

1. EKSPERTYZA W ZAKRESIE MOCNYCH I SŁABYCH STRON BADAŃ NAD ENERGETYKĄ TERMOJĄDROWĄ W POLSCE

1.1 . Wstęp – geneza i cele badań nad energetyką termojądrową na świecie

Badania nad pozyskiwaniem energii z reakcji termojądrowej prowadzono już od połowy minionego wieku. Początkowo badania nad urządzeniami do kontrolowanej syntezy termojądrowej były tajne ze względu na to, że w czasach zimnej wojny państwa uczestniczące w tych badaniach miały nadzieję na zdobycie przewagi ekonomicznej nad przeciwnikiem zza żelaznej kurtyny.

W 1920 r. Arthur Stanley Eddington jako pierwszy wysunął hipotezę, że źródłem energii Słońca jest reakcja termojądrowa. Nikt wówczas nawet nie pomyślał o wykorzystaniu tego zjawiska do celów praktycznych. Możliwość przeprowadzenia reakcji termojądrowej od czasów opisanego przez niemieckiego fizyka Hansa Bethe, za co w 1967 r. dostał Nagrodę Nobla, wydawała się początkowo naukowcom nie do zrealizowania. Podczas II wojny światowej naukowcy pracowali głównie nad procesami rozczepienia jąder uranu, aby następnie reakcję tę wykorzystać do celów militarnych. Dopiero w 1941 r. Tokutaro Hagiwara z Uniwersytetu w Kyoto przedstawił pomysł zainicjowania syntezy termojądrowej przez wybuch bomby atomowej. Wtedy badania nad syntezą termojądrową, choć z niskim priorytetem, zostały włączone do „Projektu Manhattan”. Pracami nad wykorzystaniem zjawiska syntezy termojądrowej początkowo do budowy bomby wodorowej zajmował się m.in. amerykański fizyk jądrowy Edward Teller. W połowie 1944 r. stanął on na czele grupy naukowców, której celem było znalezienie praktycznego wykorzystania tej reakcji syntezy. Człowiekiem, który wniósł ogromny wkład do prac nad budową bomby wodorowej był polski matematyk Stanisław Ulam. Jego prace teoretyczne i współpraca z Tellerem zaowocowały tym, że w kwietniu 1951 r. przystąpiono do właściwych prac nad projektowaniem i testowaniem bomb wodorowych.

Po zakończeniu II wojny światowej, w okresie tzw. zimnej wojny, zainteresowanie badaniami nad opanowaniem kontrolowanej reakcji termojądrowej wyraźnie wzrosło. Jeszcze w 1938 r. Hans Bethe przedstawił 6 reakcji termojądrowych wykorzystujących m.in. wodór, które jego zdaniem miały być źródłem energii Słońca. Początkowo utrzymanie odpowiedniej koncentracji atomów i podgrzanie ich do bardzo wysokich temperatur wydawało się nie do zrealizowania ze względu na fakt, że ścianki żadnego naczynia nie byłyby w stanie utrzymać tak gorącej plazmy. Koncepcje urządzeń do przeprowadzenia kontrolowanej reakcji termojądrowej pojawiły się na początku lat 50-tych ubiegłego wieku i były utrzymywane w tajemnicy. Jednym z nich był tokamak (z ros. *Toroidalnaja Kamiera s Magnitnymi Katuszkami*). Twórcy tej idei – Igor Tamm i Andriej Sacharow – wpadli na pomysł zamknięcia plazmy w pułapce magnetycznej o kształcie torusa, w którym płynący prąd miałby podgrzewać zjonizowany gaz. Drugim urządzeniem, które byłoby w stanie utrzymać rozgrzaną do milionów stopni plazmę był stellarator, którego koncepcję opracował Lyman Spitzer. Pierwsze tego typu urządzenie zostało wybudowane w 1951 r. w Princeton Plasma Physics Laboratory w Stanach Zjednoczonych. Zmiana w rozwoju badań nad kontrolowaną syntezą jądrową nastąpiła w 1956 r. kiedy to podczas wizyty w Wielkiej Brytanii Igor Kurczatow wygłosił wykład zapoczątkowując jednocześnie wspólną międzynarodową wymianę doświadczeń w tej dziedzinie.

29 lipca 1957 r. została powołana do życia Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, która jako agencja ONZ miała za zadanie organizowanie i nadzorowanie prac nad pokojowym wykorzystaniem energii atomowej. Na konferencji „Atom dla pokoju”, która odbyła się w Genewie w roku 1958, badania nad pokojowym wykorzystaniem fuzji na potrzeby energetyki zostały we wszystkich krajach zgodnie odtajnione i od tego czasu zaczęła się era międzynarodowej współpracy w tym zakresie.

Należy zaznaczyć, że podstawowym zadaniem zarówno tokamaka, jak i stellaratora było i jest wytworzenie większej ilości energii niż jest do niego dostarczone, co wiąże się z odpowiednio długim czasem utrzymania plazmy, aby dana ilość cząsteczek deuteru i trytu zdążyła ze sobą przereagować. Największym problemem, jaki się pojawił, było utrzymanie plazmy termojądrowej przez dłuższy okres czasu. W 1978 roku w Wielkiej Brytanii ruszyła budowa tokamaka JET (*Joint European Torus*), największego istniejącego obecnie, eksperymentalnego urządzenia tego typu. JET osiągnął wytyczone mu cele, a środowiska europejskie doprowadziły do powstania w 1999 r. organizacji EFDA (*European Fusion Development Agreement*), która ma za zadanie koordynację europejskich działań w dziedzinie badań nad syntezą termojądrową.

Szereg eksperymentów przeprowadzonych w latach osiemdziesiątych minionego wieku pokazało, że aby uzyskać dodatni bilans energetyczny, konieczne jest zbudowanie znacznie większego reaktora niż JET. W 1988 roku na spotkaniu w Genewie Michaił Gorbaczow zaproponował ówczesnym prezydentom Stanów Zjednoczonych i Francji ideę wykorzystania technologii termojądrowej do celów pokojowych we wspólnym przedsięwzięciu wybudowania reaktora ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*). Obecnie śmiało można powiedzieć, że ludzkość jest bardzo blisko ujarzżenia niewyczerpalnego źródła energii, jakim jest energia termojądrowa, niemniej jednak trudno jest powiedzieć kiedy zostanie uruchomiony pierwszy reaktor.

Omawiana dotychczas synteza dotyczyła fuzji magnetycznej, a więc plazmy utrzymywanej w pułapkach magnetycznych. W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku naukowcy Nikołaj Basow i John Dawson zwrócili uwagę na możliwość wykorzystania także laserów do nagrzewania plazmy w bardzo krótkim czasie. Pierwszy raz tzw. mikrosyntezę przeprowadzono w 1970 r. w Związku Radzieckim. Od tamtej pory prace nad laserową syntezą termojądrową prowadzone były także w innych ośrodkach naukowych na całym świecie, w tym również w Polsce. Energia w fuzji laserowej (z ang. ICF – *Inertial Confinement Fusion*) wyzwalana jest poprzez zogniskowanie na deuterowo-trytowym celu (targecie) wiązek laserów impulsowych o dużej mocy. Przełomem w rozwoju badań nad pokojowym wykorzystaniem energii termojądrowej była propozycja zastosowania tzw. szybkiego zapłonu paliwa deuterowo-trytowego sferycznie skompresowanego impulsem laserowym. Metoda ta polega na nielokalnym zapłonie wstępnie skompresowanej plazmy deuterowo-trytowej, jeszcze przed rozwinięciem się niestabilności hydrodynamicznych, przez dodatkowe dostarczenie energii za pomocą impulsu innego lasera wielkiej mocy bądź też impulsu szybkich elektronów lub jonów przyspieszanych takim laserem. Te idee syntezy termojądrowej przez wiele lat były intensywnie rozwijane i studiowane, co w obecnych czasach zaowocowało powstaniem międzynarodowych projektów, mających na celu budowę wielkich instalacji laserowych. I tak w Unii Europejskiej istnieje projekt HiPER (*High Power laser Energy Research*), w Japonii – projekt FIREX 2 (*Fast Ignition Realization Experiment*), a w Stanach Zjednoczonych projekty Omega EP (*Extended Performance*) i NIF (*National Ignition Facility*).

Europejski projekt HiPER jest przedsięwzięciem, które ma na celu zademonstrowanie efektywnej syntezy laserowej właśnie w wersji z tzw. szybkim zapłonem. Projekt ten ma również ogromne znaczenie w innych nie-energetycznych dziedzinach nauki i techniki. Ten

nowoczesny system laserowy obok wykorzystania go do sprawdzenia wydajności syntezy inercyjnej, będzie miał także zastosowanie do badań oddziaływań intensywnego promieniowania laserowego z materią w ważnych dziedzinach nauki i techniki, takich jak: fizyka relatywistyczna, fizyka materii w stanach ekstremalnych, astrofizyka, terapia nowotworowa i inne.

Głównym ośrodkiem w kraju, który zajmuje się badaniami związanymi z fizyką plazmy i fuzją jądrową jest Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie (IFPiLM). IFPiLM powstał w roku 1976 jako jednostka badawczo-rozwojowa podległa ówczesnemu ministerstwu nauki, szkolnictwa wyższego i techniki. W latach 1987-1992 podlegał ministrowi obrony, a w latach 1993-2000 prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki. Od roku 2001 Instytut podlega ministrowi gospodarki. Należy podkreślić, że badania w tym obszarze zaczęły się wcześniej, przed powstaniem IFPiLM, ówczesnym Instytucie Badań Jądrowych i Wojskowej Akademii Technicznej. Badania rozpoczęte w IBJ kontynuowane są do dzisiaj w Instytucie Problemów Jądrowych (Zakład Fizyki Plazmy i Technologii Termojądrowych).

W historii IFPiLM i badań w nich prowadzonych należy wyróżnić dwa okresy – do roku 1990 i od roku 1991 do dzisiaj. W tym pierwszym okresie Instytut prowadził badania dotyczące układów *plasma focus* (PF) (w ścisłej współpracy z IBJ), oddziaływania promieniowania laserowego z materią oraz kompresji plazmy za pomocą klasycznych materiałów wybuchowych. We współpracy z Instytutem Fizyki im. Lebedewa w Moskwie prowadzone były wówczas prace dotyczące sferycznej kompresji plazmy za pomocą strumieni promieniowania laserowego. W drugiej połowie lat 90-tych IFPiLM współpracował też z Instytutem Energii Atomowej im. Kurczatowa. Współpraca dotyczyła rozwoju diagnostyk (interferometrii laserowej, spektroskopii rentgenowskiej, spektrometrii neutronów, spektroskopii widzialnej i VUV) dla radzieckiego tokamak T15 (wówczas w budowie). Instytut zajmował się też rozwojem laserów na ciele stałym i laserów gazowych oraz systemami do generacji wiązek jonów i wiązek elektronów.

Drugi okres w historii Instytutu rozpoczął się w roku 1991, co zbiegło się z przemianami politycznym w Polsce. Zmiany organizacyjne w IFPiLM i polityczne w kraju spowodowały, że od tego roku zakres działania Instytutu został zawężony do badania fizyki plazmy na układach *plasma focus* oraz badania oddziaływania promieniowania laserowego z materią. Nadal rozwijane były systemy laserowe na szkłe neodymowym, systemy zasilania dużej mocy oraz diagnostyki zjawisk w plazmie wysokotemperaturowej o krótkiej skali czasu i względnie (w porównaniu z plazmą w tokamakach i stellaratorach) małej skali przestrzennej (charakterystycznych dla plazmy laserowej i plazmy w układach PF).

Badania w dziedzinie fuzji termojądrowej nabrały w Polsce większego tempa wraz z przystąpieniem Polski w 2004 r. do Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej – Euratom. Celem tej organizacji jest europejska współpraca w dziedzinie rozwoju technologii jądrowych. Wejście polskich instytucji naukowych w struktury Euratomu stało się ogromną szansą dla naukowców w zakresie dostępu do europejskich urządzeń i ośrodków badawczych oraz funduszy przeznaczonych na wspieranie badań. Wiele polskich jednostek naukowych zaangażowanych jest w międzynarodowe projekty zarówno związane z syntezą wykorzystującą magnetyczne utrzymanie plazmy (MCF), jak i z fuzją laserową (ICF). Udział w tych badaniach daje polskiej nauce szansę na wzmocnienie swojej pozycji w Europie, jak i na świecie. Badania nad energetyką termojądrową, zarówno w Polsce jak i na świecie, mają swoje mocne, ale też i słabe strony, jak również niosą ze sobą pewne szanse i zagrożenia. Celem tej ekspertyzy jest analiza tych czynników, czemu poświęcona będzie ostatnia część opracowania. Wcześniej zostaną przedstawione aspekty organizacyjne i finansowe tych badań, zarówno w kraju jak i na świecie, oraz ich zakres merytoryczny, infrastruktura i zasoby ludzkie.

1.1.1. Rola fuzji w krajowych i unijnych projektach naukowo-badawczych dotyczących nowych źródeł energii

Międzynarodowa Agencja Energii prognozuje, że do roku 2030 światowe potrzeby energetyczne wzrosną o 50%, a rosnące zapotrzebowanie będzie zaspokajane głównie poprzez uzyskiwanie energii ze spalania paliw kopalnych, co wpływa niekorzystnie na środowiska naturalne i powoduje zmiany klimatyczne. Konieczność ograniczenia spalania paliw kopalnych w zestawieniu ze wzrostem zapotrzebowania na energię niezbędną do tego, aby miliardy ludzi wyprowadzić ze stanu ubóstwa, jest ogromnym wyzwaniem. Nie istnieje proste rozwiązanie tej kwestii. Światowa odpowiedź na ten problem musi obejmować rozwój i wdrożenie pakietu zupełnie nowych lub ulepszonych sposobów na zmniejszenie zużycia energii, bądź znalezienie nowych źródeł dostarczających energię w sposób bezpieczny dla środowiska.

Przewiduje się, że do roku 2050 zapotrzebowanie na energię wzrośnie dwukrotnie w porównaniu z poziomem obecnym. W Unii Europejskiej 50% energii pochodzi z dostaw spoza terytorium krajów członkowskich, w roku 2030 będzie to już 70%. Ale to nie jest tylko kwestia zwiększonego zapotrzebowania na energię i niezależności energetycznej – to jest także kwestia takiego sposobu wytwarzania energii elektrycznej, który nie jest związany z emisją do atmosfery gazów cieplarnianych (protokół z Kyoto nakłada ograniczenia w tym względzie; obecnie 80% energii elektrycznej produkowane jest w elektrowniach spalających paliwa kopalne, czyli paliwa dające emisję do atmosfery gazów cieplarnianych). Do 2050 roku należy obniżyć emisję CO₂ do poziomu 550 ppm – tylko dwa razy większego od poziomu emisji przed początkiem ery przemysłowej. To oznacza, że do tego czasu trzeba zbudować elektrownie (nie emitujące CO₂) o łącznej mocy 20 TW (moc produkowana obecnie to 13 TW). Według amerykańskiego Departamentu Energii nie istnieje jeszcze technologia, która może spełnić takie wymagania.

