

## RECENZJA

### **dorobku naukowego i jedno-tematycznego cyklu publikacji;**

### **Badania nad możliwością wykorzystania technologii przyrostowych do wytwarzania personalizowanych wyrobów medycznych na bazie biomateriałów metalicznych**

Podstawa formalna sporządzenia niniejszej recenzji wynika z decyzji Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Biomedyczna- Pani Profesor dr hab. inż. Małgorzaty Kotulskiej z dnia 22.XI 2023 r. dotyczącej wyznaczenia mnie jako recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. **Patrycji Szymczyk-Ziółkowskiej**, pracownika Katedry Technologii Laserowych, Automatyzacji i Organizacji Produkcji Wydziału Mechanicznego, Politechniki Wrocławskiej.

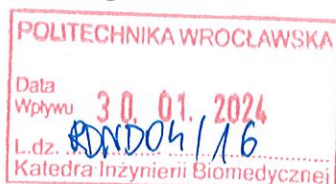
Recenzja została opracowana na podstawie dokumentacji, zawierającej następujące materiały służące do jej wykonania:

-autoreferat Habilitantki, zestaw publikacji, stanowiących podstawę do ubiegania się o stopień naukowy wraz z omówieniem wyników, wykaz osiągnięć naukowych, zestaw kopii wybranych publikacji, oświadczenia współautorów oraz informacje o osiągnięciach organizacyjnych, dydaktycznych i współpracy naukowej.

#### **1. Uwagi ogólne**

Pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska w roku 2010 uzyskała tytuł magistra inżyniera na Politechnice Wrocławskiej, na Wydziale Mechanicznym, kierunek - Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, realizując indywidualny program studiów w specjalności: Zarządzanie Jakością, tytuł pracy: *Zastosowanie filozofii QRQC w procesie kontroli jakości w przedsiębiorstwie produkcyjnym MacoPharma* – promotorem tej pracy był prof. dr hab. inż. Eugeniusz Rusiński. Równocześnie w tym samym roku obroniła pracę magisterską pt. *Wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę i wybrane właściwości stomatologicznych stopów kobaltu*, pod kierunkiem profesora dr hab. inż. Włodzimierza Dudzińskiego. Praca ta, podobnie jak poprzednia, realizowana była w indywidualnym programie studiów, w specjalności Inżynieria Materiałów Konstrukcyjnych.

W roku 2015 Habilitantka obroniła pracę doktorską o tematyce; *Technologiczne aspekty wytwarzania biomechanicznych struktur funkcjonalnych (BSF) wspomagających regenerację i odtworzenie rozległych ubytków kostnych*. Promotorami pracy byli prof. dr hab. inż. Edward Chlebus i prof. Uwe Günther. Praca realizowana była w specjalności Bioinżynieria, Biomechanika, Materiałoznawstwo i została wyróżniona przez Radę Naukową Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej.



Pracę zawodową pani Patrycja Szymczyk -Ziółkowska rozpoczęła w roku 2009 od zatrudnienia w firmie Maco Productions Polonia Sp.z o.o., na stanowisku stażysty, następnie inżyniera laboratorium. Aktualnie Habilitantka zatrudniona jest na Politechnice Wrocławskiej na Wydziale Mechanicznym w Katedrze Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji, na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego.

## **2. Analiza osiągnięć naukowych, stanowiących podstawę wniosku habilitacyjnego**

Na osiągnięcia naukowe, stanowiące podstawę do ubiegania się o tytuł doktora habilitowanego, składa się ciąg jednotematycznych publikacji. Tematyka wszystkich pięciu artykułów dotyczy badań nad implantami, wytwarzanymi w metodzie EBM ze stopu tytanowego. Od wielu lat tytan i jego stopy są materiałami, służącymi do wytwarzania implantów dla potrzeb rekonstrukcji tkanki kostnej w wielu różnych zastosowaniach ortopedycznych i stomatologicznych. Metody przyrostowe pozwalają na wytwarzanie wysokofunkcjonalnych implantów, odpowiadających na indywidualne potrzeby pacjentów, stwarzając zarówno nowe możliwości rekonstrukcji, jak i regeneracji tkanki kostnej. Habilitantka rozpoczyna autoreferat od analizy rynku medycznego w zakresie wytwarzania i opracowywania nowych metod produkcji biomateriałów, przytacza wiele danych, które jednoznacznie wskazują na celowość prowadzonych przez nią badań, które wpisują się w nowoczesne trendy w zakresie inżynierii materiałów biomedycznych.

