

dr hab. inż. Ryszard Filip  
Politechnika Rzeszowska  
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa  
Katedra Nauki o Materiałach  
35-959 Rzeszów  
ul. Żwirki i Wigury 4

Rzeszów, 20.04.2020 r.

## RECENZJA

**osiągnięcia naukowego pt. „Badania dynamiki plazmy w rozwoju metody IPD impulsowego nakładania pokryć w inżynierii powierzchni” oraz istotnej aktywności naukowej, a także osiągnięć organizacyjnych i dydaktycznych dr. inż. Marka Andrzeja Rabińskiego, opracowana na zlecenie Dyrektora Narodowego Centrum Badań Jądrowych na podstawie decyzji Centralnej Komisji Do Spraw Stopni i Tytułów, pismo nr BCK-V-L-10958/19**

Przedmiotową recenzję opracowano na podstawie następujących dokumentów przesłanych przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych:

- kopia pisma Centralnej Komisji Do Spraw Stopni i Tytułów,
- autoreferat zawierający życiorys naukowy i przebieg działalności naukowo-badawczej, opis osiągnięcia naukowego oraz przebieg działalności dydaktycznej i organizacyjnej w języku polskim i angielskim,
- teksty opublikowanego cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe
- wykaz opublikowanych prac naukowych,
- oświadczenia współautorów cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe,
- kopia dyplomu doktorskiego

### **1. Dane ogólne o przebiegu działalności naukowej i zawodowej**

Dr inż. Marek Andrzej Rabiński ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w 1976 r. uzyskując tytuł mgr. inż. mechanika na specjalności energetyka jądrowa. W roku 1985 uzyskał stopień doktora z wyróżnieniem na podstawie publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt.: „Komputerowa identyfikacja parametrów złożonych modeli matematycznych układów ciągłych zmodyfikowaną metodą Gaussa-Newtona” przeprowadzonej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Promotorem rozprawy doktorskiej był doc. dr hab. inż. Andrzej Masłowski.

Swoją działalność zawodową rozpoczął w roku 1977 w Instytucie Badań Jądrowych (obecnie Narodowe Centrum Badań Jądrowych) kolejno na stanowisku: inżynier mechanik, asystent, starszy asystent, a od roku 1986 – adiunkt. W latach 1986-2011 pełnił funkcję kierownika: Sekcji Teorii Plazmy i Akwizycji Danych, Sekcji Teorii i zastosowań Strumieni

Plazmy, Sekcji Teorii Plazmy, Zakładu Fizyki i Technologii Plazmy. Dodatkowo w latach 1997-2006 pracował jako wykładowca w Katedrze Metod Ilościowych w Wyższej Szkole Działalności Gospodarczej w Warszawie. Prowadził zajęcia z przedmiotów: „Teoria Systemów i Cybernetyka” oraz „Badania Operacyjne”.

W początkowym okresie swojej działalności naukowej dr inż. Marek Andrzej Rabiński koncentrował się na opracowaniu programów obliczeniowych do modelowania zjawisk fizyki plazmy, zagadnień wymiany ciepła w materiale elektrody i na powierzchni plazma-ścianka, topienia i krzepnięcia materiału w warunkach oddziaływania skoncentrowanego strumienia jonów. Badania te prowadził w ramach programu projektowania i budowy układu PlasmaFocus PF-1000. Opracował metodologię i metody obliczeniowe dla identyfikacji parametrów modeli fizyko-matematycznych o zmiennych rozłożonych, oraz opartą o zmodyfikowane techniki minimalizacji Gaussa-Newtona i Marquardta. Podsumowanie tego okresu działalności naukowej dr. inż. Marka Andrzeja Rabińskiego stanowiła rozprawa doktorska.

W okresie działalności naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora prowadził badania w ramach międzynarodowego programu badań transportu zanieczyszczeń w plazmie brzegowej tokamaka T-15 w Moskwie. Opracował kod obliczeniowy do modelowania transportu zanieczyszczeń w warstwie brzegowej plazmy. Ponadto jego działalność naukowa koncentrowała się na modelowaniu procesu napyłania magnetronowego, w efekcie opracował jednowymiarowy model płynowy dla modelowania zachowania się plazmy w magnetronie. Od 2006 roku zajmuje się badaniem wiązki szybkich elektronów w tokamakach. Realizuje zadania badawcze w ramach europejskich programów EURATOM i EUROfusion.

