



Warszawa, 12.05.2024 r.

DF-64/66/2024

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

Recenzja

dorobku naukowego **Dr. inż. Tomasza Buchwalda**
ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia
pt. *„Spektroskopia Ramana w ocenie właściwości, modyfikacji i potencjału
aplikacyjnego materiałów biomedycznych”*

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, prof. PP o wykonanie recenzji dorobku habilitacyjnego dr. inż. Tomasza Buchwalda na temat: „Spektroskopia Ramana w ocenie właściwości, modyfikacji i potencjału aplikacyjnego materiałów biomedycznych”.

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 Kandydata

Pan dr inż. Tomasz Buchwald uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyka na Wydziale Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej, 26 czerwca 2014 r. Rozprawa doktorska zatytułowana była: „Metody spektroskopii Ramana w badaniach materiałów biologicznych na przykładzie ludzkiej tkanki kostnej”. Promotorem pracy doktorskiej był Dr hab. inż. Marek Kozielski, prof. PP, zaś recenzentami Prof. dr hab. inż. Alina Dudkowiak oraz Prof. dr hab. inż. Ryszard Krzymiński. Potwierdzeniem uzyskania stopnia doktora jest dołączona kopia dyplomu z dnia 17 marca 2015 r.

Pan dr inż. Tomasz Buchwald od 2013 r. pracuje na Politechnice Poznańskiej. Najpierw był zatrudniony na stanowisku asystenta, a od 2018 r. jest adiunktem na Wydziale Fizyki Technicznej. Od 2020 r. pracuje jako adiunkt na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, gdzie prowadzi aktywną działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną.

Pan Doktor zajmuje się tematyką badań materiałowych metodami spektroskopowymi od pracy magisterskiej. W ramach pracy doktorskiej skoncentrował się na zastosowaniu spektroskopii Ramana w badaniach materiałów biologicznych - tkanki kostnej. Kontynuacją tych badań są prace badawcze prowadzone w latach 2014-2023, będące podstawą dorobku habilitacyjnego.

Podsumowując powyższe rozważania, Pan dr inż. Tomasz Buchwald spełnia warunek konieczny do stopnia doktora habilitowanego – posiada stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki nadany uchwałą Rady Wydziału Fizyki Technicznej z dnia 26.06.2014 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 Kandydata

Jako podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa, dr inż. Tomasz Buchwald 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 16 powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zebranych pod jednym tytułem: „Spektroskopia Ramana w ocenie właściwości, możliwości modyfikacji i potencjału aplikacyjnego materiałów biomedycznych”. Artykuły zostały opublikowane w latach



2014-2021. 15 publikacji powstało po uzyskaniu stopnia doktora. 1 publikacja ukazała się w 2014 roku, jednak nie dotyczy tematyki doktoratu.

W skład cyklu wchodzi następujące prace:

- **H1.** Z. OKULUS, T. **BUCHWALD**, M. SZYBOWICZ, A. VOELKEL: Study of a new resin-based dental composites containing hydroxyapatite filler using Raman and infrared spectroscopy. *Materials Chemistry and Physics* 145 (2014) 304–312; IF2014: 2,503; MEiN: 35; Liczba cytowań: 20
- **H2.** Z. OKULUS, T. **BUCHWALD**, A. VOELKEL: Characterization of light-cured, dental-resin-based biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science* 132 (2015) 42812 1–10; IF2015: 1,647; MEiN: 25; Liczba cytowań: 14
- **H3.** Z. OKULUS, B. STRZEMIECKA, B. CZARNECKA, T. **BUCHWALD**, A. VOELKEL: Surface energy of bovine dentin and enamel by means of inverse gas chromatography. *Materials Science & Engineering C* 49 (2015) 382–389; IF2015: 3,861; MEiN: 25; Liczba cytowań: 14
- **H4.** Z. OKULUS, T. **BUCHWALD**, A. VOELKEL: Calcium release from experimental dental materials. *Materials Science & Engineering C* 68 (2016) 213–220; IF2016: 4,487; MEiN: 30; Liczba cytowań: 15
- **H5.** M. PIETRZYŃSKA, J. ZEMBRZUSKA, R. TOMCZAK, J. MIKOŁAJCZYK, D. RUSIŃSKA-ROSAK, A. VOELKEL, T. **BUCHWALD**, J. JAMPÍLEK, M. LUKÁČ, F. DEVÍNSKY: Experimental and in silico investigations of organic phosphates and phosphonates sorption on polymer-ceramic monolithic materials and hydroxyapatite. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 10 (2016) 295–303; IF2016: 3,866; MEiN: 35; Liczba cytowań: 6
- **H6.** T. **BUCHWALD**, Z. OKULUS, M. SZYBOWICZ: Raman spectroscopy as a tool of early dental caries detection - new insights. *Journal of Raman Spectroscopy* 48 (2017) 1094–1102; IF2017: 2,353; MEiN: 30; Liczba cytowań: 27
- **H7.** Z. OKULUS, T. **BUCHWALD**, B. CZARNECKA, A. VOELKEL: The effect of bonding system application on surface characteristics of bovine dentin and enamel. *Materials Science & Engineering C* 76 (2017) 1224–1231; IF2017: 5,260; MEiN: 30; Liczba cytowań: 5
- **H8.** T. **BUCHWALD**, Z. OKULUS: Determination of storage solutions influence on human enamel by Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy* 96 (2018) 118–124; IF2018: 1,844; MEiN: 25; Liczba cytowań: 6
- **H9.** M. SANDOMIERSKI, T. **BUCHWALD**, B. STRZEMIECKA, A. VOELKEL: Modification of Ti6Al4V surface by diazonium compounds. *Spectrochimica Acta Part A* 191 (2018) 27–35; IF2018: 2,665; MEiN: 30; Liczba cytowań: 13
- **H10.** T. **BUCHWALD**, Z. BUCHWALD: Assessment of the Raman spectroscopy effectiveness in determining the early changes in human enamel caused by artificial caries. *Analyst* 144 (2019) 1409–1419; IF2019: 3,929; MEiN: 100; Liczba cytowań: 19
- **H11.** M. ZIELIŃSKA, T. **BUCHWALD**, M. MARANDA, A. VOELKEL: Siliceous-based monolithic materials coated with a hydroxyapatite layer: Preparation and investigation of drug affinity by Raman spectroscopy. *Journal of Raman spectroscopy* 50 (2019) 1722–1730; IF2019: 2,272; MEiN: 70; Liczba cytowań: 2



