

Warszawa 30 stycznia 2021r.

dr hab. Marek Karny, prof ucz.  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski  
ul.Pasteura 5  
02-093 Warszawa

**Ocena dorobku naukowego dra Andrzeja Wojciechowskiego i recenzja jego osiągnięć badawczych przedstawionych do habilitacji pt: „Wypalenie U-238 i Th-232 w reaktorach jądrowych.”**

## **Informacje podstawowe**

Dr Andrzej Wojciechowski ukończył studia magisterskie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w roku 1982, zaś stopień naukowy doktora nauk fizycznych uzyskał w roku 2007. Prace doktorską pt: „*Model probabilistyczny reakcji spalacji przy energiach pośrednich*” wykonał pod opieką prof. dr. hab. Bronisława Słowińskiego w Instytucie Energii Atomowej (IEA) w Świerku. Od 1983 roku jest zatrudniony w Instytucie Energii Atomowej i jego aktualnym następcy Narodowym Centrum Badań Jądrowych (NCBJ). W roku 2005 dr Wojciechowski odbył prawie roczny (od 01.03.2005 do 30.01.2006) staż w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej, Rosja, zaś w roku 2008 wyjechał na ponad 10 letni pobyt do Dubnej. Od czasu powrotu tj. lipca 2019 dr Wojciechowski pracuje w NCBJ.

## **Charakterystyka dorobku naukowego.**

Całkowity dorobek naukowy dr. Wojciechowskiego stanowi łącznie 13 prac z listy MSWiN, 24 artykuły w materiałach pokonferencyjnych oraz 20 artykułów w raportach instytutowych głównie ZIBJ w Dubnej oraz IEA w Świerku. Habilitant jest również współautorem rozdziału pt: „Yttrium Application for Spallation Neutron Energy Spectrum Reconstruction” w książce „Yttrium Compounds, Production and Applications” wydanej przez Nova Science Publishers Inc., New York, 2011.

W autoreferacie dr Wojciechowski wymienia 24 publikacje w materiałach pokonferencyjnych, nie wspomina jednak o żadnych referatach wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach. Dr Wojciechowski był recenzentem 7 prac, w tym 5 artykułów pokonferencyjnych.

Jak na niemal 40 lat pracy (od roku 1983) w instytucie naukowym jest to dorobek raczej mizerny. Przeglądając jednak uważnie spis publikacji i cytowań można zauważyć, że wszystkie (bez jednej [B5]) prace habilitanta ukazały się po roku 2007, czyli roku obrony pracy doktorskiej.

## Ocena osiągnięć przedstawionych do habilitacji

Dr Andrzej Wojciechowski, jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę habilitacji, przedstawił sześć powiązanych ze sobą tematycznie prac pod wspólnym tytułem pt. „Wypalenie U-238 i Th-232 w reaktorach jądrowych”. Wszystkie zostały opublikowane w czasopismach grupy Elsevier po dwie prace w *Progress in Nuclear Energy* [prace **A1** i **A2**] oraz *Measurement* [prace **A3** i **A6**] oraz po jednej w *Annals of Nuclear Energy* [**A5**] i *Nuclear Engineering and Design* [**A4**]. W czterech z przedstawionych prac habilitant jest jedynym autorem [prace **A1,A2,A4,A5**], zaś w dwóch jest pierwszym autorem z grupy czterech lub pięciu autorów, odpowiednio prace [**A6**] i [**A3**]. Przedstawione prace można podzielić na trzy grupy:

- prace **A1**, **A2** badające procesy wypalania Th-232 w zestawach krytycznych,
- prace **A4**, **A5** badające warunki wypalania Th-232 w zestawach podkrytycznych.
- prace **A3**, **A6** związane z wykorzystaniem detektorów aktywacyjnych do określenia warunków zachodzących wewnątrz grubej (512 kg) tarczy uranowej naświetlanej protonami o wysokich energiach.