Powołując się na liczne dane, p. dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska dokumentuje informacje, dotyczące potencjału metod przyrostowych w produkcji materiałów, znajdujących zastosowanie w leczeniu różnego rodzaju ubytków tkanki kostnej. Wskazuje równocześnie na możliwości metod przyrostowych, dotyczące personalizacji implantów kostnych. Należy się w pełni zgodzić z Habilitantką, ponieważ produkcja przyrostowa (drukowanie 3D) przełamała główne bariery na drodze do wytwarzania implantów o złożonej geometrii. Metoda EBM prowadzi do otrzymania implantów o architekturze sprzyjającej wrastaniu tkanki kostnej, które na etapie projektowania można dodatkowo spersonalizować. Niemniej jednak metoda ta posiada liczne słabe strony, które znacząco ograniczają jej zastosowania w leczeniu ubytków tkanki kostnej. W publikacjach przedstawionych w Autoreferacie Habilitantka przekazuje wiedzę, która z jednej strony tłumaczy zjawiska negatywnie wpływające na jakość implantów z drugiej zaś wskazuje nowatorskie rozwiązania niwelujące ograniczenia metod EBM. Należy dodać, że w Autoreferacie p. dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska szeroko komentuje wszystkie artykuły, stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego oraz powołuje się na liczne publikacje, związane z ich tematyką.

Pierwsza z publikacji przedstawionych przez Habilitantkę zatytułowana *Improved quality and functional properties of Ti-6Al-4V ELI alloy for personalized orthopedic implants fabrication with EBM proces*, ukazała się w czasopiśmie *Journal of Manufacturing Processes*. Jest to obszerna praca zawierająca szereg oryginalnych danych, opisujących kompleksowo zależności pomiędzy parametrami procesowymi i ich wpływem na parametry implantu, takie jak porowatość czy właściwości mechaniczne, a zatem kluczowe dane w zakresie materiału implantacyjnego. Autorzy przedstawiają wpływ właściwości proszku metalicznego na porowatość implantu i mikrostrukturę powierzchni. Złożona analiza procesu EBM jest niezwykle istotna z punktu widzenia właściwości wytworzonych układów, gdyż jak wiadomo zarówno porowatość,

jak i cechy powierzchniowe stanowią najistotniejsze elementy materiałów, służących do leczenia ubytków tkanki kostnej. Dane zwarte w artykule są bardzo istotne w kontekście wad implantów otrzymywanych w procesach EBM, które dotyczą np. powstawania w ich obrębie zamkniętej porowatości lub niestopionych cząstek proszku metalicznego. Artykuł zawiera również szereg wyników badań związanych z obróbką post- produkcyjną i wskazuje na wysoki potencjał metod HIP w tego rodzaju zastosowaniach. Tym samym Autorka potwierdza szereg doniesień literaturowych, wskazujących na konieczność stosowania prasowania izostatycznego na gorąco (HIP), które skutecznie wpływa na trwałość implantów i jakość ich powierzchni.

