



Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Biotechnologii Środowiskowej

prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch
Professor emeritus

Gliwice, 28.08.2023 r.

**Recenzja w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna
dr. inż. Tomaszowi Borucie**

Podstawy formalne recenzji

Recenzję wykonałem w związku z pismem Pana Prof. dr. hab. inż. Grzegorza Wielgosińskiego, Dziekana Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej z dnia 13.07.2023 r., informującym mnie o powołaniu na recenzenta w ww. postępowaniu habilitacyjnym.

Postępowanie jest prowadzone na podstawie Ustawy-Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20.07.2018 roku, w szczególności na podstawie zapisu art. 219 p. 1. Ustawa stanowi, że stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która: 1) posiada stopień doktora; 2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Identyczne wymagania stawiane są w Uchwale Nr 21/2021 Senatu Politechniki Łódzkiej z dnia 26 maja 2021 r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz szczegółowego trybu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego.

Podstawowe informacje o Kandydacie

Dr Tomasz Boruta uzyskał tytuł zawodowy magistra inżyniera biotechnologii w 2009 roku na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności Politechniki Łódzkiej oraz równolegle równorzędny tytuł zawodowy Master of Science w Department of Systems Biology Technical University of Denmark. Natomiast stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna Habilitant uzyskał w 2016 roku na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej na podstawie rozprawy doktorskiej pod tytułem: „Metabolizm wtórny *Aspergillus terreus*: indukcja biosyntezy metabolitów, analiza bioinformatyczna oraz modelowanie w skali genomu”. W

Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Biotechnologii Środowiskowej

ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
+48 32 237 29 15
korneliusz.miksch@polsl.pl

NIP 631 020 07 36
ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230
1000 0002 0211 3056



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



tym samym roku rozpoczął pracę zawodową w Katedrze Inżynierii Bioprocessowej Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, początkowo jako asystent (2016-18), a potem adiunkt.

Ocena osiągnięć naukowych o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2 ustawy

Jako osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego Kandydat przedstawił cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych zatytułowany „Produkcja metabolitów wtórnych grzybów strzępkowych i promieniowców w kokulturach wglębnych”. Na cykl ten składa się 8 artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora:

1. Boruta T., Milczarek I., Bizukojć M. (2019) Evaluating the outcomes of submerged co-cultivation: production of lovastatin and other secondary metabolites by *Aspergillus terreus* in fungal co-cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology* 103, 5593–5605.
2. Boruta T., Marczyk A., Rychta K., Przydacz K., Bizukojć M. (2020) Confrontation between *Penicillium rubens* and *Aspergillus terreus*: Investigating the production of fungal secondary metabolites in submerged co-cultures. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 130, 503-513.
- 3.. Boruta T. (2021) A bioprocess perspective on the production of secondary metabolites by *Streptomyces* in submerged co-cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37, 171.
4. Boruta T., Ścigaczewska A. (2021) Enhanced oxytetracycline production by *Streptomyces rimosus* in submerged co-cultures with *Streptomyces noursei*. *Molecules* 26, 6036
- 5.. Boruta T., Ścigaczewska A., Bizukojć M. (2021) “Microbial wars” in a stirred tank bioreactor: Investigating the co-cultures of *Streptomyces rimosus* and *Aspergillus terreus*, filamentous microorganisms equipped with a rich arsenal of secondary metabolites. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 9, 713639
6. Ścigaczewska A., Boruta T., Bizukojć M. (2021) Quantitative morphological analysis of filamentous microorganisms in cocultures and monocultures: *Aspergillus terreus* and *Streptomyces rimosus* warfare in bioreactors. *Biomolecules* 11, 1740
7. Boruta T., Ścigaczewska A., Bizukojć M. (2022) Production of secondary metabolites in stirred tank bioreactor co-cultures of *Streptomyces noursei* and *Aspergillus terreus*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 10, 1011220
8. Boruta T., Anteck A. (2022) Co-cultivation of filamentous microorganisms in the presence of aluminum oxide microparticles. *Applied Microbiology and Biotechnology* 106, 5459–5477

