Kraków, 21.01.2021

Prof. dr hab. Jerzy W. Mietelski

Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie

31-342 Kraków

Radzikowskiego 152

Tel. 12 6628 392,

e-mail jerzy.mietelski@ifj.edu.pl

**Recenzja dorobku naukowego i cyklu publikacji przedstawionego jako osiągnięcie naukowe dr. Andrzeja Wojciechowskiego**

1. **Wstęp**

Zapotrzebowanie energetyczne cywilizacji rośnie wraz z postępem technicznym. Ostatnie trzysta lat gwałtownego przyspieszenia cywilizacyjnego rozpoczęło się i wciąż bazuje głównie na energii pozyskiwanej ze spalania (chemicznego) paliw kopalnych. W ostatnich kilkudziesięciu latach znaczący procent energii napędzającej ludzką cywilizację pochodzi z wypalania (jądrowego) U-235. W ostatnich latach rośnie udział źródeł odnawialnych jednak brak umiejętności akumulowania znacznych ilości energii do późniejszego wykorzystania wraz z losowym charakterem stopnia generacji energii odnawialnej powoduje, że nie stanowi ona jak dotąd realnej alternatywy do zastąpienia energii pozyskiwanej z zasobów kopalnych czy to chemicznych czy jądrowych. Widmo wyczerpania zasobów chemicznych paliw kopalnych stoi już na naszym progu, wystarczy ich jedynie na najbliższe kilkadziesiąt lat. Zasoby U-235, tego z aktualnie pozyskiwanych źródeł, wystarczy na najbliższe ok. 300 lat. W tym świetle perspektywa wykorzystania U-238, którego zasoby są 137 razy większe od zasobów U-235 jest bardzo atrakcyjna. Jeszcze bardziej atrakcyjna jest perspektywa wykorzystania toru, którego zasoby są kilkukrotnie większe od zasobów uranu. Najbardziej interesująca jest możliwość powielania paliwa jądrowego poprzez generacji plutonu z naturalnego uranu i U-233 z naturalnego toru w reaktorach powielających. W obecnej chwili te technologie są obszarem prowadzonych prac rozwojowych i studialnych. Tym zagadnieniom, opracowywanym od strony symulacji i modelowania komputerowego, poświęcone są zasadnicze prace Habilitanta, w tym cykl prac przedstawionych do oceny jako osiągnięcie naukowe..

1. **Dorobek Habilitanta**

Wykazany we wniosku habilitacyjnym dorobek naukowy Habilitanta składa się z sześciu artykułów stanowiących cykl przedstawiony jako osiągnięcie naukowe oraz z kolejnych siedmiu prac (B1-B7) w czasopismach recenzowanych przedstawionych jako drugi, zasadniczy element dorobku. Jedna z tych prac (B5) powstała w roku 2003 a więc przed uzyskaniem przez Habilitanta stopnia doktora nauk fizycznych (rok 2007). Zastanawia mnie tytuł zestawienia tych prac „nie będących osiągnięciem” gdyż pada w nim sugestia, że jest to jedynie wybór a nie pełen zestaw. Brzmi on bowiem „Pozostałe ważniejsze recenzowane publikacje nie będące osiągnięciem”. Trzeba powiedzieć że przedstawiona lista jest raczej skromna, zwłaszcza w kontekście wieku dzisiejszego Habilitanta (rocznik 1957). Całkowita liczba cytacji tych prac nie jest wysoka, jedynie 85, z czego połowa (41) należy do pracy z roku 2003. Prace te (tj. B1-B7) są wszystkie wieloautorskie. Dotyczą transmutacji, pomiarów widm neutronowych i podobnych zagadnień z zakresu technik reaktorowych. Szczątkowe informacje biograficzne umieszczone we Wniosku wspominają o długotrwałej pracy Habilitanta w ZIBJ w Dubnej (Rosja). W dalszej części Wniosku Habilitant przestawia listę 20 raportów i preprintów, w których jest współautorem. Zwraca uwagę, że nazwisko habilitanta znajduje się na pierwszym miejscu w aż 7 z nich. Tylko jedna z tych 20 prac pochodzi z lat przed uzyskania stopnia doktora. Podobnie lista 24 prezentacji konferencyjnych z udziałem Habilitanta zawiera tylko zdarzenia nie starsze niż rok 2007. Wszystko to sugeruje, że znakomita większość czy też praktycznie cały dorobek naukowy Habilitanta powstał w ciągu jedynie 12 lat, które upłynęły od doktoratu do złożenia Wniosku w roku 2019. Nie dysponuje żadnymi danymi na temat tego czym zajmował się dzisiejszy Habilitant przed obroną pracy doktorskiej w roku 2007. W przedstawionych wykazach nie widać znaczącego śladu jego aktywności naukowej z tego okresu (tj. jedna publikacja i jeden raport). Natomiast okres po uzyskaniu stopnia doktora jest bez wątpienia okresem długotrwałego uczestniczenia i aktywnego udziału Habilitanta w zespołach badawczych rozwijających technikę reaktorów jądrowych. Biorąc pod uwagę tę okoliczność, a więc oceniając dorobek naukowy Habilitanta w skali ostatnich 12 lat poświęconych pracy naukowej, ta ocena musi być i jest oceną pozytywną.