Ratunkiem może okazać się fuzja jądrowa, która jest w stanie zapewnić dostatecznie duże ilości energii (praktycznie nieskończone), przy tym będzie źródłem bezpiecznym, dostępnym w każdym punkcie kuli ziemskiej i nie powodującym emisji groźnych gazów do atmosfery.

Tokamaki JET i TFTR pokazały, że produkcja energii na drodze syntezy lekkich jąder jest możliwa (osiągnięto moc 16 MW w JET i 11 MW w TFTR). Pytanie jest tylko takie: czy i kiedy jesteśmy w stanie opracować technologię, która pozwoli produkować energię elektryczną z syntezy na skalę przemysłową, a energetyka termojądrowa będzie ekonomicznie opłacalna?

21 listopada 2006 roku zostało w Paryżu podpisane porozumienie dotyczące projektu ITER – budowy i eksploatacji eksperymentalnego reaktora termojądrowego kolejnej generacji. Uczestnikami projektu ITER są Unia Europejska, Japonia, USA, Rosja, Chiny, Indie i Korea Południowa. Siedmiu partnerów zdecydowało, że ITER będzie budowany w Cadarache, małej miejscowości na południu Francji, w pobliżu Aix-en-Provence. ITER będzie kolejnym krokiem na drodze do opanowania nowego źródła uwolnionej energii – syntezy lekkich jąder.

Celem projektu ITER jest zademonstrowanie naukowej i technicznej realności fuzji jądrowej jako źródła energii dla celów pokojowych. Urządzenie powinno osiągnąć stan intensywnego spalania paliwa deuterowo-trytowego, ze współczynnikiem wzmocnienia co najmniej 10 w warunkach pracy impulsowej (indukcyjne wzbudzenie prądu w plazmie), oraz stan kwazistacjonarny z nieindukcyjnym wzbudzeniem prądu i współczynnikiem wzmocnienia 5. Nie wyklucza się osiągnięcia stanu zapłonu. Z technicznego punktu widzenia przetestowane zostaną komponenty reaktora, w tym cewki nadprzewodnikowe, systemy zdalnej obsługi oraz systemy odprowadzania energii i masy (popiołu helowego) z przestrzeni reaktora. W Europie uruchomiony jest jeden tokamak z cewkami nadprzewodnikowymi (*Tore*

Supra w Cadarache, Francja). Trzy inne tokamaki badające stany kwazistacjonarne w urządzeniach z cewkami nadprzewodnikowymi budowane są – bądź też zostały już zbudowane – w krajach azjatyckich (JT-60SA w Japonii, SST-1 w Indiach, EAST w Chinach i KSTAR w Korei).

Nie jest to jednak kwestia skupienia się na jednym sposobie produkcji energii elektrycznej niezależnie od tego, czy to będą źródła odnawialne, fuzja czy spalanie węgla. Należy wziąć pod uwagę wszystkie możliwe sposoby otrzymywania energii, a finansowanie badań i rozwoju w tym zakresie powinno zostać znacznie podwyższone, zarówno w Programie Ramowym Wspólnoty Euratom, jak i w programach narodowych. Argumenty za wspieraniem badań i rozwoju w dziedzinie fuzji jądrowej są następujące:

1. Fuzja, będąca źródłem energii Słońca i innych gwiazd, zachodzi przy bardzo wysokich temperaturach. W takich warunkach jądra bardzo lekkich pierwiastków łączą się ze sobą tworząc jądra pierwiastków cięższych i uwalniają przy tym ogromne ilości energii.
2. Opanowanie procesu fuzji jest wielkim wyzwaniem dla nauki i techniki, ale perspektywy są obiecujące. W urządzeniu nazwanym Wspólnym Europejskim Torusem (*Joint European Torus – JET*) mieszczącym się w Culham, udało się stworzyć odpowiednie warunki, dzięki którym został osiągnięty stan, w którym ilość energii pochodzącej z fuzji jest porównywalna z ilością energii dostarczanej do urządzenia w celu osiągnięcia temperatury zapłonu.
3. Przy założeniu, że proces fuzji będzie przebiegał niezawodnie, oczekuje się, że koszt generacji energii za pomocą fuzji będzie porównywalny z kosztem energii uzyskiwanej z węgla metodami czystymi z punktu widzenia środowiska i z kosztami odnawialnych źródeł energii.
4. Proces fuzji ma wiele zalet:
 - i) Zasoby potrzebnego do procesu surowca (wody i litu) są praktycznie nieograniczone.
 - ii) W procesie fuzji nie jest wykorzystywany węgiel, a zatem nie są emitowane do środowiska związki pochodzące ze spalania paliw kopalnych. Produkt uboczny fuzji, hel, nie zanieczyszcza środowiska.
 - iii) Nie istnieje żadne niebezpieczeństwo w wypadku awarii. Fuzja musi być ciągle zasilana z zewnątrz więc bardzo łatwo jest zatrzymać ten proces. Wyzwaniem jest utrzymanie bardzo gorącego gazu na tyle długo, aby mógł zajść proces fuzji – w przypadku wystąpienia jakiegokolwiek nieprawidłowości następuje samoistne wygaszenie reakcji.
 - iv) W procesie fuzji nie są produkowane żadne z długożyciowych izotopów promieniotwórczych (aktywności), w przeciwieństwie do reaktorów działających na zasadzie rozszczepienia ciężkich jąder, w których powstają odpady promieniotwórcze o okresie półrozpadu rzędu 100 tysięcy lat. Co prawda elementy konstrukcyjne reaktora fuzji staną się wtórnie promieniotwórcze, to średni czas ich rozpadu wyniesie około 10 lat, a ostatecznie wszystkie użyte materiały będą mogły być zutylizowane w ciągu 100 lat.
 - v) Podczas procesu fuzji nie jest wykorzystywany wzbogacony uran czy pluton, które są używane w procesach rozszczepienia atomów. Z tego względu nie jest on niebezpieczny z punktu widzenia układu o nieprolifracji.
5. Z ekonomicznego punktu widzenia rentowność elektrowni działającej na zasadzie procesu fuzji poprawia się wraz z wielkością mocy tej elektrowni (obecnie ocenia się, że elektrownia o mocy 1 GW zapewni rentowność, natomiast energia pochodząca z elektrowni o mocy 2 GW byłaby o 25% tańsza). W konsekwencji: a) otrzymywanie energii pochodzącej z procesu fuzji będzie opłacalne dla dużych aglomeracji (które mieszczą około połowy światowej populacji), natomiast nierentowne dla słabo

zaludnionych obszarów – w tym przypadku fuzja może być jedynie uzupełnieniem dla odnawialnych źródeł energii i b) elektrownia działająca na podstawie reakcji fuzji będzie produkowała duże ilości taniego prądu poza godzinami szczytu, który mógłby być użyty do produkcji wodoru (zarówno na drodze elektrolizy jak i bezpośrednio, dzięki wysokim temperaturom charakterystycznym dla urządzeń fuzji) lub wykorzystany do procesu odsalania.

6. Środek ciężkości badań i rozwoju w zakresie fuzji przesunął się obecnie z badań fizyki plazmy (bardzo gorącego gazu), w której następuje reakcja fuzji, w kierunku technologii niezbędnych do działania elektrowni, a także do opracowania materiałów odpornych na ekstremalne warunki panujące we wnętrzu reaktora. W związku z tym następne zaplanowane kroki to budowa Międzynarodowego Eksperymentalnego Reaktora Termojądrowego (*International Tokamak Experimental Reaktor – ITER*) i propozycja budowy Międzynarodowego Urządzenia do Badania Materiałów (*International Fusion Materials Irradiation Facility – IFMIF*). Jeżeli oba te kroki zostaną podjęte równocześnie (jest to tak zwana szybka ścieżka – „*fast track*” – promowana przez grupę ekspertów europejskich pod kierunkiem Głównego Doradcy Naukowego Rządu Wielkiej Brytanii), to za mniej więcej 30 lat prototypowa elektrownia będzie mogła generować energię na poziomie mocy rzędu gigawatów.
7. Oczekuje się, że ITER będzie generował co najmniej 500 MW mocy pochodzącej z procesu fuzji. W roku 2008 Wspólnota Euratom wspólnie z Japonią, USA, Rosją, Chinami, Południową Koreą i Indiami rozpoczęły jego budowę we Francji. Niedawno UE i Japonia zgodziły się co do tego, że należy rozpocząć realizację ostatniej fazy badań i rozwoju oraz projektu inżynierskiego urządzenia IFMIF. Konstrukcja ITERa i IFMIF powinna zająć około 10 lat. Po otrzymaniu pierwszych wyników z obu tych urządzeń (szacuje się, że nastąpi to po około ośmiu latach ich działania), będzie możliwe rozpoczęcie budowy pierwszej prototypowej elektrowni termojądrowej.

Rola programu fuzji w narodowych i europejskich programach badań nad nowymi źródłami energii wynika z następujących przesłanek:

1. Fuzja jądrowa jest w stanie w bardzo dużym stopniu przyczynić się do zaspokojenia wzrastających potrzeb światowych w zakresie zaopatrzenia w energię produkowaną w warunkach przyjaznych dla środowiska. Chociaż wizja komercyjnego dostępu do elektryczności otrzymywanej za pomocą fuzji jest wciąż odległa o kilka dekad, to trzeba pamiętać o tym, że do tego czasu potrzeba zastąpienia lub uzupełnienia tradycyjnych źródeł energii będzie jeszcze bardziej paląca niż obecnie.
2. W światowym projekcie ITER, wraz ze Wspólnotą Euratom i Japonią, które wspólnie stoją na czele tych badań, biorą udział także USA, Rosja, Chiny, Korea Południowa i Indie. ITER ma produkować ponad 500 MW energii pochodzącej z fuzji, a jego głównym celem jest ostateczna prezentacja możliwości wytwarzania elektryczności za pomocą reakcji fuzji. Wniosek w tym zakresie zgłoszony pierwotnie przez Komisję Europejską do 7. Programu Ramowego obejmuje:
 - i) fundusze na potrzeby konstrukcji ITERa (które zostaną wydane na kontrakty z przemysłem europejskim),
 - ii) fundusze na kontynuację na obecnym poziomie finansowania trwającego obecnie europejskiego programu fuzji, który w ciągu 10 lat budowy ITERa będzie skupiony głównie na przygotowaniach do eksploatacji tego urządzenia i na pracach, które będą musiały być podjęte przed rozpoczęciem konstrukcji prototypowej elektrowni termojądrowej.
3. Istnieją opinie, że co prawda fuzja rokuje duże nadzieje i jest obiecująca, to na jej cel przeznaczają się zbyt duże nakłady zarezerwowane na badania i rozwój nad źródłami energii. Twierdzi się, że środki przeznaczone na badania nad fuzją powinny zostać

przesunięte na badania nad odnawialnymi źródłami energii i technologiami z tym związanymi w celu zapewnienia jak najszybszego zwrotu nakładów. Jesteśmy zwolennikami rozwijania i wdrażania odnawialnych źródeł energii, a także szybkiego zwrotu nakładów. Należy jednak pamiętać, że nie jest możliwe, aby odnawialne źródła energii pokryły całkowicie światowe zapotrzebowanie na energię elektryczną w przyszłości. Należy opracować cały pakiet nowych i doskonalszych technologii energetycznych (włączając w to zarówno fuzję jak i odnawialne źródła energii), a do tego niezbędne jest zwiększenie nakładów finansowych na wszelkie badania związane z nowymi źródłami energii. Zaskakujące jest to, że w obliczu zwiększającego się kryzysu energetycznego światowe wydatki (ze środków publicznych) na cele badawczo-rozwojowe w dziedzinie energii zostały realnie zmniejszone o 50% od 1980 roku i teraz utrzymują się na poziomie niespełna 0,3% z 4 bilionów Euro światowego rynku energetycznego rocznie (sektor prywatny zmniejszył te nakłady w jeszcze większym stopniu).

Podsumowując, świat i Polska potrzebują wzrostu nakładów na rozwój wielu nowych technologii, które będą podwyższać efektywność wykorzystania energii, i które będą miały znaczący wkład w zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania na czystą energię. Nieodpowiedzialnym posunięciem byłoby zaniechanie rozwoju fuzji (przy stosunkowo niskim koszcie w stosunku do ogromnej skali wyzwania) i jeżeli badania nad nią mają być kontynuowane, to należy przyspieszyć ten proces tak, jak to tylko możliwe. Nie zwiększy to kosztów samego rozwoju, ale przybliży termin osiągnięcia pożądaných korzyści. Wymaga to nakładów finansowych w 7. Programie Ramowym na poziomie zaproponowanym przez Komisję Europejską oraz zwiększenia nakładów krajowych.

1.2. Organizacja międzynarodowych struktur zajmujących się badaniami nad energetyką termojądrową

1.2.1. Organizacja europejskich badań w dziedzinie MCF

Celem badań naukowych i prac badawczo-rozwojowych oraz wdrożeniowych w obszarze fuzji jest doprowadzenie do zbudowania reaktora termojądrowego zdolnego do ciągłego podtrzymywania reakcji fuzji jądrowej. Osiągnięcie tego celu stworzy zupełnie nową perspektywę dla rozwoju energetyki.

Program fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom ma trzy główne filary:

1. Projekt ITER (co znaczy droga po łacinie) powiązany z programem BA (*Broader Approach*). Projekt ITER jest przedsięwzięciem międzynarodowym, w którego realizację zaangażowane są Stany Zjednoczone, Japonia, Korea, Chiny, Indie, Federacja Rosyjska i Euratom. Głównym udziałowcem jest Euratom (45%). Budżet programu to 10 mld € na 30 lat. Program BA z kolei to udział Wspólnoty Euratom w przedsięwzięciach naukowych na terenie Japonii (modernizacja tokamaka JT60U, budowa ośrodka analiz i studiów w Rokkasho oraz IFMIF – *International Fusion Materials Irradiation Facility*);
2. Projekt JET (*Joint European Torus*) – przedsięwzięcie europejskie. JET to największy obecnie na świecie tokamak i jedyny, który może pracować na mieszaninie deuteru i trytu (pozostałe korzystają z czystego deuteru lub wodoru);
3. Program towarzyszący realizowany w krajach członkowskich Wspólnoty Euratom.