Z wyjątkiem szóstej publikacji, we wszystkich pozostałych Habilitant jest pierwszym autorem i jednocześnie autorem korespondencyjnym. Jego wiodąca rola w opracowaniu koncepcji badań, metodologii, analizie wyników i manuskryptów jest bezdyskusyjna. Publikacje te ukazały się w wysoko notowanych czasopismach specjalistycznych o IF wynoszącym 2,814 (jedna), a pozostałe od 4,25 do 6,064, dając sumaryczny IF publikacji wynoszący 39,36. Uwzględniając powyższe można zasadnie uznać, że Kandydat wniósł istotny wkład w rozwój tematyki, która się zajął. To jednak nie sama liczba, a nawet jakość poszczególnych publikacji decyduje o uznaniu ich za wybitne osiągnięcie naukowe, ale także ich spójność i kompatybilność z myślą przewodnią wymienioną w tytule cyklu publikacji.

Uzasadnieniem podjętych prac eksperymentalnych był fakt, że prace dotyczące biosyntezy metabolitów wtórnych skupiały się najczęściej na identyfikacji i strukturalnej charakterystyce odkrytych w ten sposób cząsteczek. Natomiast bioprosesowe aspekty hodowli, w których wykrywano metabolity wtórne, nie były szerzej analizowane. Tymi więc zagadnieniami zajął się Habilitant.

Pierwsza z cyklu habilitacyjnego praca (H1) wynikała z doświadczeń Autora z hodowli i metabolizmu wtórnego grzyba strzępkowego *Aspergillus terreus* ATCC 20542, a jej celem było porównanie produkcji metabolitów wtórnych w mono- i kokulturach tego szczepu. Mikroorganizm ten wytwarza lowastatynę, która m.in. obniża poziom cholesterolu. Doświadczenia wykazały, że produkcja metabolitów zależała zarówno od gatunku partnera *Aspergillus terreus* w kokulturze, jak również sposobów inicjowania kokultury.

W badaniach opisanych w drugim artykule (H2) oceniano wpływ składu podłoża na produkcję metabolitów wtórnych w hodowli dwu gatunków grzybów strzępkowych inicjowanych tą samą metodą oraz porównano efektywności tych hodowli z hodowlą monokultury *A. terreus*. Uzyskano wiele interesujących wyników, szczególnie w obecności dodatkowych składników podłoża. Na tym etapie nie była jednak możliwa jednoznaczna ich interpretacja. Takich trudności należało oczekiwać, zważywszy, iż czynnikiem uruchamiającym produkcję określonych metabolitów wtórnych jest nie tylko obecność różnych drobnoustrojów, ale także odmienne parametry fizyczno-chemiczne, techniczne (skala procesu), technologiczne (sposób inicjowania kokultury) itd. Aby rozsądnie opracować program dalszych badań Kandydat dokonał krytycznej analizy publikacji dotyczących powyższych zagadnień i opracował przeglądowy artykuł (H3). Skupił się w nim na aspektach bioprosesowych kokultur, w szczególności sposobach inicjacji kokultur. Autor zaproponował kryteria, według których można pogrupować metody inicjowania kokultur, a wnioski z dokonanego przeglądu literatury wykorzystał podczas planowania następnych badań.

W badaniach tych (artykuł H4) wykorzystano kokultury, w których stałym składnikiem był promieniowiec *Streptomyces rimosus*, produkujący między innymi antybiotyk oksytetracyklinę. Dwugatunkowe kokultury, oprócz *S. rimosus*, zawierały inny mikroorganizm strzępkowy, a hodowle różniły się odmiennymi sposobami inicjacji kokultury. Stwierdzono, że wzrost biosyntezy oksytetracykliny następował w dwugatunkowej kokulturze w strategii inicjacyjnej typu „spory/spory” oraz „prekultura/spory”, natomiast nie obserwowano tego efektu dla *S. rimosus* jeśli wprowadzano drugi mikroorganizm w formie prekultury.