Jednocześnie trzeba zauważyć, że w przedstawionym Wniosku nie widać osiągnięć dydaktycznych ani popularyzatorskich Habilitanta. Prawdopodobnie jest to skutek długoletniej pracy poza granicami kraju w ośrodku naukowym o specyficznym charakterze, oderwanym od życia akademickiego, jakim jest ZIBJ Dubna. Natomiast sam fakt pracy w kilku ośrodkach naukowych, w tym w naukowym ośrodku zagranicznym, nie tylko w placówce naukowej w Polsce, przemawia na korzyść Habilitanta.

1. **Osiągnięcie naukowe pt. „Wypalanie U-238 i Th-232 w reaktorach jądrowych”**

Habilitant zgłosił jako osiągnięcie naukowe zatytułowane „Wypalanie U-238 i Th-232 w reaktorach jądrowych” cykl sześciu prac, z których aż cztery są pracami jednoautorskimi (prace: A1, A2, A4 i A5), w dwóch pozostałych (A3 i A6) jest pierwszym autorem. Prace ukazały się w recenzowanych czasopismach o czynniku wpływu w zakresie od 0.8 (praca A5) do 2.2 (A3 i A6). Zostały opublikowane w latach 2012-2019. Łącznie prace te osiągnęły do chwili złożenia habilitacji niewielką liczbę cytowań (łącznie 9, rozkłada się to na pojedyncze prace od 0 (A6) do najwyżej 3 (A5) ) jednak trzeba uwzględnić, że są to prace stosunkowo nowe, ponadto dotyczą zagadnień wysoce specjalistycznych, na styku fizyki i inżynierii jądrowej, lecz mających być może duże znaczenie w przyszłości, właśnie z racji tego potencjału zastosowania do rozwoju technologii. Prace prezentują wyniki różnego rodzaju modelowania czy też symulacji wybranych procesów zachodzących w reaktorach na ogół prędkich (w tym powielających) spalających U-238 i Th-238 .