- **H12.** Z. OKULUS, M. SANDOMIERSKI, M. ZIELIŃSKA, **T. BUCHWALD**, A. VOELKEL: Zeolite fillers for resin-based composites with remineralizing potential. *Spectrochimica Acta Part A* 210 (2019) 126–135; IF2019: 2,848; MEiN: 140; Liczba cytowań: 16
- **H13.** M. SANDOMIERSKI, **T. BUCHWALD**, A. VOELKEL: The possibility of the polyurethane layer attachment to the unmodified and diazonium-modified titanium alloy applied as potential biomaterial. *Surface & Coatings Technology* 385 (2020) 125389; IF2020: 3,958; MEiN: 100; Liczba cytowań: 7
- **H14.** M. SANDOMIERSKI, **T. BUCHWALD**, A. PATALAS, A. VOELKEL: Improving the abrasion resistance of Ti6Al4V alloy by modifying its surface with a diazonium salt and attaching of polyurethane. *Scientific Reports* 10 (2020) 19289; IF2020: 5,134; MEiN: 140; Liczba cytowań: 7
- **H15.** M. ZIELIŃSKA, E. CHMIELEWSKA, **T. BUCHWALD**, A. VOELKEL, P. KAFARSKI: Determination of bisphosphonates anti-resorptive properties based on three various forms of ceramic materials: sorption and release process evaluation. *Journal of Pharmaceutical Analysis* 11 (2021) 364–373; IF2021: 10,493; MEiN: 140; Liczba cytowań: 3
- **H16.** **T. BUCHWALD**, Z. BUCHWALD, A. DAKTERA-MICKER: The fluorescence background in Raman spectra of sound enamel. *Vibrational Spectroscopy* 115 (2021) 103275; IF2021: 2.522; MEiN: 40; Liczba cytowań: 4

Wszystkie artykuły z prezentowanego cyklu opublikowane są w czasopismach zawartych w bazie JCR oraz są zaliczane do dyscypliny Inżynieria materiałowa. Wśród czasopism na uwagę zasługują takie pozycje jak: *Scientific Reports*, *Materials Science & Engineering C* (teraz *Biomaterials Advances*), *Analyst*, czy *Journal of Raman Spectroscopy*. Sumaryczny *Impact Factor* oraz sumaryczna liczba punktów ministerialnych czasopism, w których opublikowane zostały artykuły stanowiące osiągnięcie, wynoszą odpowiednio **59,642** i **265**. Co daje średni IF na artykuł **IF=3,728**. Współczynniki wpływu IF mieszczą się w zakresie **1,647-10,493**. Do dokumentacji habilitacyjnej dołączono liczby cytowań dla poszczególnych publikacji. Publikacje były już uznane i wielokrotnie cytowane przez środowisko naukowe.

