

Streszczenie

C/O monitor jest dedykowanym systemem diagnostycznym przeznaczonym do monitorowania zanieczyszczeń w plazmie stellaratora Wendelstein 7-X (W7-X). Zaprojektowany został do pomiaru natężeń linii Lyman- α wodoropodobnych jonów czterech lekkich zanieczyszczeń – boru (B^{4+} - 4.9 nm), węgla (C^{5+} - 3.4 nm), azotu (N^{6+} - 2.5 nm) oraz tlenu (O^{7+} - 1.9 nm). Jest to optyczny system spektroskopowy oparty o geometrię Johanna z cylindrycznie zakrzywionymi elementami dyspersyjnymi. Jego konstrukcja składa się z dwóch niezależnych komór próżniowych, z których każda przeznaczona jest do pomiaru intensywności dwóch linii spektralnych: pierwsza dedykowana jest pomiarowi linii C oraz O, zaś druga B i N. W trakcie nadchodzącej fazy operacyjnej (OP2.1) pierwsza część spektrometru odpowiedzialna za pomiar linii C oraz O zostanie po raz pierwszy uruchomiona i przetestowana w warunkach eksperymentalnych.

Nadrzędnym celem systemu jest dostarczanie bieżącej informacji na temat intensywności promieniowania wspomnianych jonów, jednak kształt ich linii spektralnych nie będzie przedmiotem rozważań. W związku z tym jest niezwykle istotnym, aby dokładnie zrozumieć zależności pomiędzy zmierzonym sygnałem a parametrami kinetycznymi plazmy tj. temperatury (T_e) i gęstości (n_e) elektronowej, poziomem zanieczyszczeń czy wpływem ich transportu (zachowania się w plazmie) na strumień fotonów docierających do powierzchni detektorów. Zależności te jednak okazują się być nietrywialne ze względu na dużą objętość oraz skomplikowany kształt obserwowanej plazmy, w tym warstwy przybrzegowej, z której znaczna część promieniowania jest emitowana.

Aby odpowiedzieć na te pytania rozwinięto kod numeryczny w języku Python dedykowany do wyznaczania emisyjności oraz całkowitej intensywności promieniowania docierającego do powierzchni detektorów. Niniejsze obliczenia prowadzone są w oparciu o precyzyjne, numeryczne odwzorowanie geometrii systemu diagnostycznego C/O monitor w odniesieniu do układu W7-X i związanych z nim parametrów kinetycznych plazmy.

W celu jakościowego zbadania reakcji systemu na zmieniające się warunki eksperymentalne, jak i również wpływu transportu zanieczyszczeń, przeprowadzono szereg symulacji przy założeniu różnych profili T_e oraz n_e w plazmie W7-X (z uwzględnieniem modelu równowagi koronowej). Uzyskane wyniki pozwoliły dokładniej zrozumieć wpływ warunków

eksperymentalnych na strumieniu emisji fotonów w odniesieniu do poziomu zanieczyszczeń. W efekcie zademonstrowano stopień złożoności sygnałów końcowych oraz wykazano wysoką korelację pomiędzy zwiększającą się wartością temperatury (szczególnie w strefie brzegowej) na zmniejszającą się intensywność strumienia emitowanych fotonów. Ponadto, nie bez znaczenia pozostaje kwestia transportu zanieczyszczeń. Przykładowym skutkiem wystąpienia akumulacji zanieczyszczeń w centralnym obszarze plazmy może być spadek (a w przypadku linii tlenu, w pewnym zakresie temperatur, również wzrost) emitowanego strumienia fotonów, mimo, że całkowita zawartość domieszki w plazmie nie uległa zmianie.

W następnej kolejności przeprowadzono studium przypadku dla pomiarów eksperymentalnych zmierzonych podczas ostatniej fazy operacyjnej OP1.2b, gdzie zaobserwowany został przypadek akumulacji domieszki węgla w centralnej części plazmy. Pomiaru radialnych rozkładów zanieczyszczeń linii C^{6+} dokonano za pośrednictwem urządzenia diagnostycznego Charge Exchange Recombination Spectroscopy (CXRS), zaś całkowitą ilość domieszki wraz z radialnym rozkładem wszystkich jej składowych (jonów) wyznaczono przy użyciu kodu pySTRAHL do modelowania transportu zanieczyszczeń. Następnie, przy użyciu rozwiniętego kodu numerycznego wyznaczono przebieg czasowy potencjalnych sygnałów możliwych do zaobserwowania w sytuacji, gdyby urządzenie diagnostyczne C/O monitor funkcjonowało w trakcie trwania poprzednich sesji eksperymentalnych. Wyniki porównano z przypadkiem równomiernego rozkładu zanieczyszczeń przy założeniu tych samych parametrów kinetycznych plazmy oraz niezmiennej średniej ilości rozpatrywanej domieszki. Wspomniane założenia zastosowano również dla przypadku linii tlenu. Otrzymane wyniki są zgodne z rezultatami uzyskanymi w pierwszej analizie.

Ostatecznie stwierdzono, że system będzie dość wiernie wskazywał zmiany poziomu domieszki w plazmie co potwierdza, że diagnostyka ta będzie kluczowa z punktu widzenia zapewnienia bezpiecznej eksploatacji stellaratora W7-X.