Prace na rzecz ITERa i BA koordynuje w UE instytucja mająca osobowość prawną o nazwie F4E (*Fusion for Energy*) z siedzibą w Barcelonie. Pełna nazwa to *The European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy*. F4E została zorganizowana w roku ubiegłym, od stycznia tego roku zaczęła swoją działalność w pełnym zakresie.

Pozostałe prace koordynuje konsorcjum EFDA (*European Fusion Development Agreement*), które utrzymuje dwa ośrodki wspierające, tzw. *Close Support Units* (CSU):

- i) w Culham koło Oksfordu koordynujący projekt JET;

- ii) w Garching koło Monachium, zajmujący się koordynacją prac badawczych z wykorzystaniem innych urządzeń fuzyjnych w Europie oraz rozwojem technologii dla urządzeń kolejnej generacji (program towarzyszący).

Wysoki stopień integracji prac oraz swobodny dostęp do europejskich urządzeń dla wszystkich uczestników programu, stworzyły podstawę do intensywnej współpracy i realizacji spójnego programu w ramach wspólnie przyjętej strategii. W realizację programu zaangażowanych jest ponad 2000 pracowników naukowych i inżynierów, w tym około 260 doktorantów. Przedsięwzięcie prowadzone jest jako JEDEN program europejski. Idea tzw. *European Research Area*, której utworzenie jest priorytetowym celem 7. Programu Ramowego, została tu wcielona w życie ponad 30 lat temu.

1.2.2. Struktura i schemat organizacyjny programu fuzji jądrowej w Europie

Instytucjami koordynującymi program fuzji jądrowej w Europie są:

- Komisja Europejska
- F4E – Fusion for Energy, pełna nazwa The European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy
- EFDA – European Fusion Development Agreement

EFDA nie ma osobowości prawnej – korzysta z osobowości prawnej Komisji Europejskiej, natomiast F4E jest organizacją mającą osobowość prawną, utworzoną na mocy Traktatu Euratom. F4E jest to tzw. *Domestic Agency* – instytucja realizująca program ITER w części przypadającej na każdego z siedmiu partnerów, w tym wypadku na Wspólnotę Euratom. Całość programu ITER koordynuje międzynarodowa instytucja ITER IO (*ITER International Organisation*).

Nadzór nad realizacją programu europejskiego sprawują komitety i rady zarządzające, odpowiadające instytucjom wykonawczym:

- *Consultative Committee for the Euratom Specific Research and Training Programme in the Field of Nuclear Energy (Fusion)*. W skrócie CCE-FU (*Consultative Committee Euratom for Fusion*). Delegatami z Polski są: L. Grabarczyk, MNiSW, A. Gałkowski, R. Miklaszewski, IFPiLM). CCE-FU jest organem doradczym Komisji Europejskiej.
- *F4E Governing Board* (delegatami z Polski są: L. Grabarczyk, MNiSW i Ł. Ciupiński, PW). F4E GB pełni rolę Rady Zarządzającej tej organizacji, której organem wykonawczym jest dyrektor F4E (*Didier Gambier*).
- *EFDA Steering Committee* (z Polski: A. Gałkowski, R. Miklaszewski). EFDA SC jest Komitetem Kierującym EFDA.

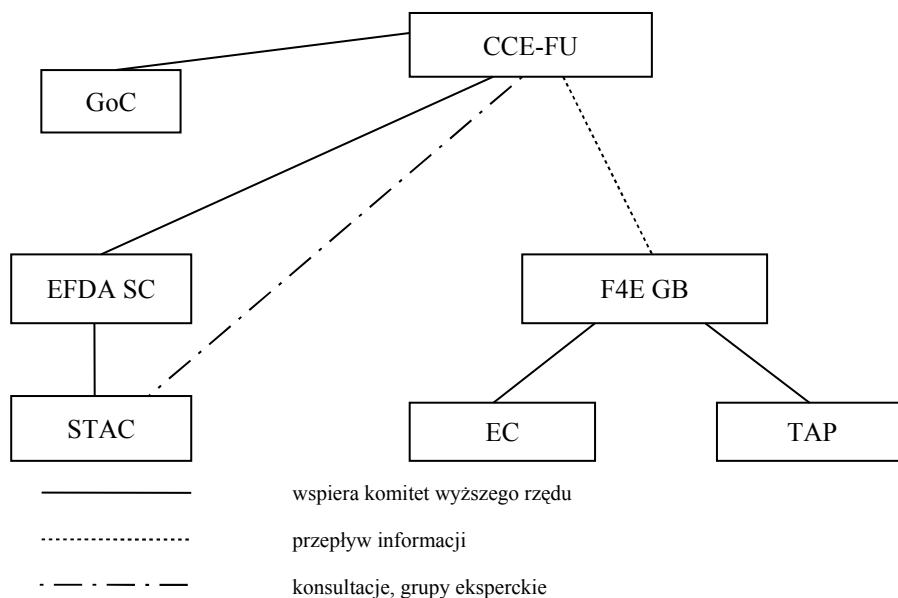
Każdy z nich ma swoje podkomitety doradcze:

- CCE-FU
 - GoC (*Group of Chairmen*. Z Polski: A. Gałkowski jako wiceprzewodniczący CCE-FU)
 - F4E GB
 - EC – *Executive Committee* (z Polski: K.J. Kurzydłowski)
 - TAP – *Technical Advisory Panel* (z Polski: J. Mizera)
 - EFDA SC
 - STAC – *Science and Technical Advisory Committee*

EC jest grupą 13 ekspertów doradzających Radzie Zarządzającej F4E w zakresie kontraktów zawieranych z przemysłem oraz grantów badawczych udzielanych instytucjom naukowym na terenie Europy. TAP jest również grupą 13 ekspertów doradzających w zakresie merytorycznej zawartości planów F4E na każdy rok jego działalności.

STAC pełni wobec EFDA SC funkcję podobną do tej, jaką pełni TAP w stosunku do F4E GB.

Struktura zależności pomiędzy tymi komitetami pokazana jest na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat zależności pomiędzy komitetami programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom

CCE-FU i F4E GB są więc ciałami przedstawicielskimi (członkami są przedstawiciele rządów krajów Wspólnoty Euratom wraz z towarzyszącymi im ekspertami). EFDA SC jest zgromadzeniem kierowników Asocjacji Euratom w 27 krajach Wspólnoty (+Szwajcaria). STAC, EC i TAP są grupami po 13 ekspertów każdy, wybranymi na zasadzie kompetencji.

EFDA i F4E realizują swój program poprzez Asocjacje narodowe, których działalność z kolei jest nadzorowana przez Komitety Kierujące (*Steering Committee*) złożone z trzech przedstawicieli Komisji Europejskiej i trzech przedstawicieli Asocjacji. W posiedzeniach SC bierze udział lider EFDA lub jego przedstawiciel.

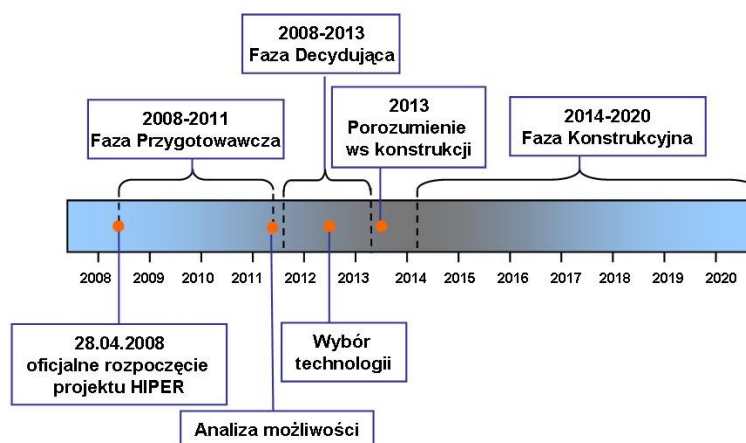
1.2.3. Struktura i schemat organizacyjny w dziedzinie ICF

Podstawowym projektem badawczym w dziedzinie ICF jest w Europie projekt HIPER (ang. *High Power laser Energy Research*). Jest to projekt, który ma na celu opracowanie układu prototypowego do przeprowadzenia syntezy laserowej w wersji z tzw. szybkim zapłonem paliwa termojądrowego. Ma też na celu – poza poszukiwaniem nowych, bezpiecznych sposobów wytwarzania energii elektrycznej – również zgłębianie innych zagadnień, m.in. z dziedziny nauki o materiałach czy fizyki cząstek elementarnych. Powstanie laboratorium z systemem laserowym HIPER ma, poza aspektami naukowymi, także na celu integrację środowisk, zarówno krajowych jak i międzynarodowych pracujących nad laserową fuzją termojądrową.

Opisując organizację prac w Europie w zakresie IFC warto wspomnieć, że w ramach Unii Europejskiej działają również dwa inne programy pośrednio związane z projektem HiPER: LASERLAB (*Europe Integrated Initiative of European Laser Infrastructures*) oraz ELI (*Extreme Light Infrastructure*). Pierwszy z nich ma na celu wspieranie projektów badawczych zajmujących się oddziaływaniem laser-plazma, które są realizowane w największych ośrodkach europejskich; natomiast drugi z tych programów związany jest z budową i zastosowaniem lasera wielkiej mocy do badań fizycznych w warunkach ekstremalnych. W projektach tych obok IFPiLM uczestniczą także inne polskie laboratoria. Podobne projekty, realizowane są także w Stanach Zjednoczonych i w Japonii. Badania syntezy laserowej (ICF) wspierane są także w programie fuzji magnetycznej Wspólnoty Euratom, ale na niewielkim poziomie pozwalającym jedynie na śledzenie postępów prac finansowanych z innych źródeł.

Podstawą prawną porozumienia konsorcjum programu HIPER jest przepis Komisji Europejskiej z 2006 r. ustanawiający zarówno prawa uczestnictwa w tym przedsięwzięciu ośrodków naukowych i uniwersytetów w ramach 7. Programu Ramowego, jak również prawa rozpowszechniania wyników naukowych.

Układ HiPER ma na celu zademonstrowanie efektywności syntezy laserowej (ICF) w skali czasowej podobnej do uruchomienia wielkiego międzynarodowego tokamaka ITER, którego z kolei celem jest przedstawienie efektywności syntezy magnetycznej (MCF). Wieloletni program przygotowania i budowy całej infrastruktury HIPER zobrazowany jest na rysunku 2.



Rys.2. Wieloletni program przygotowania i budowy układu laserowego HIPER

Przygotowania merytoryczne i organizacyjne projektu HiPER rozpoczęły się w 2004 r. pod kierownictwem Mike'a Dunne, dyrektora centrum badawczego *Central Laser Facility* w Rutherford. Projekt fazy przygotowawczej (*Preparatory Phase*) układu laserowego HiPER w październiku 2006 został zaakceptowany i ulokowany na mapie drogowej Europejskiego Forum Strategicznego dla Infrastruktury Badawczej (*European Strategy Forum on Research Infrastructures, ESFRI*). Po pozytywnym zaopiniowaniu projekt ten został skierowany do Programu Infrastruktury Badawczej w 7. Programie Ramowym.

Oficjalnie faza przygotowawcza projektu HIPER rozpoczęła się 28 kwietnia 2008 r. i ma potrwać 3 lata. Celem tej fazy jest rozwiązanie spraw finansowych, prawnych i strategicznych równoległe ze zminimalizowaniem ryzyka technicznego programu, aby umożliwić w przyszłości przejście do kolejnej fazy – fazy konstrukcyjnej układu laserowego. Budżet projektu HIPER przewidziany na te trzy lata wynosi 13 mln Euro.

Struktura organizacyjna programu HIPER przedstawiona jest na rys.3. Międzynarodowa Rada Sterująca (*International Steering Council*) jest organem zarządzającym, pod który bezpośrednio podlega Komitet Wykonawczy (*Executive Board*). Jest on odpowiedzialny za strategię całego projektu. Forum Uczestników (*Participants' Forum*) ma za zadanie delegowanie i zatwierdzanie składu zarówno członków Komitetu Wykonawczego jak i Rady Kierującej. Międzynarodowy Komitet Doradczy (*International Advisory Committee*) ma za zadanie dostarczanie Komitetowi Wykonawczemu niezależnych wskazówek naukowych dotyczących projektu. Ponadto jest to organ odpowiedzialny za nadzorowanie postępów dokonywanych w ramach projektu, jak również ma charakter doradczy w stosunku do Komitetu Wykonawczego.



Rys.3. Struktura organizacyjna europejskiego projektu HIPER

Siedziba główna zarządu projektu HIPER została zlokalizowana w RAL (*Rutherford Appleton Laboratory*) w Rutherford w Wielkiej Brytanii, z drugim biurem w ILP (*Institut Laser et Plasma*) w Bordeaux we Francji.

W projekt HIPER formalnie zaangażowane są następujące europejskie państwa: Wielka Brytania, Francja, Włochy, Grecja, Czechy, Hiszpania i Portugalia. Każde z tych państw ma własne agencje finansujące badania w dziedzinie syntezy (tzw. *Funding Agency*) lub ma podpisaną umowę na poziomie ministerialnym. Pozostali członkowie zaangażowani są w projekt na poziomie instytutowym i są to instytuty z Rosji, Niemiec i Polski. Prawie wszyscy uczestnicy dostarczają znaczący wkład finansowy w celu rozwoju tego ogromnego przedsięwzięcia. Polska reprezentowana jest przez Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM), który – wykorzystując doświadczenie badawcze i dorobek naukowy kadry – mógł jako jedyny ośrodek w Polsce podjąć się realizacji zadań przedstawionych w

programie HIPER. Ponadto w program zaangażowane są również państwa nieeuropejskie, takie jak Korea Południowa, Chiny, Japonia, Kanada i Stany Zjednoczone.

1.3. Proces przystąpienia polskich jednostek badawczych do międzynarodowych struktur organizacyjnych zajmujących się badaniami nad energetyką termojądrową

1.3.1. Asocjacja EURATOM – IFPiLM. Struktura krajowa do realizacji zadań wynikających z udziału Polski w europejskim i światowym programie badań nad opanowanie fuzji w układach magnetycznego utrzymania plazmy (MCF – *Magnetic Confinement Fusion*)

Od roku 2005 nowego, znacznie szerszego wymiaru nabrały prowadzone w Polsce badania w dziedzinie fuzji termojądrowej, co związane jest z przystąpieniem naszego kraju do Wspólnoty Euratom. Fakt ten stworzył zupełnie nowe perspektywy dla prowadzenia prac badawczych, zwłaszcza w zakresie dostępu do europejskich urzędów i ośrodków badawczych oraz funduszy przeznaczonych na wspieranie badań.

Przystąpienie do Programu Ramowego Wspólnoty Euratom w obszarze *Fusion* wiąże się z zawarciem Kontraktu Asocjacyjnego (*Contract of Association, CoA*) którego stronami są Wspólnota Euratom, reprezentowana przez Komisję Europejską, i instytucja krajowa koordynująca realizację prac w ramach przyjętego programu (*Euratom Associate*).

