

Prof. dr inż. Henryk Anglart
Politechnika Warszawska

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym doktora Andrzeja Wojciechowskiego w Narodowym Centrum Badan Jądrowych

1. Podstawowe informacje o Habilitancie i jego dorobku naukowym

Dr Andrzej Wojciechowski ukończył studia magisterskie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 1982 roku. Stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk fizycznych uzyskał w roku 2007 w Instytucie Energii Atomowej Otwock-Świerk, na podstawie rozprawy poświęconej badaniu reakcji spalacji. Po doktoracie pracował w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej, w Rosji, a obecnie, w Narodowym Centrum Badan Jądrowych (NCBJ) Otwock-Świerk. Habilitant nie wspomina o odbytym stażu po-doktorskim, czy też innej istotnej wymianie naukowej z ośrodkami zagranicznymi.

Dr Wojciechowski wyszczególnia w swoim wniosku dorobek w postaci sześciu prac, z czego czterech samodzielnych, opublikowanych po doktoracie w czasopismach z listy JCR, o łącznej liczbie cytowań 9 i współczynniku wpływu 8.807. W dwóch współautorskich pracach wkład Habilitanta polegał na napisaniu tekstów manuskryptów, zaproponowaniu koncepcji prac i metod obliczeń, oraz na wykonaniu obliczeń i rysunków. Jako nie będące osiągnięciem, Habilitant podaje siedem prac współautorskich o łącznej liczbie cytowań 86 i współczynniku wpływu 7.802. W żadnej z tych prac Habilitant nie występuje jako pierwszy autor, a jego wkład do publikacji nie jest podany. Dr Wojciechowski wymienia też informacje o współautorstwie dwudziestu raportów naukowych i preprintów, oraz dwudziestu czterech wystąpień konferencyjnych.

Do pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych Habilitant zalicza pracę recenzencką, składającą się z dziewięciu recenzji publikacji konferencyjnych i w czasopismach naukowych, oraz pracę edukacyjną, w ramach której Habilitant opiekował się studentami odbywającymi międzynarodowe praktyki. Dr Wojciechowski był również opiekunem naukowym doktoranta z Korei Płn, jednakże z przyczyn niezależnych od Habilitanta, doktorant nie ukończył pracy doktorskiej.

Pod względem merytorycznym, zgodnie z warunkami nadania stopnia doktora habilitowanego wymienionymi w art. 219 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, dorobek naukowy dra Wojciechowskiego składa się z cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych. Znaczenie tego dorobku może jednak budzić duże wątpliwości z powodu bardzo małej liczby cytowań. Ponadto, z przedstawionych do mojej oceny materiałów nie wynika, że Habilitant prowadzi istotną działalność naukową realizowaną w uczelniach krajowych lub zagranicznych.

2. Istota dorobku naukowego Habilitanta

Dalszy rozwój energetyki jądrowej, a w szczególności zapewnienie dostępu do materiałów rozszczepialnych, które mogą być bezpiecznie wykorzystane w reaktorach jądrowych do wytwarzania energii użytecznej, może odegrać istotną rolę dla przyszłych pokoleń. Znane zasoby uranu, przy obecnym poziomie i technice jego wykorzystania do wytwarzania energii elektrycznej, wyczerpią się w ciągu najbliższych 250-300 lat. Dlatego szukanie nowych źródeł materiałów rozszczepialnych jest zagadnieniem o bardzo dużym znaczeniu. W tym świetle, zajęcie się tą tematyką przez dra Wojciechowskiego uważam za cenne i ważne z naukowego punktu widzenia.

Habilitant przedstawił swoje osiągnięcia naukowe w postaci Autoreferatu zatytułowanego „Wypalanie Th-232 i U-238 w reaktorach jądrowych”, omawiającego cykl sześciu publikacji [A1-A6]. Autoreferat ma 29 stron w wersji polskiej i angielskiej, podzielony jest na siedem części i posiada spis literatury zawierający 15 pozycji [E1-E15].