Wszystkie prace są wieloautorskie. Pan dr inż. Tomasz Buchwald był 4 razy pierwszym i 8 razy drugim autorem, oraz 5 razy pełnił rolę autora korespondencyjnego. Liczba współautorów wynosiła od 2 do 10. Wieloautorstwo wynika z interdyscyplinarnego charakteru badań prezentowanych w publikacjach. Badania te były prowadzone we współpracy z Instytutem Technologii i Inżynierii Chemicznej Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej oraz Uniwersytetem Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu. Współautorzy z Instytut zajmowali się opracowaniem i charakteryzacją biomateriałów. Natomiast autorzy z Uniwersytetu Medycznego pozyskiwali i przygotowywali do badań zęby ludzkie i zwierzęce. Wkład dr. inż. Tomasza Buchwalda w powstanie prac stanowiących osiągnięcie został opisany w Autoreferacie. Obejmował zaplanowanie, przeprowadzenie oraz opisanie w artykułach badań spektroskopowych Ramana. Dodatkowo w przypadku 5 artykułów (H6, H8, H9, H10 i H16) brał udział w opracowaniu koncepcji i koordynacji wszystkich badań oraz tworzeniu całego artykułu. W ramach dokumentacji habilitacyjnej zamieszczono oświadczenia o wkładzie współautorów, z



których można wnioskować o istotnej roli Kandydata w realizacji badań prowadzących do powstania większości artykułów. Habilitant oszacował swój kluczowy wkład w tych 4 pracach (H6, H8, H10, H16), których był pierwszym i korespondencyjnym autorem na poziomie odpowiednio 70%, 80%, 90% i 75%. W pozostałych pracach Habilitant oszacował swój wkład na poziomie od 3x40%, 2x35%, 2x30%, 1x25%, 1x20%, 1x15%, oraz 2x10%.

Cykl publikacji zawiera wyniki badań Habilitanta w obszarze spektroskopii Ramana. Są to prace dotyczące zastosowania metod spektroskopii Ramana w badaniach biomateriałów do odbudowy tkanek twardych zębów i kości (prace H1-H5, H7, H9, H11-H15) oraz detekcji próchnicy zębów (prace H6, H8, H10, H16). Biorąc pod uwagę ten zakres badań tytuł cyklu mógłby być uzupełniony o słowa „i tkanek”, ponieważ pod pojęciem „materiały biomedyczne” kryją się głównie biomateriały.

Tematyka prac badawczych opisanych w cyklu publikacyjnym Habilitanta jest aktualna i dobrze wpisuje się obecne trendy badawcze dotyczące opracowywania nowych materiałów dla zastosowań biomedycznych. Starzejące się społeczeństwo oraz liczne choroby cywilizacyjne zwiększają zapotrzebowanie na nowe rozwiązania w obszarze ogólnie rozumianych „części zamiennych” dla człowieka. Habilitant podzielił swoje badania na 4 grupy. Pierwsza grupa (prace H1-H4, H7, H12) dotyczyła nowych biomateriałów stomatologicznych oraz badania tkanek zęba. Druga grupa to prace: H9, H13, H14, które opisują wyniki modyfikacji powierzchni stopu Ti6Al4V stosowanego w endoprotezach. Materiały do regeneracji tkanki kostnej są tematem wiodących kolejnej grupy prac badawczych Habilitanta (H5, H11, H15). Ostatnia grupa badań związana jest z zastosowaniem spektroskopii Ramana w diagnostyce próchnicy zębów. Badana te zostały opisane w pracach: H6, H8, H10 i H16.

W wszystkich pracach Habilitant wykorzystywał zaawansowaną technikę mikrospektroskopii Ramana. Połączenie spektroskopu Ramana z mikroskopem stanowi wyjątkową technikę, umożliwiającą jednoczesną analizę struktury i składu chemicznego badanych próbek z wysoką rozdzielczością spektralną i przestrzenną. Dodatkowo mapowanie badanego materiału pozwala określić właściwości jego powierzchni oraz w głąb. Mimo szerokiego stosowania spektroskopii Ramana badania niektórych materiałów nadal stanowią wyzwanie ze względu na tłumienie sygnału Ramana lub niszczenie materiału wiązką lasera. Tym wyzwaniem musiał sprostać Dr Tomasz Buchwald badając naturalne tkanki lub związki diazonowe na powierzchni tytanu. Świadczy to o dużym doświadczeniu i znajomości metody przez Habilitanta.