Podstawowy Kontrakt Asocjacyjny uzupełniony jest dodatkowymi porozumieniami wielostronnymi:

- EFDA (*European Fusion Development Agreement*) – umowa wielostronna obejmująca wszystkie Asocjacje (jest ich 27 we wszystkich krajach Unii Europejskiej + Szwajcaria) i Komisję Europejską;
- porozumienie w sprawie JET (*JET Agreement*) – umowa wielostronna, podobnie jak EFDA – ustala zasady wspólnego użytkowaniu unijnego tokamaka JET;
- porozumienie w sprawie wymiany personelu badawczego (*Mobility Agreement*) – również umowa wielostronna.

Uwaga: skrót EFDA używany jest w dwóch znaczeniach – jako porozumienie pomiędzy uczestnikami programu fuzji w Europie i na określenie instytucji koordynującej ten program.

Ze strony polskiej wszystkie cztery ww. umowy zostały podpisane przez Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie, instytucję upoważnioną przez ministra nauki i szkolnictwa wyższego do koordynacji w Polsce działań w tym zakresie. Na mocy CoA utworzona została tzw. Asocjacja Euratom-IFPiLM grupująca te ośrodki naukowe w Polsce, które uczestniczą w programie badań nad fuzją.

Działanie Asocjacji nadzorowane jest przez Komitet Kierujący (*Steering Committee*), w skład którego wchodzi trzech przedstawicieli Wspólnoty Euratom i trzech przedstawicieli Asocjacji. Komitet Kierujący zbiera się raz do roku.

Bieżącą koordynacją prac realizowanych w ramach Asocjacji zajmuje się koordynator Asocjacji (ang. *Head of Research Unit*).

Na poziomie Komisji Europejskiej działa Komitet Doradczy CCE-FU – *Consultative Committee for the Euratom Specific Research and Training Programme in the Field of Nuclear Energy (Fusion)*.

W 2007 roku Komisja Europejska podjęła działania, które zmierzały do powołania organizacji mającej osobowość prawną i działającej jako tzw. *Joint Undertaking* przewidziany w rzymskim Traktacie Euratom z roku 1958. Celem tej organizacji jest zarządzanie europejskim wkładem do światowego projektu ITER.

Organizacja przyjęła nazwę *The European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy* (w skrócie F4E – *Fusion for Energy*). Członkami są wszystkie kraje członkowskie Wspólnoty Euratom (a więc i Polska) oraz Szwajcaria. Sama Wspólnota reprezentowana jest przez Komisję Europejską. Polska była zaangażowana w działania organizacyjne w roku 2007 (Leszek Grabarczyk i Andrzej Gałkowski reprezentowali Polskę na posiedzeniach zespołu organizacyjnego). W wyniku tych działań powstała organizacja F4E, na czele której stoi dyrektor (Didier Gambier), a działalność jest nadzorowana przez Radę Zarządzającą (*Governing Board*), której członkami są obecnie Leszek Grabarczyk i Łukasz Ciupiński, obaj reprezentujący Państwo Polskie. Organami GB są:

- *Executive Committee (ExecCom)*; trzynastoosobowy zespół ekspertów doradzający w sprawach przydzielania grantów i zawierania kontraktów. Na bieżącą kadencję został powołany Krzysztof J. Kurzydłowski;
- *Technical Advisory Panel (TAP)*; trzynastoosobowy zespół ekspertów doradzający w sprawach technicznych. Członkiem TAP obecnej kadencji jest Jarosława Mizera z Politechniki Warszawskiej.

Kadencje trwają 2 lata z możliwością jednokrotnego odnowienia członkostwa. F4E finansuje europejską część projektu ITER poprzez przydzielanie grantów naukowych (F4E partycypuje w 40% kosztach grantu, pozostałe 60% pochodzi ze środków krajowych) oraz zawiera komercyjne kontrakty poprzedzone procedurą przetargową.

Dotychczas Polska uzyskała fundusze na dwa projekty (granty):

Preliminary Mechanical Analysis of a Blanket Manifold concept for ITER zrealizowany już przez Politechnikę Warszawską. Całkowity koszt projektu to 72213 €. Projekt został pomyślnie zakończony w roku 2008.

NUCLEAR DATA: Benchmark Experiments to validate EFF/EAF data realizowany przez Akademię Górniczo-Hutniczą. Całkowity budżet projektu to 30032 €. Przewidywany termin zakończenia – wrzesień 2009.

Żadna z firm polskich nie zdobyła jak dotychczas kontraktu z F4E. Udział polskiego przemysłu w budowie ITERa jest przedmiotem troski oficjalnie nominowanej przez F4E osoby kontaktowej (*Industry Liaison Officer*), którym ze strony Polski jest Maciej Chorowski z Politechniki Wrocławskiej. Ostatnio (na początku czerwca 2009) Wrocławski Park Technologiczny (którego prezesem jest Maciej Chorowski) oraz Krajowy Punkt Kontaktowy Euratom-IFPiLM zorganizowały spotkanie informacyjne dla polskich firm z udziałem szefa działu kontraktów F4E, Philippe’a Correi, przedstawiciela Komisji Europejskiej (Christopher Ibbott) oraz francuskiej firmy Areva (Bogdan Bielak).

Politechnika Wroclawska uzyskała kontrakt związany z ITERem, ale nie z F4E, lecz bezpośrednio z *ITER Organization*. IO koordynuje całość działań związanych z projektem ITER. W roku 2008 wartość tego kontraktu wynosiła 57600 €. Nie jest nam znana całkowita wartość kontraktu (kontrakty mają charakter komercyjny).

W Polsce organizacją koordynującą działania związane z europejskim (i światowym) programem fuzji jądrowej jest Asocjacja Euratom-IFPiLM, wspierana przez KPK Euratom-IFPiLM, jednak umowy dotyczące kontraktów i grantów F4E są zawierane bezpośrednio z beneficjentami, bez pośrednictwa Asocjacji.

1.3.1.1. Struktura Asocjacji Euratom-IFPiLM

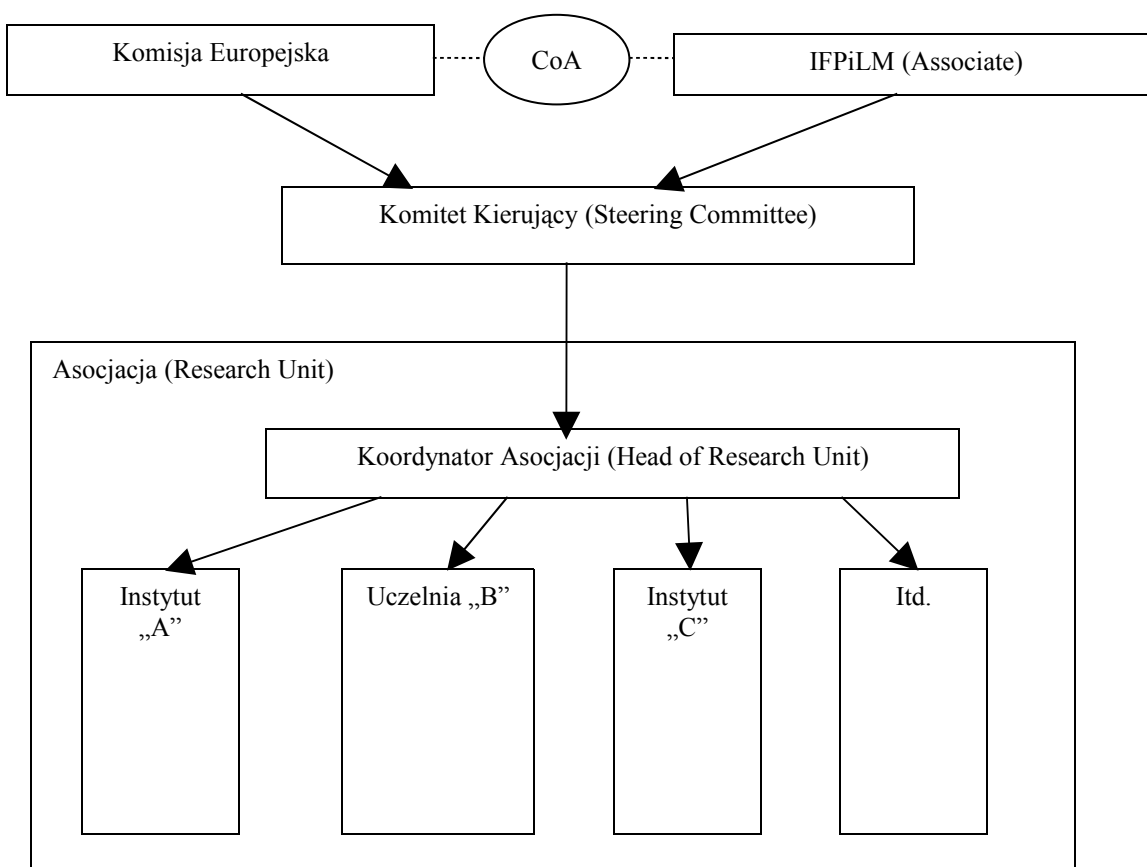
Obecnie Asocjacja Euratom-IFPiLM obejmuje zespoły badawcze z 12 uczelni, instytutów PAN i jednostek badawczo-rozwojowych. Asocjację tworzą:

1. Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM)
2. Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej (PW)
3. Instytut Problemów Jądrowych (IPJ)
4. Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie (IFJ)

5. Uniwersytet Opolski (UO)
6. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Fizyki (ZUT)
7. Akademia Morska w Szczecinie (AM)
8. Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki (AGH)
9. Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN (INTBS)
10. Instytut Energii Atomowej, Świerk/Otwock (IEA)
11. Politechnika Wrocławska (PWr)
12. Politechnika Poznańska (PP)

W każdej z tych instytucji jest osoba kontaktowa (*Principal Officer*), która współpracuje z koordynatorem Asocjacji.

Struktura zależności w ramach Asocjacji polskiej pokazana jest na rysunku 4.



Rys. 4. Struktura Asocjacji Euratom-IFPiLM

1.4. Fizyka plazmy i technologie termojądrowe w polskich ośrodkach badawczych

Poszczególne zespoły naukowe tworzące Asocjację Euratom-IFPiLM podjęły prace badawczo-rozwojowe w następujących dziedzinach:

- Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM)
 - Modelowanie plazmy (zagadnienia transportu masy i energii)
 - Diagnostyki plazmy (promieniowanie rentgenowskie i neutronowe)
 - Technologia (detrytacja i detekcja pyłu)
 - Badania socjologiczne
 - Koncepcja fuzji laserowej (śledzenie postępu, gdyż sama fuzja laserowa nie jest przedmiotem zainteresowania programu)
- Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej (PW)
 - Charakteryzacja materiałów i badania oddziaływania plazma-ściana
 - Nowe materiały dla fuzji
 - Obliczenia strukturalne (wytrzymałości konstrukcji)
- Instytut Problemów Jądrowych (IPJ)
 - Diagnostyki plazmy (detektory Czerenkowa i detektory śladowe)
 - Nagrzewanie plazmy (iniekcja wiązek atomów)
- Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie (IFJ)
 - Diagnostyka neutronów i obliczenia transportu neutronów
 - Prace konstrukcyjne przy montażu W7-X
- Uniwersytet Opolski (UO)
 - Spektroskopia X i VUV plazmy
 - Teoria plazmy (turbulencja)
- Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Fizyki (ZUT)
 - Teoria plazmy (niestabilności generowane cząstkami nadtermicznymi)
 - Modelowanie materiałów nadprzewodnikowych
- Akademia Morska w Szczecinie (AM)
 - Mikrofalowa diagnostyka plazmy
- Politechnika Poznańska (PP)
 - Diagnostyka plazmy za pomocą czujników Halla
- Politechnika Wrocławska (PWr)
 - Kriogenika; próżniowe pompy kriogeniczne
- Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej (AGH)
 - Zagadnienia transportu neutronów i aktywacji
 - Zagadnienia związane z trytem
 - Spektroskopia mösbauerowska
- Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN (INTBS)
 - Wysokotemperaturowe materiały nadprzewodnikowe
- Instytut Energii Atomowej, Świerk/Otwock (IEA)
 - Ekonomika

Szczegóły programu badań nad fuzją przedstawione są poniżej.

1.4.1. Szczegóły programu badań nad energetyką termojądrową w Polsce

Program badań nad fuzją jądrową w Polsce jest zgodny z programem fuzji jądrowej we Wspólnocie Euratom. Podstawowymi elementami tego programu są następujące projekty naukowe:

- A. Światowy projekt ITER
- B. Europejski projekt JET
- C. Prace realizowane w ramach Porozumienia EFDA

- a. Oddziaływanie plazmy ze ścianą (PWI – *Plasma Wall Interaction*)
 - b. Modelowanie plazmy (ITM – *Integrated Tokamak Modelling*)
 - c. Diagnostyki plazmy
 - d. Nowe materiały dla fuzji
 - e. Usuwanie trytu i diagnostyka pyłu
 - f. Socjologia i ekonomika
 - D. Program towarzyszący (badania na urządzeniach Wspólnoty Euratom)
 - a. Projekt W7-X
 - b. Projekty Tore Supra, ISTTOK, TEXTOR, COMPASS
- Szczegółowe zadania, realizowane obecnie przez polskie instytucje naukowe, są następujące:
- Ad A. Prace w ramach projektu ITER
- i) PW: *Preliminary Mechanical Analysis of a Blanket Manifold Concept for ITER*
 - ii) AGH: *Nuclear Data: Benchmark Experiments to Validate EFF/EAF data*
 - iii) PW: *Review of cryogenic system for ITER*
- Ad B. Prace w ramach projektu JET
- i) IFPiLM, UO: *X-ray and VUV spectroscopy*
 - ii) IFPiLM, IPJ, IFJ: *Neutron activation diagnostic*
 - iii) AM: *Polarimetric diagnostic*
 - iv) IFPiLM: *Edge plasma modelling; Integration of Transport and MHD Codes at JET*
 - v) IFPiLM: *Laser diagnostics of in-vessel components and dust generated during detritation process using optical spectrometry*
- Ad Ca. Prace w ramach porozumienia EFDA: PWI
- i) IFPiLM: *Fuel removal; photonic cleaning methods*
 - ii) IFPiLM: *Dust and tritium management*
 - iii) PW: *Dust; Chemical erosion and transport; High Z-materials and ITER material mix*
- Ad Cb. Prace w ramach porozumienia EFDA: ITM
- i) IFPiLM: *Module for impurities for the ETS – European Transport Solver*
 - ii) ZUT: *Code development for global stability analyses of Alfvén Eigenmode (AE) and Energetic Particle Mode (EPM)*
 - iii) UO: *Stochastic techniques to the study of phenomena relevant to the physics of fusion (turbulent cascades)*
- Ad Cc. Prace w ramach porozumienia EFDA: diagnostyka plazmy
- i) *Escaping fast alpha diagnostics using diamond and track detectors*
 - ii) *High resolution neutron spectrometer*
 - iii) *Portable LIBS device*
- Ad Cd. Prace w ramach porozumienia EFDA: nowe materiały dla fuzji
- i) PW: *W /steel joints fabrication route based on pulse plasma sintering (PPS) method*
 - ii) PW: *Hydrostatic extrusion of ODS ferritic steels*
 - iii) PW: *Studies of the mechanisms of plastic deformation in ODS ferritic steels*
 - iv) PW: *Tungsten and tungsten alloys; Ab-initio simulations of tungsten-tantalum and tungsten-vanadium alloys, including radiation-induced defects*
 - v) INTBS: *Measurements of the normal state properties of HTS – High Temperature Superconductors*
 - vi) ZUT: *Mathematical modelling of thermal-hydraulic problems in cable in conduit conductors*
 - vii) AGH: *Mössbauer spectroscopy of steels*

