

**Ocena osiągnięcia naukowego, cyklu 6 publikacji zebranych pod wspólnym tytułem  
„Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych”  
oraz dorobku naukowego dr. Andrzeja Wojciechowskiego,  
w postępowaniu dotyczącym przyznania stopnia doktora habilitowanego  
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne**

**Podstawa prawna i formalna opracowania recenzji**

Recenzję przygotowano na podstawie:

- a) decyzji Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych z dnia 9.07.2020 r. o powołaniu mnie na członka i recenzenta komisji habilitacyjnej w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego, w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne, dr. Andrzej Wojciechowski przekazanej piśmie Sekretarza Naukowego z dnia 30 lipca 2020 roku
- b) wskazanie przez dr. Andrzeja Wojciechowskiego osiągnięcia naukowego pt. „Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych”, stanowiącego cykl 6 spójnych tematycznie prac oryginalnych, opublikowanych w czasopismach z listy JCR
- c) ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2020 poz.85 z późn. zm.)

**Dokumentacja wniosku**

Recenzję przygotowano w oparciu o następującą otrzymaną dokumentację:

- a) wniosek dr Andrzeja Wojciechowskiego do Narodowego Centrum Badań Jądrowych za pośrednictwem Rady Doskonałości Naukowej z dnia 1 października 2019 roku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych; (Wniosek.pdf)

- 
- b) autoreferat Wnioskodawcy wraz z monotematycznym cyklem 6 publikacji pod wspólnym tytułem „*Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych*” w języku polskim i angielskim; (zał. *autoreferat-pol.doc* i *autoreferat-ang.doc*)
  - c) oświadczenie z dnia 1.10.2019 r. określające indywidualny wkład dr. Andrzeja Wojciechowskiego w dwóch publikacjach (A3 i A6) wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (zał.: *oświadczenie.doc*)
  - d) odpis dyplomu doktorskiego Pana Andrzeja Wojciechowskiego wydanego 27.04.2007r, przez Instytut Energii Atomowej, Otwock-Świerk (zał.: *Dyplom-Phd.jpg*)
  - e) dane kontaktowe (zał.: *Kontakty.doc*)

Informacje dotyczące pracy doktorskiej, pracy recenzenckiej, aktualnej pracy i pracy edukacyjnej zostały zawarte w autoreferacie.

Niestety, Wnioskodawca nie zamieścił na przekazanej płycie CD publikacji naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, stanowiących podstawę wniosku o wszczęciu postępowania habilitacyjnego, co utrudniło recenzję. Podane w autoreferacie odnośniki do tych publikacji nie umożliwiają swobodnego dostępu do pełnych treści artykułów. Z powodu braku dostępu mojego instytutu do pełnej wersji artykułów (A1, A2, A5) opublikowanych w *Progress in Nuclear Energy* i w *Annals of Nuclear Energy* musiałem uzyskać je drogą pośrednią.

Jako recenzent muszę też zwrócić uwagę na niestaranność edycyjną otrzymanego tekstu autoreferatu (różne interlinie, brak odstępów w tekście, brak odstępów tekstu od rysunków i tabel), co znacznie utrudniło wykonanie recenzji.

Mimo wspomnianych wyżej uwag, stwierdzam, że dostarczona dokumentacja jest kompletna i zgodna z zaleceniami. Od strony formalnej dokumentacja spełnia wszystkie kryteria wymagane do przeprowadzenia oceny merytorycznej osiągnięcia naukowego dr. Andrzeja Wojciechowskiego pt. „*Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych*”, oraz oceny aktywności naukowej Habilitanta.