W części pierwszej Autoreferatu przedstawione zostały dwie metody rozszczepienia U-238 i Th-232: bezpośrednia i pośrednia. W metodzie bezpośredniej wykorzystywane są cząstki wysokoenergetyczne (np. neutrony, protony, deuterony) do inicjacji reakcji spalacji oraz rozszczepienia. Wiązkę szybkich hadronów można uzyskać w akceleratorze, natomiast szybkie neutrony powstają w reakcji spalacji U-238(p,xn) i Th-232(p,xn). Ponieważ reakcje rozszczepienia U-238(n,f) i Th-232(n,f) wymagają wysokich energii progowych, istotne jest wyznaczenie rozkładu energetycznego gęstości strumienia neutronów. Temu zagadnieniu poświęcona jest praca [A3]. W metodzie pośredniej nuklidy Th-232 i U-238 wychwytyją najpierw neutron, a następnie po dwukrotnym rozpadzie beta przekształcają się odpowiednio w U-233 i Pu-239, czyli nuklidy które łatwo można rozszczepić. Wykorzystaniu tej metody dla nuklidu Th-232 w reaktorach powielających w stanie krytycznym poświęcone są prace [A1 i A2], natomiast w reaktorach podkrytycznych prace [A4 i A5].

Część druga Autoreferatu oparta jest w całości na pracy [A3] i zawiera opis metody wyznaczania strumienia neutronów w badaniach zestawów podkrytycznych sterowanych akceleratorem (ADS) za pomocą detektorów aktywacyjnych. Jest to zagadnienie o znaczeniu bardzo istotnym, gdyż wydajność wszystkich reakcji wywołanych neutronami w sposób bezpośredni zależy od ich widma energetycznego. W pracy [A3] opracowano ogólną metodę bezpośredniego obliczania wartości strumienia neutronów używając do tego celu detektorów aktywacyjnych i dowolnej liczby kanałów reakcji. Metoda była wcześniej użyta w pracach [B1 i B3], gdzie gęstość strumienia neutronów była obliczona dla trzech zakresów energii wykorzystując detektory aktywacyjne Y-98 i trzy kanały reakcji: Y-89(n,2n), Y-89(n,3n) i Y-89(n,4n). W pracy [A3] zastosowano siedem kanałów reakcji i przetestowano metodę w zakresie energii neutronów od 0.7 do 200 MeV.

Krytyczność cyklu torowego w stanie równowagowym dyskutowana jest w części trzeciej Autoreferatu, która zawiera streszczenie wyników uzyskanych przez Habilitanta w pracy [A2]. Obliczenia zostały wykonane kodem MCNP/MCNPX oraz w pewnym stopniu potwierdzone obliczeniami analitycznymi. Jako model geometryczny Habilitant użył danych dotyczących reaktora EPR, gdzie zastosował mieszaninę Th-232 i U-233 jako paliwo oraz różne rodzaje chłodziwa, takie jak fluorek berylu (BeF_2), sód (Na) i ołów (Pb), wszystkie w stanie ciekłym. Obliczenia wykazały, że współczynnik wypełnienia paliwem (*fuel ratio*, FR) i rodzaj użytego chłodziwa mają największy wpływ na widmo energetyczne neutronów, a w rezultacie, na wypalenie paliwa torowego. Ponadto ustalono, że krytyczność reaktora powielającego torowego w stanie równowagi można otrzymać tylko dla strumienia neutronów odpowiadającego reaktorom prędkim.

