

Ocena jednotematycznego cyklu publikacji zatytułowanego:

Badania zanieczyszczeń plazmy utrzymywanej w polu magnetycznym w celu optymalizacji technologii termojądrowej konwersji energii

oraz innych osiągnięć naukowych

dr Agaty Chomiczewskiej

w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Ocena publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Przedstawiony mi do oceny cykl publikacji dr Agaty Chomiczewskiej, *Badania zanieczyszczeń plazmy utrzymywanej w polu magnetycznym w celu optymalizacji technologii termojądrowej konwersji energii*, zawiera 19 prac. Wybrane przez autorkę artykuły zostały opublikowane w latach 2012-2019 i stanowią spójny tematycznie zbiór. Większość z nich (17 prac) została opublikowana w renomowanych czasopismach z listy Journal Citation Reports (JCR): Nuclear Fusion – 6 prac, Plasma Physics and Controlled Fusion – 4 prace, Fusion Engineering and Design – 1 praca, Review of Scientific Instruments – 1 praca, Nuclear Materials and Energy – 1 praca, Journal of Nuclear Materials – 3 prace, Problems of atomic science and technology – 1 praca. Dwie prace, [A2] i [A15], zostały zamieszczone w recenzowanych materiałach konferencyjnych.

Zacznę od uwagi natury ogólnej, dr Chomiczewska bierze udział w badaniach zmierzających do uzyskania kontrolowanej fuzji termojądrowej. Ten obszar badań należy do *wielkich projektów naukowych* i wiąże się z oczekiwaniem uzyskania źródła energii w praktyce niewyczerpywalnego, a do tego nieszkodliwego dla środowiska. Współczesne eksperymenty w tym obszarze są przeprowadzane m.in. za pomocą następujących urządzeń termojądrowych: ASDEX-Upgrade (Niemcy) – tokamak średniej wielkości, JET (Wielka Brytania) – największy działający tokamak oraz W 7-X (Niemcy) – największy stellarator. W każdą kampanię pomiarową prowadzoną na urządzeniach tego typu zaangażowana jest duża liczba specjalistów: naukowców i inżynierów. Oczywistą konsekwencją tak szeroko zakrojonej współpracy jest fakt, że prace naukowe raportujące tego typu badania są z reguły wieloautorskie, a lista współautorów jest długa. Często taka lista zawierająca imiona i nazwiska współautorów uzupełniona jest nazwami zespołów badawczych biorących udział w danym eksperymencie. Z jednej strony należy domniemywać, że udział w określonym artykule współautorów niewymienionych imiennie jest znikomy. Jednak z drugiej strony przeprowadzenie eksperymentu, który jest źródłem opublikowanych wyników, nie byłoby możliwe bez ich udziału. Oczywisty jest również fakt, że cel badawczy określonego specjalisty jest podporządkowany ogólnemu celowi zespołu. A więc, badanie zanieczyszczeń plazmy przeprowadzane jest w kontekście testowania danego rozwiązania konstrukcyjnego oraz określonego scenariusza przebiegu wyładowania. Taką specyfikę należy mieć na uwadze

przeprowadzając ocenę publikacji wchodzących w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego.

W ocenianym zbiorze znajdują się 2 publikacje samodzielne. W przypadku 4 artykułów dr Chomiczewska jest pierwszym współautorem, w jednej drugim współautorem, a w pozostałych 12 przypadkach jej pozycja na imiennej liście współautorów wydaje się wynikać z porządku alfabetycznego. Publikacji będących pokłosiem określonych kampanii pomiarowych, a więc ze współautorstwem zespołów badawczych jest 13, wśród nich dr Chomiczewska 4 razy jest pierwszym współautorem oraz jeden raz jest drugim współautorem. Publikację [A3] traktuję jako samodzielną, ponieważ na imiennej liście autorów widnieje jedynie nazwisko habilitantki.