### Grupa pierwsza - prace **A1** i **A2**

Praca **A2** zatytułowana „*Criticality of the thorium burnup in equilibrium state.*” bada warunki dla konfiguracji kasyety A1 reaktora typu EPR (European Pressurized Reactor). Kasyety typu A1 stanowią ok. 25% wszystkich użytych kaset (dokładnie 64/241), w większości są rozmieszczone na obrzeżach reaktora. Geometria kasyety A1 z prętami o centralnym wzbogaceniu U-235 do 2.25% stanowi podstawę dla pozostałych typów kaset A2, B1-2, C1-3, które różnią się rozmieszczeniem prętów zawierających domieszkę gadolinu, oraz innym wzbogaceniem uranu (dla prętów klasy B i C). Na użytek pracy autor w zasadzie utrzymuje tylko konfigurację geometryczną kaset zmieniając wszystko inne, paliwo (wprowadza Th-232 z domieszką U-233), dopuszcza różne promienie dla peletu paliwa jak i zmienia chłodziwo badając wykorzystanie takich substancji jak: F<sub>2</sub>Be, Na i Pb. Następnie w pracy autor prezentuje zależności współczynnika powielania neutronów  $k_{eff}$  i koncentracji U-233 w funkcji wypalania paliwa i średniej energii neutronów. Głównym parametrem decydującym o maksymalnej wartości współczynnika  $k_{eff}$ , maksymalnej koncentracji U-233, i maksymalnym wypaleniu jest energia neutronów. Zależności odpowiadające tym wielkościom są rosnącymi funkcjami średniej energii neutronów w prętach paliwowych.

Akapit, w pewnym sensie zamykający te badania znajdujemy jednak w pracy **A1**, gdzie autor pokazuje, że istnieją parametry pracy badanej konfiguracji, w których możliwe jest uzyskanie dla paliwa torowego zarówno krytyczności reaktora jak i jego funkcji powielania. Jest to możliwe dla Pb-208 jako chłodziwa, przy wartościach początkowej koncentracji U-233 na poziomie 7% oraz współczynnika paliwowym  $FR=0.33$ , natomiast dla wody jako chłodziwa jednoczesne uzyskanie krytyczności i powielania jest niemożliwe dla paliwa torowego.

Praca **A1** „*The U-232 production in thorium cycle*” przedstawia wyniki obliczeń produkcji i koncentracji U-232 w funkcji wypalania paliwa, rodzaju chłodziwa zużytego w reaktorze oraz średniej energii neutronów. U-232 jest niepożądanym produktem wypalania paliwa torowego, powstającym na trzech ścieżkach, w których każda zawiera reakcje

typu (n,2n). W łańcuchu rozpadu U-232 są wytwarzane beta-radiaktywne izotopy Pb-212, Bi-212, Hg-208 i Tl-208. Ostatni z nich Tl-208 emituje promieniowanie gamma o dość wysokiej energii 2.6 MeV, co przy dużej koncentracji U-232 w wypalonym paliwie może stanowić problem w przypadku prób manipulowania paliwem bez istotnych osłon. W pracy autor prezentuje zależności koncentracji U-232 dla różnych chłodziw, różnych wartości parametru FR, oraz różnych koncentracji początkowych U-232 w paliwie. W związku z dużą energią progową wymaganą do zajścia reakcji (n,2n) ostateczna koncentracja U-232 w saturacji rośnie w funkcji średniej energii neutronów w danym zestawie. Obliczenia w obu pracach były prowadzone z wykorzystaniem kodu MCNPX.