## **2. Ocena osiągnięcia naukowego**

Dr inż. Marek Andrzej Rabiński wskazał jako osiągnięcie naukowe będące podstawą dla ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka cykl publikacji naukowych pod zbiorczym tytułem „Badania dynamiki plazmy w rozwoju metody IPD impulsowego nakładania pokryć w inżynierii powierzchni”. Tematyka badawcza zawarta w prezentowanym osiągnięciu związana jest z analizą przebiegu zjawisk istotnych dla procesów syntezy i osadzania cienkościennych powłok z zastosowaniem plazmy impulsowej w warunkach obniżonego ciśnienia. Prowadzone badania umożliwiają rozszerzenie obszaru zastosowania metody IPD w praktyce przemysłowej, stosowanej obecnie m. in. w wytwarzaniu warstw diamentopodobnych, c-BN, tlenkowych oraz wieloskładnikowych powłok metastabilnych typu MCrAl(Y).

Przedstawione do oceny artykuły opublikowano w większości w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym: *Vacuum, Surface and Coatings Technology* i stanowią one w swoim zakresie merytorycznym cykl powiązanych tematycznie publikacji. Są efektem pracy zespołowej, jednakże w każdym przypadku powstały przy znacznym udziale Habilitanta (ocenionym na 80, 90%) i potwierdzonym oświadczeniami współautorów.

Monotematyczny cykl publikacji stanowiący przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe zawiera 10 pozycji:

1. M. Rabiński, K. Zdunek: "Physical Model of Dynamic Phenomena in Impulse Plasma Coaxial Accelerator" *Vacuum* vol. 48 (7–9), pp. 715–718, 1997;
2. M. Rabiński, K. Zdunek: "Computer Simulations and Experimental Results in Studies of Plasma Dynamics during the Impulse Plasma Deposition Process", *Surface and Coatings Technology*, 116–119, pp. 679–684, 1999;
3. M. Rabiński, K. Zdunek „Snow plow model of IPD discharge” *Vacuum*, vol. 70 (2003) pp. 303–306;
4. M. Rabiński, K. Zdunek „Rayleigh–Taylor instability in plasma jet from IPD accelerator”, *Surf. Coat. Technol.* Vol. 174–175 (2003) 964–967;
5. M. Rabiński, E. Wierzbiński, K. Zdunek „Studies of squirrel cage type coaxial accelerator for IPD process” *Surf. Coat. Technol.* Vol. 200 (2005) 788–791;
6. M. Rabiński, K. Zdunek „Studies of discharge parameters influence on the IPD plasma deposition process” AIP 0-7354-0304-X/06/\$23.00, (2005) pp. 453–456
7. M. Rabiński, K. Zdunek „Modelling of flow phenomena during the Impulse Plasma Deposition Process” EUROCON 2007 The International Conference on "Computer as a Tool", Warsaw, Poland, 2007-09-09 - 2007-09-12, IEEE No. 1-4244-0813-X/07/\$20.00\_2007 (2007) p. 2177–2188
8. M. Rabiński, K. Zdunek „Computational studies of plasma dynamics in Impulse Plasma Deposition coaxial accelerator” *Surf. Coat. Technol.* Vol. 201 (2007) 5438–5441;
9. M. Rabiński, R. Chodun, K. Nowakowska-Langier, K. Zdunek „Computational modelling of discharges within Impulse Plasma Deposition accelerator with gas valve” *Phys. Scr.* Vol. T161 (2014);
10. M. Rabiński, K. Zdunek “Computational Studies of the Impulse Plasma Deposition Method” in: Tetsu Mieno (ed) “Plasma Science and Technology – Progress in Physical States and Chemical Reactions” *InTech* (2016) pp. 131- 152;