W artykule; *Corrosion resistance characteristics of a Ti-6Al-4V ELI alloy fabricated by electron beam melting after the applied post-process treatment*, który został opublikowany w czasopiśmie *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, Habilitantka przedstawia wyniki badań korozyjności materiałów ze stopu tytanowego, poddanego obróbce modyfikacyjnej w procesie HIP. Artykuł jest obszerny a zawarte są w nim wyniki dotyczą nie tylko korozyjności wytworzonych układów materiałowych, ale również analizy powierzchni, struktury, parametrów mechanicznych, opisany jest także wpływ obróbki HIP na te właściwości, wskazujący jednoznacznie pozytywny wpływ tego rodzaju metody post-produkcyjnej na właściwości korozyjne stopu *Ti-6Al-4V ELI*, z którego otrzymano badane materiały. Nie ma wątpliwości, że tego rodzaju wyniki są niezwykle istotne w aspekcie wykorzystania implantów wytworzonych metodą EBM, wiadomo bowiem, że mimo iż stop *Ti-6Al-4V ELI* jest szeroko stosowany w medycynie, to jednak toksyczność glinu i wanadu nadal pozostaje nierozwiązanym problemem, Należy dodać, że celowość rozwijania tej tematyki wynika również z faktu, że w takich implantach powierzchnia stopu kontaktująca się bezpośrednio z tkanką jest wielokrotnie większa w porównaniu do litych implantów konstrukcyjnych np. trzpienie endoprotez, śruby, płytki.

Następny z przedstawionych przez Habilitantkę artykułów wpisuje się w pełni w tematykę związaną z możliwościami metody EBM do konstrukcji implantów o sterowanych właściwościach jakimi są porowatość i właściwości mechaniczne. Artykuł pt.; *The effect of geometry on mechanical properties of Ti6Al4V ELI scaffolds manufactured using additive manufacturing technology*, opublikowany w *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, opisuje szeroko właściwości strukturalne i mechaniczne porowatych implantów wykonane metodą addytywną i wskazuje drogę projektowania geometrycznej formy i właściwości mechanicznych tego rodzaju materiałów z wykorzystaniem tomografii rentgenowskiej, testów ściskania i analizy MES. Tematyka tego artykułu jest zgodna z podstawowym paradygmatem inżynierii biomateriałów, który wskazuje na biomimetyzm jako istotny element w projektowaniu materiałów, zwłaszcza tych, które przeznaczone są do regeneracji, jak i rekonstrukcji tkanek. Metody projektowania, przedstawione w artykule stanowią drogę do wytwarzania implantów o parametrach zbliżonych do tkanek i odnoszące się ich porowatości i właściwości mechanicznych.

*The impact of EBM-manufactured Ti6Al4V ELI alloy surface modifications on cytotoxicity toward eukaryotic cells and microbial biofilm formation* jest tytułem pracy opublikowanej w czasopiśmie *Materials*. Tematyka tej pracy dotyczy badań biologicznych w warunkach *in vitro* w kontakcie z dwoma rodzajami komórek (osteoblasty, fibroblasty) oraz badań w zakresie oddziaływania z wybranymi typami bakterii (*S.aureus*, *P.aeruginosa*, *C.albicans*).

W pracy wyznaczono parametry powierzchni próbek poddanych różnym metodom obróbki i analizowano ich wpływ na odpowiedź biologiczną. Wykazano, że materiały stanowiące przedmiot badań są nie cytotoksyczne, natomiast niektóre z nich indukują tworzenie biofilmu bakteryjnego. Badania właściwości antibakteryjnych to aktualnie niezwykle istotny problem, wiele prac skupia się na opracowaniu sposobów i metod prowadzących do uzyskania powierzchni o właściwościach bakterioobójczych czy bakteriostatycznych, które równocześnie posiadać będą potencjał w zakresie ostoindukcji. Jak wiadomo, zakażenia szpitalne (*HAI-healthcare-associated infections*) są niepożądanymi zdarzeniami medycznymi, powstałymi w wyniku procesu leczenia, zwłaszcza na oddziałach o profilu ortopedycznym, gdzie stanowią jedną z poważniejszych przyczyn różnego rodzaju powikłań, związanych z wszczepianiem implantów tkanki kostnej.