Wiedzę i doświadczenie w obszarze spektroskopii Ramana Habilitant z powodzeniem wykorzystał w ocenie stopnia konwersji monomerów (DC), który determinuje użyteczność utwardzanych w procesie fotopolimeryzacji kompozytów stomatologicznych, co zostało opisane w pracy **H1**. Zmierzył i porównał DC materiału eksperymentalnego, opracowanego przez grupę z Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej PP, z DC materiałów komercyjnych. Wykorzystał również technikę mapowania powierzchni wykazując jednorodność usieciowania kompozytu na całej powierzchni próbki. Stosując tą samą technikę zauważył nierównomierne rozmieszczenie napełniacza w kompozycie i tendencje do jego aglomeracji. Na podstawie wyników badań



spektroskopowych Autorzy stwierdzili, że ze względu na wysokie wartości DC (ok. 91%) badany materiał wskazuje potencjał w zastosowaniach stomatologicznych, jednak wymaga dalszego udoskonalenia.

Na podstawie wartości DC uzyskanych metodą spektroskopii Ramana można pośrednio wyznaczyć inny istotny parametr użytkowy kompozytów stomatologicznych, a mianowicie głębokość utwardzenia (ang. depth of cure, DOC). Habilitant wykorzystał tą zależność i metodę spektroskopową do oceny DOC 5 materiałów: 2 komercyjnych oraz 3 materiałów eksperymentalnych. Wyznaczył wartości DC na różnych głębokościach fotoutwardzanych kompozytów, które zestawiał z badania DOC przeprowadzonym zgodnie z normą ISO. Zauważył, że wyższym wartościom DC towarzyszą wyższe wartości DOC. Jest to jednak zależne od składu badanego materiału. Wyniki tych badań opisano szczegółowo w pracy **H2**.

W artykule **H4** badano stopień uwalniania wapnia z 15 eksperymentalnych materiałów dentystycznych, w tym 12 zawierających fosforany wapnia oraz 2 zawierających bioszkle. Zakłada się, że materiały te będą w stanie odbudować strukturę zniszczonego szkliwa. Habilitant wyznaczył stopień konwersji mieszczący się w przedziale od 42% do 92%. Materiał charakteryzujący się wartością DC poniżej 55% nie spełniają wymagań stawianych materiałom na wypełniania stomatologiczne. Nie zaleziono korelacji pomiędzy wielkością cząstek oraz zawartością napełniacza a wartościami DC. Nie znaleziono również zależności pomiędzy stopniem konwersji, a zdolnością badanych kompozytów do uwalniania jonów wapnia. W tych kompozytów badania spektroskopowe wskazały na jednorodne rozmieszczenie napełniaczy w badanych kompozytach. Nie dokonano jednak porównania wyników z inną metodą oceny rozmieszczenia cząstek w osnowie, np. SEM lub mikroCT, co obniża wartość pracy.

Interesujące materiały kompozytowe były obiektem badań opisanych w pracy **H12**. Wytworzono nowe napełniacze na bazie zeolitów z wbudowanymi jonami wapnia i osadzonym na ich powierzchniach hydroksyapatytem (HAp). Habilitant potwierdził za pomocą spektroskopii Ramana obecność HAp na powierzchni zeolitów, co było nadrzędnym celem badań. Natomiast po wytworzeniu kompozytów na bazie żywic metakrylowych z napełniaczami zeolityowymi zbadał ich rozmieszczenie w osnowie polimerowej. Analiza map potwierdziła w miarę jednorodne rozmieszczenie napełniacza.

Oprócz samego kompozytu skuteczne leczenie wymaga silnej adhezji między kompozytem a tkanką zęba. Adhezja zależy między innymi od energii powierzchniowej obu łączonych materiałów. Ocena energii powierzchniowej fragmentów suchego i mokrego szkliwa, zębiny pobranej z korony zęba i zębiny pobranej z korzenia zęba za pomocą odwróconej chromatografii gazowej była głównym celem badań zaprezentowanych w artykule **H3**. Rolą Habilitanta było potwierdzenie rodzaju badanej tkanki zęba oraz określenie wpływu warunków kondycjonowania tkanek na ich strukturę. Do tego celu użył spektroskopii Ramana. Dla szkliwa i zębiny zaobserwował pasma charakterystyczne dla grup fosforowych i węglowych typowe dla hydroksyapatytu. Natomiast pasma przypisane związkom organicznym (np. kolagen) zostały uwidocznione tylko w zębinie. Habilitant nie zaobserwował różnic pomiędzy widmami zębiny pochodzącej z korony i korzenia. Ponadto zaobserwował niewielkie różnice związane z występowaniem wody w zależności o kondycjonowania tkanek.



Celem poprawy adhezji wypełniania do tkanek zęba stosuje się proces przygotowania powierzchni zęba poprzez trawienie, nałożenie primera i czynnika wiążącego. W pracy **H7** zbadano zmiany powierzchni tkanek zęba po zastosowaniu komercyjnego systemu wiążącego OptiBond. Habilitant wyznaczył i opisał szczegółowo widma ramanowskie charakterystyczne dla składników systemu wiążącego oraz tkanek na każdym etapie modyfikacji ich powierzchni. Zaobserwował obecność grup funkcyjnych występujących w primerze i czynniku wiążącym po nałożeniu ich na tkanki zęba. Tym samym potwierdził proces aplikacji systemu OptiBond.