W pierwszej pracy z cyklu (A1) Habilitant rozważa powstawanie U-232 w reaktorze prędkim z paliwem torowym. Prace została opublikowana w czasopiśmie *Progress in Nuclear Energy* w roku 2018. Wyróżniono trzy reakcje jądrowe prowadzące do powstawania U-232 w tych warunkach. Autor zauważa, że nuklid ten jest istotny z dwóch względów: z racji swojego udziału w reakcjach rozszczepienia jak i z racji prowadzenia do powstawania niepożądanego Tl-208, stanowiącego jeden z radionuklidów pochodnych w łańcuchu rozpadów U-232 a będącego emiterem wysokoenergetycznego promieniowania gamma (Eγ=2614 keV), problematycznego z generacji dużych dawek. Praca przedstawia wyniki analiz Monte Carlo prowadzonych w celu znalezienia optymalnych warunków dla minimalizacji produkcji U-232. Dla prostoty rozważań wykorzystano istniejący komputerowy model rdzenia reaktora Areva EPR (reaktor typu PWR!) z różną konfiguracją moderatora (woda lub brak moderatora) oraz chłodziwa (metale w tym separowany izotop Pb-208, sole metali), dla kilku różnych rodzajów chłodziwa i pracującego w zakresie mocy od 0.85 do 5 GW. Rozważano też skrajnie wyższe moce, sięgające do 20 GW. Uzyskane krzywe zależności stężenia U-232 w funkcji wypalenia paliwa mają charakter krzywych saturacyjnych, co jest zrozumiałe z racji rozszczepialności U-232. W dalszej części pracy Autor rozważa osiągnięcie stanu krytycznego na skutek początkowej obecności U-232 dla różnych chłodziw. Następnie przechodzi ro rozważań o produkcji U-232 w warunkach równowagi jego powstawania i destrukcji. Zauważa tu, że ta równowaga wymaga, by podobnie, a więc w warunkach równowagi pomiędzy produkcją i destrukcją, znajdywały się też U-233, Pa-233 i Pa-231. Wprowadzony jest opis posługujący się modelem analitycznym pochodzącym ze starszej pracy Autora (z roku 2014). Wnioskami z przeprowadzonych w pracy analiz jest fakt saturacji stężenia U-232 (a więc brak jego nieopanowanego wzrostu, czyli kumulowania się w okresie pracy reaktora) dla rozważanego tu reaktora prędkiego z paliwem torowym. Poziom tej saturacji zależy od wielu czynników, głównie od rodzaju paliwa ale też od gęstości mocy w reaktorze. Przeprowadzone modelowanie wskazało, że najlepszym pod tym względem chłodziwem jest ołów wysoko wzbogacony w izotop Pb-208 (co może być trudne do wykorzystania w praktyce).

Druga z prac cyklu (A2), również jednoautorska, ukazała się w tym samym czasopiśmie *Progress in Nuclear Energy* w roku 2016. Dotyczy ona modelowania współczynnika mnożenia neutronów w reaktorze z paliwem torowym (powielającym U-233 ) będącym w stanie równowagi jako funkcji zastosowanego chłodziwa, stosunku objętości paliwa i chłodziwa i stopnia wypalenia. Podobnie jak w pracy A1 wykorzystano model matematyczny (komputerowy) rdzenia reaktora typu Areva EPR (jest to reaktor III generacji typu PWR). Stworzony przez firmę Areva model komputerowy rdzenia reaktora EPR pozwala zmieniać szereg parametrów, jest więc bardzo wygodnym narzędziem do modelowania procesów zachodzących w różnego rodzaju reaktorach jądrowych. W tym przypadku Habilitant zmieniał parametry chłodziwa z wody na fluorek berylu (F2Be), metaliczny sód lub ołów. Zmieniał też proporcję pomiędzy objętością zajmowaną przez pręty paliwowe i przez chłodziwo. Modelowanie przeprowadzono metodą Monte-Carlo (pakiety MCNP 2.7 i MCNP 6.1) stosując dwie biblioteki przekrojów czynnych. Nie jest jasne, dlaczego konieczne było korzystanie z różnych wersji oprogramowania, zwłaszcza, że Autor podaje, że wyniki nie różniły się o więcej niż 0.5%. Być może jest to jedynie konsekwencja wymiany używanego oprogramowania na nowsze w trakcie rozciągniętych w czasie prac nad tym zagadnieniem? Jak można się było spodziewać zarówna średnia energia neutronów oraz efektywny współczynnik mnożenia neutronów zależą od rodzaju chłodziwa. Bez względu na początkową domieszkę U-233 w paliwie torowym efektywny współczynnik mnożenia neutronów przyjmuje początkowo drastycznie różne wartości (gdyż U-233 jest rozszczepialny) lecz następnie zmierza wraz z czasem do podobnych wartości, przy czym poziom saturacji wolno maleje wraz z wypaleniem. Krzywa ta ma taki sam charakter dla różnych proporcji chłodziwa i paliwa w reaktorze, przy czym dla początkowego wzbogacenia w U-233 na poziomie 10% jest monotonicznie malejąca a dla o prawie o połowę mniejszego początkowego wzbogacenia pierwotnie rośnie wraz z wypaleniem a po osiągnięciu maximum przy ok. 150 GWd/MTU dalej już też tylko wolno maleje. Dalsze analizy pokazały m.in. że koncentracja U-233 wraz z wypaleniem ma przebieg silnie zależny od proporcji objętości paliwa i chłodziwa oraz rodzaju tego ostatniego. Bardzo duże znaczenie ma tu początkowe wzbogacenie w U-233. Kolejne wyniki pokazują, że efektywny czynnik mnożenia neutronów wzrasta wraz ze średnią ich energią. Natomiast poziom nasycenia U-233 spada wraz z tą energią a stężenie wybranych trucizn reaktorowych wolno rośnie wraz ze wzrostem średniej energii neutronów. Autor konkluduje te wyniki obserwacją, że przy wysokiej średniej energii neutronów (> 2 MeV) reaktor może pracować optymalnie. W konkluzjach pracy Autor zauważa, że pomimo, że proponowany reaktor z paliwem torowym może pracować samodzielnie to pożądane jest dodanie zewnętrznego źródła neutronów pochodzących ze spallacji lub z syntezy jądrowej by uzyskać optymalną wartość średniej energii neutronów.