W swoim zakresie merytorycznym publikacje te w zdecydowanej większości stanowią efekt działalności naukowo-badawczej Habilitanta dotyczącej badania i modelowania zjawisk fizycznych determinujących efekty impulsowego nakładania powłok metodą IPD. Prezentowane w przedstawionym do oceny cyklu artykułów wyniki badań pod względem zakresu oraz sposobu analizy obserwowanych zjawisk oraz ich modelowania przy zastosowaniu metod numerycznych świadczą o dużej wiedzy i umiejętnościach Habilitanta. Istotny wkład dr. inż. Marka Andrzeja Rabińskiego w realizacji badań prezentowanych w cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe przejawia się poprzez sformułowanie modeli zjawisk fizycznych w akceleratorze plazmy impulsowej, w opracowaniu modelu matematycznego tych zjawisk w przybliżeniu „pługa śnieżnego”, przedstawieniu wyników numerycznej symulacji zjawiska niestabilności Rayleigh\_Taylora oraz oddziaływania tego zjawiska na proces konstytuowania i jakość wytwarzanych powłok. Ponadto Habilitant przedstawił analizę wyników dotyczących oddziaływania rodzaju elektrody zewnętrznej na

dynamikę plazmy. Przedstawił oryginalną metodę obliczeniową dla modelowania zjawisk fizycznych w koaksjalnym akceleratorze plazmy IPD z uwzględnieniem impulsowego zaworu gazowego. Uzyskane rozwiązania numeryczne podano weryfikacji eksperymentalnej z zastosowaniem m. in. obserwacji wiązki jonowej, metod diagnostyki rentgenowskiej, sond magnetycznych oraz spektroskopii optycznej. Zastosowano metodę szybkiej fotografii kadrowej (HSFC) w zakresie światła widzialnego dla scharakteryzowania kształtu i położenia obszaru wyładowania w plazmie. Przedmiotem badań Habilitanta były również procesy erozyjne powierzchni wewnętrznej elektrody które zakłócają proces wytwarzania i rozprzestrzeniania się plazmy. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów i obserwacji opracowano model opisujący zjawisko erozji powierzchni elektrody w trakcie procesu. Wykazane w osiągnięciu publikacje zawierają wyniki badań efektywności procesu wytwarzania powłoki z azotku tytanu oraz jej jakości z uwzględnieniem oddziaływania geometrii zewnętrznej elektrody akceleratora (cylindryczna i prętowa). Przeprowadzona analiza dyfraktometryczna wytworzonych powłok ujawniła ich skład fazowy pozwalając na ocenę ich jakości i efekcie wprowadzenie zmian konstrukcyjnych akceleratora IPD wprowadzonych do praktyki przemysłowej. Następnym etapem badań zrealizowanym przez Habilitanta było opracowanie metod numerycznych z wykorzystaniem dwuwymiarowego modelu magnetohydrodynamicznego (MHD) które potwierdziły poprawność opisu dynamiki plazmy metodą wykorzystującą model „pługa śnieżnego” zastosowaną we wcześniejszym etapie badań. Istotne znaczenie dla naukowej i użytecznej wartości badań miało opracowanie procedury symulującej działanie impulsowego zaworu inicjującego proces plazmowy poprzez wtrysk gazu. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na ustalenie warunków pracy zaworu zapewniające uzyskanie warstwy TiN o rozmiarach ziarna w zakresie kilkudziesięciu nanometrów oraz znacznej poprawy twardości tych warstw wytworzonych na narzędziach skrawających.

Jako osiągnięcia Habilitanta w obszarze badań ujętym w ramach przedstawionego osiągnięcia naukowego należy wymienić:

- opracowanie symulacji komputerowych pozwalających na przewidywanie ewolucji i rozkładu przestrzennego wyładowania z uwzględnieniem wprowadzonych rozwiązań konstrukcyjnych akceleratora i parametrów procesu generowania plazmy, pozytywnie zweryfikowanych badaniami eksperymentalnymi;
- badania symulacyjne dynamiki plazmy zawierające analizę oddziaływania mechanizmu „pługa śnieżnego”, zjawiska Rayleigha\_Taylora, geometrii układu i przyjętych parametrów procesu;
- pogłębiony opis i analizę zjawisk zachodzących w trakcie procesu konstituowania powłok metodą IPD skutkujący opracowaniem zmian dotyczących warunków procesu wytwarzania;

