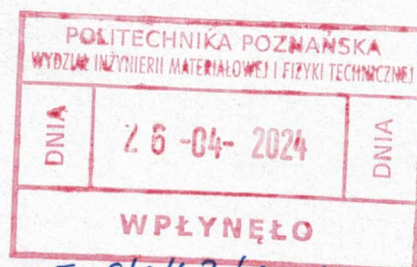




Warszawa, 30.03.2024 r.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Świąszkowski
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska



Recenzja

dorobku naukowego **Dr. inż. Grzegorza Adamka**
ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia
pt. „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalum*”
i istotnej aktywności naukowej w związku z postępowaniem o nadanie stopnia
doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria
Materiałowa

Podstawą opracowania niniejszej opinii jest umowa z Politechniką Poznańską reprezentowaną przez Dziekana Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej – dr. hab. Mirosława Szybowicza o wykonanie recenzji dorobku habilitacyjnego dr inż. Grzegorza Adamka na temat: „Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalum”.

Recenzja odnosi się głównie do wymogów ustawowych stawianych osobom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego. Zgodnie z art. 219 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, stopień dr hab. nadaje się osobie, która:

1. posiada stopień doktora;
2. posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny;
3. wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.



Przedstawiona do oceny dokumentacja jest zgodna z wymaganiami określonymi w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021r. poz. 478 z późniejszymi zmianami).

1. Charakterystyka ogólna sylwetki naukowej Kandydatki

Pan dr inż. Grzegorz Adamek uzyskał stopień doktora nauk technicznych w 2012 r. w specjalności: Inżynieria materiałowa na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Rozprawa doktorska zatytułowana była: „Modyfikacja warstwy wierzchniej nanokrystalicznych stopów tytanu do zastosowań na implanty”. Promotorem pracy był dr hab. inż. Jarosław Jakubowicz, prof. PP, zaś recenzentami Prof. dr hab. inż. Tadeusz Wierzchoń oraz dr hab. inż. Michał Kulka. Potwierdzeniem uzyskania stopnia doktora jest dołączona kopia dyplomu z dnia 22.05.2013r.

Pan dr inż. Grzegorz Adamek od 01.10.2010 pracuje na Politechnice Poznańskiej. Najpierw był zatrudniony na stanowisku asystenta, a od 01.03.2014 roku jest adiunktem na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania. Od 1.01.2020 pracuje jako adiunkt na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, gdzie prowadzi aktywną działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną. Pan Doktor prowadzi badania w obszarach metalurgii proszków, metalicznych materiałów dla medycyny, metalicznych materiałów porowatych oraz charakteryzacji mikrostruktury i właściwości materiałów metalicznych.

Podsumowując powyższe rozważania, Pan dr inż. Grzegorz Adamek spełnia warunek konieczny do stopnia doktora habilitowanego – posiada stopień doktora nauk technicznych w zakresie Inżynierii Materiałowej nadany uchwałą Rady Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania z dnia 27.09.2012 r. Pan Doktor prowadzi aktywną działalność naukowo-badawczą, której to oryginalne wyniki stały się podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

2. Ocena osiągnięcia naukowego Kandydatki

Jako podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa, dr inż. Grzegorz Adamek przedstawił, zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.), osiągnięcia naukowe w postaci cyklu **13** powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zebranych pod jednym tytułem: „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu*”.

Artykuły zostały opublikowane w latach 2013-2022, po uzyskaniu przez Habilitanta stopnia naukowego doktora. Są to następujące prace:



- **H1.** J. Jakubowicz, **G. Adamek**, M. Dewidar, "Titanium foam made with saccharose as a space holder", *Journal of Porous Materials* 20 (2013) 1137-1141. *IF (2013) 1,316, punkty MNiSW (2013): 25*
- **H2.** **G. Adamek**, D. Andrzejewski, J. Jakubowicz, „Sugar crystals as a space holder material for Ti void metal composites”, *J. Biomaterials and Tissue Engineering*, 4 (2014) 300-307. *IF (2014) 2,066, punkty MNiSW (2014): 15*
- **H3.** **G. Adamek**, J. Jakubowicz, "Tantalum foam made with sucrose as a space holder", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 53 (2015) 51-55. *IF (2015) 2,263, punkty MNiSW (2015): 35*
- **H4.** J. Jakubowicz, J.K. Koper, **G. Adamek**, M. Połomska, J. Wolak, „Silver Nano-Trees Deposited in the Pores of Anodically Oxidized Titanium and Ti Scaffold”, *International Journal of Electrochemical Science* 10 (2015) 4165-4172. *IF (2015) 1,692, punkty MNiSW (2015): 25*
- **H5.** K. Jurczyk, **G. Adamek**, M.M. Kubicka, J. Jakubowicz, M. Jurczyk, "Nanostructured titanium-10 wt.% 45S5 Bioglass-Ag composite foams for medical applications", *Materials* 8 (2015) 1398-1412. *IF (2015) 2,728, punkty MNiSW (2015): 35*
- **H6.** J. Jakubowicz, **G. Adamek**, K. Pałka, D. Andrzejewski, „Micro-CT analysis and mechanical properties of Ti spherical and polyhedral void composites made with saccharose as a space holder material”, *Materials Characterization* 100 (2015) 13-20. *IF (2015) 2,383, punkty MNiSW (2015): 45*
- **H7.** K. Pałka, **G. Adamek**, J. Jakubowicz, "Compression behavior of Ti foams with spherical and polyhedral pores", *Advanced Engineering Materials* 18 (2016) 1511-1518. *IF (2016) 2,319, punkty MNiSW (2016): 30*
- **H8.** **G. Adamek**, "Tantalum foams prepared by the thermal dealloying process", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 65 (2017) 88-93. *IF (2017) 2,606, punkty MNiSW (2017): 35*
- **H9.** **G. Adamek**, „Tantalum-45S5Bioglass composite foams prepared in thermal dealloying process”, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 81 (2019) 58–62. *IF (2019) 3,407, punkty MEiN (2019): 140*
- **H10.** J. Jakubowicz, **G. Adamek**, P. Siwak, K. Palka, M.U. Jurczyk, P.K. Wirstlein, M. Pilch, M. Dewidar, "Micromechanical measurements and biocompatibility of the high porosity Ti scaffold made with saccharose as a space holder", *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* 55, (2019) 1124–1133. *IF (2019) 0,985, punkty MEiN (2019): 40*
- **H11.** **G. Adamek**, M. Kozłowski, M. U. Jurczyk, P.Wirstlein, J. Zurawski, J. Jakubowicz, „Formation and Properties of Biomedical Ti-Ta Foams Prepared from Nanoprecursors by Thermal Dealloying Process”, *Materials* 12 (2019) 1-8. *IF (2019) 3,057, punkty MEiN (2019): 140*
- **H12.** **G. Adamek**, A. Junka, P. Wirstlein, M.U. Jurczyk, P. Siwak, J. Koper, J.Jakubowicz, "Biomedical Ti-Nb-Zr Foams Prepared by Means of Thermal Dealloying Process and Electrochemical Modification", *Materials* 15 (2022) 1-15. *IF (2022) 3,748, punkty MEiN (2022): 140*



- **H13. G. Adamek**, M. Kozłowski, A. Junka, P. Siwak, J. Jakubowicz, „Preparation and Properties of Bulk and Porous Ti-Ta-Ag Biomedical Alloys”, *Materials* 15 (2022) 1-14. *IF* (2022) 3,748, punkty *MEiN* (2022): 140.

Wszystkie artykuły opublikowane są w czasopismach z bazy JCR, które przynależą do dyscypliny Inżynieria materiałowa. Dużą grupę stanowią prace opublikowane w *Materials*, MDPI. Sumaryczny *Impact Factor* oraz sumaryczna liczba punktów ministerialnych czasopism, w których opublikowane zostały artykuły stanowiące osiągnięcie, wynoszą odpowiednio **32,318** i **845**. Współczynniki wpływu *IF* mieszczą się w zakresie **0,98-3,75**. Do dokumentacji habilitacyjnej nie dołączono liczby cytowań dla poszczególnych publikacji. Z bazy Scopus wynika, że większość publikacji była już wielokrotnie cytowana przez środowisko naukowe. Wśród prac były dwa artykuły autorskie oraz jedenaście wieloautorskich. W pracach wieloautorskich Pan dr inż. Grzegorz Adamek był 5 razy pierwszym autorem, w tym 4 razy pełnił rolę autora korespondencyjnego. Liczba współautorów wynosiła od 2 do 8. Wieloautorstwo wynika z interdyscyplinarnych badań prezentowanych w publikacjach. Oprócz 2 prac samodzielnych, które wskazują na pewną samodzielność naukową Kandydata, pozostałe artykuły powstały przy ścisłej współpracy z Prof. Jarosławem Jakubowiczem, promotorem pracy doktorskiej Habilitanta.

Wkład Dr. inż. Grzegorza Adamka w powstanie prac stanowiących osiągnięcie został opisany w Autoreferacie. Obejmował w większości artykułów współprzygotowanie koncepcji prac, wykonanie głównych badań np. wytworzenie materiałów, wykonanie analiz XRD oraz SEM, jak również interpretację i opracowanie wyników badań do publikacji. W ramach dokumentacji habilitacyjnej zamieszczono oświadczenia o wkładzie współautorów, z których można wnioskować o kluczowej roli Kandydata w realizacji większości opisanych w cyklu badań oraz powstaniu artykułów. Brakuje jedynie oświadczeń dwóch współautorów pracy **H5**.

