KG w Niemczech związany z zapoznaniem się z technologią produkcji cienkich folii amorficznych i nanokrystalicznych metodą melt spinning oraz ich zastosowaniem w przemyśle elektrotechnicznym, jak również z preparatyką metalograficzną cienkich materiałów.

W ramach mojej działalności naukowo-badawczej brałem również udział w certyfikowanych szkoleniach: z zakresu rozwiązań technologicznych, konstrukcyjnych i materiałowych stosowanych w elementach tłumiących drgania realizowane przez firmę KYB – certyfikat nr 323/2017; zastosowania metod Spektroskopowych do badań materiałów „Agilent Cary UMS UV-VIS/NIR spectrophotometer – Optical characterization by measuring absolute specular reflectance/transmittance and scattering” zorganizowane przez firmę MS SPEKTRUM Sp. j. (2017), jak również w szkoleniu „STRUERS Materiałografia” z zakresu preparatyki prób materiałów używanych w metalografii organizowanych przez firmę STRUERS w Krakowie (2012) oraz szkoleniu „Kontrola jakości materiałów z wykorzystaniem szumu Barkhausena, dyfrakcji rentgenowskiej oraz metody wiercenia otworów PRISM”, organizowanego przez firmę PCB Service w Warszawie (2012).

W roku 2016 za działalność naukowo-badawczą zostałem laureatem Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Wybitnych Młodych Naukowców w XI edycji konkursu. Do równie ważnych nagród zaliczam Srebrną Odznakę Honorową „Za Zasługi dla Województwa Śląskiego” nadaną przez Marszałka Województwa Śląskiego, za działalność naukową, gospodarczą i kulturalno-społeczną oraz wkład w rozwój Województwa Śląskiego. W swoim dorobku naukowo-badawczym uzyskałem również stypendium w ramach programu stypendialnego na rzecz innowacyjnego Śląska DoktoRIS. W trakcie studiów doktoranckich byłem trzykrotnie stypendystą Rektora Politechniki Częstochowskiej dla Najlepszych Doktorantów za wyniki w nauce.

Zdobyta wiedza oraz doświadczenie zarówno z zakresu problematyki naukowo-badawczej, jak i rozwiązywania problemów badawczych dla przemysłu posłużyły mi w znacznym stopniu do realizacji działalności dydaktycznej, którą zaprezentowałem w kolejnym punkcie wniosku.

5.3. Działalność dydaktyczna

Moja działalność dydaktyczna w okresie studiów doktoranckich polegała głównie na prowadzeniu ćwiczeń i laboratoriów dla studentów kierunku Inżynieria Materiałowa na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów z przedmiotów:

1. Obróbka Ciepła i Powierzchniowa; laboratorium 30h.
2. Obróbka Ciepła i Powierzchniowa; seminarium 15h
3. Obróbka Ciepła i Powierzchniowa; seminarium 30h, (asystentura).

4. Inżynieria Materiałowa; laboratorium 15h.
5. Nauka o Materiałach; laboratorium 15h.
6. Materiały o Specjalnym Przeznaczeniu; seminarium 30h, (asystentura).

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, w ramach zatrudnienia w Instytucie Logistyki i Zarządzania Międzynarodowego prowadziłem i prowadzę obecnie wykłady, ćwiczenia laboratoryjne i projektowe z następujących przedmiotów:

1. Wprowadzenie do Techniki, wykład 30h kierunek: Logistyka inżynierska.
2. Wprowadzenie do Techniki, wykład 30h kierunek: Logistyka licencjat.
3. Podstawy projektowania inżynierskiego, wykład 15h + seminarium 60h, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji.
4. Podstawy projektowania inżynierskiego, wykład 15h + seminarium 60h, kierunek: Bezpieczeństwo i Higiena Pracy.
5. Badania i rozwój B+R w technice, wykład 15h, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji.
6. Bezpieczeństwo Procesowe, wykład 15h, kierunek: Bezpieczeństwo i Higiena Pracy.
7. Współczesne Technologie Automatyzacji Obiektów Logistycznych, wykład 15h + ćwiczenia kierunek: Logistyka licencjat.
8. Bezpieczeństwo użytkowania maszyn i urządzeń, wykład 15h + ćwiczenia 15h, kierunek: Bezpieczeństwo i Higiena Pracy.
9. Finansowanie Europrojektów Transportowych, seminarium 15h kierunek: Logistyka licencjat.
10. Usługi outsourcingowe w Logistyce, seminarium 30h, kierunek: Logistyka licencjat.
11. E-logistyka, seminarium 10h, kierunek: Logistyka licencjat – studia niestacjonarne.
12. E-logistyka, wykład 15h, kierunek: Logistyka licencjat – studia stacjonarne.
13. Planowanie i Controlling w Logistyce, seminarium 15h, rok III, laboratorium 15h Wydział Zarządzania, kierunek: Logistyka;
14. Symulacje w logistyce, laboratorium 30h, kierunek: Logistyka I licencjat,.
15. Systemy komputerowe w logistyce, laboratorium 30h, kierunek: Logistyka inżynierska.
16. Environmental Managment Systems, wykład 15h + ćwiczenia 15h, kierunek: Quality and Production Management (zajęcia w języku angielskim).

