

Nadzieję na zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania na energię, w sposób zrównoważony, bezpieczny i przyjazny dla środowiska jest synteza termojądrowa. Badania nad energetyką termojądrową prowadzone są w Europie i na całym świecie od wielu dekad. Ogromne nadzieje pokładane są w budowanym obecnie we Francji, największym dotychczas eksperymentalnym reaktorze opartym na fuzji - ITER (łac. *droga*). Reaktor ten oparty jest na koncepcji z magnetycznym utrzymaniem plazmy, zwanym tokamakiem. Celem tego międzynarodowego przedsięwzięcia jest zademonstrowanie syntezy jądrowej, jako realnego i zrównoważonego źródła energii.

Pomimo długoletnich wysiłków naukowców zajmujących się fizyką plazmy tokamakowej, wiele zagadnień jest wciąż nierozwiązanych i wymaga głębszego zrozumienia. Już na wstępnym etapie budowy pierwszego reaktora doświadczalnego stało się oczywiste, że przyszłość tych urządzeń zależy w decydującym stopniu od rozwiązywania problemów związanych z pierwszą ścianą komory reaktora. Plazma w wyniku oddziaływania z materiałem konstrukcyjnym może prowadzić do erozji materiału, który następnie może zarówno osadzić się w innym miejscu komory próżniowej, ale również przeniknąć do plazmy. Promieniowanie z zanieczyszczeń, takich jak węgiel lub wolfram (podstawowych materiałów pierwszej ściany obecnych tokamaków i stellaratorów), jest jedną z głównych ścieżek utraty mocy przez plazmę termojądrową. Ponadto procesy dyfuzji i nielokalnego transportu związane z rozwojem różnego rodzaju niestabilności magnetohydrodynamicznych (MHD) plazmy także przyczyniają się do strat energii, a wzajemne oddziaływanie między transportem zanieczyszczeń a aktywnością MHD może prowadzić do gromadzenia się zanieczyszczeń, a ostatecznie do zerwania reakcji fuzji. Kolejnym zagadnieniem, które należy zgłębić i zrozumieć, aby zapewnić bezpieczne działanie reaktora ITER, jest związane z niekontrolowaną generacją wysokoenergetycznych elektronów (ang. *runaway electrons*) i badaniami nad zapobieganiem zerwania przez te cząstki sznura plazmowego.

Ze względu na fakt, że emisja miękkiego promieniowania rentgenowskiego w plazmie tokamakowej jest związana z obecnością zanieczyszczeń, to właśnie dobór odpowiednich diagnostyk ma znaczenie, jako że są one jednym z głównych źródeł uzyskiwania wiarygodnych informacji o procesach fizycznych zachodzących w plazmie. Źródłem promieniowania rentgenowskiego są również różne procesy z udziałem elektronów oddziałujących z jonami lub zewnętrznym polem magnetycznym. Dlatego konieczny jest pomiar rozkładu promieniowania oraz rozwój diagnostyk dostarczających informacje o przestrzennym i spektralnym rozkładzie emisji plazmy. Z kolei, problem degradacji konwencjonalnych detektorów promieniowania rentgenowskiego w przyszłych urządzeniach fuzyjnych jest nieunikniony ze względu na przewidywane ekstremalne strumienie promieniowania jonizującego. Dlatego rozwój nowych technologii diagnostycznych w kierunku przyszłych reaktorów termojądrowych zasługuje na szczególną uwagę i jest jednym z celów zaproponowanych badań. Ogromne rozmiary struktur plazmowych muszą zostać odpowiednio zobrazowane, dlatego też detektor przeznaczony do diagnostyki rentgenowskiej musi posiadać jednocześnie dużą powierzchnię detekcyjną, jak i dobrą rozdzielczość przestrzenną rejestrowanych kwantów promieniowania.

Cel naukowy proponowanego projektu to (i) badanie zjawisk 3D plazmy tokamaka, najlepiej obserwowanych za pomocą kamer toroidalnych, z perspektywy ITER/DEMO (przyszła pierwsza demonstracyjna elektrownia fuzyjna); i w tym celu (ii) opracowanie zaawansowanej diagnostyki obrazowania, która będzie w stanie wykonać globalne odwzorowanie miękkiego promieniowania rentgenowskiego w trybie zliczania fotonów (określając również ich energię), wykorzystując detektor oparty o gazowy powielacz elektronowy (ang. *Gas Electron Multiplier*). Zaproponowane badania dotyczą czegoś więcej niż tylko standardowej tomografii miękkiego promieniowania rentgenowskiego, ponieważ informacje o rozdzielczości spektralnej przybliżają nas o jeden krok do śledzenia zanieczyszczeń zarówno o wysokiej jak i niskiej liczbie atomowej. Ważnym aspektem proponowanego projektu jest możliwość wykonania tomografii 3D plazmy, co jest cechą znacznie przewyższającą możliwości tomografii konwencjonalnej. To samo w sobie stanowi wyjątkową okazję do wykrycia i zbadania anizotropii toroidalnej, która do tej pory nie została prawie w ogóle zbadana ze względu na nieosiową symetrię plazmy.

Projekt zakłada interdyscyplinarne badania z wykorzystaniem nowoczesnych metod oraz dużych międzynarodowych urządzeń eksperymentalnych. W trakcie realizacji zostaną podjęte próby wykorzystania opracowanego narzędzia diagnostycznego na tokamaku COMPASS-U (znajdującego się w Pradze, w Rep. Czeskiej) w celu rozpoczęcia badań z wykorzystaniem technik obrazowania miękkiego promieniowania X, a m.in. do dostarczania informacji o osi magnetycznej (w ograniczonej liczbie przypadków), kształcie plazmy, zagadnień, które nie zostały jeszcze w pełni zbadane. Rozwój ten byłby uzupełnieniem dotychczasowych wysiłków w zakresie kontroli kształtu plazmy przy użyciu tradycyjnych pomiarów magnetycznych. Projekt stwarza szansę, że badania promieniowania anizotropowego, wyzwalanego, np., przez rekoneksję magnetyczną lub masowe wstrzykiwanie gazu, pozwolą na zwiększenie wiedzy oraz dostarczenie społeczności efektywnego narzędzia eksperymentalnego do zrozumienia i zbadania takich zjawisk jak generacja elektronów nadtermicznych, lokalizacja przestrzenna i prędkość rekoneksji magnetycznej, kontrolowanie kształtu plazmy oraz monitorowanie zanieczyszczeń plazmy wraz z aktywnością MHD.