Jednotematyczny cykl publikacji dotyczy badań prowadzonych przez Habilitanta dotyczących wytwarzania i charakteryzowania porowatych materiałów metalicznych na bazie tytanu i tantalum w świetle ich potencjalnych zastosowań w medycynie, w szczególności w implantologii. Od wielu lat prowadzone są prace w obszarze wytwarzania biomateriałów w postaci porowatego tytanu, tantalum i ich stopów, w celu ich poprawy właściwości mechanicznych oraz bioaktywności. Wprowadzanie porów do objętości biogodnego tytanu lub tantalum obniża ich zbyt wysoką sztywność w stosunku do kości a jednocześnie stwarza lepsze warunki do bio-integracji porowatych implantów z otaczającą tkanką kostną. Tematyka porowatych biomateriałów metalicznych jest aktualna, na co wskazują nowe produkty medyczne z nich wytwarzane oraz duża liczba publikacji naukowych traktująca o porowatych metalach. Są to między innymi prace opisujące różne metody wytwarzania materiałów tytanowych lub tantalowych o dużej porowatości porowatych uzyskiwanej metodami spieniania, spiekania z substancjami generującymi pory np. chlorek sodu, replikacji lub technikami przyrostowymi, zwanymi potocznie drukiem 3D.

W powyższe trendy badawcze dobrze wpisują się prace naukowe Pana doktora Grzegorza Adamka, wchodzące w skład ocenianego osiągnięcia. Ich tematyka dotyczy wytwarzania pianek



tytanowych i tantalowych dwiema znanymi metodami. Pierwsza z nich to metoda spiekania proszków metalicznych z cząstkami sacharozy (kryształów cukru), które po zagęszczeniu są usuwane przed spiekaniem metalu. Druga zaś to tzw. metoda termicznego „odstopowania” (ang. dealloying) magnezu, w której magnez jest dodany do stopu metalu w procesie mechanicznej syntezy, a następnie po zagęszczeniu odparowany ze stopu przed jego ostatecznym spiekaniem. Mimo, że metody te używano z powodzeniem do wytwarzania różnych porowatych materiałów metalicznych, Habilitant po raz pierwszy użył ich do generowania porowatości w materiałach na bazie tytanu i tantalu.

Analizując osiągnięcia dr. inż. Grzegorza Adamka zawarte w cyklu publikacji można je podzielić na trzy główne grupy: (1) wytwarzanie pianek metalicznych na bazie tytanu i tantalu z zastosowaniem sacharozy jako środka porotwórczego; (2) wytwarzanie pianek tytanowych w procesie „odstopowania” magnezu, oraz (3) modyfikacja powierzchni pianek metalicznych poprzez obróbkę elektrochemiczną: trawienie oraz osadzanie srebra. Dodatkowo zaprezentowano wyniki badań nowego stopu tytanu ze srebrem z formą piankową przygotowaną z użyciem mocznika.

Osiągnięcia badawcze dr. inż. Grzegorza Adamka, które dotyczyły wytwarzania pianek metalicznych na bazie tytanu i tantalu z zastosowaniem sacharozy zostały opisane w 7 artykułach: **H1, H2, H3, H5, H6, H7 i H10**. Należy nadmienić, że powstały one w ramach realizacji projektu NCN DEC-2012/07/B/ST8/03570 pt.: „Zbadanie procesu powstawania pianek metalowych na bazie Ti i Ta z zastosowaniem sacharozy jako środka generującego pory”. Kierownikiem projektu był prof. Jarosław Jakubowicz, zaś Habilitant był głównym wykonawcą.

Prace **H1, H2, H5, H6, H7 i H10** dotyczyły pianek na bazie tytanu. Jak już wspomniano wyżej, Habilitant użył autorskiej metody do wytwarzania porowatego tytanu. Zastosował kryształy sacharozy o wielkości ok. 1mm w kształcie wielościanów (**H1, H10**) lub przypominającym kulę (**H2, H6, H7**) jako substancję porotwórczą w procesie spiekania proszków tytanu o różnej gradacji, w temperaturze ok. 1300°C, w piecu próżniowym (10^{-2} mbar) przez 60 min. Używał różnych udziałów objętościowych porogenu: 50, 60 i 70%, do wytwarzania materiałów o różnej porowatości otwartej. Otrzymane próbki miały kształt walca o objętości ok. 320 mm³. Zarówno proszki użyte do badań jak i otrzymane próbki poddano badaniom mikroskopowym SEM oraz tomograficznym. Wykonano również analizę XRD oraz badania mechaniczne.

W pracy **H1** przy zakładanej 60% porowatości uzyskano materiały o porowatości 72% (otwartej + zamkniętej) oszacowanej na podstawie badań mikrotomograficznych. Zarówno w mikroskopii SEM jak też w mikroCT wykryto oprócz dużych porów (0.8-1mm) wynikających z rozmiarów użytych kryształów cukru, również mniejsze pory (2-50 um) powstałe pomiędzy cząstkami spieczonych cząstek tytanu. Powierzchnia porów była silnie rozwinięta. Badania XRD wytworzonych próbek wykazały obecność tytanu, tlenku tytanu oraz pozostałości sacharozy. Do głównych słabych stron tej pracy należy zaliczyć otrzymanie próbek z nierównomiernym rozłożeniem porów w całej objętości, powstanie w materiale znacznej objętości małych porów zamkniętych oraz obecność nieusuniętej całkowicie sacharozy, co mogło wynikać m.in. ze



sposobu doboru proszków wejściowych oraz zastosowanych warunków procesu technologicznego. Nie scharakteryzowano dokładnie rozmiarów użytych w procesie proszków. Nie podano również metodyki wyznaczania wartości liczbowych opisujących porowatość, w tym porowatość otwartą.