Przeprowadzone badania pozwoliły na wprowadzenie szeregu zmian zarówno w zakresie doboru warunków procesu wytwarzania powłok jak również modyfikacji konstrukcyjnych obejmujących m. in. zmiany w geometrii akceleratora, zastosowanie pierścienia

ceramicznego na powierzchni elektrody zewnętrznej, wykazanie przydatności cylindrycznej elektrody zewnętrznej dla uzyskania poprawy jakości wytwarzanych powłok. Wprowadzono również zmiany w sposobie rozładowania baterii kondensatorów (zastąpiono rozładowanie oscylacyjne pojedynczym rozładowaniem). Następnym etapem wprowadzonych zmian konstrukcyjnych było zastosowanie zaworu impulsowego dla inicjowania procesu plazmowego poprzez wtrysk gazu roboczego bezpośrednio do przestrzeni pomiędzy elektrodami.

Stwierdzam, że na podstawie analizy cyklu publikacji przedstawionego przez Habilitanta, biorąc pod uwagę ich wartość merytoryczną, poziom prezentacji wyników badań oraz sposób wnioskowania, przedstawiony przez dr. inż. Marka Andrzeja Rabińskiego zestaw publikacji naukowych pod zbiorczym tytułem „Badania dynamiki plazmy w rozwoju metody IPD impulsowego nakładania pokryć w inżynierii powierzchni” spełnia wymagania dla uznania go jako osiągnięcie naukowe będące podstawą dla ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka

### **3. Ocena działalności naukowo-badawczej**

Dr inż. Marek Andrzej Rabiński po uzyskaniu stopnia doktora rozszerzył obszar swoich zainteresowań badawczych. Opracował kod obliczeniowy dla modelowania transportu zanieczyszczeń w warstwie brzegowej plazmy tokamaka T-15, pracował również nad modelowaniem procesu napylania magnetronowego i opracował jednowymiarowy model płynowy opisujący zachowanie plazmy w magnetronie. Tematem Jego działalności naukowej były również badania wiązki szybkich elektronów w tokamakach. Udokumentowaniem działalności naukowej dr. inż. Marka Andrzeja Rabińskiego w tym okresie są publikacje naukowe w renomowanych czasopismach specjalistycznych o zasięgu światowym. Wykaz publikacji znajdujących się w bazie JRC zawiera 58 pozycji, przy czym w trzech artykułach Habilitant jest jedynym autorem. Wyniki prowadzonych badań publikował również w postaci monografii i rozdziałów w monografiach -5 pozycji. Ponadto jest współautorem 5-ciu artykułów w czasopismach krajowych. Uzupełnienie publikacyjnego dorobku Habilitanta stanowią również raporty i opracowania wewnętrzne Instytutu Badań Jądrowych.

Liczba publikacji i cytowań wynosi odpowiednio w bazie Web of Science – 52; 220, ResearchGate- 62; 225, Google Scholar- 128; 327. Wartość Indeksu Hirscha wg. bazy Web of Science oraz ResearcherID – 9, Google Scholar – 11

Dr inż. Marek Andrzej Rabiński uczestniczył i wygłaszał referaty na międzynarodowych konferencjach naukowych. Przedstawiony wykaz referatów zawiera ponad 100 pozycji, w czym 25 referatów w swoim zakresie merytorycznym jest związanych z tematyką osiągnięcia naukowego. Ponadto przedstawił 22 referaty na konferencjach krajowych, w tej liczbie 5 pozycji jest związanych z osiągnięciem badawczym habilitanta.

Habilitant aktywnie uczestniczy w realizacji projektów badawczych. Był kierownikiem projektów związanych z realizacją zadań zawartych w dokumencie „Roadmap to Fusion” w ramach programu Horyzont 2020 Wspólnoty Europejskiej. Ponadto był wykonawcą w 3 projektach realizowanych w ramach programu European Atomic Energy Community

(EURATOM). Kierował zadaniem badawczym realizowanym w Strategicznym projekcie badawczym "Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej" – Badania i rozwój technologii dla kontrolowanej fuzji termojądrowej, finansowanym przez NCBiR.