- Ad Ce. Usuwanie trytu i diagnostyka pyłu
- i) *Laser-based techniques and spectroscopy diagnostics; photocleaning methods*
- Ad Cf. Socjologia i ekonomika
- i) IFPiLM: *Exploring lay understanding and reasoning about fusion technology and its applications in power generation*
 - ii) IEA: *Direct costs of nuclear treaties, agreements and agencies*
- Ad Da. Program towarzyszący: projekt W7-X
- i) IFJ: *Cooperation on device assembly*
 - ii) IPJ: *Neutral beam injector*
 - iii) Diagnostyki plazmy
 - UO: *C/O monitor – X-ray spectrometer*
 - IFPiLM: *X-ray pulse height analysis*
 - IFPiLM: *neutron diagnostics and neutron calculations*
 - IFJ: *detection of the delayed neutrons*
 - AM: *microwave diagnostic*
 - PP: *Preparation of High-Temperature Hall Sensor for Future Applications in Measurements of Magnetic Field in fusion reactors*
 - iv) Teoria i modelowanie
 - IFPiLM: *plasma edge theory and modelling*
 - PW: *structural mechanical calculations*
 - PS, AM: *EM wave theory and simulation, burning plasma physics*
- Ad Db. Program towarzyszący: inne urządzenia badawcze
- i) IPJ: *Cerenkov detectors* (Tore Supra, ISTOK, CASTOR/COMPASS)
 - ii) IPJ: *Solid State Nuclear Track Detectors* (TEXTOR, CASTOR/COMPASS)
 - iii) PP: *Hall sensors* (COMPASS)
 - iv) IFPiLM: *Edge plasma modelling* (Tore Supra, FTU/FAST, TEXTOR DED, COMPASS)

Poniżej zamieszczamy uwagi do tego programu:

1. Nie wszystkie wymienione zadania są ujęte w Programie Roboczym Asocjacji i współfinansowane przez Komisję Europejską lub F4E. Poza programem Asocjacji są następujące zadania finansowane wyłącznie ze środków krajowych, a dotyczące udziału Polski w niemieckim projekcie Wendelstein 7-X:

- IFJ: *Cooperation on device assembly*
- IPJ: *Neutral beam injector*

Budżety tych dwóch zadań, według szacunków strony niemieckiej, wynoszą odpowiednio: 2 M€ i 5 M€, co w sumie daje 7 M€. W7-X powinien być gotowy do badań w roku 2014, zakładamy więc, że są to zadania pięcioletnie.

2. Strona niemiecka proponuje podjęcie przez stronę polską kolejnego zadania o budżecie 3 M€ (*Design and construction of trim coils*). Nie ma jeszcze decyzji co do tego, czy to zadanie będzie realizowane w Polsce.

3. Niektóre projekty zostały zakończone w roku 2008 (lub zakończą się w roku 2009) i ich kontynuacja stoi pod znakiem zapytania. Te projekty to:

- AGH: *Calculation of the activation and the decay heat of the components – classification of the wastes*
- INTBS: *Measurements of the normal state properties of HTS*
- ZUT: *Mathematical modelling of thermal-hydraulic problems in cable in conduit conductors*
- IEA: *Direct costs of nuclear treaties, agreements and agencies*

4. Zadania w ramach projektu JET (z wyjątkiem ostatniego) są w 100% finansowane przez Komisję Europejską. Polska płaci składkę na rzecz projektu JET (jest to tzw.

Wspólny Fundusz). Składka ta w latach 2005–2007 wynosiła 0 €, w latach 2008–2010 wyniesie 30 k€.

5. Komisja Europejska finansuje wyjazdy do ośrodków Euratomu w celu prowadzenia wspólnych badań: długie (ponad 4 tygodnie) w całości, krótkie – tylko koszty pobytu.

6. Wspólnota Euratom prowadzi ograniczone badania dotyczące koncepcji fuzji laserowej, alternatywnej do koncepcji magnetycznego utrzymania plazmy. Na ten cel przeznaczane jest 1% budżetu programu na działalność określaną jako *keep-in-touch*. W roku 2008 został zainicjowany w Europie projekt HiPER o dużo większej skali. Projekt ten nie jest częścią programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom

1.4.1.1. Relacja pomiędzy programem fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom i projektem W7-X

Projekt W7-X jest częścią programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom. Projekt ten ma na celu badanie alternatywnej do tokamaka koncepcji magnetycznego utrzymania plazmy – koncepcji stellaratora, która historycznie rzecz ujmując była koncepcją wcześniejszą (stellarator jest koncepcją opracowaną w USA przez Lymana Spitzera, tokamak – koncepcją opracowaną w ZSRR przez Andrieja Sacharowa i Igora Tamma). Obie koncepcje mają swoje wady i zalety, chociaż obecnie bardziej zaawansowana jest koncepcja tokamaka, która stała się podstawą konstrukcji ITERa i wcześniej JETa. Według tej koncepcji zbudowane są też urządzenia Tore Supra we Francji, ASDEX i TEXTOR w Niemczech, FT3 we Włoszech, MAST w Wielkiej Brytanii, ISTTOK w Portugalii, COMPASS w Czechach. W Europie działa w tej chwili tylko jedno urządzenie typu stellarator (w Hiszpanii), koncepcja ta jest natomiast intensywnie badana w Japonii. Różnica między tokamakiem i stellaratorem dotyczy przede wszystkim sposobu wytworzenia pułapki magnetycznej – w stellaratorze całe pole magnetyczne wytworzone jest przez prądy płynące w cewkach zewnętrznych w stosunku do plazmy, w tokamaku jedna ze składowych pola wytwarzana jest przez prąd elektryczny płynący w samej plazmie. Prąd ten jest wzbudzany impulsową akcją transformatora, którym jest w istocie tokamak. Reaktor termojądrowy będzie urządzeniem pracującym w sposób ciągły, co oznacza, że w wypadku tokamaka do rozwiązania pozostaje problem podtrzymywania prądu w plazmie. Problem ten nie występuje w stellaratorze. Znaczenie projektu W7-X jest związane także z tym, że będzie to drugie w Europie urządzenie fuzyjne z cewkami nadprzewodnikowymi (pierwszym jest Tore Supra) oraz z aktywnym chłodzeniem komory, co pozwoli na kwazistacjonarną pracę urządzenia. Konsorcjum EFDA przywiązuje dużą wagę do tego projektu i zamierza podjąć prace studyjne dotyczące reaktora termojądrowego wykorzystującego koncepcję stellaratora.

1.4.2. Koordynacja działań zespołów polskich

Koordynacją działań zespołów polskich zajmuje się Krajowy Punkt Kontaktowy przy IFPiLM. Koordynacja ta dotyczy przede wszystkim zadań, które są ujęte w Programie Roboczym Asocjacji Euratom/IFPiLM. Komisja Europejska przekazuje środki finansowe do IFPiLM, który jest dysponentem tych środków i zapewnia finansowanie (w części przypadającej na Euratom) prac prowadzonych w pozostałych ośrodkach Asocjacji. Podstawowe finansowanie, które zapewnia Asocjacja ze środków KE, to 20% budżetu zadań. Pozostałe 80% to środki krajowe, o które jednostki Asocjacji występują samodzielnie do MNiSzW (finansowanie statutowe i finansowanie badań własnych oraz finansowanie współpracy z zagranicą).

W ramach koordynacji programu fuzji jądrowej w Polsce KPK Euratom-IFPiLM podejmuje następujące działania:

- planowanie, monitorowanie, koordynowanie i raportowanie prac prowadzonych w ramach Asocjacji

- obsługa finansowania prac Asocjacji w części dotyczącej funduszy z Komisji Europejskiej
- reprezentowanie Asocjacji w gremiach zarządzających i doradzających programowi fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom
- organizowanie współpracy z ośrodkami Euratomu w Europie i na świecie, w tym administracja programu wymiany personelu, na co Asocjacja otrzymuje środki finansowe z Komisji Europejskiej
- organizacja udziału Polski w projekcie JET, w tym delegowanie polskich naukowców do udziału w kampaniach eksperymentalnych JETa
- działania horyzontalne
 - propagowanie zadań badawczych Asocjacji Euratom
 - podejmowanie działań na rzecz włączania polskiego przemysłu do budowy reaktora ITER
 - podejmowanie działań na rzecz kształcenia polskich kadr na potrzeby ośrodka ITER i innych centrów fuzyjnych
 - współpraca z mediami i propagowanie w społeczeństwie idei Energii Przyszłości
 - administrowanie ofertami pracy w ośrodkach fuzyjnych w Europie

Nadzór nad działalnością Asocjacji sprawują:

- Komitet Kierujący złożony z trzech przedstawicieli Komisji Europejskiej i trzech przedstawicieli Polski; w posiedzeniach KK bierze udział lider EFDA lub jego przedstawiciel; oraz
- Rada Asocjacji złożona z liderów polskich zespołów badawczych oraz ekspertów zagranicznych (z EFDA i współpracujących ośrodków fuzyjnych w Europie) z udziałem przedstawiciela Komisji Europejskiej w charakterze obserwatora. Rada pełni rolę rady naukowej Asocjacji.

Do rozważenia pozostaje zakres i formy koordynacji obsługi finansowej w części dotyczącej środków krajowych. Ta kwestia wymaga analizy od strony zgodności z obowiązującym prawem. Wspólne wystąpienia, postulowane na przykład przez Interdyscyplinarny Zespół ds. współpracy z zagranicą, mogą dotyczyć środków przeznaczonych na finansowanie współpracy z zagranicą w formie pakietu wniosków (nie jest pewne, czy jest możliwe wystąpienie z jednym wnioskiem i wyznaczenie IFPiLM do roli redystrybutora przydzielonych funduszy, ale ta kwestia jest w gestii MNiSzW).

1.4.2.1. Zasady kontroli i nadzoru nad realizacją programu

Zgodnie z Kontraktem Asocjacyjnym realizacja zadań jest nadzorowana, monitorowana i kontrolowana przez Komitet Kierujący Asocjacją (KK). Do obowiązków uczestników programu należy sporządzanie raportów rocznych i raportów okresowych, które są dokumentami posiedzenia Komitetu i przez ten Komitet są zatwierdzane. Raporty roczne z lat 2005-2008 są w wersji skróconej dostępne na stronie internetowej Asocjacji www.ipplm.pl. W raportach okresowych przedstawiany jest stan realizacji projektów: czy osiągnięte zostały założone w planie punkty kontrolne (*milestones*) i czy powstały urządzenia, dokumentacja, raporty (*deliverables*) przewidziane w planie. Podstawą do zatwierdzenia tych raportów jest wykazanie, że zrobiono wszystko, aby te punkty kontrolne zostały osiągnięte, a urządzenia i dokumenty powstały (zasada *best effort*). Raporty z realizacji zadań koordynowanych przez EFDA składane są do CSU w Garching i w Culham i zatwierdzane przez szefa EFDA. EFDA przeprowadza też okresowe przeglądy wyników realizacji

wybranych projektów i programów. Wyniki badań są publikowane w czasopiśmie naukowych i prezentowane na konferencjach (jest to elementem oceny realizacji programu). Sprawozdania finansowe są potwierdzane certyfikatami audytu.

1.4.3. Szczegóły udziału Polski w projekcie HIPER

Przewidywany 3-letni okres fazy przygotowawczej budowy HIPERa przeznaczony ma być na badania nad fuzją termojądrową w laboratoriach narodowych, a w latach 2009-2012 w laboratorium *National Ignition Facility* w Stanach Zjednoczonych. Faza przygotowawcza została podzielona na tzw. pakiety robocze (*work packages*), które dotyczą spraw zarządzania i finansowania oraz prawnych, strategicznych i technicznych aspektów projektu:

WP1 - Management of the Preparatory phase project

WP2 - Attendance of HiPER meetings

WP3 - Legal and Governance Frameworks

WP4 - Strategy for International, Industrial and Academic Partnerships

WP5 - Financial Planning and Site issues

WP6 - Impact Analysis into future options for HiPER

WP7 - Public Relations and Communications

WP8 - Safety, Environmental analysis and fusion technology

WP9 - Requirements Analysis for Fusion programme

WP10 - Fusion experimental programme

WP11 - Fusion target delivery

WP12 - Fundamental Science programme

WP13 - Laser Facility design - single shot

WP14 - Laser Facility design - rep rate

WP15 - Increased rep-rate target area design

Pierwszych 7 pakietów dotyczy szeroko rozumianych prac organizacyjnych, kolejne natomiast odnoszą się do spraw technicznych.

IFPiLM zaangażowany jest w prace objęte dwoma pakietami roboczymi, które dotyczą prac organizacyjnych, mianowicie WP2 - udział w spotkaniach roboczych projektu HiPER i WP6 - analiza przyszłych opcji dla systemu HiPER. Ponadto Instytut bierze udział także w dwóch pakietach roboczych dotyczących spraw technicznych: WP9 i WP12.

Pakiet roboczy WP9 „*Fusion*” ma na celu opracowanie założeń fizycznych w celu przeprowadzenia efektywnej syntezy laserowej w wersji z „szybkim zapłonem” z wykorzystaniem protonów przyspieszanych laserem. Z kolei w pakiecie WP12 „*Fundamental Science*” strona polska ma za zadanie opracowanie warunków fizycznych i zbadanie procesów laserowego przyspieszania jonów w układzie HIPER, jak również zbadanie generacji i oddziaływania strumieni plazmy z ośrodkiem gazowym.