W ramach prowadzenia przedmiotów dydaktycznych przygotowywałem i aktualizowałem programy zajęć dydaktycznych tzw. sylabusy z wybranych przedmiotów, w tym: Podstawy projektowania inżynierskiego, Wprowadzenie do Techniki, Symulacje w logistyce, Systemy komputerowe w logistyce oraz Environmental Managment Systems. Posiadam również certyfikat uprawniający do prowadzenia zajęć dydaktycznych w systemie E-learning.

Byłem promotorem 7 prac dyplomowych magisterskich i 27 prac inżynierskich na kierunku Logistyka Inżynierska oraz Bezpieczeństwo i Higiena Pracy. Obecnie jestem promotorem 11 prac magisterskich na kierunku Logistyka. Wykonałem również recenzje do 25 prac dyplomowych inżynierskich oraz do 9 prac magisterskich.

Za szczególne osiągnięcie dydaktyczne uważam współorganizowanie na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów laboratorium dydaktycznego inżynierii powłok, które polegało na organizacji i przygotowaniu stanowisk dydaktycznych do realizacji technologii fluidalnej obróbki cieplnej FADT, stanowiska do realizacji technologii PVD – magnetronowego rozpylania oraz stanowiska do laserowej obróbki powierzchniowej, które były sfinansowane w ramach realizowanych projektów badawczych.

Ważnym osiągnięciem w zakresie popularyzacji nauki jest mój coroczny (od roku 2016) udział w Komitecie głównym i komisji konkursowej od IV do VII edycji Ogólnopolskiej Olimpiady Przedsiębiorczości i Zarządzania OPIZ dla młodzieży szkół średnich, jak również koordynowanie zawodów II stopnia Okręgu Mazowieckiego Olimpiady OPIZ w Akademii Leona Koźmińskiego w Warszawie w roku 2018 i 2019.

Równie ważnym moim osiągnięciem dydaktycznym w zakresie popularyzacji nauki oraz związanym z promocją kierunku Logistyka Inżynierska na Politechnice Częstochowskiej jest udział od roku 2017 w Piotrkowskim Pikniku Nauki i Techniki „Explorer”, realizowanym przez Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych nr 2 w Piotrkowie Trybunalskim, w ramach którego organizowałem dla młodzieży ponadgimnazjalnej, pokazowe stanowiska z zakresu Inżynierii Materiałowej i Inżynierii Transportu, promujących Logistykę Inżynierską.

Za dodatkową, niezwykle ważną formę kształcenia młodej kadry uważam organizację wyjazdów studyjnych do zakładów Barre Thomas Poland Sp. z o.o. (obecnie Cooper Standard Poland Sp. z o.o.), TRW Automotive (obecnie ZF Friedrichshafen) oraz Neapco Europe Sp. z o.o. realizowanych w ramach zajęć praktycznych dla studentów II roku kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji oraz studentów III roku Inżynierii Materiałowej, które miały na celu zaprezentowanie materiałów i narzędzi stosowanych w technologii produkcji oraz montażu układów napędowych, systemów bezpieczeństwa oraz systemów uszczelniających w przemyśle automotive. Taka forma realizacji zajęć w jednostkach przemysłowych nie tylko ułatwia przyswajanie przez studentów zagadnień z zakresu inżynierii materiałowej związanych z poznawaniem materiałów i technologii stosowanych w przemyśle, ale również z logistyką i jakością materiałów i prefabrykatów zamawianych do produkcji. Realizowane wyjazdy stanowią inspirację do poszukiwania ciągłych innowacji i rozwiązań inżynierskich przez studentów, dlatego też uważam to za swój szczególnie wkład w rozwój dydaktyczny młodej kadry.

Od roku 2015 jestem opiekunem Komitetu Lokalnego międzynarodowej organizacji studenckiej prowadzącej program praktyk zawodowych dla studentów kierunków technicznych IAESTE (The International Association for the Exchange of Students for Technical Experience) przy Politechnice Częstochowskiej, w ramach której studenci Politechniki Częstochowskiej również uczestniczyli w wyjazdach studyjnych i zagranicznych praktykach studenckich. Pełnię również funkcję Wydziałowego Koordynatora ds. Praktyk Studenckich na Wydziale Zarządzania, w ramach której koordynuję tzw. Bank Praktyk PCz i pozyskuję oferty praktyk, staży oraz pracy dla studentów i absolwentów Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej.