Do wniosku załączonych zostało 48 oświadczeń współautorów prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, dotyczących ich wkładów w powstanie tych prac. W większości przypadków oświadczenie określonego współautora odnosi się do wielu artykułów. Czasami znajdujemy w oświadczeniach nie tylko charakterystykę udziału określonego współautora, ale również jego opinię na temat wkładu dr Chomiczewskiej. Prawie we wszystkich przypadkach załączone zostało oświadczenie pierwszego współautora, z wyjątkiem pozycji [A12], do której załączony zbiór oświadczeń rozpoczyna się od drugiego współautora. Należy odnotować, że z każdą współautorską pracą powiązane są minimum 4 oświadczenia, natomiast maksymalna liczba oświadczeń odnoszących się do pojedynczego artykułu wynosi 22. Jako przykładowe omówię oświadczenia dr. Lerche'a (współautora 14 prac) oraz dr. Jacqueta (współautora 12 prac). Obaj są specjalistami w zakresie grzania plazmy falą elektromagnetyczną (ICRH), pełnili funkcje koordynatorów eksperymentów i diagnostyk podczas sesji pomiarowych. W swoich oświadczeniach opisują nie tylko wkład własny w powstałe prace, ale również zgodnie podkreślają kluczową rolę dr Chomiczewskiej w zrozumieniu zachowania zanieczyszczeń plazmy wysoko zjonizowanymi metalami pojawiającymi się w plazmie tokamakowej. Z reguły współautorzy w swoich oświadczeniach przedstawiają się jako specjaliści z obszarów badawczych innych niż spektroskopowe monitorowanie zanieczyszczeń w plazmie. Jedynie w oświadczeniu dr. Duxa czytamy, że jego udział dotyczył zadań podobnych do tych, którymi zajmuje się dr Chomiczewska. W szczególności odnosi się to do pozycji [A16], w której wkład własny w tym zakresie zadeklarował dr Dux. Jest to całkowicie zgodne z oceną habilitantki, szacującej swój udział w tej publikacji na 20% oraz wskazującej szczegółowo, które rozdziały publikacji powiązane są z jej wynikami. Te przykłady, jak i analiza pozostałych oświadczeń pozwalają mi z pełnym przekonaniem stwierdzić, że przedstawione przez dr Chomiczewską opisy jej udziału w poszczególnych publikacjach składających się na osiągnięcie naukowe oraz procentowa miara tego udziału są trafne. Statystyka udziałów zadeklarowanych przez nią wygląda następująco: 100% w 2 pracach, 80% w 2 pracach, 70% w 3 pracach, 40% w 4 pracach, 35% w 1 pracy, 30% w 1 pracy, 25% w 1 pracy, 20% w 5 pracach. Biorąc pod uwagę wspomnianą wyżej specyfikę badań przeprowadzanych za pomocą urządzeń termojądrowych należy uznać, że wkład w publikację na poziomie 20% już jest znaczący, a jeśli przekracza 50% jest wiodący. Z przyjęcia takiego kryterium wynika, że 7 artykułów w zbiorze powstało przy wiodącym udziale dr Chomiczewskiej.

Badania zmierzające do uzyskania kontrolowanej syntezy deuteru z trytem wiążą się z oczekiwaniem na zbudowanie elektrowni nowego typu. Szacuje się, że zasoby paliwowe potrzebne do takich elektrowni termojądrowych są praktycznie niewyczerpywalne, ich działanie i pozyskiwanie dla nich zasobów jest względnie neutralne dla środowiska. W sposób

efektywny (tj. kiedy moc otrzymana z syntezy termojądrowej znacząco przewyższy moc zużytą do grzania plazmy), jak się przewiduje, ma działać tokamak ITER budowany obecnie we Francji. Będzie on dziesięć razy większy od największego działającego tokamaka JET i tyleż samo razy od niego efektywniejszy. Eksperymenty przeprowadzane na działających urządzeniach m. in. mają na celu wsparcie projektu ITER. Jednym z ważnych zagadnień projektowych jest pytanie dotyczące pokrycia wewnętrznej ściany urządzenia termojądrowego, tzw. pierwszej ściany. Jest ona narażona na działanie wysokich temperatur oraz rozpylanie materiału w wyniku uderzeń wysokoenergetycznych cząstek. W roku 2011 w tokamaku JET rozpoczęto pracę z ścianką ILW, która w części przeznaczony do oddzielania plazmy od komory próżniowej (limiter) wykonana jest z berylu a w części przeznaczony do odprowadzania zanieczyszczeń oraz produktów syntezy (dywertor) z wolframu. Beryl rozpylony do plazmy w znacznie mniejszym stopniu rozrzedza paliwo plazmowe niż wolfram, nie wiąże się z trytem oraz skutecznie usuwa tlen z plazmy. Z kolei wolfram ma wysoki próg rozpylania, najwyższą temperaturę topnienia wśród metali oraz niski stopień retencji paliwa. Dlatego stosuje się go do budowy komponentów dywertora, które są narażone na największe obciążenia termiczne oraz największe natężenia strumienia cząstek. Pomimo takich cech pewna ilość wolframu przedostaje się do plazmy wywołując niepożądane efekty. Nie ulega on całkowitemu zjonizowaniu powodując radiacyjne straty energii w plazmie. Ponadto akumulacja ciężkich zanieczyszczeń, a w szczególności wolframu, może prowadzić do radiacyjnego kolapsu i do zerwania sznura plazmowego. Pojawienie się zanieczyszczeń w centralnej części plazmy może znacznie ograniczyć wydajność dodatkowego grzania plazmy, prowadzić do spadku jej temperatury poniżej zakładanej wartości progowej i do jej rozrzedzenia. Praca badawcza dr Chomiczewskiej koncentruje się wokół zadania jakim jest kontrola zachowania ciężkich zanieczyszczeń i wskazanie czynników wpływających na ich minimalizację w obszarze centralnym plazmy. W szczególności dotyczy to zawartości wolframu w rdzeniu plazmy, której ograniczenie spowoduje wzrost czasu utrzymania plazmy oraz prawdopodobieństwa zajścia syntezy termojądrowej.