---

## Podstawowe informacje i ocena aktywności naukowej, działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej.

Dr Andrzej Wojciechowski ukończył studia magisterskie w 1982 roku na Wydziale Fizyki w Uniwersytecie Warszawskim. Stopień doktora nauk fizycznych, nadany uchwałą Rady Naukowej Instytutu Energii Atomowej (Otwock-Świerk) z dnia 25 kwietnia 2007 roku, uzyskał na podstawie pracy doktorskiej wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. Bronisława Słowińskiego pt. „*Model probabilistyczny reakcji spalacji przy energiach pośrednich*”. Reakcja spalacji jest jedną z podstawowych reakcji używanych do produkcji neutronów i jedyną reakcją do produkcji neutronów wysokoenergetycznych. Wydajne źródła neutronów wysokoenergetycznych to podstawa rozszczepień bezpośrednich Th-232 i U-238 i reaktorów podkrytycznych sterowanych akceleratorem. W rozprawie doktorskiej autor zaproponował tzw. „model fribal” do opisu rozkładów ilościowych i energetycznych emitowanych produktów reakcji spalacji, w tym rozkłady neutronów. Otrzymane wyniki zostały porównane z danymi eksperymentalnymi oraz rezultatami obliczeń z kodów MCNPX, DCM i FRITIOF. Część obliczeń została wykonana w czasie pobytu w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej (Rosja). Wyniki pracy doktorskiej zostały opublikowane w pracach: W.Furman, J.Adam, A.Baldin, (A.Wojciechowski), et.al., *Recent results of the study of ADS with 500 kg natural uranium target assembly QUINTA irradiated by deuterons with energies from 1 to 8 GeV at JINR NUCLOTRON*, Proceedings of Science (2012) i w pracy: M.Bielewicz, S.Kilim, E.Strugalska-Gola, M.Szuta, A.Wojciechowski; *About the First Experiment on Investigation of  $^{129}\text{I}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  and  $^{239}\text{Pu}$  Transmutation at the NUCLOTRON 2, 52 GeV Deuteron Beam in Neutron Field Generated in U/Pb-Assembly*; Energy plus Transmutation, 2007.

Dr Andrzej Wojciechowski po studiach rozpoczął pracę w Instytucie Energii Atomowej (IEA) w Otwock-Świerk i kontynuuje ją do dzisiaj w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Otwocku. Od marca 2005 roku do stycznia 2008 roku i od lutego 2008 do lipca 2019 był oddelegowany do pracy w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Laboratorium Technologii Informatycznych (Dubna, Rosja). Pod naukowym kierownictwem M.Szuty (NCBJ) prowadził w LFWE eksperymenty z zastosowaniem wiązek deuterionów z Nuklotronu (LFWE) i wiązek protonów z Fazotronu (LJP), w ramach tematyki ADS (Accelerator Driven System) w ramach projektu Energia i Transmutacja Odpadów Radiacyjnych. Projekt dotyczy spalacji i transmutacji wypalonego paliwa jądrowego i jest szczególnie trudny w realizacji

---

ze względu na wyjątkowe wymagania eksperymentalne. Doświadczenia przeprowadza się m.in. z użyciem podkrytycznego układu QUINTA zawierającego 500 kg uranu. Prace dotyczą matematycznego modelowania fizycznych procesów spalania i jądrowej, transmutacji jądrowej, wypalania Th-232 i U-238 w ADS-ach. Masywną tarczę uranową naświetla się wiązką np. protonów i bada otrzymywane w układzie pola neutronów. Dołączenie do tego układu próbki jednego z aktywności, umożliwia badanie procesów transmutacji i spalania odpadów radiacyjnych i towarzyszącego tym procesom wydzielania energii. Prace doświadczalne wspierane są przez obliczenia modelowe z zastosowaniem programu MCNPX, które następnie porównuje się z wynikami eksperymentów. Dr Andrzej Wojciechowski zajmuje się analizą danych eksperymentalnych uzyskanych w eksperymentach naświetlania zestawów podkrytycznych na nuklotronie w Laboratorium Fizyki Wysokich Energii (LFWE) i fazotronie w Laboratorium Problemów Jądrowych (LPJ) w ZIBJ w Dubnej.