Artykuł H5 dotyczył doświadczeń będących skojarzeniem badań omówionych w poprzednich artykułach, a mianowicie badano kokultury składające się z *A. terreus* oraz *S. rimosus* w bioreaktorach. Dotychczas w literaturze specjalistycznej nie opisano produkcji metabolitów wtórnych w kokulturze bioreaktorowej w kombinacji „grzyb strzępkowy/promieniowiec”. Równolegle z hodowlą kokultury *A. terreus/S. rimosus*, prowadzono hodowle monokultur *A. terreus* oraz *S. rimosus*. Pozwoliło to na analizę porównawczą pomiędzy tymi hodowlami i ocenę wpływu obecności drugiego mikroorganizmu na efekty metaboliczne bioprosesu. Dużym wyzwaniem była identyfikacja analityczna wielu metabolitów wtórnych, ale dla analizy porównawczej najważniejsze było oznaczanie zawartości lowastatyny i oksytetracykliny,

głównych kometabolitów produkowanych przez dwa badane mikroorganizmy. Badania wykazały, że dominujące znaczenie dla różnicy pomiędzy monokulturami a kokulturami ma metoda inicjacji i skład podłoża. Okazało się, że w tych samych warunkach hodowli kokultury wystąpiła dominacja *S.rimosus* nad *A. terreus* i biomasa *S.rimosus* wzrastała znacznie szybciej niż biomasa drugiego mikroorganizmu. Jednakże pomimo większej produkcji metabolitów wtórnych przez *S.rimosus* to jednak *A.terreus* wpływał na zdolności produkcyjne tego pierwszego organizmu i były one odmienne niż w jego monokulturze. Ciekawe było stwierdzenie, że informacje o tym, który mikroorganizm był dominującym w kokulturze można było uzyskać przez pomiar profilu rozpuszczonego tlenu, albowiem profil ten w kokulturze był podobny do profilu tego szczepu w monokulturze.

Kolejna publikacja (H6) to omówienie wyników uzyskanych w tych samych oświadczeniach co w poprzedniej publikacji, ale dotyczy parametrów morfologicznych w kokulturach i monokulturach promieniowca *S.rimosus* oraz grzyba strzępkowego *A. terreus*. Eksperymenty te dowiodły, że sposób inicjowania kokultury silniej wpływał na zmiany morfologii niż skład podłoża.

Badania te potwierdziły także, że produkcja metabolitów wtórnych u grzybów i promieniowców wiąże się z cechami morfologicznymi tych mikroorganizmów, więc kontrola tych cech może być wykorzystana do poprawy efektywności bioprocessów. Ze względu na trudności w ciągłym monitorowaniu tych cech, jest to na razie jedynie stwierdzenie faktu bez szans na szybkie praktyczne wykorzystanie.

Badania opisane w pracy H7 były podobne do omówionych w publikacji piątej. Badano monokultury i kokulturę grzyba *A.terreus*, ale zmieniono promieniowca na *Streptomyces noursei*, który produkuje miedzy innymi nastynę. Natomiast ostatnia publikacja H8 nawiązuje do pracy ustalającej zależność pomiędzy morfologią a wydajnością produkcji metabolitów wtórnych. W tym jednak przypadku oprócz wpływu kokultur na zmiany cech morfologicznych, zastosowano stymulację tych zmian za pomocą wprowadzanych do hodowli mikrocząstek mineralnych (tlenek glinu). Przebadano także dotychczas niebadany grzyb *Cerrena unicolor*, produkujący lakazę. Okazało się, że efekt metaboliczny zastosowanego proszku tlenku glinu może być odmienny w przypadku mono- i kokultury i zależy głównie od składu podłoża.

Przedstawiony cykl publikacji dowodzi, że Habilitant jest wysokiej klasy specjalistą w tematyce produkcji metabolitów wtórnych w kokulturach grzybów strzępkowych i promieniowców, a w szczególności autorem pierwszych szczegółowych opisów bioreaktorowych kokultur tych mikroorganizmów do produkcji metabolitów wtórnych. Jako konkretne osiągnięcia, wymienić można te, które wypunktował sam Habilitanta, a mianowicie:

1. Scharakteryzował kokultury wgłębne *Aspergillus terreus* z promieniowcami *Streptomyces rimosus* i *Streptomyces noursei* oraz z grzybem strzępkowym *Penicillium rubens*.
2. Ustalił wpływ sposobu inicjacji kokultury na produkcję metabolitów wtórnych w kokulturach grzyba *A. terreus* z grzybami strzępkowymi *Chaetomium globosum*, *P. rubens*, *Mucor racemosus* oraz z promieniowcami *S. rimosus* i *S. noursei*.