Trzecia praca cyklu (A3) w której Habilitant jest pierwszym z wymienionych na liście sześciu Autorów opublikowana została w czasopiśmie *Measurements* w roku 2016. Zgodnie ze złożonym Oświadczeniem udział Habilitanta w tej pracy jest decydujący: zaproponował metodykę, wykonał obliczenia i rysunki oraz napisał tekst. Praca jest poświęcona metodzie pomiaru widm neutronowych z wykorzystaniem pasywnych detektorów aktywacyjnych. Jest ona oparta na istnieniu progowych energii dla wytwarzania z tarczy lżejszych izotopów tego samego pierwiastka w reakcjach typu (n,xn) gdzie x=(2,3,…10) a także wykorzystywane są inne reakcje progowe typu (n,nγ), (n,p), (n,α). (Nawiasem mówiąc, zarówno w pracy jak i w Autoreferacie zamiast greckich liter oznaczających kwanty gamma lub cząstki alfa wymienione są łacińskie „g” i „a” ). Uzyskane empiryczne dane tworzą układ równań całkowych Fredholma, który to układ Autor sprowadza do układu równań na wartości przekrojów czynnych. Układ ten rozwiązywany jest metodą iteracyjną (numeryczną). Dużym problemem w tej metodzie jest zależność wyników od niepewności pomiarowych i sprawa ta jest potraktowana z należytą uwagą. Uzyskane w ramach eksperymentu QUINTA w ZIBJ Dubna pod koniec roku 2011 wyniki empiryczne porównywane są w wartościami obliczeniowymi uzyskanymi w oparciu o dane z bazy danych neutronowych przekrojów czynnych TENDL 2009 oraz obliczeniami z wykorzystaniem pakietu Talys v. 1.4. Wykorzystano tarcze z ołowiu, indu, kadmu, aluminium, niklu, żelaza, kobaltu, miedzi, bizmutu. Uzyskano rozkłady energetyczne (widma) strumienia neutronów ze spallacji przy energii pierwotnej wiązki deuteronów 4 GeV (na terczy uranowej). W publikacji nie ma żadnej informacji poza odnośnikiem do eksperymentu QUINTA, jednak już w Autoreferacie można by się spodziewać jakiegoś choćby szczątkowego opisu tego układu. Niestety, nie ma go. W podsumowaniu pracy Autorzy konkludują, że wyniki symulacji Monte Carlo i obliczeń analitycznych opartych na bazach danych i wynikach empirycznych są ze sobą zgodne w granicach określonych niepewnościami. Wskazują też na zalety metody takie jak niewielkie rozmiary pasywnych detektorów aktywacyjnych nie zaburzających przebiegu procesów do tego metoda nie jest zależna od regularyzacji.