Pan dr Andrzej Wojciechowski jest zarejestrowany w bazie ekspertów UE i w latach 2016 - 2018 wykonał łącznie 9 recenzji. Dwie z nich to recenzje wykonane dla wydawnictw naukowych (Journal Annals of Nuclear Energy i Journal of Geochemical Exploration), a 7 to recenzje prac konferencyjnych.

Na całkowity dorobek dr. Andrzeja Wojciechowskiego składa się 13 publikacji w recenzowanych czasopismach, 20 raportów naukowych i preprintów oraz 24 doniesienia konferencyjne i sprawozdania. Znacząca większość tych publikacji (poza 4 pozycjami) powstała po uzyskaniu stopnia doktora. Spośród tych publikacji 4 stanowią pozycje indywidualne a w 6 publikacjach dr Andrzej Wojciechowski jest głównym autorem.

Warte podkreślenia jest to, że wskazane przez Wnioskodawcę osiągnięcie naukowe tj. zestaw 6 publikacji z lat 2012-2019 pod wspólnym tytułem „Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych”, to w zasadniczo samodzielne prace dr. Andrzeja Wojciechowskiego. Cztery z tych publikacji stanowią publikacje indywidualne (A1, A2, A4, A5) a w dwóch publikacjach (A3, A6) dr Andrzej Wojciechowski jest głównym autorem.

Z pełnym przekonaniem mogę stwierdzić, że udział Pana dr Andrzeja Wojciechowskiego w tych pracach jest niezaprzeczalny i potwierdza, że autor pełnił rolę wiodącą będąc zarówno autorem koncepcji badań i metod obliczeń oraz zadbał o ostateczny kształt publikacji i spójność interpretacji wyników i wniosków. Świadczy to o dużej samodzielności pracy naukowej Habilitanta.

---

Publikacje posiadają stosunkowo niewielką łączną liczbę 9 cytowań. Pozostałe publikacje wymienione w grupie B (7 publikacji) są cytowane 86 razy. Oceniając dorobek publikacyjny warto także odnotować współautorstwo rozdziału w monografii „*Yttrium Compounds, Production and Applications*” wydanej przez wydawnictwo Nova Science Publishers, Inc., New York w roku 2011.

Trudno jest na podstawie informacji zawartych w autoreferacie ocenić w pełni działalność dydaktyczną i organizacyjną Pana dr. Andrzeja Wojciechowskiego. Usprawiedliwieniem może być fakt pracy w jednostce typowo naukowej, gdzie działalność dydaktyczna nie jest głównym obszarem aktywności.

Praca edukacyjna dr. Andrzeja Wojciechowskiego to opieka nad studentami w ramach Międzynarodowych Praktyk, w trakcie których studenci wykonują m.in. symulacje komputerowe wybranych eksperymentów przeprowadzanych w ZIBJ i porównują je z uzyskanymi wynikami eksperymentalnymi. Efektem tych praktyk jest podana w autoreferacie informacja, że na podstawie wyników uzyskanych w trakcie jednej z takich praktyk studenckich powstała praca magisterska obroniona w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, a wyniki były zreferowane na konferencji AYSS w 2017 roku [D1,D2]. W latach 2011 - 2015 dr Andrzej Wojciechowski prowadził „opiekę naukową” pracownika z Korei Płn, który zajmował się badaniem prędkości rozszczepień w zestawie KWINTA [C1, C2] oraz wyznaczaniem strumienia neutronów na podstawie pomiarów z detektorów aktywacyjnych. Jak podaje w autoreferacie „*dodatkowo, pod moim kierunkiem pisał on pracę doktorską*” z tej tematyki. Praca ta z powodu wyjazdu doktoranta w 2015 roku ze ZIBJ w Dubnej, nie została ukończona.

W autoreferacie nie znalazłem informacji dającej podstawy do oceny działalności organizacyjnej, w tym o kierowaniu projektami badawczymi uzyskiwanymi w drodze konkursu.

Utrudnieniem w ocenie aktywności naukowej dotyczącej wykładów na konferencjach jest brak informacji o tym, kto prezentował prace w czasie konferencji wymienionych w spisie „Konferencje i sprawozdania konferencyjne” autoreferatu.