3. Udowodnił na przykładzie kokultury *A. terreus* i *C. globosum*, że spory 2 różnych gatunków grzybów strzępkowych mogą tworzyć 2-gatunkowe aglomeraty, wokół których rozwijają się peletki.
4. Ustalił stymulujący wpływ *C. globosum* na biosyntezę butyrolaktonu I u *A. terreus*.
5. Wykazał możliwość zastosowania kokultury bioreaktorowej w celu biosyntezy nowych metabolitów wtórnych, których produkcja nie zachodzi w warunkach monokultury, np. związków należących do grupy milbemycyn oraz rymocydyn.
6. Pokazał, że obecność *S. noursei* powoduje stymulację wytwarzania antybiotyku oksytetracykliny u *S. rimosus*.
7. Udowodnił, że obecność innego grzyba może doprowadzić do zahamowania wykorzystania kwasu fenyllooctowego i biosyntezy penicyliny G u grzyba *P. rubens*.
8. Porównał wpływ mikrocząstek tlenku glinu na monokultury i kokultury w odniesieniu do morfologii oraz metabolizmu wtórnego *A. terreus*, *S. rimosus* i *P. rubens*.
9. Jest autorem pierwszych szczegółowych opisów bioreaktorowych kokultur mikroorganizmów strzępkowych prowadzonych pod kątem produkcji metabolitów wtórnych. Wymienione osiągnięcia noszą znamiona nowości naukowej stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria chemiczna (specjalność inżynieria *biochemiczna*).

Ocena aktywności naukowej Habilitanta, w tym realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Dr inż. Tomasz Boruta jest współautorem 27 prac z listy JCR, z których trzy ukazały się przed uzyskaniem stopnia doktora, a pozostałe potem. Sumaryczny Impact Factor (z roku publikacji) wszystkich prac to 100,56; a liczba cytowań wg. Web of Science wynosi 262 (bez autocytowań 210), index Hirscha równy jest 9 i suma punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego za publikacje z JCR to 1855. Porównanie liczby publikacji znajdujących się na liście JCR (27) z całkowitą liczbą publikacji (32) świadczy o tym, że Habilitant przykładał dużą wagę do ich jakości, szczególnie po uzyskaniu stopnia doktora, albowiem w całkowitej liczbie artykułów spoza listy JCR (5), zaledwie dwie ukazały się po doktoracie. Zwraca także uwagę spójność tematyczna publikowanych prac. Dotyczy to także zrealizowanych i aktualnie realizowanych projektów badawczych. W dziewięciu projektach Habilitant 8 razy był wykonawcą, a raz kierownikiem projektu.

W dorobku Kandydata jest także aktywny udział w konferencjach naukowych. W sumie uczestniczył w siedmiu międzynarodowych konferencjach, na których prezentował cztery postery i w tej samej liczbie były też prezentacje ustne.

Jeśli chodzi o aktywność naukową w zagranicznych instytucjach, to Kandydat już w czasie studiów uczestniczył w dwu projektach badawczych w Technical University of Denmark w Lyngby. Jeden z projektów związany był z zagadnieniami, które potem stały się dominującą tematyką prac Habilitanta. Dotyczyły mianowicie konstrukcji i modelowania komórek genetycznie modyfikowanych w kierunku wytwarzania określonych metabolitów. Ta tematyka była także podstawą pracy magisterskiej i uzyskania tytułu zawodowego Master of Science w Danii. Tę tematykę badań kontynuował potem w czasie 3-miesięcznego stażu badawczego w

European Molecular Biology Laboratory w Heidelbergu w 2012 roku, co zaowocowało także wspólną publikacją (Jouchten et al., 2016)