Kolejne osiągnięcia badawcze dr. inż. Tomasza Buchwalda opisane są w pracach **H9**, **H13**, **H14**, które opisują wyniki modyfikacji powierzchni stopu Ti6Al4V stosowanego w endoprotezach. Poruszają one temat związany z poprawą właściwości tribologicznych stopu tytanu, co może wpłynąć korzystnie na trwałość endoprotez wykonanych z tego materiału. W pracy **H9** autorzy opracowali metodę wytworzenia na powierzchni Ti6Al4V powłoki organicznej ze związków diazoniowych, do której będzie można w kolejnym kroku przyłączyć polimer obniżający współczynnik tarcia. Etapem pośrednim było wytworzenie na powierzchni stopu tlenków tytanu. Habilitant korzystając ze spektroskopii Ramana wykazał wzrost zawartości tlenków wraz ze wzrostem temperatury wygrzewaniem próbek. W kolejnym badaniu pomimo silnej fluorescencji Habilitant uzyskał widoczne pasma, które potwierdziły obecność soli diazoniowej na stopie. Jest to znaczące osiągnięcie w obszarze badań spektroskopowych tego związku. Interesująca jest także metoda zaproponowana przez dr. Buchwalda do oceny ilościowej utworzonej powłoki organicznej. Ocenę taką przeprowadził na podstawie analizy intensywności tła. Pozwoliło to na wskazanie warunków procesu modyfikacji prowadzących do powstania najgrubszych i równomiernie rozłożonych powłok diazoniowych. W pracy brakuje jednak badań porównawczych pomiaru powłok innymi znanymi technikami, które mogłyby potwierdzić dokładność opracowanej metody.

Kontynuacją badań zaprezentowanych w pracy **H9** są prace opisane w artykule **H13**. Dotyczyły one opracowania metody dołączenia poliuretanu do warstwy arylowej umieszczonej wcześniej na powierzchni Ti6Al4V, zgodnie z metodą opracowaną w **H9**. Ponownie rolą Habilitanta było zbadanie osadzonych na metalu powłok. Ponadto korzystając z mapowania ocenił jednorodność uzyskanej powłoki ochronnej, która nie miała jednak wpływu na właściwości mechaniczne całego stopu, jak niesłusznie Habilitant pisze w Autoreferacie. Wpłynęła jedynie na zmianę zwilżalność powierzchni, ze względu na obecność poliuretanu. W pracy **H14** powierzchnię stopu tytanu zmodyfikowano trzema rodzajami soli diazoniowej, otrzymując następujące układy: Ti6Al4V-OH, Ti6Al4V-CH₂OH, Ti6Al4V-CH₂CH₂OH. Habilitant wykazał, że modyfikacja stopu tytanu solą 4-hydroksymetylobenzonodiazoniową (Ti6Al4V-CH₂OH) jest najskuteczniejsza. Ponadto potwierdził obecność powłoki poliuretanowej równomiernie rozmieszczonej na powłoce arylowej. Obecność poliuretanu spowodowało zastanawiająco znaczące obniżenie współczynnika tarcia. W pracy brakuje oceny grubości powłoki oraz jej adhezji do podłoża.

Dr inż. Tomasz Buchwald brał również udział w badaniach nad nowymi substancjami aktywnymi do leczenia osteoporozy. Opracowane przez grupę chemików 11 związków fosforoorganicznych były przedmiotem badań opisanych w pracy **H5**. Głównym celem badań było zbadanie sorpcji nowych związków na hydroksyapatycie, symulującym tkankę kostną. Habilitant wykazał na



podstawie analizy widm HA po sorpcji 3 substancji obecność dodatkowych pasm związanych z występowaniem badanych związków fosforoorganicznych. Jest to istotny wynik z punktu widzenia przyszłej aplikacji opracowanych substancji w leczeniu osteoporozy.

Interesujące badania opisuje praca **H11**. Dokonano syntezy materiałów na bazie krzemionki i hydroksyapatytu, które miały stymulować strukturę tkanki kostnej w badaniach sorpcji leku antyresorpcyjnego. Habilitant odegrał kluczową rolę w ocenie skuteczności syntezy monolitów Si-HA oraz sorpcji ryzedronianu sodu na wytworzonych próbkach monolitów.