Brał udział, jako wykonawca w realizacji 5-ciu projektów badawczych finansowanych przez Komitet Badań Naukowych oraz 5-ciu projektów finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Dr inż. Marek Andrzej Rabiński wykazuje znaczną aktywność we współpracy z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami badawczymi m. in.: École polytechnique fédérale de Lausanne (Swiss Federal Institute of Technology), Lozanna (Szwajcaria); ENEA-Fusione FTU, Frascati (Włochy); Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Lizbona (Portugalia); EURATOM-CEA, Cadarache (Francja); Zentralinstitut für Elektronenphysik, Berlin (Niemcy).

#### **4. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej**

Dr inż. Marek Andrzej Rabiński prowadzi aktywną działalność organizacyjną. Jest członkiem komitetów redakcyjnych periodyków naukowych m.in.: „Ekoatom”, (Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej), „Postępy Techniki Jądrowej”, „Biuletyn Nukleoniczny”, (Polskie Towarzystwo Nukleoniczne)– (2003-2008)

Jest członkiem międzynarodowych i krajowych organizacji i towarzystw naukowych:

- Polskie Towarzystwo Nukleoniczne;
- European Nuclear Society;
- Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej;
- Sekcja Fizyki Plazmy Komitetu Fizyki PAN;
- Polskie Towarzystwo Fizyczne.

Jest recenzentem artykułów naukowych i wydawnictw konferencyjnych dla czasopism grupy Elsevier, IOPscience, Begell House, AIP Conference Proceedings. Kierował serią wydawnictw Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego.

W ramach działalności dydaktycznej Habilitant prowadził wykłady na studiach podyplomowych w Politechnice Warszawskiej na specjalności Energetyka Jądrowa z przedmiotu „Synteza termojądrowa i fizyka plazmy”, oraz w Wyższej Szkole Działalności Gospodarczej – „Teoria systemów i cybernetyka” „Badania operacyjne”. Organizował i prowadził pomiary środowiskowe w Czarnobylskiej Strefie Wykluczenia dla studentów Politechniki Warszawskiej, pełnił funkcje promotora pomocniczego prac magisterskich realizowanych na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Prowadził seminaria popularyzujące naukę, publikuje opracowania o charakterze popularno-naukowym.

#### **5. Wniosek końcowy**

Na podstawie analizy przedłożonej dokumentacji dotyczącej dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego stwierdzam, że przedstawiony przez dr. inż. Marka Andrzeja Rabińskiego cykl publikacji pt. „Badania dynamiki plazmy w rozwoju metody IPD impulsowego nakładania pokryć w inżynierii powierzchni” spełnia wymagania stawiane dla

osiągnięcia naukowego w dziedzinie nauk fizycznych. Wnosi znaczący wkład w rozwój wiedzy a jednocześnie ma istotne znaczenie uytylitarne w kontekście wytwarzania powłok metodami inżynierii powierzchni. Habilitant wykazał udokumentowany dorobek naukowy oraz badawczy, dużą aktywność w zakresie realizacji projektów badawczych, oraz udziału w konferencjach. Wykazuje aktywność w zakresie współpracy naukowej z uznanymi ośrodkami zagranicznymi, wykazuje się osiągnięciami dydaktycznymi i w popularyzacji nauki oraz działalnością organizacyjną.

**Stwierdzam iż przedłożone osiągnięcie naukowe oraz znaczna intensywność naukowa, również wykazany dorobek naukowo-badawczy, organizacyjny i dydaktyczny spełnia w stopniu wystarczającym wszystkie wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego zawarte w obowiązującej ustawie o stopniach i tytule naukowym. Wnioskuje zatem o nadanie dr. inż. Markowi Andrzejowi Rabińskiemu stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie fizyka.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Fry', is located in the lower right quadrant of the page.