

Streszczenie

Prace badawcze służące tworzeniu bądź rozwijaniu metod diagnostycznych plazmy są niezwykle istotne w kontekście opanowania kontrolowanej reakcji syntezy termojądrowej w warunkach eksperymentalnych. To właśnie precyzyjne pomiary podstawowych parametrów plazmy, takich jak gęstość czy temperatura jej składników, stanowią podstawę do lepszego zrozumienia mechanizmów, które ostatecznie zadecydują o powodzeniu eksperymentu. Tym samym, nieodłącznym elementem każdego fuzyjnego reaktora eksperymentalnego (tokamaka lub stellaratora) są układy diagnostyczne, bez których prowadzone badania nie miałyby większego sensu.

W ostatnich latach, w Instytucie Fizyki Plazmy im. Maxa Plancka w Greifswaldzie, uruchomiono stellarator Wendelstein 7-X (W7-X). Reaktor eksperymentalny W7-X uznawany jest obecnie za największe i najbardziej zaawansowane technologicznie urządzenie tego typu na świecie (obok stellaratora LHD z NIFS, Japonia). W rezultacie stanowi on jeden z bardziej obiecujących projektów badawczych, który finalnie może się przyczynić do największego postępu przemysłowego naszych czasów, jakim będzie produkcja energii w oparciu o reakcje syntezy termojądrowej. Wraz z rozpoczęciem prac badawczych na W7-X, w ramach pierwszej fazy operacyjnej (OP1.1.), uruchomiony został również układ spektroskopii bezdyspresyjnej z zastosowaniem analizy amplitudowej z chłodzonego detektora półprzewodnikowego pracującego w reżimie zliczania kwantów promieniowania rentgenowskiego (tzw. system PHA, z ang. pulse height analysis). Nadrzędnym celem tego systemu jest stałe monitorowanie składu zanieczyszczeń plazmy oraz dostarczanie informacji na temat ich koncentracji. Co więcej, dane dostarczane przez układ PHA stwarzają również podstawę do prowadzenia badań z zakresu wyznaczenia efektywnego ładunku plazmy (Z_{eff}) oraz średniej temperatury elektronowej $\langle T_e \rangle$.

W niniejszej pracy opisano zagadnienia dotyczące wpływu profili temperatury (T_e) i koncentracji (n_e) elektronowej na średnią temperaturę elektronową ($\langle T_e \rangle$) wyznaczaną metodą dopasowania prostej do promieniowania ciągłego. Wskazanie warunków eksperymentalnych, podczas których możliwe jest szacowanie średniej temperatury elektronowej $\langle T_e \rangle$ o wartości zbliżonej do tej w centrum (T_{e0}) może uczynić prezentowaną metodę w pełni użyteczną poprzez stworzenie nowego źródła informacji na temat jednego z najbardziej podstawowych i zarazem kluczowych parametrów plazmy, jakim jest T_{e0} . W tym

celu opracowana została autorska metodologia badań, która wymagała połączenia zarówno pracy eksperymentalnej w warunkach plazmy stellaratorowej na W7-X, jak i również przeprowadzenia licznych symulacji numerycznych. Tym samym, po udanym uruchomieniu i zoptymalizowaniu diagnostyki PHA w trakcie pierwszej kampanii eksperymentalnej (OP1.1.) dokonano pierwszych pomiarów widm w zakresie miękkiego promieniowania rentgenowskiego, które stanowiły materiał do wyznaczenia średniej temperatury elektronowej $\langle T_e \rangle$. Parametr $\langle T_e \rangle$ wyznaczany był za pomocą programu stworzonego w środowisku MATLAB, który pozwalał użytkownikowi zarówno na wybór zakresu energetycznego, w którym parametr $\langle T_e \rangle$ miał być badany, jak i również usuwanie ewentualnych pojedynczych linii spektralnych z widma ciągłego, które mogły zaburzyć wynik. Dzięki przeprowadzonej analizie danych eksperymentalnych wykazano, że przebiegi czasowe temperatury wyznaczonej z promieniowania ciągłego $\langle T_e \rangle$ zarejestrowanego przez system PHA, w pełni odwzorowują przebiegi (w rozumieniu ich trendów) temperatury centralnej T_{e0} dostarczane przez inne systemy diagnostyczne takie jak Thomson Scattering (TS) czy Electron Cyclotron Emission (ECE). W ramach przeprowadzonej analizy, dodatkowo przebadany został wpływ parametru Gaunta na wyznaczaną $\langle T_e \rangle$. Miało to na celu zwiększenie dokładności otrzymywanych wyników z eksperymentalnych widm rentgenowskich. Kolejną kluczową częścią dysertacji było przeprowadzeniu kilkuset symulacji numerycznych opartych o założone profile T_e i n_e (paraboliczne oraz liniowe) w szerokim zakresie ich granicznych wartości centralnych oraz brzegowych. Wygenerowane w ten sposób wyniki pozwoliły stworzyć powierzchnie 3D, które pokazały w jakich warunkach eksperymentalnych, wyznaczana średnia temperatura elektronowa $\langle T_e \rangle$ będzie najbardziej zbliżona (co do wartości) do centralnej temperatury elektronowej T_{e0} . W dalszym etapie, udało się również stworzyć charakterystyki obrazujące wpływ profili T_e i n_e , na zakres promienia plazmy, z którego promieniowanie będzie miało największy wpływ na wyznaczaną $\langle T_e \rangle$. Co istotne, porównanie wyników eksperymentalnych z przewidywaniami opartymi na symulacjach numerycznych wykazały zgodność i ten sam trend w zachowaniu. Tym samym przeprowadzona analiza jakościowa potwierdziła zdefiniowaną na początku rozprawy tezę naukową zakładającą, że zarówno kształt profili T_e i n_e , jak i również ich wartości, mają wpływ na wyznaczaną średnią temperaturę elektronową z widm dostarczanych przez układ PHA. Zatem przy interpretacji fizycznej otrzymanych wyników eksperymentalnych (zwłaszcza w kontekście odniesienia wartości $\langle T_e \rangle$ do T_{e0}) należy uwzględnić tego typu informacje.