Inne materiały „kościopodobne” do badania sorpcji związków bisfosfonianowych zostały opisane w pracy **H15**. Habilitant podjął się charakteryzacji tych materiałów tj. folii z PCL, folii PCL zawierającej HA, oraz folii PCL z warstwą HA. Korzystając z spektroskopii Ramana wykazał obecność HA w wytworzonych foliach.

Na szczególną uwagę zasługuje ostanía grupa osiągnięć naukowych dr. inż. Tomasza Buchwalda dotycząca zastosowania spektroskopii Ramana w diagnostyce próchnicy zębów. Powstały one w ramach realizacji kierowanego przez Habilitanta projektu pt.: *Ocena skuteczności metody mikrospektroskopii Ramana w analizie przebudowy struktury szkliwa ludzkich zębów we wczesnym stadium próchnicy*, który był finansowy ze środków Narodowego Centrum Nauki. Przeprowadzone badania są odpowiedzią na potrzeby wczesnego rozpoznania zmian próchnicowych, co powinno zwiększyć skuteczność ich leczenia. Mimo znanych metod, także spektroskopowych, nadal istnieje potrzeba nowych dokładniejszych i szybszych sposobów wykrywania próchnicy. Habilitant zaproponował wykorzystanie nowych parametrów takich jak położenie, szerokość połówkowa (FWHM), kształt pasma Ramana oraz intensywności tła do określania specyficznych zmian w składzie i strukturze szkliwa zębów ludzkich dotkniętych próchnicą. Czułość zaproponowanych parametrów na zmiany wywołane próchnicą oceniał prowadząc badania na tkankach zębów. W pracy **H6** badał próchnicę powstałą naturalnie. Wykazał, po raz pierwszy, że parametry spektralne tj. położenie i kształt pasma silnie korelują z progresją próchnicy. Natomiast zmiany FWHM nie są skorelowane z postępem choroby zęba. W pracy **H16** Habilitant wykazał znaczenie analizy tła w widmie Ramana szkliwa w diagnostyce próchnicy. Zaobserwował zmiany intensywności tła w widmie Ramana spowodowane próchnicą i osadem, które dobrze korelowały z wynikami uzyskanymi typowym urządzeniem stosowanym w stomatologii do wykrywania próchnicy. W pracy **H10** Habilitant badał próchnicę uzyskaną w warunkach laboratoryjnych, poprzez demineralizację szkliwa. Okazało się jednak, że kształt pasma, który był charakterystycznym parametrem zmian próchnicowych naturalnych, nie zmieniał się w szkliwie z próchnicą wytworzoną sztucznie. Natomiast podobnie jak w badaniu próchnicy naturalnej, zaobserwowano, że wartość opisująca położenie pasma Ramana rośnie wraz z demineralizacją szkliwa. Średnia wartość tego parametru uzyskana dla szkliwa z wywołaną sztucznie próchnicą odpowiadała wartościom uzyskanym przy badaniu próchnicy naturalnej. Współczynniki depolaryzacji i anizotropii polaryzowalności również pokrywały się z wynikami uzyskanymi dla zęba z naturalną próchnicą. Jest to istotne z punktu widzenia oceny poprawności opracowanej metodyki badawczej. Istotny w badaniach zębów po ekstrakcji jest ich sposób przechowywania. W pracy **H8** Habilitant zbadał wpływ 12 najczęściej stosowanych roztworów kondycjonujących na powierzchnię szkliwa. Analizował zmiany wartości parametrów



spektralnych pasma oraz tła w widmie Ramana uzyskane na powierzchni szkliwa, które rejestrował przed zanurzeniem oraz po 30 i 90 dniach od umieszczenia zęba w roztworze. Wykazał, że wybór roztworu kondycjonującego ma istotne znaczenie w badaniach zębów, gdyż może zmieniać ich skład w czasie przechowywania.

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że wyniki badań dr. inż. Tomasza Buchwalda zaprezentowane w cyklu **16** publikacji naukowych stanowią znaczące osiągnięcia naukowe i wnoszą istotny wkład do dyscypliny Inżynieria materiałowa. Szereg z badań Habilitanta ma charakter nowatorski i doprowadziło do wskazania kierunków badań w diagnostyce próchnicy zębów lub wstępnie potwierdziło potencjał aplikacyjny innowacyjnych biomateriałów w stomatologii i implantologii. Szczególnie ważne są osiągnięcia dotyczące opracowanych nowych metod badawczych wykorzystujących mikrospektroskopię Ramana, o wysokiej rozdzielczości spektralnej i przestrzennej, do oceny właściwości kompozytów światłoutwardzalnych, materiałów bioceramicznych, warstw organicznych, oraz naturalnych tkanek zębów prawidłowych i zmienionych chorobowo. Należy podkreślić, że wyniki badań spektroskopowych przeprowadzonych przez Habilitanta odegrały istotną rolę w pracach badawczych opisanych w artykułach H1-H16.