5.4. Działalność organizacyjna

Oprócz działalności naukowo-badawczej i dydaktycznej jestem zaangażowany również w działalność organizacyjną, zarówno w Politechnice Częstochowskiej, jak i w krajowych i zagranicznych organizacjach, stowarzyszeniach naukowo-technicznych i społeczno kulturalnych. W okresie studiów doktoranckich byłem skarbnikiem i członkiem komitetu organizacyjnego cyklicznej, uznanej w środowiskach naukowych VIII Międzynarodowej Konferencji „Inżynieria Powierzchni INPO 2011” w Wiśle-Jawornik. W ramach realizacji

konferencji oraz przygotowania materiałów konferencyjnych w okresie 05.2011-09.2011 brałem również udział w Komitecie Redakcyjnym czasopisma Inżynieria Materiałowa (Wydawnictwo SIGMA-NOT). Byłem również członkiem komitetu organizacyjnego Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej w ramach Światowego Dnia Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Pracy na Wydziale Zarządzania Politechniki Częstochowskiej w roku 2014. Moja działalność organizacyjna w Politechnice Częstochowskiej po uzyskaniu stopnia doktora jest związana z pracami w Wydziałowej Komisji Antyplagiatowej na Wydziale Zarządzania (w latach 2015-2019) oraz w zespole ds. Współpracy z Przemysłem powołanym w Instytucie Logistyki i Zarządzania Międzynarodowego (od roku 2017), gdzie pełnię funkcję członka zespołu odpowiedzialnego za koordynowanie współpracy z jednostkami przemysłowymi oraz realizację badań zleconych dla przemysłu. W ramach działalności organizacyjnej, związanej z organizacją konferencji byłem również sekretarzem Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Bezpieczeństwo Chemiczne a Ochrona Zdrowia BCHOZ ‘2018” zorganizowanej na Wydziale Zarządzania AGH w Krakowie. Obecnie jestem vice-przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Bezpieczeństwo Środowiskowe i Ochrona Zdrowia ‘2019”, która odbędzie się w dniu 3 lipca 2019r., w ramach Jubileuszu 70-lecia Politechniki Częstochowskiej.

Moja działalność organizacyjna nie dotyczy tylko działalności na uczelni macierzystej, ale obejmuje również działalność w ramach organizacji oraz stowarzyszeń naukowo-technicznych i społeczno-kulturalnych. Od 2017 roku jestem członkiem Zarządu Międzynarodowego Stowarzyszenia Ciągarskiego MSC w Polsce – Wire Association International WAI USA Poland Chapter. W ramach działalności w Stowarzyszeniu w roku 2018 byłem przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego X Seminarium Międzynarodowego Stowarzyszenia Ciągarskiego MSC WAI w Polsce. Natomiast obecnie jestem przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowej Konferencji Ciągarskiej ‘2019 organizowanej przez Stowarzyszenie MSC we współpracy z Instytutem Metalurgii Żelaza w Gliwicach, która odbędzie się w listopadzie 2019 roku. W ramach udziału w międzynarodowych organizacjach i sieciach badawczych, od 2016 roku jestem również członkiem Międzynarodowej Sieci Ekspertów Obróbki Ciepłej i Ciepłno-Chemicznej Global Heat Treatment Network, zrzeszającej ekspertów przemysłu i nauki, celem rozwiązywania problemów z zakresu technologii obróbki cieplnej i ciepłno-chemicznej w różnych sektorach przemysłu. W ramach przynależności do wskazanej sieci badawczej odbyłem certyfikowane szkolenie Heat Treatment Excellence 2017 z zakresu obróbki cieplnej i ciepłno-chemicznej.

Spośród działalności organizacyjnej w stowarzyszeniach krajowych wymieniam swoje członkostwo w Polskim Towarzystwie Materiałoznawczym PTM od roku 2016, Stowarzyszeniu Inżynierów i Techników Przemysłu Hutniczego SITPH od roku 2015, Stowarzyszeniu Inżynierów i Techników Mechaników Polskich SIMP od roku 2015, jak również w Stowarzyszeniu Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów SPWiR od roku 2010. Obecnie jestem Przewodniczącym Komisji ds. Innowacji i Wynalazczości FSNT-NOT w Częstochowie. W roku 2017 zostałem również wybrany do Rady Naukowej Częstochowskiego Oddziału Towarzystwa Naukowego Organizacji i Kierownictwa TNOiK. Od roku 2016 Jestem również członkiem Stowarzyszenia Społeczno-Kulturalnego Wspólnota

Guade Mater w Częstochowie, które realizuje projekty, konkursy i wystawy związane z poezją, sztuką i muzyką dla promocji młodych artystów.