Polska ma za zadanie przeprowadzenie teoretycznej analizy postawionych problemów, wykonanie symulacji komputerowych oraz weryfikację uzyskanych danych numerycznych. W tym celu planowane są liczne eksperymenty z użyciem laserów wielkiej mocy, które wykonane będą wspólnie z innymi laboratoriami, m. in. w Anglii, Francji i Czechach.

1.5. Infrastruktura badawcza

Należy podkreślić, że w Polsce nie ma urządzeń, które mogą być w przyszłości reaktorami plazmowymi, zarówno w obszarze magnetycznego utrzymania plazmy (tokamaki i stellaratory), jak i inercyjnego utrzymania plazmy (układy laserowej kompresji i zapłonu plazmy). Istnieją natomiast urządzenia, które są bazą eksperymentalną dla prac mających odniesienie do obu tych obszarów fuzji jądrowej. Infrastruktura badawcza instytutów i uczelni

skupionych w Asocjacji Euratom-IFPiLM zostanie przedstawiona w zarysie, gdyż jest to przedmiot oddzielnej ekspertyzy. W rozdziale dotyczącym analizy SWOT podane zostaną dane dotyczące kadry naukowej i inżyniersko-technicznej realizującej w Polsce program badań nad fuzją jądrową.

1.5.1. Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy

IFPiLM dysponuje następującą aparaturą naukowo-techniczną mającą znaczenie dla badań nad fuzją:

- Zestaw laboratoryjny do testowania usuwania kodepozytów za pomocą lasera oraz do detekcji pyłu w komorze tokamaka
 - a. Laser terawatowy o parametrach:
 $\lambda = 1064 \text{ nm}$, $E_L < 1 \text{ J}$, $t_L = 1 \text{ ps}$, $I_L < 2 \cdot 10^{17} \text{ W/cm}^2$
 - b. Repetytywny laser Nd:YAG o parametrach:
 $t_L = 3.5 \text{ ns}$, $n_L = 10 \text{ Hz}$ i $E_L < 0.8 \text{ J}$ przy $\lambda = 1064 \text{ nm}$, or $E_L < 0.65 \text{ J}$ przy $\lambda = 525 \text{ nm}$ oraz $E_L < 0.45 \text{ J}$ przy $\lambda = 350 \text{ nm}$
 - c. Impulsowy laser światłowodowy IPG Photonics o mocy średniej do 100W, częstotliwości repetycji do 100 kHz i energii impulsu do 1 mJ
- Podstawowe układy diagnostyczne
 - a. Elektrostatyczny analizator energii jonów z fotopowielaczem jako detektorem jonów (kąt odchylenia elektrod cylindrycznych - 90° , napięcie odchylające do 5 kV)
 - b. Spektrometr optyczny Mechelle5000
 - c. Spektrometr masowy Thomsona z fotopowielaczem
 - d. Kolektory jonów
 - e. Detektory śladowe szybkich jonów
 - f. 3-kadrowy interferometr laserowy
 - g. Układy do diagnostyki promieniowania rentgenowskiego emitowanego z plazmy laserowej:
 - spektrometr krystaliczny
 - analizator amplitudy impulsów rentgenowskich
 - detektory półprzewodnikowe
 - h. Detektory scyntylacyjne twardego promieniowania rentgenowskiego

Układy te służą w IFPiLM do prac badawczych dotyczących usuwania deuteru z komponentów tokamaka znajdujących się w komorze próżniowej. Metodą jest laserowa ablacja kodepozytów. Oryginalne próbki grafitowe wykorzystywane w badaniach pochodzą z poloidalnego limitera tokamaka TEXTOR w Jülich w Niemczech. Wykorzystywany jest repetytywny laser Nd:YAG. Jony emitowane z powierzchni oświetlanych światłem laserem są detekowane za pomocą kolektorów jonów i elektrostatycznego analizatora energii jonów. Charakteryzacja powierzchni próbek została przeprowadzona w FZJ Jülich z udziałem badaczy z IFPiLM i z Laboratorium Alfvena w Szwecji. We współpracy z zespołem spoza IFPiLM prowadzono też badania z wykorzystaniem spektroskopii optycznej.

Wyniki prac w IFPiLM pokazują też możliwość symulacji tworzenia się pyłu w komorze tokamaka za pomocą ablacji stymulowanej promieniowaniem laserowym. Analiza widm za pomocą spektroskopii pozwoli określić skład chemiczny generowanego pyłu i ewolucję tego składu w drobinach pyłu uwalnianych kolejnymi strzałami lasera, co z kolei pozwoli określić strukturę warstwy kodepozytu. Jednocześnie z pomiarami optycznymi drobin pyłu są osadzone na powierzchniach szklanych i metalowych lokowanych w różnych odległościach od płyt naświetlanych promieniowaniem laserowym. Osadzony na powierzchni pył jest następnie badany metodami mikroskopii takimi jak SEMi NRA w laboratoriach współpracujących z IFPiLM (FZJ, Juelich; IP ASCR w Pradze; Laboratorium Alfvena w Sztokholmie).

- Układ *plasma focus* PF1000

Urządzenie zajmuje trzy poziomy budynku laboratoryjnego o łącznej powierzchni 5.154 m² i objętości 32.340 m³. Podstawowe podzespoły układu PF1000 to:

1. Bateria 288 kondensatorów zgrupowanych w 12 sekcjach (sześć na parterze i sześć na drugim piętrze. W każdej sekcji są 24 kondensatory o niskiej indukcyjności (50kV, 4.625μF). Bateria jest dołączona do kolektora prądu elektrycznego (pierścień stalowy o średnicy 2.5m) za pomocą 96kablów o niskiej indukcyjności ($\Phi=12\text{cm}$). System ładowania baterii zapewnia osiągnięcie nominalnego napięcia w ciągu 2 minut. Podstawowe parametry baterii kondensatorów są następujące:

a.	Napięcie ładowania	$U_0 = 20 - 45 \text{ kV}$
b.	Pojemność baterii	$C_0 = 1.332 \text{ mF}$
c.	Energia zgromadzona w baterii	$E_0 = \text{do } 1064 \text{ kJ}$
d.	Minimalna indukcyjność	$L_0 = 8.9 \text{ nH}$
e.	$\frac{1}{4}$ czasu rozładowania	$t_{1/4} = 5.4 \text{ } \mu\text{s}$
f.	Prąd zwarcia	$I_{SC} = 15 \text{ MA}$
g.	Impedancja charakterystyczna	$Z_0 = 2.6 \text{ m}\Omega$
2. Komora próżniowa o objętości 3800 dcm³, długości – 2.50 m, średnicy – 1.4 m wyposażona w system próżniowy (do $5 \cdot 10^{-5}$ mbar) i system zasilania gazem.
3. Elektrody – centralna elektroda (anoda) wykonana z czystej miedzi ($\Phi=23\text{cm}$, długość = 60cm), – zewnętrzna elektroda ($\Phi=40\text{cm}$, długość=60cm) wykonana z 24 prętów ze stali nierdzewnej ($\Phi=3.2\text{cm}$).

Laboratorium Plasma Focus PF1000 wyposażone jest w nowoczesne systemy diagnostyczne (kamery różnego rodzaju, detektory, liczniki, itd.) w zintegrowanym systemie automatycznego zbierania i obróbki danych i obrazów. Podstawowe układy diagnostyczne to:

- a. Szybkie kamery wielo-kadrowe i kamery smugowe (kamera FENIX II; podstawa czasu 2 μs)
- b. Cztero-kadrowa kamera rentgenowska z rozdzielczością czasową 20 ns zamontowana na komorze PF1000
- c. Konsola sterowania wyposażona w zautomatyzowany system akwizycji i obróbki danych
- d. Laser na szkle Nd (QUANTEL) używany do aktywnych diagnostyk plazmy (interferometrii Macha-Zendera, szlirenografii i cieniografii)
- e. Diagnostyki neutronów i twardego promieniowania X (liczniki srebrne, sondy scyntylicyjne z fotopowielaczami)
- f. Detektor germanowy HPGe do pomiaru promieniowania gamma z próbek aktywowanych neutronami z plazmy

Urządzenie PF-1000 jest układem *Plasma Focus* (PF) typu Mathera należącym do klasy nie cylindrycznych układów Z-pinch, na których prowadzi się badania fizyki gorącej plazmy ($T > 1 \text{ keV}$) utrzymywanej polem magnetycznym wytwarzanym przez prąd płynący w plazmie. PF-1000 służy do wytwarzania plazmy o parametrach termojądrowych i czasie życia rzędu mikrosekundy. Ze względu na swoje parametry techniczne oraz wyposażenie diagnostyczne jest urządzeniem pozwalającym na wykonywanie wielu interesujących eksperymentów z zakresu plazmy termojądrowej.

1.5.2. Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego

- Impulsowe źródło neutronów o energii 14 MeV z dwiema liniami detekcji do zapisu czasowej ewolucji strumienia neutronów termicznych. Wydajność neutronów: $5 \cdot 10^8 \text{ n/s}$, czas trwania impulsu: 25–100 μs, czas repetycji: 0.3 – 100 ms.

Impulsowy generator neutronów prędkich o energii 14 MeV z komorą termostatyczną pracuje w systemie przyspieszania jonów deuteru, które wywołują reakcję jądrową z trytem (D+T) zaabsorbowanym w stałej tarczy. Generator jest urządzeniem wykonanym w IFJ, a początki budowy sięgają lat 60-tych ubiegłego stulecia. Urządzenie było kilkakrotnie modernizowane, co głównie spowodowało się do wymiany zasilaczy wysokonapięciowych i układu pomp wysokiej próżni. Koncepcja działania urządzenia polegająca na przyspieszaniu jonów deuteru (produkowanego na bieżąco w elektrolizerze ciężkiej wody) oraz sposób impulsowego dawkowania jonów deuteru do rury akceleracyjnej, konstrukcja i chłodzenie tarczy trytowej, w zasadzie nie uległy poważniejszym zmianom. Istotnym ograniczeniem generatora jest brak możliwości uzyskania neutronów o energii 2,5 MeV z reakcji D+D ze względu na zbyt małą wydajność tej reakcji przy możliwościach technicznych urządzenia. Natomiast atutem tego urządzenia jest możliwość pomiaru cząstek alfa będących produktem reakcji D-T.

- Zakład FTP (Fizyki Transportu Promieniowania) ma zaplecze aparaturowe wyposażone w systemy monitorujące dla neutronów prędkich 14 MeV, systemy pomiarowe dla neutronów termicznych w zakresie analizy mikrosekundowej oraz system spektrometryczny do detekcji cząstek alfa. Własne zaplecze komputerowe stanowi 48. rdzeniowy klaster komputerowy *McRadiat* służący głównie do symulacyjnych obliczeń neutronowych. Głównym oprogramowaniem jest MCNP (*Monte Carlo N-particle Transport Code*) do komputerowej symulacji transportu promieniowania, w tym promieniowania neutronowego, wraz z dodatkiem 3D CAD, który służy do czytania i konwersji plików z geometrią zapisaną w programach typu CAD na format obsługiwany przez MCNP. Zaplecze mechaniczne do budowy detektorów diamentowych pozwala na wykonywanie uchwytów oraz połączeń elektrycznych na strukturach diamentowych jak również napyłanie kontaktów elektrycznych.
- Izochroniczny cyklotron AIC-144. Możliwość przyspieszania cząstek w zakresie energii 30-60 MeV (proton), 15-30 MeV (deuterony) i 30-60 MeV (cząstki alfa).
- Akcelerator Van de Graffa. Przyspiesza protony do energii 2.5 MeV, prąd 2-100 μA z urządzeniem do mikropróbkowania zapewniającym plamki o średnicy 2 μm i prądzie 100 pA oraz plamki o średnicy 10 μm i prądzie 1 nA.
 - Dwustrumieniowy implantator jonów. Główny strumień jonów (większość pierwiastków możliwa do zastosowania) z kontrolą magnetyczną $dM/M=1/350$, ~ 5 mA, przekrój plamki do 10 \times 120 mm. Wtórny strumień jonów (wszystkie gazy szlachetne) przyspieszany napięciem 5-45 kV o gęstości prądu ~ 500 mA/cm².

1.5.3. Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej

Wydział posiada nowoczesną, często unikatową aparaturę badawczą pozwalającą na charakterystykę struktury materiałów od skali atomowej do makroskopowej. Do najważniejszych urządzeń w tym zakresie należy zaliczyć:

- wysokorozdzielczy skaningowy transmisyjny mikroskop elektronowy HITACHI HD2700 (o napięciu przyspieszającym 200 kV i zdolności rozdzielczej 0,14 nm) wyposażony w detektory EDS i EELS umożliwiające badania składu chemicznego w nanoobszarach
- wysokorozdzielczy skaningowy mikroskop elektronowy HITACHI 5500 (o zdolności rozdzielczej 0,4 nm) wyposażony w detektor EDS do badań składu chemicznego w nanoobszarach
- wysokorozdzielczy analityczny skaningowy mikroskop skaningowy HITACHI SU70 z dużą komorą umożliwiającą badania próbek litych, wyposażony w detektory EDS i WDS umożliwiające badania składu chemicznego oraz EBSD pozwalający na obrazowanie orientacji krystalograficznej w polikryształach

- wysokorozdzielczy transmisyjny mikroskop elektronowy JEM 3010 (o zdolności rozdzielczej 0,19 nm i napięciu przyspieszającym 300kV) umożliwiający badania składu fazowego i chemicznego w nanoobszarach (*Nanometer Beam Diffraction* oraz *EDS*) oraz symetrii kryształów z zastosowaniem dyfrakcji zbieżnej wiązki elektronów (*Convergent Beam Diffraction*),
- skaningowo-transmisyjny mikroskop elektronowy JEOL JEM 1200 EX II wyposażony w holdery pozwalające na obserwacje *in-situ* procesów zachodzących podczas grzania i rozciągania preparatów
- mikroskop jonowy FB-2100 stosowany do przygotowywania preparatów do wysokorozdzielczych mikroskopów elektronowych umożliwiający precyzyjny wybór miejsca pobrania próbki, obróbkę materiałów o diametralnie różnych właściwościach tj. materiały ceramika-metal i wykonywanie przekrojów w układach wielowarstwowych
- mikroskop sił atomowych *NanoScope Multimode IVa* do obrazowania topografii preparatu w skali atomowej, mapowania właściwości magnetycznych, chemicznych, mechanicznych i dielektrycznych powierzchni
- spektroskop elektronów Auger z przystawką XPS - MICROLAB 350 (wspólnie z IChF) umożliwiający analizę składu chemicznego i fazowego preparatów jak również wykonywanie profili rozkładu pierwiastków w głąb materiału
- dyfraktometr rentgenowski BRUKER D8 DISCOVER umożliwiający analizę składu fazowego, pomiary naprężeń jak również analizy cienkich warstw (reflektometria wysokiej rozdzielczości) mikro- i nano-tomografy rentgenowskie firmy SKYSCAN umożliwiające trójwymiarowe obrazowanie struktury materiałów

Na Wydziale są dostępne specjalistyczne urządzenia do badań właściwości mechanicznych w próbach statycznych i dynamicznych:

- MTS 810 100 kN
- MTS 858 25 kN
- MTS w układzie poziomym 15 kN
- MTS – Tytron 0,25 kN
- MTS-Qtest 10 kN
- Zwick Z050 50 kN
- Zwick Z005 5 kN
- Zwick Z250 250 kN

Na Wydziale opracowano także unikatową metodę badania właściwości mechanicznych nanomateriałów z wykorzystaniem mikropróbek. Ponadto do badań właściwości mechanicznych wykorzystywane są nano-twardościomierz firmy HYSITRON oraz mikro-twardościomierz firmy ZWICK. Wydział dysponuje ponadto urządzeniami do badania właściwości:

- termicznych – skaningowe kalorymetry różnicowe DSC, analizator termogravimetryczny TGA, dynamiczno-mechaniczny analizator termiczny DMA),
 - magnetycznych – magnetometr z wibrującą próbką (ang. VSM) firmy LAKESHORE, histerezograf wysokoczęstotliwościowy Walker AMH-401A
 - reologicznych (ARES RHEOLOGY – TA Instruments)
 - odporności na zużycie przez tarcie
 - odporności korozyjnej
 - topografii powierzchni – profilometr optyczny firmy WYKO.