Praca [A1] dotyczy analizy zanieczyszczeń metalicznych w wyładowaniu hybrydowym JET-ILW, kiedy to w czasie dodatkowego grzania plazmy, czy to za pomocą fal elektromagnetycznych o rezonansowej cyklotronowej częstotliwości (ICHR), czy też za pomocą wysokoenergetycznej wiązki atomów (NBI), na elementach konstrukcyjnych tworzyły się lokalne gorące punkty. Stosując metody spektroskopii z zakresu miękkiego promieniowania rentgenowskiego (SXR), skrajnego ultrafioletu (EUV), ultrafioletu próżniowego (VUV) a także z zakresu światła widzialnego (Vis) dr Chomiczewska stwierdziła, że na temperaturę gorących obszarów i na koncentrację zanieczyszczeń w centrum plazmy mają wpływ: ilość gazu, natężenie prądu plazmy, jej gęstość na separatasie. Artykuł został opublikowany w renomowanym czasopiśmie *Plasma Physics and Controlled Fusion*.

Zaangażowanie polskich naukowców w kampanie pomiarowe na europejskich tokamakach w kontekście badań zanieczyszczeń plazmy jest tematem pracy [A2]. Tutaj warto docenić fakt, że tworząc publikacje przeglądową o takim temacie dr Chomiczewska promowała pracę grupy polskich naukowców.

Praca [A3] dotyczy badań zachowania zanieczyszczeń plazmy w celu optymalizacji utrzymywania plazmy oraz scenariuszy jej grzania w tokamakach z perspektywą zastosowania w ITER. W szczególności testowany był tzw. scenariusz trój-jonowy grzania plazmy, przy zastosowaniu którego dr Chomiczewska zaobserwowała redukcję zanieczyszczeń

metalicznych. Taki scenariusz grzania plazmy jest bardzo obiecujący w przypadku zastosowania w tokamaku ITER. W tym nowym urządzeniu będzie dostępnych kilka odmian scenariuszy trój-jonowego grzania, wszystkie one zostały wskazane w omawianej pracy.

Tematem pracy [A4] są badania zachowania zanieczyszczeń plazmy wynikające ze zmiany konfiguracji pól magnetycznych w stellaratorze W7-X na podstawie diagnostyki opartej na analizie impulsów (PHA). Dr Chomiczewska brała udział w opracowaniu koncepcji układu diagnostycznego PHA. Nie zaobserwowała istotnych zmian w koncentracji zanieczyszczeń ze względu na zmianę konfiguracji pól magnetycznych. Natomiast wykazała, że moc grzania ECRH ma zauważalny wpływ na koncentrację zanieczyszczeń plazmy. Praca została opublikowana w renomowanym czasopiśmie Fusion Engineering and Design.