## Grupa druga - prace A4 i A5

Praca **A5** „*Influence of the power density on a conversion ratio in Accelerated Driven System (ADS)*” oraz praca **A4** „*Influence of moderator to fuel ratio (MFR) on burning thorium in a subcritical assembly*” opisują zachowanie wybranych parametrów pracy w różnych konfiguracjach prętowych dla podkrytycznego układu typu Yalina Thermal. W pracy **A5** habilitant definiuje 4 układy prętów: pierwszy z 217 prętami torowymi, drugi to 217 uranowych prętów EK-10 otoczonych 148 prętami torowymi, trzeci to konfiguracja odwrotna do konfiguracji drugiej, z tym że dodatkowe pręty uranowe są umieszczone w 4 grupach pomiędzy prętami torowymi. Czwarty układ to zestaw 365 prętów torowych. Dodatkowo wszystkie układy zawierają moderator polietylenowy, grafitowy reflektor oraz źródło zewnętrznych neutronów. Układy drugi i trzeci to układy cyklu uranowo-torowego, zaś układy pierwszy i czwarty cyklu torowego. Jako potencjalne źródło neutronów zewnętrznych Habilitant wspomina dość egzotyczną koncepcję wykorzystania reaktora termojądrowego typu ITER jako źródła neutronów i tym samym stworzeniu reaktora typu „fusion-fission”, nie wspominając jednocześnie o pierwotnej metodzie wspomagania rozszczepienia, czyli reakcji spalacji wywołanej przez wysokoenergetyczne protony. Źródłem zewnętrznych neutronów wykorzystanych w obliczeniach w pracy jest samorzutne rozszczepienie Cf-252. Jest to opcja która, jak zauważa Habilitant, wymaga potężnej, wręcz nierealnej wydajności źródła ok.  $10^{17} \frac{\text{neutronow}}{\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}}$ . Drugim wąskim gardłem wykorzystywanych do obliczeń układów jest polietylen w roli moderatora. Polietylen ma niską temperaturę topnienia ok. 130° C, podczas gdy spodziewana temperatura pracy układów to ok. 600° C. Dla rozważań w pracy **A5** nie ma to dużego znaczenia, jako że współczynnik MTF (Moderator to Fuel Ratio) jest ustalony (7.9) i nie podlega zmianom, jednak w przypadku pracy **A4**, gdzie współczynnik MTF jest zmienną w badaniach oczekiwałbym dłuższej dyskusji o braku wpływu materiału moderatora na wyniki badań, niż zamieszczone zdanie „...these technical defects have no influence on the investigated physics of fuel burnup in this work...”. Typ i ilość moderatora powinny mieć wpływ na średnią energię kinetyczną neutronów.

Główny parametr badany w pracy **A5** to koncentracja izotopu U-233 w funkcji wypalenia, dla różnych wartości mocy oraz konfiguracji prętowych, a tym samym cyklów uranowo-torowym i torowym. Drugim parametrem badanym w pracy jest współczynnik konwersji paliwa (CR - conversion ratio) służący do określenia stopnia powielania paliwa, wszystko jak wspomniałem dla ustalonego parametru MFR=7.9.

W pracy **A4** autor skupia się na jednej wybranej konfiguracji prętów tj. konfiguracji czwartej z 365 prętami Th-232. Zależność koncentracji U-233 oraz współczynnika konwersji CR w funkcji wypalenia i mocy dla różnych wartości współczynników MFR czyli

Moderator to Fuel Ratio (MFR= 0, 0.25, 0.89, 2.55, 8.35) wypełniają większość pracy. Ostatni rozdział artykułu poświęcony jest prostemu modelowi wiążącemu koncentracje U-233 w stanie równowagi z przekrojami czynnymi na reakcje  $\text{Th-232}(n, \gamma)$ ,  $\text{U-233}(n, \gamma)$  oraz  $\text{U-233}(n, f)$ .

### Grupa trzecia - prace A3 i A6

Praca **A3** „*A method of measuring the neutron energy spectrum by activation detectors*” przedstawia metodę bezpośredniego wyznaczania (bez wolnych parametrów dopasowania) wartości strumienia neutronów z wykorzystaniem detektorów aktywacyjnych. Główna część pracy poświęcona jest trudnemu problemowi wyznaczania niepewności w tzw. "ill-posed problems", czyli problemach, które jeśli posiadają rozwiązanie to nie musi to być rozwiązanie unikatowe ani stabilne. Autorzy dyskutują wzajemny wpływ niepewności pomiaru liczby reakcji oraz niepewności bazodanowych przekrojów czynnych na uzyskane niepewności wyznaczania strumienia neutronów. Wartości strumienia neutronów wyliczone przedstawioną metodą w oparciu o dane zebrane w eksperymencie KWINTA w JINR Dubna, wykazują dobrą zgodność z obliczeniami typu Monte Carlo (MCNPX) dla energii do 100 MeV. W przedziale energii 100-200 MeV rozbieżność między wyliczeniami, a obliczeniami kodem MCNPX jest zauważalna co autorzy wiążą z niedokładnościami użytej biblioteki TENDL 2009, w zakresie tych energii, . Przedstawiona metoda rozwiązania problemu zdaje się być uniwersalna i mieć zastosowanie do innych zagadnień fizycznych. Według mojej oceny jest to najwartościowsza praca w zestawie.