---

## Ocena osiągnięcia naukowego

Cykl prac przedstawionych jako osiągnięcie naukowe Habilitanta pt. „Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych” wpisuje się w ważną, aktualną i ciągle rozwijaną tematykę wykorzystania reakcji rozszczepienia jąder atomowych do produkcji ciepła i wytwarzania energii elektrycznej. Wykorzystanie U-238 i Th-232 jako paliwa reaktora jądrowego jest fundamentalnym zadaniem dla rozwoju energetyki jądrowej. Rozwój tej gałęzi energetyki wymaga stałego rozwoju dziedzin fizyki jądrowej i jest konieczny dla bezpiecznej i wydajnej pracy obecnych i przyszłych reaktorów energetycznych. Tematyka ta dotyczy też ważnego problemu odpadów promieniotwórczych (utylicacji, przetworzenia, bezpiecznego składowania) a to jest bardzo ważny czynnik ekonomiczny, a także, co nie mniej istotne, wpływający na społeczną akceptację energetyki jądrowej, szczególnie w ostatnich latach.

Przedstawione omówienie cyklu publikacji podzielone jest na 7 rozdziałów. We wstępie przedstawione są metody rozszczepiania U-238 i Th-232 tj. bezpośrednia i pośrednia oraz reakcje rozszczepienia (n,f) i wychwyty (n,g) w zestawie ADS.

Rozdział II dotyczy zagadnień wyznaczenie strumienia neutronów za pomocą detektorów aktywacyjnych. Znajomość widma energetycznego strumienia neutronów w badaniach zestawów podkrytycznych sterowanych akceleratorem (ADS) to fundamentalny problem badawczy z uwagi na bezpośredni wpływ widma neutronów na wydajność wszystkich reakcji wywołanych neutronami. Zaproponowana metoda nie wymaga wykonania dopasowania do danych eksperymentalnych i można ją wykorzystać dla wielu praktycznych zastosowań, m.in. do badania rozkładów przestrzennych i energetycznych gęstości strumienia neutronów zestawów podkrytycznych i krytycznych.

W rozdziale III (Krytyczność cyklu torowego w stanie równowagowym) autor analizuje zagadnienie czy możliwy jest reaktor powielający oparty na cyklu torowym bez dodawania U-235 lub Pu-239. Na to pytanie pozytywnie odpowiada praca [A2].

Kolejne rozdziały omawiają zagadnienia produkcji U-232 w cyklu torowym (Rozdz. IV) i wpływ moderatora i mocy reaktora na współczynnik konwersji w cyklu torowym (Rozdz. V i VI).

W pracy [A1] przedstawiono wyniki dotyczące produkcji U-232 w cyklu torowym umożliwiające już na etapie projektowym reaktora TBR (Thorium Breeder Reactor) zaproponować rozwiązania minimalizujące koncentrację U-232 w paliwie torowym z jednoczesną maksymalizacją wypalenia paliwa w reaktorze. Szczególnie interesujące jest porównanie produkcji U-232 dla różnych rodzajów materiałów stosowanych jako chłodziwa. Warto też