W artykule **H2** zaprezentowano interesujące wyniki badań, w których wstępne prace dotyczyły przygotowania w procesie mielenia z kryształów wielościennych cukru kryształów o zaokrąglonych krawędziach przypominających kule. W tym przypadku użyto ciśnienia 1000MPa, dwukrotnie wyższego niż we wcześniejszej pracy, do prasowania różnych mieszanin proszków tytanu i kryształów cukru: wielościennym oraz kulistych, o tym samym udziale wagowym Ti i sacharozy. Powstaje pytanie czy tak wysokie ciśnienie nie niszczy cząstek cukru. Otrzymane próbki po procesie wymywania cukru spiekano w temp. 1300°C przez 60 min w piecu próżniowym (10^{-2} Pa, we wcześniejszej pracy 10^{-2} mbar). Obserwacje SEM otrzymanych spieków uwidoczniły różnice w kształcie porów, które odwzorowały kształty użytych porogenów. Nie jest jasne skąd i na jakiej podstawie podano w Autoreferacie wartości uzyskanej porowatości w próbkach ok. 75%. Nie ma tego w artykule H2. Badanie XRD wykazały również i w tym przypadku obecność tytanu i tlenku tytanu (rutylu). Zaskakuje stwierdzenie, że nie wykazano obecności sacharozy, co miało miejsce w poprzedniej pracy. W tym artykule, w przeciwieństwie do pierwszego, podano właściwości mechaniczne wytworzonych pianek tytanowych. Wykresy naprężenie-odkształcenie miały typowy wygląd krzywych uzyskiwanych dla porowatego tytanu o wysokiej porowatości. Otrzymane wartości maksymalnego naprężenia przy ściskaniu były niekorzystnie znacznie mniejsze niż podawane w literaturze dla innych podobnych materiałów. Różnił się również wpływ kształtu porów na właściwości mechaniczne otrzymane w **H2** od tych opisywanych w literaturze. Niestety Autorzy nie podają metodologii wyznaczania właściwości mechanicznych. W przeciwieństwie do danych literaturowych, próbki z porami wielościennymi miały wyższą wytrzymałość. Niestety Autorzy nie podjęli się dyskusji tych wyników, skąd takie różnice wynikają, co obniża wartość publikacji.

Artykuł **H6** jest pewną kontynuacją i rozszerzeniem badań opisanych w **H2**. Oprócz dwóch różnych geometrii kryształów cukru: wielościennych i kulistych, zastosowano dwa różne rozmiary proszków tytanowych: 100 i 325 mesh. Próbki miały projektowane porowatości 50, 60 i 70%. Po spieczeniu, pianki tytanowe poddano szczegółowej analizie morfologicznej z wykorzystaniem mikrotomografii komputerowej i dostępnego oprogramowania CTAn. Dodatkowo przeprowadzono obserwacje mikroskopowe SEM. Autorzy wskazują dużą zbieżność projektowanej i uzyskanej porowatości, chociaż nie podają danych ilościowych. Na podstawie zdjęć z SEM można stwierdzić, że zastosowanie większych rozmiarów proszku Ti sprzyja procesowi spiekania. Parametry geometryczne pozyskane z mikrotomografii różniły się dla różnych projektowanych porowatości, użytych proszków tytanowych i kształtu porogenu. Dla wszystkich otrzymanych struktur geometria odbiegała od geometrii kości gąbczastej. Wyznaczono również wpływ geometrii pianek na wybrane właściwości mechaniczne. Wykazano prawidłową zależność obniżania się sztywności i wytrzymałości wraz ze wzrostem porowatości. W tym badaniach, w przeciwieństwie do opisanych w **H2**, pory sferyczne wykazywały większą wytrzymałość, co odpowiada doniesieniom literaturowym.



Interesujące i wartościowe badania opisano w publikacji **H7**. Obserwowano zachowanie struktury porowatego tytanu poddawanego jednoosiowemu ścisnaniu w czasie próby mechanicznej za pomocą mikrotomografii. Podczas skanowania próbek przerywano proces ścisnienia. Zauważono korelację między zmianami w mikrostrukturze próbek a właściwościami mechanicznymi. Uwidoczniono powstawanie uszkodzeń w postaci pęknięć ścianek w materiałach porowatych, co miało swoje odzwierciedlenie na wykresach naprężenie-odkształcenie.