Artykuł pt., *Application of Ti6Al7Nb alloy for the manufacture of Biomechanical Functional Structures (BFS) for custom-made bone implants*, ukazał się, podobnie jak poprzedni, w czasopiśmie *Materials*. Praca ta dotyczy kluczowych aspektów technik przyrostowych w zastosowaniach medycznych. Przedmiotem badań był stop Ti6Al7Nb, z którego wytworzono kilka typów struktur biomedycznych jako implantów kostnych. Przedstawiono materiały powstałe w różnych formach architektonicznych oraz wskazano, jak procesy technologiczne i ich parametry, a także modyfikacje post-produkcyjne, wpływają na właściwości funkcjonalne, takie jak parametry mechaniczne i biogodność z komórkami kostnymi w warunkach *in vitro*.

Podsumowując pragnę stwierdzić, że dorobek publikacyjny, stanowiący podstawę wniosku habilitacyjnego p. dr inż. Patrycji Szymczyk –Ziółkowskiej jest wartościowym zbiorem artykułów przedstawiających podstawowe zagadnienia, związane z techniką przyrostową w zastosowaniach medycznych. Artykuły stanowią w pewnym sensie kompendium wiedzy, dotyczącej wytwarzania implantów kostnych na bazie stopów tytanowych. Autorka porusza w nich kluczowe zagadnienia związane z parametrami procesowymi i rodzajami obróbki post-produkcyjnej oraz tłumaczy ich wpływ na parametry istotne dla zastosowań medycznych, takie jak właściwości mechaniczne, struktura, chemia i topografia powierzchni, zawiera w nich również badania biologiczne w kontakcie z komórkami kostnymi czy wybranymi typami bakterii. Jak wiadomo implanty wytwarzane metodą EBM obarczone są nadal szeregiem wad mogących prowadzić do operacji rewizyjnych w przypadku uszkodzonego implantu, operacje takie są o wiele bardziej skomplikowane w porównaniu z analogicznymi, koniecznymi działaniami dotyczącymi litych implantów. Z tego względu i w tym aspekcie należy uznać badania prowadzone przez Habilitantkę, jako aktualne i ważne dla zastosowań medycznych.

Wszystkie artykuły zostały opublikowane w dobrze notowanych czasopismach z listy JCR; *Journal of Manufacturing Processes*, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* oraz w czasopiśmie *Materials - Open Access-MDPI*.

Jak wynika z oświadczeń współautorów p. dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska jest wiodącym Autorem w przypadku każdej z przedstawionych publikacji. Była odpowiedzialna za koncepcje badań, dobór metod i interpretacje wyników. We wszystkich artykułach jest pierwszym Autorem i równocześnie autorem korespondującym.

### 3. Charakterystyka dorobku naukowego, współpracy krajowej i międzynarodowej oraz działalności dydaktycznej.

Pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska posiada bogaty dorobek naukowy, który znacząco się powiększył po uzyskaniu stopnia doktora. Na dorobek ten składają się wieloautorskie publikacje w monografiach, jak i opublikowane referaty konferencyjne oraz publikacje, związane tematycznie z metodami przyrostowymi w zastosowaniach biomedycznych, ale również takie, które dotyczą układów polimerowych, badań biogodności w warunkach *in vitro* i *in vivo*. Habilitantka była współautorem rozdziałów w monografiach, między innymi wydawanych przez wydawnictwo Springer, takich jak; *Materials Forming, Machining and Tribology* czy *Advances in Intelligent Systems and Computing*, jak również krajowych monografii np. z serii *Badania i Rozwój Młodych Naukowców*.

Na wyróżnienie zasługuje duża aktywność pani dr inż. Patrycji Szymczyk -Ziółkowskiej dotycząca, zarówno współpracy w naukowych jednostkach w kraju, jak i za granicą. Istotny wkład w dorobek naukowy Habilitantki stanowią publikacje, które powstały we współpracy z ośrodkami krajowymi i międzynarodowymi. Z danych przedstawionych w Autoreferacie wynika, że Habilitantka podjęła, między innymi współpracę z naukowcami z University of Southern California, Ostrow School of Dentistry, Los Angeles, USA, gdzie uczestniczyła w badaniach nad metodami, pozwalającymi na analizę biofilmów tworzących się na powierzchni tkanki kostnej, a także uczestniczyła w badaniach opatrunków wytwarzanych na bazie celulozy.

Pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska współpracowała również z naukowcami z Julius-Maximilians-Universität, Würzburg w Niemczech, w ramach programu Horyzont 2020, natomiast we współpracy z Institute of Physics of Materials, Czech Academy of Sciences, Habilitantka pełniła rolę kierownika projektu ze strony Politechniki Wrocławskiej w OPUS LAP 2022 - *Additive manufacturing and modelling of fatigue and fracture process of Ti-13Nb-13Zr alloy for biomedical applications under multi-axial loading conditions*.

Ponadto współpraca Habilitantki z Uniwersytetem w Porto odbywała się w ramach akcji; Wspólne projekty badawcze- Polska-Portugalia, finansowane ze środków Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej NAWA; *Structural integrity assessment of biologically loaded scaffolds used in the regeneration of the stomatognathic system*.

Należy dodać, że Pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska wykazuje się również dużą aktywnością we współpracy z ośrodkami krajowymi, takimi jak; Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu - Zakład Mikrobiologii Farmaceutycznej i Parazytologii czy Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie - Katedra Immunologii, Mikrobiologii i Chemii Fizjologicznej. Tematyka współpracy z tymi jednostkami dotyczy szeroko pojętej analizy właściwości biologicznych biomateriałów w kontekście określonych parametrów powierzchni implantów.

Współpraca naukowa Habilitantki z wymienionymi ośrodkami prowadzona była w ramach staży naukowych, jak i w ramach realizacji wspólnych projektów badawczych. Na wyróżnienie zasługuje wysoka aktywność Habilitantki w pozyskiwaniu różnego rodzaju projektów naukowych. Pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska uczestniczyła i

uczestniczy w wielu projektach badawczych, w których pełni rolę kierownika, głównego wykonawcy lub wykonawcy. Współpraca krajowa zaowocowała licznymi projektami finansowanymi z NCBiR oraz z NCN.

W ramach projektów finansowanych przez NCBiR Habilitantka współpracowała również z licznymi przedsiębiorstwami, np. firmy skupione w Dolnośląskim Kłastrze Lotniczym, Aerospace Systems, firmy z Dolnośląskiego Klastra Motoryzacyjnego i inne. W ramach badań projektowych dla sektora technologicznego Habilitantka brała udział w nagrodzonym projekcie we współpracy z Wojewódzkim Szpitalem Specjalistycznym im. J. Gromkowskiego we Wrocławiu; *Metoda natychmiastowego wytwarzania przyrostowego części zamiennych i alternatywnych aparatury medycznej oraz środków ochrony indywidualnej w środowisku rozproszonym w sytuacjach kryzysowych*; Virtual AM Storage Covid-19, NCBiR Szpitale Jednoimienne - 2020. Projekt ten został wyróżniony nagrodą II-ego stopnia Wrocławskiej Rady FS NOT za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki - zrealizowane w 2021.

Tematyka projektów, w których uczestniczyła Habilitantka, jest zatem zróżnicowana, dotyczy metod przyrostowych dla zastosowań w medycynie, badań z obszaru mikrobiologii, oceny biologicznych właściwości biomateriałów, jak również wielu innych zastosowań tego rodzaju procesów wytwórczych.

Należy dodać, że Habilitantka wielokrotnie przedstawiała wyniki swoich badań na konferencjach o zasięgu krajowym i zagranicznym, między innymi; 2nd International Conference on 3D Printing Technology and Innovations in London Wielka Brytania, 2018, na której przedstawiła referat pt. *Modern methods of additive manufacturing for biomedical products*, jak również brała udział w organizacji konferencji naukowych; pełniła rolę członka komitetu naukowego w VI Konferencji Naukowej pt. *Szybkie Prototypowanie - Druk 3D & 4D w zastosowaniach inżynierskich*, w Warszawie, 2023. Tego rodzaju działania Habilitantka podejmowała kilkakrotnie.