---

podkreślić, że badanie wydajności produkcji U-232 w reaktorze TBR jest jednym z głównych zadań związanych z bezpieczeństwem tego reaktora. Badania krytyczności cyklu torowego kontynuowane są przez Habilitanta w pracy [A2]. Przedstawione wyniki potwierdzają możliwość konstrukcji reaktora powielającego TBR opartego na cyklu torowym w stanie równowagi. Reaktor taki może pracować w stanie krytycznym osiągając wypalenie powyżej 300 GWd/MTU a uwzględniając duże światowe zasoby toru, ten typ reaktora może być przyszłością energetyki jądrowej. Jak już wspomniano badania widma energetycznego gęstości strumienia neutronów są jednym z kluczowych zagadnień tematyki reaktorowej. W pracy [A3] zaproponowano metodę badania tego widma za pomocą detektorów aktywacyjnych i potwierdzono jej przydatność dla wielu praktycznych zastosowań (m.in. do badań i budowania spalacyjnych źródeł neutronów). Dzięki małym wymiarom (kilka mm) detektorów aktywacyjnych, można uniknąć zaburzenia mierzonego strumienia neutronów i co umożliwi badanie jego struktury wewnętrznej dla źródeł neutronów. Badania detektorów aktywacyjnych były kontynuowane w pracy [A6], gdzie wykazano możliwość zastosowania detektorów aktywacyjnych do wyznaczenia liczby rozszczepień  $U_{nat}(n+p,f)$  w strumieniu neutronów i protonów jednocześnie. Praca [A4] dotyczy badań wpływu moderatora na cykl torowy. Otrzymane wyniki umożliwiają uzyskanie optymalnych warunków dla produkcji U-233. Największe koncentracje U-233 można uzyskać dla ściśle określonego widma neutronów. Na podstawie uzyskanych wyników istnieje możliwość budowy urządzenia do maksymalnie wydajnej produkcji U-233. Zagadnienia analizy koncentracji U-233 w rdzeniu są treścią pracy [A5]. Rezultaty badań wyjaśniają wpływ gęstości mocy reaktora na koncentrację U-233 w cyklu torowym (koncentracja ta po schłodzeniu paliwa jest rosnącą funkcją gęstości mocy reaktora) i co ważne podkreślenia, umożliwiają zwiększenie wydajności produkcji U-233 w dowolnym reaktorze do tego przeznaczonym.

### **Wnioski końcowe**

Wyniki wielu lat pracy dr. Andrzeja Wojciechowskiego mają, moim zdaniem istotne znaczenie z punktu widzenia poznawczego i badań podstawowych nad procesami zachodzącymi w reaktorach jądrowych w tym nad wypalaniem Th-232 i U-238 w rdzeniach, ale także, a może przede wszystkim, w aspekcie aplikacyjnym i doskonalenia technologii sterowania pracą reaktorów. Niebagatelnym osiągnięciem dr. Andrzeja Wojciechowskiego jest także rozwój metodologii badawczej. Planowane konstrukcje reaktorów prędkich (FR) i reaktorów

---

sterowanych akceleratorem (ADS) wymagają obliczeń symulacyjnych potwierdzonych badaniami eksperymentalnym, które umożliwią zaprojektowanie instalacji o maksymalnej wydajności do produkcji energii lub do transmutacji szkodliwych odpadów promieniotwórczych, Przedstawiony do oceny cykl publikacji dr. Andrzeja Wojciechowskiego wydatnie przyczynia się do rozwoju tej dyscypliny naukowej.

Działalność naukowa Pana dr. Andrzeja Wojciechowskiego, co warte jest podkreślenia, realizowana jest w więcej niż jednej instytucji naukowej. Dorobek publikacyjny dowodzi, że prowadzi szeroką i efektywną współpracę z ośrodkami naukowymi zarówno krajowymi jak i zagranicznymi.

Przedstawione przez dr. Andrzeja Wojciechowskiego osiągnięcie naukowe jako cykl spójnych publikacji w międzynarodowych, recenzowanych czasopismach naukowych potwierdza znaczący udział kandydata do stopnia doktora habilitowanego w rozwiązaniu istotnego problemu naukowego,

Podsumowując stwierdzam, że przedstawione przez Pana dr Andrzeja Wojciechowskiego osiągnięcie naukowe w postaci cyklu powiązanych tematycznie publikacji pt. „*Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych*” oraz całokształt działalności naukowej spełniają kryteria stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. , poz. 85 z późn. zm.).

Upoważnia mnie to jako recenzenta do zarekomendowania Komisji w postępowaniu habilitacyjnym dr Andrzeja Wociechowskiego oraz Radzie Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych poparcia wniosku o nadanie dr. Andrzejowi Wojciechowskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych. ☐

*Krzysztof Kozak*