Do słabszych stron osiągnięć Habilitanta należy zaliczyć dość ogólnikowo napisane niektóre fragmenty Autoreferatu oraz publikacji naukowych, bez wymaganej jakości dyskusji naukowej. We wprowadzeniu Autoreferatu zabrakło właściwego przedstawienia stanu wiedzy w tematyce habilitacji. Brakuje szczegółowej dyskusji na temat wpływu cząstek napełniaczy w kompozytach oraz jednorodność ich rozmieszczenia na wyniki badań spektroskopią Ramana oraz na wyliczone na ich podstawie stopień konwersji, głębokość utwardzenia, etc. Ponadto brakuje często kluczowych badań porównawczych innymi niż spektroskopowymi technikami pomiarowymi. Na przykład, rozmieszczenie napełniacza w kompozytach nie było dla porównania badane innymi metodami tj. SEM czy mikroCT. Pominięto często dokładne badania mikrostrukturalne oraz badania właściwości mechanicznych, które w przyszłych aplikacjach badanych materiałów odgrywają istotne znaczenie.

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że mimo drobnych uchybień uzyskane osiągnięcia doktora Tomasza Buchwalda, przedstawione w jednotematycznym cyklu 16 publikacji, stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej – Inżynieria Materiałowa z punktu widzenia rozwoju wiedzy w obszarze badań spektroskopowych materiałów biomedycznych i biologicznych. Wyniki badań Habilitanta mogą przyczynić się do rozwoju biomateriałów na wypełnienia stomatologiczne oraz zrozumienia procesów towarzyszących próchnicy zębów.



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

Pan doktor Tomasz Buchwald swoją działalność naukową prowadził głównie w Politechnice Poznańskiej. Poza tym odbył jeden **4 miesięczny** staż naukowy krajowy w okresie 01.10.2019-31.01.2020r. w Klinice Wad Rozwojowych Twarzy, Uniwersytetu Medycznego im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu. Prowadził badania w zespole dr hab. n. Med. Barbary Biedziak. Celem stażu było zdobycie wiedzy i umiejętności w zakresie wykorzystania standardowych urządzeń do wykrywania próchnicy zębów, a następnie zastosowanie ich do analizy zmian powierzchniowych zębów zdrowych i z próchnicą. Wynikiem stażu i współpracy z grupą Pani Profesor Biedziak była publikacja H16.

W okresie 5.01-1.02.2015r. (**4 tygodnie**) Habilitant odbył staż zagraniczny w uznanej europejskiej uczelni - Delft University of Technology. Prowadził badania w grupie Profesora Eduardo Mendesa na Wydziale Inżynierii Chemicznej, w ramach projektu „Inżynier przyszłości. Wzmocnienie potencjału dydaktycznego Politechniki Poznańskiej”. Pozyskał wiedzę w obszarze materiałów hydrożelowych i umiejętność prowadzenia badań z wykorzystaniem AFM.

W ramach tego samego projektu „Inżynier przyszłości. Wzmocnienie potencjału dydaktycznego Politechniki Poznańskiej” dr inż. Buchwald odbył krótki, **2 tygodniowy** (17-31.11.2014r.) staż naukowy w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Prowadząc badania w grupie Profesora Kazimierza Fabisiaka odbył szkolenie w zakresie skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i dyfrakcji promieni rentgenowskich (XRD). Część wyników uzyskanych podczas stażu zawarto w artykule H6.

Dokumenty potwierdzające odbycie **3 staży** naukowych umieszczono w załączniku nr 7 dokumentacji habilitacyjnej.

Na podstawie powyższych przykładów, można stwierdzić, że Pan dr inż. Tomasz Buchwald w sposób wystarczający wykazuje się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej instytucji naukowej.

4. Ogólna ocena aktywności Habilitanta

Dr inż. Tomasz Buchwald prowadzi aktywną działalność naukową od czasu ukończenia studiów magisterskich. Dorobek publikacyjny Habilitanta składa się z **88 prac** (z czego **15** powstało przed doktoratem). Większość z nich (**55**) to artykuły zamieszczone są w czasopismach z listy „*Journal Citation Reports*”. Pozostałe to artykuły pokonferencyjne (**6**) i rozdziały w monografiach (**27**). Były to prace współautorskie. Całkowita liczba współautorów wg bazy Scopus wynosi 105. Co potwierdza szeroką współpracę naukową Habilitanta. Przedstawiony dorobek mieści się w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Sumaryczny IF wynosi 231,265, co daje średni IF=4,205. Prace Habilitanta są już wielokrotnie cytowane przez środowisko naukowe. Liczba cytowań wg bazy Scopus wynosi **637 (559 bez autocytowań)**, zaś indeks H równy jest **14**. Dr Buchwald był także