Czwarta z prac cyklu (A4) jest ponownie jednoautorska. Opublikowana została w roku 2014 w czasopiśmie *Nuclear Engineering and Design.* Dotyczy wpływu proporcji pomiędzy objętościami stosu podkrytycznego wypełnionymi przez moderator i przez paliwo na proces wypalenia jądrowego toru. Układ taki jest zasilany zewnętrznym strumieniem neutronów pochodzących w ogólności ze spallacji, źródła neutronowego (np. Cf-252) lub syntezy jądrowej. Rozważany stos chłodzony jest tu stopionymi solami fluorku berylu, ma polietylenowy moderator i wyposażony jest w ołowiany reflektor neutronów a zewnętrzny strumień neutronów pochodzi syntezy jądrowej lub Cf-252. . Paliwo torowe zawiera inicjalne (początkowe) niezerowe stężenie U-233. W obliczeniach (symulacjach) Habilitant wykorzystał pakiet MCNPX v. 2.7. Zmiennymi parametrami są: początkowe stężenie U-233, proporcja objętości zajętej przez moderator względem paliwa (parametr MFR) i przez proporcje objętości chłodziwa względem moderatora wraz z paliwem (parametr CMFR). Wykazano, że stężenia U-233 osiąga wraz z wypaleniem stałą wartość, niezależną od początkowego swojego stężenia, zależącą od wartości parametru MFR. Końcowym wnioskiem z pracy jest to, że niemożliwym jest uzyskanie konfiguracji rdzenia rozważanego stosu podkrytycznego, który spełniałby jednocześnie trzy warunki, mianowicie współczynnika konwersji CR>1 ( współczynnik ten jest zdefiniowany jako stosunku tempa produkcji do destrukcji dla substancji rozszczepialnych w reaktorze powielającym), krytyczność i ujemny współczynnik reaktywności w stanie równowagi lub dla początkowej koncentracji U-233 większej niż wartość nasycenia.

Piąta (A5), kolejna jednoautorska z cyklu osiągnięcia, opublikowana została w roku 2012 w *Annals of Nuclear Energy.* Nie wiem czym Habilitant kierował się, ustawiając kolejność prac w cyklu, dla mnie to właśnie ta praca jest najbardziej predystynowana do otwarcia cyklu. Nie tylko dlatego, że jest najstarszą ale i dlatego że jest pracą zawierającą najwięcej elementów wprowadzających w całość tematów, których cykl prac dotyczy. Praca A5 dotyczy jednak przede wszystkim zagadnienia wpływu gęstości mocy na współczynnik konwersji dla U-233 wypalanego w paliwie torowym, lub w paliwie mieszanym, torowo-uranowym w reaktorze podkrytycznym zasilanym zewnętrznym strumieniem neutronów. Obliczenia prowadzone są dla układu eksperymentalnego stosu podkrytycznego YALINA w ZIBJ Dubna. Układ składa się z polietylenowego moderatora, grafitowego reflektora neutronów, zewnętrznego źródła neutronów (w symulacjach rozważano Cf-252 lub źródła z syntezy D-D lub D-T) oraz różnych konfiguracji paliwa zawierającego bądź to standardowe uranowe pręty paliwowe Ek10 i pewną ilość prętów torowych (w różnych proporcjach i geometriach układu) bądź same pręty torowe. Różne konfiguracje prowadzą do różnych osiąganych mocy układu. Obliczenia (symulacje metodą Monte Caro) prowadzone były za pomocą pakietu MCNPX v. 2.6. Rozważane było wypalanie U-233 i Pa-233 stanowiących domieszki w paliwie torowym. Okazuje się, że wypalanie U-233 ma podobny przebieg dla różnych konfiguracji (a więc i mocy) stosu, natomiast dla Pa-233 obserwuje się duże różnice. Ciekawą obserwacją jest to, że stężenie U-233 stabilizuje się (wysyca) na podobnym poziomie wraz z wypaleniem paliwa, a więc obserwuje się równowagę pomiędzy jego powstawaniem i wypalaniem i poziom równowagi nie zależy od gęstości mocy. W przypadku Pa-233 poziom ten jest różny dla różnych mocy układu i jest proporcjonalny do gęstości mocy. Symulacje pokazują, że powielanie U-233 prowadzi do stabilnej pracy układu.