Dopełnieniem prac w temacie porowatego tytanu są wyniki zamieszczone w publikacji **H10**. Podobnie jak w przednio omawianych artykułach, badania XRD spieczonych próbek uwidoczniły dwie główne fazy: $Ti\alpha$ oraz TiO_2 , rutil. Autorzy oszacowali na podstawie zdjęć z SEM, że grubość warstwy rutylu na tytanie wynosi od 10-35um. Przeprowadzono również ważne badania XPS potwierdzające obecność takich pierwiastków jak Ti, O, N, i C. Świadczy to przede wszystkim o znaczącym utlenieniu powierzchni pianek oraz występowaniu zanieczyszczeń. W tej samej pracy zaprezentowano wyniki badań nanoindentacji powierzchni porowatych próbek. Wyniki tych badań wywołują pytania dotyczące przygotowania powierzchni do badań i samych pomiarów. Skoro, na powierzchni próbek występuje stosunkowo gruba warstwa tlenkowa, to czy mierzono sztywność tytanowego podłoża, czy też ceramiki na powierzchni próbek. Ponadto jak wskazali Autorzy na wyniki nanoindentacji może również wpływać obecność mikroporów w strukturze pianek. Po raz pierwszy tej pracy podano wyniki badań biologicznych dla uzyskanych „metodą spiekania z cukrem” pianek tytanowych. Były to testy MTT przeprowadzone w celu oceny żywotności komórek kostnych NHost w próbce pośredniej. Wykazały one brak toksyczności wytworzonych pianek. Są to ważne wyniki biorąc pod uwagę przyszłe zastosowania w medycynie. Oczywiście warto byłoby przeprowadzić jeszcze wiele innych badań biologicznych oceniających szybkość proliferacji oraz różnicowanie skomórek, etc., zanim stwierdzi się przydatność opracowanych pianek na implanty kostne.

W pracy **H5** wykazano, że opracowana metoda dla czystego tytanu może być z powodzeniem zastosowana do wytwarzania porowatych materiałów kompozytowych Ti-Bioszko-Ag. Proszek kompozytowy przygotowano w zespole Prof. Mieczysława Jurczyka. W tym przypadku użyto kryształów wielościennych. Podobnie jak w przypadku tytanu w otrzymanych piankach kompozytowych występowały duże pory (0,5-1mm) połączone i mniejsze pory (5-100um) pomiędzy spiekanyimi cząstkami. Niestety duża porowatość w połączeniu z bioszkiem spowodowały, że uzyskany materiał był kruchy, co uwidoczniono na krzywej naprężenie-odkształcenie. Wytrzymałość na ścisnienie wyniosła zaledwie ok. 1.5MPa. Natomiast inne cenne właściwości osiągnięto dla tego materiału; obecność srebra (1%wag.) w stopie spowodowała jego działanie antybakteryjne.

Kolejnym osiągnięciem Habilitanta, opisanym w pracy **H3** było wytworzenie pianek na bazie tantalum. Podobnie jak w przypadku tytanowych, pianki tantalowe wytwarzano rozpoczynając od przygotowania mieszaniny proszku tantalowego i środka porotwórczego - kryształów cukru, o różnym udziale objętościowym. Mieszaninę prasowano pod ciśnieniem 1000MPa i spiekano w temperaturze 2000°C. Wytworzono próbki o 3 różnych porowatościach, zbliżonych do projektowanych: 50, 60 i 70%. Badania XRD uwidoczniły obecność oprócz tantalum również węgliku tantalum. Źródłem węgla mogły być pozostałości po sacharozie. Brakuje informacji o obecności



tlenku tantalumu. Z badań mechanicznych pianek tantalowych wynika, że jedynie próbki o porowatości ok. 50% miały wytrzymałość przy ścisaniu powyżej 30MPa. Powstaje pytanie, dlaczego właściwości pianek tytanowych wykazały wyższe właściwości mechaniczne w przypadku większych porowatości w porównaniu do tantalowych.