Ważną grupą urządzeń dostępnych na Wydziale są urządzenia do badań nieniszczących:

- system do badań emisji akustycznej VALLEN AMSY-5
- przyrząd do prądów wirowych z wyposażeniem MIZ-27Si
- defektoskopy ultradźwiękowe KRAUTKRAMER i PHASE ARRAY OmniScan MX

- przenośne spektroskopy optyczne i rentgenowskie do badania składu chemicznego

Na wyposażeniu Wydziału jest także szereg urządzeń do syntezy i modyfikacji materiałów, w tym w szczególności:

- urządzenie do impulsowej konsolidacji proszków
- magnetronowe źródło plazmy
- urządzenia do obróbek jarzeniowych (azotowania, tlenoazotowania, węglaozotowania)
- urządzenie do realizacji procesów PACVD z wykorzystaniem związków metaloorganicznych
- meltpinner HW

Użytkownicy ww. aparatury to pracownicy naukowo-badawczy, doktoranci oraz dyplomanci wykonujący prace usługowe dla przemysłu, prace własne, habilitacje, doktoraty oraz prace dyplomowe.

1.5.4. Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, Wrocław

INTBS PAN dysponuje aparaturą do badań materiałów nadprzewodzących w polach magnetycznych. Podstawowe wyposażenie to:

- Magnes nadprzewodnikowy: otwór diagnostyczny \varnothing 20 mm, pole magnetyczne o indukcji 15 T
 - Magnes nadprzewodnikowy: otwór diagnostyczny \varnothing 30 mm, pole magnetyczne o indukcji 15 T
 - Magnes impulsowy: pole magnetyczne o indukcji 40 T i 55 T; czas trwania impulsu 0,1 s; otwór diagnostyczny \varnothing 25 mm; chłodzenie azotem; sterowanie tyrystorem
 - Magnesy typu Bittera: 20/15 T i 15/20 T
 - Magnesy typu Bittera: 9MW; 10 T (otwór \varnothing 50 mm), 15 T (otwór \varnothing 40 mm), 20 T (otwór \varnothing 30 mm)
 - Zasilanie do magnesów typu Bittera
 - Możliwości: temperatury w zakresie 1,8 K – 300 K; prądy elektryczne o natężeniu do 300 A;
 - Możliwości pomiaru:
 - namagnesowania
 - podatności magnetycznej
 - pól krytycznych
 - krytycznych prądów
 - oporności elektrycznej
 - oporności magnetycznej
 - efektu Halla

1.5.5. Instytut Energii Atomowej

Podstawowym urządzeniem w IEA jest reaktor MARIA, który mógłby być wykorzystany do naświetlania neutronami z reakcji rozszczepienia uranu próbek materiałów wykorzystywanych w urządzeniach fuzyjnych, w szczególności materiałów diagnostyk plazmy i okien diagnostycznych. Unikalną cechą IEA jest laboratorium do badań tak napromieniowanych próbek (gorące komory). Podstawowe cechy tych urządzeń to:

- Reaktor jądrowy MARIA.

MARIA jest reaktorem moderowanym wodą i berylem z graficznym reflektorem i kanałami ciśnieniowymi zawierającymi koncentryczne, sześciu-tubowe pojemniki z

paliwem. Reaktor wyposażony jest w pionowe kanały do naświetlania próbek oraz w sześć kanałów horyzontalnych. Kanały do naświetlania mają następujące średnice:

- W kanale paliwowym – 12 mm
- W blokach berylowych – 15 mm
- W reflektorze grafitowym – 25 mm, 35 mm i 45 mm

Strumień neutronów termicznych (o energii $E < 0.624$ MeV) wynosi $2-3 \cdot 10^{14}$ n/cm²/s. Strumień neutronów szybkich ($E > 0.5$ MeV) wynosi $1.5 \cdot 10^{14}$ /cm²/s (w kanale 12 mm).

- Laboratorium Badań Materiałowych. Laboratorium zostało zaprojektowane tak, aby zapewnić maksimum elastyczności w szerokim zakresie badań, w tym badań metalurgicznych, fizycznych i chemicznych próbek naświetlanych strumieniem neutronów z reaktora MARIA.

Główna część Laboratorium to 12 gorących komór osłanianych blokami ołowiu, pozwalających badać próbki radioaktywne do 4 TBq w odniesieniu do ⁶⁰Co.

Podstawowe wyposażenie to:

- Instron 8500. Układ do testów dynamicznych wyposażony w dwa stanowiska o sile 100 kN do testowania wytrzymałości na rozciąganie, wytrzymałości na ściskanie, do testów zmęzeniowych w krótkim cyklu, wytrzymałości na pęknięcia, charakterystyk zginania, w zakresie temperatur od 150° C to 1000° C,
- PW 30/15. Maszyna Wolperta z wahadłem do testów dynamicznych typu Charpy-V w zakresie temperatur od 150° C to 8000° C
- Urządzenie Wolperta DIA-TESTOR 7521 do badania twardości zgodnie z procedurami Brinella, Vickersa i Rockwella.
- Dyfraktometr rentgenowski typu DRD-4 do analizy strukturalnej.

Wymienione urządzenia są całkowicie zautomatyzowane, zdalnie sterowane i oprzyrządowane. Komputerowe systemy kontrolują i sterują całym procesem badania, akwizycji danych i analizy wyników. W Laboratorium został wdrożony System Zapewnienia Jakości.

1.6. Finansowe aspekty realizacji projektów związanych z energetyką termojądrową w Polsce

Porównując wysokość finansowania badań na rzecz fuzji z finansowaniem badań nad innymi technologiami wytwarzania energii, które powinny stanowić część pakietu energetycznego, należy zdać sobie sprawę z tego że :

- i) Badania nad fuzją jądrową muszą być prowadzone na skalę europejską (a obecnie nawet światową) więc naturalnym jest to, że udział projektów badawczo-rozwojowych z tego obszaru w budżecie europejskim musi być procentowo większy niż ten sam udział w budżetach poszczególnych państw wchodzących w skład Unii Europejskiej;
- ii) Należy przyznawać wysoki priorytet pracom, które zapewniają szybki zwrot nakładów, ale z drugiej strony nie można liczyć na łatwe znalezienie rozwiązania problemu, który stale narasta wraz ze wzrostem zużycia energii i wyczerpywaniem się zasobów paliw kopalnych. Ze względu na to, że problem nowych źródeł energii jest wielkim wyzwaniem dla ludzkości zaniechanie rozwoju fuzji byłoby bardzo nierozważne, gdyż fuzja jest w stanie znacznie przyczynić się do rozwiązania problemu braku energii w drugiej połowie XXI wieku, w dodatku w sposób przyjazny dla środowiska.

Na końcu warto wspomnieć o tym, że jest bardzo prawdopodobne, iż nowe technologie w zakresie wytwarzania energii elektrycznej staną się wkrótce najlepszą inwestycją rynkową. Europa, w tym Polska, musi sobie zapewnić silną pozycję w tej branży, w przeciwnym wypadku światowy rynek w tym zakresie zostanie opanowany przez firmy azjatyckie lub amerykańskie. Odnosi się to zarówno do fuzji jak i innych technologii

wytwarzania energii, w tym ze źródeł odnawialnych. Dlatego właśnie wspieranie rozwoju fuzji w Europie i w Polsce jest bardzo ważnym strategicznym posunięciem.

1.6.1. Budżet na badania fuzji w 7. Programie Ramowym

Siódmy Program Ramowy Wspólnoty Euratom obejmuje dwa obszary tematyczne wyszczególnione poniżej wraz z unijnymi środkami przeznaczonymi na ich realizację:

- Kontrolowana fuzja jądrowa (Fusion) - 2159 M€
- Otrzymywanie energii z rozszczepienia jąder i ochrona radiologiczna (Fission) - 394 M€

W roku 2008 nakłady na obszar Fusion wyniosły 319 M€, w tym:

- ITER + BA 165 M€
- JET 86 M€
- Program towarzyszący 68 M€

(Dla porównania: na cały obszar Fission przewidziano 48 M€).

UE zdecydowała o przeznaczeniu bardzo dużych nakładów finansowych na budowę (i eksploatację) ITERa co zapewni znaczący postęp w kierunku opanowania fuzji jako źródła energii. Utrzymanie intensywnego europejskiego programu fuzji podczas trwania budowy ITERa jest niezbędne w celu zapewnienia szybkiego i efektywnego wykorzystania ITERa oraz w celu utrzymania czołowej pozycji UE w pracach nad ITERem i w długofalowym programie rozwoju procesu fuzji. Wymaga to także odpowiednio wysokiego poziomu finansowania tych badań w programach narodowych. Niższy poziom finansowania może spowodować wstrzymanie badań prowadzonych na Wspólnym Europejskim Torusie (*Joint European Torus – JET*) oraz na innych urządzeniach tego typu w UE, a tym samym spowolni postęp i zmniejszy możliwość dobrego przygotowania UE do wykorzystania ITERa, a także przeszkolenia młodych naukowców i inżynierów przed wkroczeniem w erę ITERa.

Budżet zaproponowany w 7. Programie Ramowym na badania fuzji składa się z dwóch części:

- Europejski udział w **budowie ITERa** (około 90% tych nakładów zostanie ulokowane w przemyśle: ambitne kontrakty *high-tech* na potrzeby ITERa podniosą jakość oraz zdolności technologiczne europejskiego przemysłu, a ponadto poprawią konkurencyjność przemysłu europejskiego i stworzą nowe miejsca pracy).
- Finansowanie bieżącego **programu badań naukowych i rozwoju technologii w zakresie fuzji**, będącego wsparciem dla ITERa i przyszłych reaktorów.

Oba wyżej wymienione składniki budżetu są porównywalnej wielkości, lecz istotnie się różnią co do swojej natury. Obydwa są niezbędne dla opanowania procesu fuzji jako źródła energii, a także utrzymania Europy na pozycji lidera w tej dziedzinie.

Europejski program badań naukowych i rozwoju technologii w zakresie fuzji jest obecnie w czołówce programu światowego w tym zakresie. Wynika to w głównej mierze z koordynacji przez Euratom poszczególnych krajowych programów badawczych. To zapewnia integrację tego programu w skali Unii Europejskiej, czego przykładem jest Wspólny Europejski Torus (JET) będący największym projektem fuzyjnym na świecie.

Jest niezwykle ważne, aby program ten był kontynuowany na niezmiennym poziomie w celu:

- zapewnienia pomyślnej eksploatacji ITERa oraz szybkiej realizacji postawionych przed ITERem celów;
- przygotowania się do budowy elektrowni fuzyjnych będących kontynuacją ITERa;
- przeszkolenia młodych naukowców i inżynierów związanych z badaniami nad procesem fuzji i przygotowania ich na potrzeby ITERa i kolejnych etapów, oraz
- zapewnienia Europy przywództwa w dziedzinie badań naukowych i technologicznych związanych z procesem fuzji.

Polska odniesie korzyści z udziału w tym programie tylko wtedy, gdy zostanie zapewniony dostatecznie wysoki poziom finansowania tych badań ze środków krajowych.

1.6.2. Finansowanie programu fuzji jądrowej w Polsce w latach 2005-2007

W latach 2005-2007 Komisja Europejska wspierała narodowe programy realizowane w obszarze *Fusion* stosując następujące mechanizmy finansowania:

- wsparcie podstawowe w wys. 20% kosztów projektu, obejmujące wszystkie składniki tych kosztów (płace, aparatura, materiały i usługi obce, amortyzacja, prace pomocnicze, narzuty, itd.);
- dodatkowe 20% powyżej poprzednich 20%, z pułapem 100 tys. € dla całej Asocjacji, przewidziane dla projektów które umacniają współpracę pomiędzy krajami stowarzyszonymi;
- preferencyjne 40% wsparcia przewidziane dla wydatków ponoszonych na projekty, które uzyskały status priorytetowy, nadany im przez CCE-FU;
- w ramach refundacji kosztów wymiany personelu naukowego Komisja zwracała 100% kosztów pobytu (z limitem 150 € dziennie), a przy wyjazdach na co najmniej 28 dni – także koszty podróży.

Podstawą finansowania programu fuzji w Polsce w latach 2005-2007 był Kontrakt Asocjacyjny Nr FU06-CT-2004-0081. Kontrakt ten ustalał limit podstawowego wsparcia finansowego w wysokości 1333 k€. Dodatkowo Asocjacja miała prawo do 300 k€ z tytułu realizacji projektów umacniających współpracę między krajami UE. Całkowite wsparcie Komisji Europejskiej do wykorzystania w latach 2005-2007 wynosiło więc 1633 k€.

Nie wszystkie przyznane środki zostały wykorzystane. W sumie w latach 2005-2007 Asocjacja otrzymała z Komisji Europejskiej 1297 k€ na badania. Całkowity koszt badań prowadzonych w Polsce w tym okresie wyniósł 4964 k€, co oznacza, że z środków krajowych zostało wydane 3667 k€. Poniższa tabela 1 podaje w k€ koszty realizacji programu w kolejnych lat i w poszczególnych jednostkach Asocjacji.