Ostatnia, szósta praca cyklu (A6) ma czterech Autorów, Habilitant zajmuje wśród nich wyróżnione, pierwsze miejsce (nie jest to kolejność alfabetyczna, przynajmniej nie w alfabecie łacińskim). Praca została opublikowana w czasopiśmie *Measurements* w roku 2019. Podobnie, jak w przypadku drugiej kilkuautorskiej pracy w cyklu (A3, publikowanej w tym samym czasopismie), zgodnie z Oświadczeniem, Habilitant zaplanował pracę, napisał tekst, wykonał obliczenia i rysunki. Oznacza to że pozostali Autorzy mieli nie tak istotny wkład w pracę, przede wszystkim głownie ograniczał się on do części eksperymentalnej, jak przypuszczam. Praca A6 dotyczy wykorzystania aktywacyjnych detektorów do monitorowania rozszczepień indukowanych zarówno protonami jak i neutronami. Prezentuje porównanie wyników eksperymentalnych z symulacjami metodą Monte Carlo przeprowadzonymi za pomocą pakietu MCNPX. Wyniki doświadczalne pochodzą z eksperymentalnego układu stosu podkrytycznego QUINTA w ZIBJ Dubna. Zastosowane detektory aktywacyjne to blaszki uranowe w których po ekspozycji badano zawartość wybranych krótkożyciowych produktów rozszczepienia takich jak: Zr-97, I-131, I-133 i Ce-143, wykorzystując wysokorozdzielcza, półprzewodnikową spektrometrię promieniowania gamma. Aktywacyjne uranowe detektory umieszczane były w różnych odległościach od osi symetrii i na różnych głębokościach w około półtonowym bloku uranowym tworzącym tarczę spallacyjną i jednocześnie rdzeń eksperymentu QUINTA. Obliczenia wykonano metodą symulacji Monte Carlo z wykorzystaniem pakietu MCNPX v. 2.7 oraz analitycznie, wychodząc od sformułowania problemu w postaci układu równań całkowych Fredholma, które następnie sprowadza się do układu równań opisujących stężenia produktów rozszczepienia, który to układ jest następnie rozwiązywany metodą przybliżoną wykorzystującą metodę najmniejszych kwadratów. W symulacjach Monte Carlo wykorzystywane są istniejące biblioteki przekrojów czynnych. W podsumowaniu Autorzy konkludują osiągniętą zgodność obliczeń w modelu analitycznym i w symulacjach Monte Carlo. Tym samym uważają, że zaproponowany model analityczny uzyskał pozytywną walidację.

Cykl prac stanowiących oceniane osiągnięcie habilitacyjne przedstawia dr. Andrzeja Wojciechowskiego jako dojrzałego badacza, specjalistę w obranej dziedzinie modelowania wielorakich procesów zachodzących w reaktorach jądrowych a zwłaszcza w reaktorów torowych, samodzielnie rozwiązującego złożone problemy, umiejącego rozpoznawać istotne problemy i niuanse danego zagadnienia, posiadającego zdolność dobierania i nawet rozwijania twórczo właściwych narzędzi do ich rozwiązywania. Habilitant bardzo biegle porusza się w wielu dziedzinach fizyki matematycznej wykorzystując szeroki wachlarz metod analitycznych opisu zjawisk a także biegle posługuje się metodami symulacji Monte Carlo procesów fizycznych oraz metodami numerycznymi rozwiązywania różnych zagadnień. W mojej ocenie przedstawione do oceny osiągnięcie jest znaczące i w pełni zasługuje na docenienie.