Na szczególną uwagę zasługują osiągnięcia Habilitanta dotyczące wytwarzania materiałów porowatych na bazie tytanu w procesie „odstopowania” magnezu. Badania w tym obszarze prowadzone były w ramach projektu NCN DEC-2014/15/D/ST8/03969 pt. „Zbadanie procesu wytwarzania i właściwości pianek metalowych na bazie nanokrystalicznych stopów tytanu beta w procesie odstopowania magnezu”, którego Dr Adamek był kierownikiem. Wyniki tych badań zostały opisane w 4 artykułach: **H8**, **H9**, **H11** i **H12**. Pierwszym etapem w tych pracach było wytworzenie stopów Ta lub Ti z dodatkiem Mg w procesie mechanicznej syntezy. W publikacji **H8** wytworzono proszki Ta-20Ti-30Mg i Ta-20Ti-40Mg, Ta-30Ti-30Mg oraz Ta-30Ti-40Mg. Po 15-20 godzinach mielenia uzyskano stop Ta z rozpuszczonymi prawdopodobnie w jego strukturze Ti i Mg. Poszerzenie plików XRD sugeruje zmniejszenie rozmiarów kryształów wyjściowych materiałów. Powstaje jednak pytanie czy są to deklarowane przez Autorów rozmiary nanometryczne, wyliczone z metody Williamsona-Halla. Dodatkowe badania TEM mogłyby to potwierdzić. Badania TEM wykonano w przypadku prac nad stopami Ti-30Ta-30Mg, Ti-30Ta-40Mg, Ti-30Ta-50Mg, zaprezentowanych w publikacji **H11**. Uwidoczniły one, po 40 godzinach mielenia, ziarna o rozmiarach od 10 do 100nm. Wielkość ziarna rosła wraz z wzrostem udziału Mg. Jak słusznie stwierdzono, nanostruktura może sprzyjać dyfuzji Mg na zewnątrz stopu. Niestety nie potwierdzono tego w badaniach XRD dla stopów na osnowie tytanu [**H11**]. Badania XRD wykonano tylko dla stopów na osnowie tantalumu [**H8**]. Po spiekaniu w temp. 1500°C, uwidoczniła się główną fazę Ta. Nie wykazano obecności Mg zakładając, że pierwiastek ten całkowicie odparował ze stopu. Należałoby to potwierdzić również innymi metodami, np. TEM. Pojawiły się również piki odpowiadające tlenkom Ta₂O, TiO₂, MgO₂. Autorzy piszą, że tlenki są obecne w warstwie wierzchniej, jednak nie dostarczają dowodów tych stwierdzeń. Podobne obserwacje prezentowane są w publikacji **H9**, gdzie użyto podobnej metody „odstopowania”, w przypadku stopów z układu Ta-45S5-Mg. Po procesie spiekania oprócz Ta pojawił się tlenek tantalumu oraz związek tantalumu z krzemem. W badaniach nie ujawniono tlenku magnezu, chociaż jest z pewnością obecny w powstałej piance, podobnie jak w omawianych wcześniej stopach. W pracy **H12** gdzie podjęto próbę wytworzenia porowatego stopu z układu Ti₂₀Nb₅Zr₃₀Mg, skupiono się głównie na analizie fazowej proszków powstałych w procesie mechanicznej syntezy. Uwidoczniła ona interesującą przemianę fazową z wyjściowego Ti α na Ti β . Czyli po 40 godzinach mielenia otrzymano stop Ti β o rozdrobnionej strukturze.

Najistotniejszym osiągnięciem badań opisanych w powyższych publikacjach były końcowe efekty spiekania przygotowanych proszków. Wytworzono porowate struktury trójwymiarowe, w których pory powstawały w wyniku odparowania Mg zawartego w proszkach wyjściowych. Na zdjęciach mikroskopowych uwidoczniła się sieć „ucieczki” magnezu tworząca siatkę połączonych porów o wielkości od kilku do 170 mikrometrów. Porowatość mierzona metodą microCT wynosiła ok. 40%, przy teoretycznej wartości ponad 70%. Jednym z powodów niższej porowatości jest kurczenie się materiału w procesie spiekania. Niestety obecność skurczu nie



została udowodniona i nie oszacowano ilościowo skurczu. Porowatość całkowitą (otwarta i zamknięta) oszacowana na podstawie zdjęć SEM, wg. nieopisanej w pracy metody, wynosiła ok. 70%. Wprowadzenie porowatości prowadziło do pogorszenia właściwości mechanicznych stopów porowatych. Wykonano również badania twardości, które wskazały na jej podwyższenie po procesie spiekania, co według Habilitanta wynikało z umocnienia roztworowego. Stwierdzenie te nie zostało poparte żadnym dowodem.

Przeprowadzono również badania biologiczne wybranych porowatych spieków. Stopy z układu Ti-Ta oraz Ta-45S5 nie wykazały toksyczności zarówno w stosunku do osteoblastów jak i fibroblastów.

Ostatnia grupa osiągnięć dotyczyła opracowania metod modyfikacji powierzchni materiałów porowatych, uzyskanych dwiema omawianymi powyżej metodami. W artykule **H4** porowaty tytan otrzymany w procesie mechanicznej syntezy z usuwaniem cząstek cukru został zmodyfikowany poprzez elektrochemiczne osadzanie srebra. Mniejsze pory na powierzchni ścianek porów stawały się miejscem zarodkowania dla kryształów srebra, które układały się w struktury rozgałęzione. Trochę inną morfologię miały struktury srebra wytworzone w procesie elektrochemicznego osadzania na porowatym stopie Ti₂₀NbZr powstałym w wyniku „odstopowania” magnezu [**H12**]. Osadzone srebro występowało na powierzchniach ścianek porów zarówno jako pojedyncze nanocząstki jak i większe dendrytyczne wydłużone cząstki. Dodatkowo dłuższe trawienie Ti₂₀NbZr w HF skutkowało silnym rozwinięciem powierzchni spieczonych próbek. Dla tak przygotowanych próbek wykonano badania cytotoxycznosci z użyciem testu MTT oraz komórek fibroblastów oraz osteoblastów. Żywotność po 24h dla próbek była ok. 60%, czyli poniżej dopuszczalnej wartości 70%. Z czasem żywotność komórek rosła. Jednak dla próbek z większą zawartością srebra niska żywotność komórek była oznaką toksycznego działania materiału. Natomiast wykazano, że obecność srebra sprzyjała antybakteryjnym właściwościom opracowanych materiałów.