Praca **A6** „*Simultaneous measurement of the neutron- and proton-induced fissions by activation detectors*” prezentuje metodę pomiaru liczby rozszczepień wywołanych przez wysokoenergetyczną ( 0.66 GeV) wiązkę protonów bezpośrednio bombardującą blok naturalnego uranu o masie 512 kg. Wspomniany już eksperyment KWINTA w Dubnej. Wykorzystując technikę detektorów aktywacyjnych umieszczonych w różnych miejscach bloku uranu, autorzy wyznaczają przestrzenny rozkład całkowitej liczby rozszczepień, jak i podział na rozszczepienia wywołane neutronami produkowanymi w zderzeniach wiązki z uranem, jak i bezpośrednio przez protony. Wyniki porównywane są z modelowaniem z wykorzystaniem kodu MCNPX.

Według bazy Web of Science na dzień 16 grudnia 2020r łączna liczba cytowań przedstawionych prac to 8, choć zestawienie nie uwzględnia pracy **A5** w „Annals of Nuclear Energy”, która w/g habilitanta była cytowana 3 razy. Uznając 11 jako liczbę cytowań muszę stwierdzić, że jest to raczej niedużo jak na zestaw prac, które mają być uznane jako, cytuje za ustawą (Art 219 pkt. 2), „stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny” . Tak niska liczba cytowań wskazuje na brak zainteresowania pracami środowiska. Dla porównania dwie poprzednie habilitacje, które recenzowałem dla NCBJ miały tych cytowań 134 i 185. Tak duże różnice nie są wytłumaczalne różnymi działami fizyki.

## **Charakterystyka dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej habilitanta**

Dorobek dydaktyczny dra Wojciechowskiego jest nieduży, choć jest to w jakiś sposób wytłumaczalne wieloletnią pracą w instytucie badawczym, który nie prowadzi działalności dydaktycznej na poziomie magisterium i niżej. Z autoreferatu wynika, że habilitant pracował ze studentami uczestniczącymi w Międzynarodowych Praktykach Studenckich w Dubnej. Materiał naukowy jednej z takich współprac był podstawą pracy magisterskiej obronionej na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie przez panią Magdalenę Grab. W autoreferacie habilitant wspomina również o opiece naukowej nad panem Y.C. Lim z Korei Północnej, który w latach 2011-2015 przebywał w laboratorium w Dubnej w celu zrobienia doktoratu. Po zakończeniu współpracy rządów Rosji i Korei Północnej p.Lim wyjechał z Dubnej bez ukończenia pracy doktorskiej.

Habilitant nie wspomina o jakimkolwiek zaangażowaniu w działalność popularyzatorską, zaś współpraca międzynarodowa zdaje się być ograniczona do laboratorium w Dubnej.

### **Podsumowanie**

Po zapoznaniu się z wynikami dra Andrzeja Wojciechowskiego zawartymi w pracach przedstawionych jako osiągnięcie naukowe do habilitacji, jak również z pozostałymi dokumentami dotyczącymi jego dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego, stwierdzam że aktywność naukowa oraz przedstawione osiągnięcie naukowe zatytułowane „*Wypalenie U-238 i Th-232 w reaktorach jądrowych.*” nie stanowią znacznego wkładu w rozwój dyscypliny naukowej - nauki fizyczne, a zatem zgodnie z art .219 pkt 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dn. 20 lipca 2018r. nie spełniają wymagań ustawowych do nadania stopnia doktora habilitowanego.