Praca [A5] dotyczy zachowania zanieczyszczeń plazmy w wyładowaniu hybrydowym z zewnętrznym domieszkowaniem neonem w tokamaku JET. Dr Chomiczewska stwierdziła, że wstrzykiwanie neonu z rejonu dywertyora prowadzi do wzrostu koncentracji wolframu i molibdenu w procesie rozpylania. Zaobserwowała wzrost mocy promieniowania oraz wzrost efektywnego ładunku plazmy Z_{eff} . Jej wyniki potwierdzają, że akumulacja zanieczyszczeń w wyładowaniach z zewnętrznym domieszkowaniem, przy zastosowaniu jedynie grzania NBI, może prowadzić do radiacyjnego kolapsu plazmy. Wnioski tej pracy są wsparte również wynikami symulacji numerycznych. Praca została opublikowana w renomowanym czasopiśmie Review of Scientific Instruments.

Praca [A10] jest poświęcona badaniom zachowania wolframu w plazmie podczas wyładowania przy grzaniu ICRF w tokamaku ASDEX Upgrade. Dr Chomiczewska wykazała, że stosunek przyrostu koncentracji wolframu do przyrostu mocy grzania ICRF o 1MW zmniejszał się wraz ze wzrostem zewnętrznego domieszkowania N_2 . Taki sam trend habilitantka zaobserwowała odnośnie stosunku przyrostu mocy promieniowania plazmy do przyrostu mocy grzania ICRF o 1MW. Wyniki te potwierdzają, że dominującym źródłem zanieczyszczeń wolframem jest limiter anteny. Praca została opublikowana w renomowanym czasopiśmie Journal of Nuclear Materials.

Praca [A15] raportuje wyniki badań zachowania ciężkich zanieczyszczeń podczas grzania ICRH w tokamaku JET z zastosowaniem ściany ILW. Przeprowadzono eksperymenty poświęcone zmianom fazy anteny. Dr Chomiczewska wyznaczyła koncentrację zanieczyszczeń plazmy wolframem, niklem, żelazem i molibdenem oraz wkłady poszczególnych zanieczyszczeń do efektywnego ładunku plazmy Z_{eff} .

We wszystkich opisanych powyżej pracach udział dr Chomiczewskiej był wiodący. Polegał na uczestniczeniu i planowaniu eksperymentów. Analizowaniu danych spektroskopowych pochodzących z odpowiednio dobranych przedziałów widma. Jej zasługą było sporządzenie większości rysunków, z bardzo nielicznymi wyjątkami. Dr Chomiczewska również redagowała manuskrypty, za wyjątkiem pracy [A5], której była współredaktorką.

W pozostałych pracach należących do ocenianego zbioru udział dr Chomiczewskiej jest znaczący. Wszystkie one dotyczą zachowania ciężkich zanieczyszczeń w wyładowaniach w różnych urządzeniach termojądrowych. Spora ich część, przeprowadzona przy zastosowaniu różnych rozwiązań konstrukcyjnych i scenariuszy przebiegu wyładowania na tokamaku JET, była dedykowana projektowi ITER. Oddzielną uwagę warto zwrócić na prace [A7] oraz [A18], poświęcone badaniu plazmy termojądrowej za pomocą metod symulacji numerycznych.

Dr Chomiczewska dostarczyła wyniki eksperymentalne do porównań z wynikami symulacji, uczestniczyła w sformułowaniu wniosków wynikających z takich konfrontacji. W ten sposób wyniki uzyskane przez badaczkę otrzymały wsparcie eksperymentalne i teoretyczne. Taka dwutorowa metodologia uwiarygodniania rezultatów opowiada najlepszym standardom w badaniach naukowych.

Opracowane przez dr Chomiczewską metody monitorowania i minimalizacji ciężkich zanieczyszczeń plazmy oraz uzyskane przez nią wyniki posiadają fundamentalne znaczenie dla badań nad kontrolowaną syntezą termojądrową. Do najważniejszych wyników habilitantki należy zaliczyć:

- Kontrola zanieczyszczeń plazmy centralnej wolframem pochodzącym z komponentów ściany reaktora.
- Opracowanie scenariuszy operacyjnych mających spowodować zwiększenie wydajności przyszłych urządzeń termojądrowych w tym: scenariuszy grzania ICRH, modyfikację parametrów anten ICRH, optymalizacja parametrów plazmy brzegowej oraz zewnętrznego domieszkowania plazmy.