Podobnie korzystne właściwości bakteriobójcze uzyskano dla porowatych materiałów z układu Ti-Ta-Ag, wytworzone tym razem w metodzie mechanicznej syntezy z udziałem mocznika jako porogenu i opisane w ostatniej pracy z cyklu - **H13**. Autorzy wykazali możliwość wytworzenia stopów Ti-Ta-Ag o dużej porowatości całkowitej rzędu 70% i wielkości porów od pojedynczych mikrometrów do 200 um. Duża porowatość wpłynęła na obniżenie wytrzymałości i sztywności badanych materiałów. Dodatkowo nowe stopy charakteryzują się relatywnie dobrą odpornością na korozję oraz zwilżalnością jak również brakiem cytotoxycznosci.

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że wyniki prezentowane w osiągnięciu naukowym, cyklu 13 publikacji naukowych, Habilitanta wnoszą istotny wkład do dyscypliny Inżynieria materiałowa. Poszerzają wiedzę w obszarze metod wytwarzania materiałów porowatych. W szczególności ważne są wyniki dotyczące opisu wpływu zastosowanych metod na strukturę i wybrane właściwości otrzymywanych materiałów porowatych.

Na uwagę zasługują następujące osiągnięcia Pana dr. inż. Grzegorza Adamka:



- Opracowanie prostej i taniej metody wytwarzania porowatych materiałów metalicznych na bazie tytanu i tantalu z wykorzystaniem kryształów cukru jako środka porotwórczego.
- Opracowanie metody wytwarzania porowatych materiałów metalicznych na bazie tytanu i tantalu z wykorzystaniem procesu „odstopowania” magnezu.
- Wykazanie, że opracowane metody można stosować do wytwarzania porowatego tytanu, tantalu, porowatych kompozytów Ti-bioszkło i Ta-bioszkło, oraz porowatych stopów Ti-Ta, Ta-Ti, Ti-Nb-Zr, o różnym stopniu porowatości i wielkości porów.
- Wykazanie, że dla wybranych materiałów porowatych wytwarzanych obiema metodami możliwe jest przeprowadzenie modyfikacji powierzchni stosując elektrochemiczne trawienie i osadzanie srebra.
- Wykazanie na podstawie badań wstępnych korzystnych właściwości niektórych wytworzonych materiałów biorąc pod uwagę przyszłe zastosowania na implanty kostne.

Do słabszych stron osiągnięcia należy zaliczyć dość ogólnikowo napisane niektóre fragmenty Autoreferatu oraz publikacji naukowych, bez wymaganej dyskusji naukowej. We wprowadzeniu Autoreferatu zabrakło właściwego przedstawienia, w świetle aktualnych osiągnięć światowych, konieczności prowadzenia badań w tematyce habilitacji. Analizując publikacje Habilitanta niektóre Jego wnioski nie zostały potwierdzone właściwymi badaniami w sposób ilościowy. Występują również braki w opisie metodyki badawczej. Ponadto brakuje kluczowych badań zmęczeniowych, skoro aplikacją mają być implanty kostne. Niektóre wielkości/parametry wyznaczone w badaniach nie były nazywane poprawnie. Na przykład w Autoreferacie Pan Doktor wielokrotnie nazywa Modułem Younga moduł sprężystości wyznaczony w statycznej próbie ściskania. Moduł Younga wyznacza się prawidłowo w statycznej próbie jednoosiowego rozciągania. Używano terminu cząsteczki zamiast cząstki tytanu. Ponadto wielokrotnie porównuje się właściwości mechaniczne wytworzonych materiałów i kości nie zestawiając metod w jaki sposób były wyznaczone. Ponadto opis struktur porowatych były często wysoce uproszczone. W przypadku porów odbiegających od sferycznych podawanie wymiaru porów w postaci „średnicy porów” jest nieuzasadnione. Autorzy prac powinni również wskazać jak ten wymiar był wyznaczany. W Autoreferacie i artykułach pojawiły się również drobne literówki i błędy edytorskie. Jakość niektórych rysunków jest niewystarczająca do oceny ich zawartości.

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że mimo drobnych uchybień uzyskane osiągnięcia doktora Grzegorza Adamka, przedstawione w jednotematycznym cyklu 13 publikacji, stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej – Inżynieria Materiałowa z punktu widzenia rozwoju wiedzy w obszarze wytwarzania i charakteryzowania porowatych materiałów metalicznych na bazie tytanu i tantalu. Wyniki badań Habilitanta mogą przyczynić się do rozwoju obszaru biomateriałów na implanty kostne.