W ramach działalności organizacyjnej wykonuję również prace i recenzje związane z funkcją członka ekspertów Narodowego Centrum Badań i Rozwoju NCBiR w ramach POIR 2014-2020 Poddziałanie 1.1.1 „Szybka Ścieżka” w obszarze kryteriów naukowo-technologicznych oraz gospodarczo-biznesowych (od 2017), jak również rzeczoznawcy Regionalnej Izby Przemysłowo Handlowej RIPH w Częstochowie z zakresu Inżynierii materiałowej, inżynierii powierzchni, obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, ochrony przed korozją, metaloznawstwem i spawalnictwem – Rzeczoznawca nr 01/06/15 od roku 2015. Jestem również członkiem Zespołu Usług Technicznych i Szkolenia FSNT-NOT w Częstochowie z zakresu inżynierii materiałowej i inżynierii powierzchni oraz technologii obróbki cieplnej.

Moja działalność organizacyjna polega również na współpracy z jednostkami naukowymi oraz przemysłowymi. W ramach realizowanych badań i spotkań technologicznych prowadzę współpracę m.in. z następującymi jednostkami naukowymi: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Warszawie, Instytut Metalurgii Żelaza w Gliwicach, Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie oraz jednostkami przemysłowymi Neapco Europe Sp. z o.o., Zakłady Metalowe Kozamex, Kärcher Center, Narzędziownia Bogdan Pszenica, Fergopol, ZF Friedrichshafen (dawniej TRW automotive), Metal Union Sp. z o.o., FA Krosno S.A., Przedsiębiorstwo Sprzętu Ochronnego Maskpol S.A. PGZ. Posiadam również uprawnienia Audytora Wewnętrznego Zintegrowanego Systemu Zarządzania Jakością wg ISO 9000:2015 / Środowiskowego wg ISO 14000 / Bezpieczeństwa i Higieny Pracy ISO 18000 OHSAS 18001.

Jako pracownik Politechniki Częstochowskiej w roku 2012 i 2018 za działalność organizacyjną otrzymałem 2 nagrody zespołowe Rektora Politechniki Częstochowskiej za zorganizowanie Międzynarodowej Konferencji Naukowej INPO 2011 oraz organizację Olimpiady OPiZ w roku 2017.

.....
podpis wnioskodawcy

TABELARYCZNE ZESTAWIENIE DOROBKU NAUKOWEGO, DYDAKTYCZNEGO I ORGANIZACYJNEGO WNIOSKODAWCY

Lp.	Kryterium	Liczba
1.	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	14
2.	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	6
3.	Udzielone patenty: a) międzynarodowe b) krajowe	a) --- b) 4
4.	Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	7
5.	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR	54
6.	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ważniejsze ekspertyzy	14
7.	Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:	SUM IF = 25,45
8.	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS):	77 ogółem; bez autocytowań 61
9.	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	H-index = 5
10.A	Kierowanie projektami badawczymi: a) międzynarodowymi b) krajowymi	a) --- b) 3
10. B	Udział w projektach badawczych: a) międzynarodowych b) krajowych	a) --- b) 12
11.	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	9
12.	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach a) międzynarodowych b) krajowych	a) 5 b) 2
13.	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	2
14.	Aktywny udział w konferencjach naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	16 4
15.	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 3 b) 2
16.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	3
17.	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	1
18.	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z: a) naukowcami z innych ośrodków polskich, b) naukowcami z ośrodków zagranicznych, c) przedsiębiorcami, innymi niż wymienione wyżej	a) --- b) --- c) 1

19.	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	1
20.A	Członkostwo w międzynarodowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych a) ogółem b) w tym z wyboru	1 1
20.B	Członkostwo w krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych a) ogółem b) w tym z wyboru	7 4
21.	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	4
22.	Opieka naukowa nad studentami	promotor 34 prac mgr (7) i inż. (27) obecnie promotor 11 prac mgr
23.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze: a) opiekuna naukowego b) promotora pomocniczego	a) --- b) ---
24.	Staże w ośrodkach naukowych lub akademickich a) zagranicznych b) krajowych	a) 3 b) 1
25.	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	44
26.	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	7
27.	Recenzowanie projektów: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 2 b) --
28.	Recenzowanie publikacji w czasopismach: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 16 b) 4
29.	Inne osiągnięcia: a) Współpraca z jednostkami przemysłowymi b) Współpraca z jednostkami naukowymi c) Certyfikaty	a) 15 b) 14 c) 7

.....
podpis wnioskodawcy