Autoreferat bardzo sprawnie prowadzi czytelnika przez cykl publikacji stanowiący osiągnięcie. Bardzo użytecznym pomysłem było dołączenie słowniczka skrótów i sformułowań specjalistycznych. W tekście autoreferatu można znaleźć zaledwie kilka błędów typu drukarskiego. Na przykład, na liście autorów publikacji [A3] brakuje nazwy zespołu badawczego JET Contributors. W opisie skrótu NBI mamy powtórzone „poprzez”. Tamże znajdujemy sformułowanie „neutralne atomy” – wystarczyłoby atomy. Pisząc o zanieczyszczeniach autorka używa sformułowania „zanieczyszczeń wolframu, niklu ...”, tymczasem lepiej by brzmiało: zanieczyszczeń wolframem, niklem ... Niepotrzebne było używanie terminów żargonowych, jak np. „sputtering”. Oczywiście te drobne niedociągnięcia posiadają drugorzędne znaczenie i nie mają żadnego wpływu na merytoryczną zawartość wniosku.

Ocena aktywności naukowej i innych form działalności habilitantki

Lista wszystkich osiągnięć i aktywności dr Chomiczewskiej jest bardzo obszerna i imponująca. Jest współautorką 85 publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się na liście JCR, z czego 63 ukazało się po uzyskaniu stopnia doktora. W czasopismach międzynarodowych nie zamieszczonych w JCR ukazało się 66 współautorskich publikacji habilitantki, w tym 40 po uzyskaniu stopnia doktora. Dr Chomiczewska była aktywną uczestniczką licznych międzynarodowych konferencji naukowych, podczas których wygłosiła 9 referatów oraz przedstawiła 13 plakatów naukowych. Ponadto jest współautorką ok. 60 doniesień konferencyjnych prezentowanych przez jej współpracowników. Aktywnie udziela się na rzecz społeczności naukowej poprzez wygłoszenie 38 referatów na seminariach i spotkaniach w kraju i zagranicą.

Dr Chomiczewska pełni funkcje kierownika lub koordynatora w licznych projektach badawczych: w latach 2012-13 w IFPiLM była kierownikiem projektu w ramach EFDA, od 2013 jest krajowym koordynatorem naukowym projektu EUROfusion WPJET1 oraz od 2014 EUROfusion WPMST1, od 2017 jest międzynarodowym koordynatorem zadania badawczego realizowanego na tokamaku JET T17-06. Warto przypomnieć, że projekt EUROfusin należy

do Programu Ramowego UE Horyzont2020 (wcześniej do 7 Programu Ramowego UE). Sieć współpracy międzynarodowej oraz krajowej dr Chomiczewskiej jest bardzo rozległa i nie wynika tylko z pracy w dużych zespołach badawczych, ale przede wszystkim z aktywności habilitantki.

Dr Chomiczewska otrzymała 4 razy Nagrodę Dyrektora IFPiLM za osiągnięcia na polu naukowym w tym nagrodę dla młodych naukowców.

Dr Chomiczewska wykazuje aktywność w obszarze organizacji konferencji naukowych. Przewodniczyła komitetowi organizacyjnemu spotkania grupy roboczej. Współorganizowała 4 konferencje międzynarodowe oraz 2 edycje szkoły fizyki plazmy. Reprezentowała IFPiLM podczas organizacji Festiwalu Nauki oraz Pikników Naukowych Polskiego Radia i Centrum Nauk Kopernik. Na minus habilitantce należy zaliczyć brak wygłoszenia wykładu popularnonaukowego. Na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej w semestrze zimowym 2013/14 prowadziła wykład „Wstęp do fizyki plazmy”. Oczywiście, jako pracownik instytutu badawczego, habilitantka nie ma obowiązku prowadzenia zajęć dydaktycznych. Pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr Ireny Ivanovej-Stanik.

Reasumując, na podstawie analizy dokumentacji zawartej we wniosku, stwierdzam, że dr Agata Chomiczewska jest autorką osiągnięcia naukowego stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki fizyczne oraz wykazuje się istotną aktywnością naukową. Habilitantka charakteryzuje się również samodzielnością i dojrzałością naukową. Świadczą o tym jej publikacje samodzielne oraz te z jej wiodącym udziałem, a także kierowanie lub koordynowanie przez nią prac zespołów w projektach naukowych. Szeroka współpraca zagraniczna i krajowa to kolejny silny atut habilitantki. Osiągnięcia naukowe dr Agaty Chomiczewskiej spełniają wymogi zwyczajowe oraz ustawowe stawiane w art. 16 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Dlatego wnioskuję o przeprowadzenie dalszych etapów postępowania habilitacyjnego i nadanie Pani Agacie Chomiczewskiej stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

M. Olszawa