Dużo gorsze wrażenie może pojawić się po lekturze Autoreferatu, który napisany jest miejscami w żargonie laboratoryjnym. Moje zarzuty odnoszą się do braku spolszczeń terminów już od wielu lat obecnych w polskojęzycznej literaturze naukowej (np. pojęcie „fissile” mające od kilkudziesięciu lat Polski odpowiednik „nuklid rozszczepialny”) czy też np. ”condition number” (bez tłumaczenia) wprowadzony na str. 7. Prace pisane po polsku, jak w tym przypadku Autoreferat, właśnie powinny służyć wprowadzaniu i utrwalaniu polskich terminów w nowych, rozwijanych dziedzinach. Wywód logiczny omówień ciągu prac stanowiących osiągnięcia jest pełen niedopowiedzeń. Np. na str. 5 zaczyna być nagle mowa o energii pierwotnej wiązki protonów bez podania, jakiego układu to dotyczy i dlaczego w ogóle mowa o protonach jeśli omawiana jest reakcja U(n,f). Są tez ewidentne pomyłki (np. na trzeciej stronie w Tablicy 1.1. i w tekście powyżej zamienione są wartości progów dla reakcji U-238 (n,f) i U-238(p,f). W tekście niższa jest energia progowa dla rozszczepienia w przypadku padającego protonu (1 MeV ) a dla neutronu jest podane 9 MeV, w tekście jest na odwrót. To wartości podane w tekście są bliższe prawdy (np. powinno być 1.4 MeV dla neutronu). Tak samo nie bardzo jest jasne, dlaczego skoro izotopu uranu U-238 jest na Ziemi 137 razy więcej niż U-235, to jego wykorzystanie w energetyce jądrowej wydłuża perspektywę cywilizacji jedynie dziesięciokrotnie (str. 3) a nie powiedzmy - stukrotnie. Podobnie z Th-232, którego jest ok. 500 razy więcej niż U-235, jednak jego wykorzystanie w energetyce wydłuża perspektywę dla cywilizacji wg. Autora jedynie 40-krotnie. Co do formy prezentacji to przedstawione rysunki mają bardzo często mieszane polsko-angielskie opisy lub wręcz zostawione wszystkie opisy w języku angielskim. Parametr CR jest używany już na stronie 11 a jego definicja pojawia się dopiero na str. 18. To tylko część zarzutów jakie można by sformułować wobec Autoreferatu. Sprawia on wrażenie bardzo pospiesznego napisanego tekstu, bez należytego zadbania o jego percepcję, co jak już wyżej wspomniałem kontrastuje z bardzo dobrym wrażeniem jakie powstaje przy lekturze publikacji, w których widoczna jest troska o ciągłość wywodu logicznego i jednoznaczność opisu. Na szczęście obowiązkiem recenzenta jest ocena osiągnięcia oparta na publikacjach a nie na Autoreferacie, a te się bronią.

1. **Podsumowanie**

Moje krytyczne uwagi odnośnie Autoreferatu nie zmieniają mojej ogólnej wysokiej oceny wagi przedstawionego do oceny osiągnięcia naukowego oraz pozytywnej oceny całego dorobku Habilitanta. Przedstawiony do oceny wniosek habilitacyjne spełnia w mojej ocenie w stopniu zadawalającym wszystkie wymagania formalne i merytoryczne stawiane przez obecnie obowiązującą Ustawę odnośnie procesu habilitacyjnego i stąd wnoszę do Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych o nadanie panu dr. Andrzejowi Wojciechowskiemu stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie fizyki.