Habilitantka była nagradzana za działalność naukową w programach realizowanych w Politechnice Wrocławskiej, takich jak; Academia Iuvenum 2021, Primus, Secundus jest również laureatką nagród *Nagród Rektora Politechniki Wrocławskiej*, za rozwój zaplecza infrastrukturalnego oraz za wyróżniający się wkład w działalność uczelni, uzyskała również *Nagrodę Naukową im. Dionizego Smoleńskiego* w roku 2022. Habilitantka była kilkakrotnie nominowana do Polskiej Nagrody Indywidualnego Rozwoju, jest również laureatką nagród zespołowych, między innymi Nagród Polskiej Branży Druku 3D.

Rezultatem badań prowadzonych przez Habilitantkę były liczne publikacje w renomowanych czasopismach naukowych. Publikacje przedstawione we wniosku cytowane były ok. 1300 razy natomiast Indeks Hirscha Habilitantki wynosi 20.

Pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska jest współautorem patentu i trzech zgłoszeń patentowych, jest ponadto autorką i współautorką 70- ekspertyz wykonanych dla sektora przemysłowego.

Pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska jest członkiem ATeM – Additive Technologies for Medicine and Health, Międzynarodowe Centrum Doskonałości Fraunhofera ATeM, Niemiecko-polskie Centrum Doskonałości, jak i Academia Iuvenum, czyli organizacji zrzeszającej młodych naukowców Politechniki Wrocławskiej

Na wyróżnienie zasługuje również aktywność Habilitantki w zakresie dydaktyki. Była promotorem 61 prac magisterskich oraz 24 prac inżynierskich realizowanych w latach 2015-2023 na Wydziale Mechanicznym, Chemicznym oraz Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. Pełniła również funkcje promotora pomocniczego w pięciu przewodach doktorskich, realizowanych na Politechnice Wrocławskiej, związanych tematycznie technologiami przyrostowymi. Zajęcia dydaktyczne prowadzone przez Habilitantkę obejmują wykłady, laboratoria, zajęcia projektowe, seminaria dyplomowe. Jest zaangażowana w opracowanie przedmiotów i instrukcji laboratoryjnych. Pani dr inż. Patrycja Szymczyk-Ziółkowska jest opiekunem i założycielem studenckiego Koła Naukowego BIOAddMed, działającego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej.

Aktywność Habilitantki, zarówno w działalności dydaktyczną, organizatorską czy we współpracę badawczo-rozwojową w kraju i zagranicą jest znacząca.

W posumowaniu należy stwierdzić, że pani dr inż. Patrycja Szymczyk -Ziółkowska, to osoba posiadająca wszelkie pozytywne cechy nowoczesnego i aktywnego badacza, dydaktyka, organizatora i popularyzatora wiedzy.

#### **4. Wniosek końcowy**

Na podstawie oceny jedno-tematycznego cyklu publikacji, przedstawionego przez Habilitantkę, stwierdzam, że jest ona w pełni samodzielnym badaczem, charakteryzującym się istotną aktywnością zawodową, której prace stanowią ważny wkład w uprawianą przez nią dziedzinę wiedzy. Zatem, jej dotychczasowe osiągnięcia naukowe uzasadniają ubieganie się o stopień naukowy doktora habilitowanego.

Dorobek naukowy pani dr inż. Patrycji Szymczyk -Ziółkowskiej spełnia wymogi *Ustawy z dnia 20. lipca 2018. Prawo o szkolnictwie wyższymi (art.219.ust.pkt1-3)*. Habilitantka posiada stopień doktora. Wśród, przedstawionych do oceny osiągnięć znajduje się cykl, powiązanych tematycznie artykułów naukowych, które w roku opublikowania artykułu były ujęte w wykazie sporządzonym, zgodnie z przepisami na podstawie *art.267ust.2 pkt 2, powyższej ustawy*.

**Uwzględniając, pozytywną ocenę osiągnięcia naukowego a także pozytywną ocenę dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego, wnioskuje o nadanie dr inż. Patrycji Szymczyk -Ziółkowskiej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk Inżynieryjno Technicznych w dyscyplinie Inżynieria Biomedyczna**