współautorem 1 patentu krajowego. Prezentował wyniki badań na licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych. Występował 36 razy: 20 prezentacji ustnych i 16 posterowych. Habilitant brał udział w realizacji 17 projektów badawczych. 6 z nich było finansowane z Narodowego Centrum Nauki, w 1 z nich (PRELUDIUM) pełnił rolę kierownika. Kierował również 4 grantami POKL finansowanymi z Funduszy Unii Europejskiej. Pozostałe to granty finansowane z subwencji MNiSW. Dr Tomasz Buchwald uzyskał 6 razy indywidualną Nagrodę JM Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe. Był wielokrotnym stypendystą programów uczelniach.

Na uwagę zasługują wyróżniająca aktywność dr. Buchwalda we współpracy naukowej z licznymi (24) grupami badawczymi z kraju i zagranicy, m.in. z naukowcami z Uniwersytetu Medycznego im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, AGH, KTH Stockholm, czy University of Rostock.

Dr inż. Tomasz Buchwald prowadzi aktywną działalność dydaktyczną od 2013r. Prowadzi zajęcia na Politechnice Poznańskiej dla studentów I i II stopnia, studiów dziennych i zaocznych na kierunku Fizyka Techniczna i Edukacja Techniczno-Informatyczna. Były to wykłady z takich przedmiotów jak Fizyka czy Aspekty fizyki XXI wieku. Oprócz wykładów prowadzi zajęcia ćwiczeniowe i laboratoryjne z przedmiotów: Materiały funkcjonalne, Wstęp do nauki o materiałach, czy Pracowania fizyczna i Pracowania specjalistyczna.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Habilitant był promotorem pomocniczym 1 pracy doktorskiej Pani dr n. med. Agaty Daktera-Micker, która obroniła z wyróżnieniem doktorat w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie Nauki medyczne 11 maja 2022r., na Uniwersytecie Medycznym im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu. Od 2018r. pełni także rolę opiekuna pracy doktorskiej mgr inż. Joanny Szczuki, która dotyczy modyfikacji powierzchni stopu Ti6Al4V. Ponadto dr inż. Buchwald wielokrotnie pełnił rolę promotora prac dyplomowych magisterskich (5) i inżynierskich (8), w większości dotyczących inżynierii materiałowej.

W ramach działań popularyzujących naukę dr Buchwald prowadził zajęcia dla uczniów szkół średnich w ramach Dni Otwartych, Dni Chemii czy też Klasy akademickiej na Politechnice Poznańskiej. Prowadził także warsztaty naukowe o spektroskopii Ramana. Współorganizował cykl wykładów „Piękno Fizyki”.

Dr inż. Tomasz Buchwald sprawował różne funkcje organizacyjne na Wydziale i Politechnice Poznańskiej. Brał udział w komitetach organizacyjnych 5 konferencji naukowych. Wykonał 11 recenzji prac zgłoszonych do publikacji w czasopismach międzynarodowych z listy JCR w tematyce inżynierii materiałowej. Był także edytorem gościnnym w 2 czasopismach. Opiniował również innowacyjne projekty na zamówienie przedsiębiorstw. Odbił wiele szkoleń i staży. Między innymi były to szkolenia ze statystyki medycznej czy tworzenia spin-off i spin-out.

Podsumowując, dr inż. Tomasz Buchwald posiada bardzo dobry dorobek naukowy, który został znacząco powiększony po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Na uwagę zasługują również duża aktywność dydaktyczna oraz organizacyjna Habilitanta.



4. Wniosek końcowy

Dr inż. Tomasz Buchwald po uzyskaniu stopnia naukowego doktora w 2014 r. prowadził aktywną działalność naukowo-badawczą w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Wniósł istotny wkład w rozwój wiedzy w obszarze badań biomateriałów i materiałów biologicznych z zastosowaniem spektroskopii Ramana. Osiągnięcia badawcze zawarł w cyklu 16 powiązanych tematycznie artykułach naukowych opublikowanych w czasopismach z listy JCR, które są już wielokrotnie cytowane. Dr inż. Buchwald wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej. Oprócz prac w Politechnice Poznańskiej, prowadził badania w Uniwersytecie Medycznym im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu, Delft University of Technology oraz Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy.

Na podstawie analizy dokumentacji habilitacyjnej dr. inż. Tomasza Buchwalda można stwierdzić, że posiada znaczące osiągnięcia naukowe i spełnia wszystkie wymagania niezbędne do uzyskania stopnia doktora habilitowanego, które zostały 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.)). W związku z czym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Poznańskiej, o **nadanie dr. inż. Tomaszowi Buchwaldowi stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.**