Dzięki swojej aktywności naukowej dr inż. T. Boruta stał się cenionym i rozpoznawalnym specjalistą z zakresu wykorzystania metabolizmu mikroorganizmów do produkcji metabolitów wtórnych. Świadczy o tym także częste zapraszanie do recenzowania manuskryptów przesłanych do cenionych czasopism. Wykonał m.in. 34 recenzje dla tak wysoko notowanych czasopism jak: Applied Biochemistry and Biotechnology, Process Biochemistry, Annals of Microbiology, Journal of Bioscience and Bioengineering, Critical Reviews in Biotechnology, Applied Microbiology and Biotechnology, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, World Journal of Microbiology and Biotechnology, Journal of Fungi, Microbial Biotechnology, Frontiers in Fungal Biology, Biotechnology and Applied Biochemistry, Applied Sciences, Frontiers in Microbiology.

W podsumowaniu tej części można stwierdzić, że aktywność naukowa dr. inż. Tomasza Boruty w zupełności spełnia wymogi stawiane przed kandydatami do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Ocena Habilitanta pod względem osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzujących naukę

Od chwili zatrudnienia w Politechnice Łódzkiej Kandydat prowadził wiele różnorodnych zajęć dydaktycznych w formie wykładów, laboratorium, ćwiczeń, projektów i seminarium. Wykładał na studiach inżynierskich i magisterskich kierunku Inżynieria chemiczna i biochemiczna 14 różnych przedmiotów (Inżynieria metaboliczna i wstęp do biologii systemów, Inżynieria chemiczna i biochemiczna, Metabolity wtórne, Technologia farmaceutyczna, Przygotowanie bioproduktu, Wyodrębnianie i oczyszczanie bioproduktu, Inżynieria chemiczna i biochemiczna, Mikrobiologia, Technologia chemiczna, Technologie chemiczne i biochemiczne, Czynniki zagrożeń chemicznych i biologicznych, Podstawy mikrobiologii, Biochemia, Genetyka, Downstream processing). Ten ostatni przedmiot prowadzony był w języku angielskim. Prowadził zajęcia laboratoryjne z pięciu przedmiotów, ćwiczenia rachunkowe, projekt oraz seminarium z dwu przedmiotów. Aktualnie jest osobą odpowiedzialną za dziewięć przedmiotów.

Był promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim, którego obrona z wyróżnieniem odbyła się w 2019 roku. Był także promotorem 19 prac dyplomowych (12 inżynierskich i 7 magisterskich). Wielokrotnie był recenzentem prac dyplomowych z inżynierii bioproduktowej.

Opracował zestaw pytań do egzaminu kompetencyjnego kończącego studia inżynierskie na kierunku Inżynieria chemiczna i biochemiczna. Dwukrotnie uzyskał nominacje w plebiscycie na „nauczyciela roku” w głosowaniu studenckim.

Z osiągnięć organizacyjnych wymienić można członkostwo w Radzie Dyscypliny Inżynieria Chemiczna (od 2019), aktualnie jest członkiem Zespołu do spraw Promocji Wydziału oraz Komitetu Organizacyjnego Konferencji Naukowej „Postępy Inżynierii Bioreaktorowej”

Osiągnięcia w popularyzacji nauki to między innymi dwie prelekcje podczas Festiwalu Nauki, Techniki i Sztuki (2018 i 2022) oraz podczas „Dnia Liczby Pi”. Wielokrotnie promował Uczelnię, Wydział oraz reprezentowaną dyscyplinę naukową w szkołach ponadpodstawowych i średnich w Łodzi oraz okolicznych miejscowościach (Kutno, Łask Piotrków Trybunalski, Krośnice).

Podsumowując, dr inż. T. Boruta spełnia oczekiwania dotyczące osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzujących naukę jakie stawiane są habilitantom.

Konkluzja

Analiza osiągnięcia naukowego Habilitanta oraz pozostałej aktywności naukowej, dorobku dydaktycznego, organizacyjnego oraz popularyzacji nauki, uzasadnia stwierdzenie, że wszystkie elementy dorobku zawodowego spełniają wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego wg Ustawy z dnia 20 lipca 2018- Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20.07.2018 roku, w szczególności zapis art. 219 p. 1.

Uwzględniając powyższe popieram wniosek o nadanie Panu dr. inż. Tomaszowi Borucie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