W części czwartej Habilitant omawia jeden z istotniejszych problemów cyklu torowego: powstawanie izotopu U-232, w którego łańcuchu rozpadowym emitowane jest wysokoenergetyczne promieniowanie γ . Podobnie jak w pracy [A2], Habilitant użył kodu MCNP/MCNPX i posłużył się geometrią reaktora EPR aby obliczyć wydajność wytwarzania izotopu U-232. Wyznaczenie koncentracji izotopu U-232 w wypalonym paliwie jest bardzo istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa radiologicznego. Z jednej strony wysoka aktywność wypalonego paliwa utrudnia proliferację materiałów jądrowych. Z drugiej jednak powoduje, że proces produkcji paliwa torowego wymaga specjalnych środków bezpieczeństwa, podrażając go i znacznie komplikując. Obliczenia przeprowadzone w pracy [A1] i zreferowane w części czwartej Autoreferatu doprowadziły do wielu interesujących wniosków. Między innymi pokazano, że w trakcie eksploatacji reaktora U-232 nie kumuluje się, ale dąży do pewnej koncentracji nasyceniowej, która zależy od kilku parametrów, takich jak rodzaj chłodziwa (w pracy zostały przebadane takie chłodziwa jak Pb, Pb-208, BeF₂, Na i H₂O), współczynnika wypełnienia paliwem (FR), oraz gęstości mocy. Najlepszym chłodziwem okazuje się być Pb-208, dla którego koncentracja krytyczna U-232 (tj. koncentracja przy maksymalnym wypaleniu paliwa jakie może osiągnąć reaktor ze względu na zatrucie produktami rozszczepienia) jest najniższa, a jednocześnie, maksymalne wypalenie paliwa najwyższe.

Inny ważny wskaźnik cyklu torowego – współczynnik konwersji, a w szczególności wpływ moderatora na jego wartość – dyskutowany jest w części piątej Autoreferatu, gdzie Habilitant przedstawia główne wyniki obliczeń uzyskanych w pracy [A4]. Współczynnik konwersji określa wydajność produkcji nuklidu rozszczepialnego, którym w tym przypadku jest U-233. Do obliczeń wykorzystano kod MCNPX 2.7, ale część wyników uzyskano za pomocą prostego modelu analitycznego. Jako paliwa użyto mieszaniny Th-232/U-233, ciekłego fluorku berylu jako chłodziwa, polietylenu jako moderatora, oraz izotopu Cf-252 jako zewnętrznego źródła neutronów. Obliczenia przeprowadzone w geometrii podkrytycznego zestawu Yalina Thermal pokazały, że stosunek objętości moderatora do paliwa (MFR), oraz stosunek objętości chłodziwa do moderatora i paliwa razem wziętych (CMFR) mają największy wpływ na widmo energetyczne neutronów, a zatem i na wypalenie paliwa. Wartość nasyceniowa współczynnika konwersji jest wolnorosnącą funkcją MFR i zawiera się w przedziale od 0.911 do 0.966. Z pewnością najistotniejszym wnioskiem płynącym z pracy [A4] jest stwierdzenie, że równoczesne osiągnięcie współczynnika konwersji większego od jedności (co w praktyce oznaczałoby powielanie paliwa), efektywnego współczynnika powielania k_{eff} większego od jedności (co oznacza, że reaktor może osiągnąć krytyczność), oraz negatywnego współczynnika reaktywności próżniowej chłodziwa (co oznacza bezpieczeństwo podczas eksploatacji) jest niemożliwe. Jest to, co prawda, dosyć pesymistyczny wniosek z punktu widzenia zastosowań cyklu torowego, ale istotny z punktu widzenia naukowego. Należy jednak podkreślić, że wniosek ten dotyczy tylko i wyłącznie przebadanych materiałów i uwzględnionej geometrii, i nie ma charakteru uniwersalnego.

W części szóstej Autoreferatu Habilitant omawia analizy przeprowadzone w pracy [A5], a mianowicie, badania wpływu mocy reaktora na współczynnik konwersji w cyklu torowym. Podobnie jak w pracy [A4], użyto trzech różnych wariantów geometrii zestawu podkrytycznego Yalina Thermal, czterech różnych wartości koncentracji początkowej U-233 (od 0 do 0.0441), różnych efektywnych współczynników mnożenia (od 1.01 do 0.47), dwóch różnych mocy (2.5 i 5 MW), oraz dwóch cykli: U-Th (z prętami paliwowymi uranowymi i torowymi) i Th (z prętami torowymi wyłącznie). Obliczenia wykonane za pomocą kodu MCNPX pokazały, że gęstość mocy reaktora nie ma wpływu na zależność koncentracji U-233 i wypalenia od współczynnika konwersji. Ponadto stwierdzono, że dla rozpatrywanego przypadku, współczynnik konwersji może być większy od jedności gdy koncentracja U-233 wynosi około 0.0127. Jest to o tyle ważne, że pokazuje które parametry są istotne dla osiągnięcia warunków powielania paliwa w reaktorze.