3. Aktywność naukową realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.



Pan doktor Grzegorz Adamek swoją aktywność naukową realizował głównie w Politechnice Poznańskiej. Odbił jeden roczny staż naukowy krajowy w okresie 02.01.2021-31.12.2021 w Zakładzie Technologii Kształtowania, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Obróbki Plastycznej. Brał udział w realizacji projektu Lider XI pt.: Materiał narzędziowy nowej generacji na osnowie tytanu wytwarzany w szybkim procesie spiekania iskrowo-plazmowego. Powodził prace badawcze związane z wytwarzaniem proszków kompozytowych WC-Ti metodą wysokoenergetycznego mielenia kulowego. Wykonywał również badania XRD oraz SEM. W dokumentacji nie wykazano publikacji lub innych wyników aktywności naukowej powstałych w ramach tego stażu.

Dr inż. Adamek odbył również trzy czteromiesięczne staże przemysłowe w Laboratorium Badawczo-Konstrukcyjnym Zawiesi. Wykonywał zadania związane z oceną stanu technicznego, projektowaniem i walidacją urządzeń mechanicznych.

W dokumentacji nie wykazano aktywności naukowej w ramach staży zagranicznych.

Na podstawie powyższych przykładów, można stwierdzić, że Pan dr inż. Grzegorz Adamek w sposób wystarczający wykazuje się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej uczelni.

4. Ogólna ocena aktywności Habilitanta

Pan dr inż. Grzegorz Adamek prowadzi aktywną działalność naukową. Dorobek publikacyjny Habilitanta składa się w sumie z **35** prac (z czego **28** po doktoracie). Większość z nich zamieszczone są w czasopismach z listy „*Journal Citation Reports*”. W większości prac Kandydat był pierwszym autorem. Przedstawiony dorobek mieści się w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Prace Habilitanta są licznie cytowane – liczba cytowań wg bazy Scopus bez autocytowań wynosi **234**, zaś indeks H równy jest **11**. Był również współautorem **4** patentów. Pan Doktor prezentował wyniki badań na **21** konferencjach krajowych i międzynarodowych. Wygłosił **5** wykładów na zaproszenie w Glasgow, Lizbonie, San Diego, Białowieży oraz Doha. Brał udział w realizacji **5** krajowych projektów badawczych. W jednym z nich pełnił rolę kierownika (NCN). Za działalność naukową uzyskał wielokrotnie Nagrodę Rektora Politechniki Poznańskiej. Pełnił także funkcję Review editor w czasopismach *Frontiers in Ceramics* oraz *Frontiers in Materials*. Ponadto wykonał 307 recenzji prac publikowanych w czasopismach międzynarodowych.

Pan dr inż. Grzegorz Adamek prowadzi również aktywną działalność dydaktyczną prowadząc zajęcia dla studentów I i II stopnia z obszaru Inżynieria Materiałowa. Były to wykłady z takich przedmiotów jak np.: Materiałoznawstwo, Nauka o materiałach z elementami chemii, Właściwości nanomateriałów, Synteza nanomateriałów. Oprócz wykładów prowadzi zajęcia projektowe i laboratoryjne, za które został wyróżniony przez studentów.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Habilitant był promotorem pomocniczym **2** przewodów doktorskich: Pana Mikołaja Kozłowskiego (2023) oraz Pana Mateusza Sopata (2020). Pełnił również rolę promotora **13** prac dyplomowych magisterskich i **19** inżynierskich.



W ramach działań popularyzujących naukę Pan Doktor współorganizował Pierwszy Ogólnopolski Dzień Inżynierii Materiałowej w Politechnice Poznańskiej oraz Noc Naukowców i warsztaty dla uczniów szkół średnich.

W ramach doskonalenia się Habilitant odbył wiele staży, między innymi w zakresie mikroskopii elektronowej.

Podsumowując, Dr inż. Grzegorza Adamka posiada bardzo dobry dorobek naukowy i publikacyjny, który został znacząco powiększony po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Na uwagę zasługują również duża aktywność dydaktyczna oraz organizacyjna Kandydata.

4. Wniosek końcowy

Dr inż. Grzegorz Adamek po uzyskaniu stopnia naukowego doktora w 2012 prowadził aktywną działalność naukowo-badawczą w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Wniósł istotny wkład w rozwój wiedzy w obszarze porowatych materiałów metalicznych, który polega przede wszystkim na opracowaniu nowych metod generowania porowatości otwartej w materiałach na bazie tytanu oraz tantalum. Osiągnięcia badawcze opisał w cyklu 13 powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach z listy JCR.

Pan Dr inż. Adamek wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej. Oprócz prac w Politechnice Poznańskiej, prowadził badania w Sieci Badawczej Łukaszewicz – Instytucie Obróbki Plastycznej.

Na podstawie analizy dokumentacji habilitacyjnej Dr. inż. Grzegorza Adamka można stwierdzić, że posiada znaczące osiągnięcia naukowe i spełnia wszystkie wymagania określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (art. 219 ust. 1 pkt. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.), dla uzyskania stopnia doktora habilitowanego. W związku z czym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Poznańskiej, o **nadanie dr. inż. Grzegorzowi Adamkowi stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.**