W ostatniej, siódmej części, Habilitant omawia praktyczne możliwości wykorzystania uzyskanych wyników. Wymienionych zostało sześć zastosowań, które w zasadzie pokrywają się z tematyką prac [A1-6]. W moim odczuciu dwa główne kierunki zastosowań wyników osiągniętych przez Habilitanta to wykorzystanie detektorów aktywacyjnych do wielu praktycznych zastosowań, takich jak wyznaczanie widma energetycznego gęstości strumienia neutronów (praca [A3]), czy też do wyznaczania liczby rozszczepień uranu naturalnego w strumieniu neutronów i protonów (praca [A6]). Pozostałe prace ([A1-2 i A4-5]) dostarczają cennych informacji o możliwościach i ograniczeniach budowy reaktora powielającego opartego na cyklu torowym.

Autoreferat nie jest przedmiotem mojej oceny, ale należy nadmienić, że odbiega on znacznie od zwyczajowych standardów piśmiennictwa naukowego. Pomijając kwestie estetyczne i staranności przygotowania, posiada on szereg błędów i nieścisłości. Na stronie 3 w paragrafie 1.1 podano „... energia progowa rozszczepienia np. dla reakcji U-238(p,f) wynosi ona około 1 MeV (Tab. 1.1)”. Tymczasem w Tablicy 1.1 energia progowa dla tej reakcji jest podana jako 9 MeV.

Na stronie 6, paragraf 2.1 zawiera następujące stwierdzenie: „Dokładne rozwiązanie równania (Eq.2.1) ze względu na niewiadomą $\phi(E)$ jest niemożliwe”. Podobnie w wersji angielskiej czytamy „The strict calculation of $\phi(E)$ on the basis of experimental data n^{ex} from Eq. (2.1) is not possible”. Tymczasem w pracy [A3] do której Habilitant w tym miejscu się odwołuje znajdujemy „The strict calculation of $\phi(E)$ on the basis of experimental data n^{ex} from Eq. (1) is not impossible”.

W równaniu (2.4) na lewej stronie, pierwszy wyraz od góry w wektorze kolumnowym powinno być

$$n_1^{ex}, \text{ a jest } n_i^{ex}.$$

Równanie (2.9) i występujące po nim symbole objaśnione w tekście są nieczytelne.

Na Rys. 3.4, który jest cytowany na podstawie publikacji [A2], jako jednostka wypalenia (*burnup*) podane jest MTU (*metric ton of uranium*). Tymczasem powinno być GWd/MTU, co zresztą ma miejsce we wspomnianej publikacji [A2]. Szereg wykresów jest nieczytelnych, gdyż brakuje osi odciętych lub czytelnej legendy (Rys. 5.1-5.3, 5.5-5.8).

3. Ocena końcowa dorobku naukowego Habilitanta

Pod względem merytorycznym, zgodnie z warunkami nadania stopnia doktora habilitowanego wymienionymi w art. 219 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, dorobek naukowy dra Wojciechowskiego składa się z cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych. Znaczenie tego dorobku może jednak budzić duże wątpliwości ze względu na bardzo małą liczbę cytowań. Ponadto, z przedstawionych do mojej oceny materiałów nie wynika, że Habilitant prowadzi istotną działalność naukową realizowaną w uczelniach krajowych lub zagranicznych. Dlatego uważam, że Habilitant nie spełnia wymogów ustawowych (art. 219 ust. 1, pkt 2 i 3) warunkujących nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Sztokholm, 23 września 2020