Tabela 1. Struktura finansowania polskich jednostek badawczych uczestniczących w programie fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom w latach 2005-2008

Instytucja	2005		2006		2007		2008		Razem	
	KE	MNiSW	KE	MNiSW	KE	MNiSW	KE	MNiSW	KE	MNiSW
IFPiLM	146	345	265	760	308	907	222	887	941	2899
PW	61	119	68	186	89	309	27	110	245	724
IPJ	63	124	85	232	92	281	48	191	288	828
IFJ					19	54	40	161	59	215
UO			1	2	3	13	7	30	11	45
ZUT			6	24	15	46	12	47	33	117
AM			1	5	15	52	10	40	26	97
AGH	2	8	2	9	12	52	0	0	16	69
INTBS	13	50	9	38	15	23	0	0	37	111
IEA					7	28	0	0	7	28
Razem	285	646	437	1256	575	1765	366	1466	1663	5133

Wszystkie kwoty są bez VAT.

Komisja Europejska przekazała ponadto Asocjacji 150 k€ na wymianę naukową (rzeczywiste koszty wymiany naukowej były wyższe i wyniosły 189 k€, ale Komisja nie rozliczyła jeszcze wszystkich wydatków i nie przekazała wszystkich przyznanych środków).

Należy podkreślić, że Asocjacja Euratom/IFPiLM sporządza szczegółowe raporty finansowe dotyczące programu Fusion, zarówno w części pochodzącej z Komisji Europejskiej, jak i dotacji MNiSzW, ale jest dysponentem jedynie unijnej części środków przeznaczonych na realizację programu. Środki pochodzące z MNiSzW trafiają bezpośrednio do jednostek Asocjacji – w postaci dotacji statutowej i środków na badania własne uczelni, oraz w postaci dotacji na dofinansowanie współpracy z zagranicą.

1.6.3. Zasady finansowania w programie Euratom/fuzja (w roku 2008 i dalszych)

Powstanie organizacji F4E spowodowało to, że Komisja Europejska przyjęła nowe zasady finansowania programu fuzji jądrowej w Europie. Na mocy Kontraktu Asocjacyjnego finansowane są prace w zakresie filaru drugiego i trzeciego (JET i program towarzyszący), natomiast prace na rzecz ITERa i BA finansowane są niezależnie poprzez mechanizm grantów i kontraktów przydzielanych Asocjacji przez F4E.

Struktura finansowania jest więc teraz taka:

1. Wsparcie podstawowe pokrywające 20% kosztów rzeczywistych działalności badawczej w zakresie programu JET i programu towarzyszącego. Dla Asocjacji polskiej limit wsparcia podstawowego wynosił w roku 2008 326300 €. Jest to finansowanie na poziomie dotacji KE na realizację programu w roku 2006.
2. Dodatkowe finansowanie ze strony Komisji Europejskiej, nie obciążające limitu wymienionego w punkcie 1., przyjmuje następujące formy:
 - a. Wsparcie preferencyjne w wysokości +20% niektórych projektów koordynowanych przez EFDA. Plus oznacza, że jest to dodatkowe finansowanie projektów, które mają już wsparcie podstawowe wymienione w punkcie 1. Wymaga zatwierdzenia przez CCE-FU (Komitet Doradcy Komisji Europejskiej ds. fuzji).
 - b. Wsparcie preferencyjne na inwestycje kapitałowe projektów koordynowanych przez EFDA w wysokości 40%. Wymaga zatwierdzenia przez CCE-FU.

- c. Kontrakty (*orders*) z JETa finansowane przez Komisję w 40% (pozostałe 60% pochodzi ze Wspólnego Funduszu JETa, tak więc beneficjent takiego kontraktu dostaje 100% finansowania projektu). Dotyczy to prac badawczo-rozwojowych, prac nad udoskonaleniem urządzeń JETa oraz delegowania naukowców do udziału w kampaniach eksperymentalnych (zwrot ich wynagrodzeń, które pobierają w macierzystych jednostkach w okresie delegowania, sami delegowani dostają diety i zwrot kosztów podróży).
 - d. Finansowanie w 100% pewnych prac wspomagających wymienionych w Programie Roboczym Euratomu i EFDY.
 - e. Refundacja kosztów wyjazdów w ramach wymiany osobowej: w 100% jeśli wyjazd jest nie krótszy niż 28 dni, tylko kosztów pobytu jeśli krótszy.
3. Nowym źródłem finansowania jest organizacja F4E (ITER). Fundusze z tego źródła nie obciążają limitu wymienionego w punkcie 1. Przewiduje się dwa typy kontraktów:
- a. Kontrakty komercyjne finansowane przez F4E w 100%, ale obowiązujące przetarg
 - b. Prace badawczo-rozwojowe (granty) finansowane przez F4E w 40%

1.6.4. Wynik finansowy Asocjacji polskiej w roku 2008 i plany na lata dalsze

Podstawą finansowania Asocjacji przez Komisję Europejską w roku 2008 był Kontrakt Asocjacyjny na lata 2008-2013 Nr FU07-CT-2007-0061 ustalający zasady finansowania prac zapisanych w wieloletnim Planie Roboczym i corocznych Programach Roboczych, zatwierdzanych przez Komitet Kierujący. Kontrakt ustala też zasady rozliczania, kontroli i monitoringu prowadzonych w Asocjacji prac badawczo-rozwojowych oraz strukturę organizacyjną i strukturę zarządzania Asocjacją.

Limit wymieniony w punkcie 1. poprzedniego rozdziału oznacza, że podstawowy budżet Asocjacji w roku 2008 wyniósł 1631500 €, z czego 20% to była dotacja Komisji Europejskiej. Pozostałe nakłady, to znaczy 1305200 €, pochodziły ze środków krajowych. Przewidywana dodatkowa (poza statutową i na badania własne) dotacja ze strony MNiSW to 60% wkładu krajowego, czyli 48% budżetu Asocjacji co daje kwotę 783120 €. Brakujące 522080 € to wkład własny jednostek Asocjacji.

Orientacyjnie można określić udziały poszczególnych jednostek Asocjacji i wynoszą one:

- | | |
|-----------|-----|
| 1. IFPiLM | 60% |
| 2. PW | 8% |
| 3. IPJ | 13% |
| 4. IFJ | 11% |
| 5. UO | 2% |
| 6. ZUT | 3% |
| 7. AM | 3% |

Finansowanie wymienione w punktach od 2c. do 2e. nie jest związane z dodatkową dotacją ze strony MNiSW.

Odnosnie finansowania przez F4E, to w chwili obecnej zrealizowane są trzy projekty typu 3b:

- projekt, którego wykonawcą była PW z budżetem 74500 €
- projekt, którego wykonawcą była AGH z budżetem 30032 €
- projekt, którego wykonawcą był IFPiLM z budżetem 60270 €

W sumie daje to 164802 €, z czego 40% będzie refundowane przez F4E, a udział krajowy finansowany przez MNiSW to 98881,2 €. Realizacja wszystkich trzech projektów rozpoczęła się w roku 2007.

Oprócz wymienionych powyżej kosztów związanych z realizacją Kontraktu Asocjacyjnego wspomnieć należy o kosztach realizacji dwustronnego porozumienia z Niemcami, dotyczącego udziału IFJ i IPJ w programie Wendelstein 7-X w Greifswaldzie. Oba projekty nie są objęte wsparciem finansowym ze strony Komisji Europejskiej omówionym powyżej. Całkowity koszt projektu realizowanego przez IFJ to 2 M€, a koszt projektu realizowanego przez IPJ szacowany jest przez stronę niemiecką na 5 M€. Obydwa projekty są wieloletnie.

Zakładając, że polskie jednostki badawcze wykorzystywać będą także środki finansowe z budżetu F4E, koszty krajowe realizacji w najbliższych latach programu fuzji jądrowej w Polsce należy oszacować na poziomie rzędu 3 M€ rocznie. Łącznie z dotacją Komisji Europejskiej i F4E budżet programu fuzji w Polsce będzie się kształtował w najbliższych latach na poziomie 4.5 M€ rocznie. Środki te będą przeznaczone na realizację naszego udziału w projekcie ITER, w projekcie JET oraz w programie towarzyszącym. Najważniejszym elementem programu towarzyszącego jest dla Asocjacji polskiej projekt W7-X w Greifswaldzie. W realizację tego projektu zaangażowany jest znaczny potencjał Asocjacji skupiony w IFPiLM, PW, IPJ, IFJ, uczelniach szczecińskich (ZUT i AM) i w Uniwersytecie Opolskim. Udział w projekcie W7-X obejmuje wsparcie inżynierskie i techniczne przy budowie urządzenia (IFJ), zbudowanie w Polsce systemu nagrzewania plazmy za pomocą wiązek neutralnych (IPJ), opracowanie systemów diagnostycznych (IFPiLM, IFJ, UO, AM) oraz przeprowadzenie symulacji numerycznych dotyczących modelowania zjawisk w plazmie (IFPiLM i ZUT), a także obliczeń inżynierskich obciążeń mechanicznych i elektromagnetycznych konstrukcji urządzenia (PW). Wszystkie te działania zmierzają do tego, aby po uruchomieniu urządzenia w roku 2014 Polska była jednym z głównych partnerów Niemiec w okresie eksploatacji W7-X jako urządzenia badawczego komplementarnego do JETa i ITERa.

W tabeli 2. poniżej podano zbiorczą informację dotyczącą finansowania przez KE programu w latach 2005-2010, w tym udział Polski, w szczególności procent odzyskania składki płaconej przez kraj na rzecz budżetu UE.

Tabela 2. Tabela finansów programu w latach 2005-2010 (niepełna)

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Budżet programu fuzji Wspólnoty Euratom*	59,5 M€	62,8 M€	80,6 M€	70,0 M€	74,8 M€	40,3 M€
Kwoty dotacji z KE dla Asocjacji Euratom/IFPiLM	340722 €	438995 €	585791 €	564564 €	407912 €	
Koszty programu w Polsce	1074961 €	1775789 €	2266729 €	2087776 €		
Efektywny % udziału KE w kosztach programu w Polsce	31,70%	24,72%	25,84%	22,66%		
Udział Polski w budżecie programu fuzji UE	0,57%	0,70%	0,73%	0,80%	0,54%	
Udział Polski w budżecie UE	1,99%	2,34%	2,40%	2,68%	3,15%	

*Bez ITER i EFDA (to są wydatki całej Wspólnoty Euratom). Tylko budżet przeznaczony bezpośrednio dla Asocjacji.

Efektywny procentowy udziału KE w kosztach programu w Polsce jest większy od 20% ze względu na to, że Asocjacja korzysta też z form finansowania, które zapewniają wyższy poziom finansowania (por. rozdział Zasady finansowania w programie Euratom/fuzja powyżej).

Szczegółowa struktura całkowitych kosztów realizacji programu podana zostanie na przykładzie roku 2008 w tabeli 3.

Tabela 3. Całkowite koszty realizacji programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom w roku 2008

		Koszty (Euro)
Wsparcie podstawowe		
	Fizyka i technologia	1 707 466
	Program JET	67 799
	Śledzenie postępu w zakresie fuzji laserowej	83 567
Wsparcie preferencyjne		
	Punkt 2a (+20%)	(26 331)
	Punkt 2b (40%)	-
EFDA		
	Kontrakty (orders) EFDA	34 702
	Delegacje do CSU	33 107
Dawna EFDA		
	Notyfikacje EFDA	10 278
	Kontrakty EFDA	36 665
Program wymiany osobowej		114 193
Suma		2 087 776
Udział w projekcie W7-X (nie współfinansowany przez Komisję Europejską)		391 981
Granty F4E		56 525
Kontrakty ITER		57 600
Całkowita suma		2 593 882

W tabeli 4 przedstawiono porównanie kosztów realizacji programu fuzji Wspólnoty Euratom w Polsce (IPPLM) oraz w Finlandii (Tekes), Austrii (OAW), Belgii (UL), Grecji (HR) i w Czechach (IPP.CR). (Duże Asocjacje w Niemczech, Wielkiej Brytanii, Francji i Włoszech nie ujawniają swoich kosztów). Wybrano rok 2007, gdyż dla roku 2008 dane są jeszcze bardziej niekompletne. Należy też pamiętać, że w roku 2007 instrumenty finansowe były inne niż w roku 2008.

Tabela 4. Koszty realizacji programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom w wybranych krajach

2007						
	IPPLM Polska (Euro)	Tekes Finlandia (Euro)	OAW Austria (Euro)	UL Łotwa (Euro)	HR Grecja (Euro)	IPP.CR Czechy (Euro)
Wsparcie podstawowe	1 935 337	2 142 000	2 490 709	431 594	1 597 000	1 143 684
Fizyka	1 490 158	1 836 000	2 148 612	431 594	1 415 000	807 473
Śledzenie postępu w dziedzinie fuzji laserowej	158 448				41 000	7 169
Technologia	286 731	306 000	342 097		141 000	329 042
EFDA	270 794	3 458 000	2 001 698	84 761		755 659
Wsparcie podstawowe	192 828	1 020 000	1 273 141	84 761		335 057
Wsparcie preferencyjne	63 418		71 935			
EFDA Art. 6. (kontrakty JET)	14 548	500 000	16 938			7 922
EFDA Art. 5.1b (kontrakty technologiczne)		1 581 000	454 903			374 041
EFDA Art. 9 (delegowanie na stałe do CSU)		357 000	184 781			38 639
Wymiana osobowa	64 601	93 000	169 252	10 104	153 000	84 373
Razem	2 270 732	5 693 000	4 661 659	526 459	1 750 000	1 983 716

1.6.5. Finansowanie projektu HiPER

Przewidywany budżet projektu HiPER – 13 mln Euro, ma być finansowany głównie z funduszy krajowych agencji finansujących badania naukowe, jak również z dotacji Unii Europejskiej. Te pierwsze wniosą wkład 10 mln Euro, z czego 7 mln Euro ma pochodzić z Wielkiej Brytanii, 2 mln Euro z Czech, a ok. 1 mln Euro z innych źródeł. Fundusze te mają być przeznaczone na realizację i prace badawcze związane z technicznymi pakietami roboczymi od WP8 do WP15. Dotacja ze strony Unii Europejskiej ma być przeznaczona na realizację pozostałych pakietów roboczych (WP1-WP7), a więc na szeroko rozumianą działalność organizacyjną projektu HiPER. Ponadto państwowe agencje finansujące badania w Wielkiej Brytanii, Francji i Czechach zadeklarowały pokrycie kosztów wykorzystania swojej aparatury (laserów wielkiej mocy) przez pozostałych członków projektu w celu weryfikacji koncepcji przyszłego systemu laserowego HiPER.

Polska, reprezentowana w projekcie przez IFPiLM, w pierwszej wersji miała być finansowana w następujący sposób w zależności od pakietu roboczego:

- WP2 - *Attendance to HiPER meetings*: 9.6 kEuro,
- WP5 - *Impact analysis into future options for HiPER*: 5 kEuro,
- WP9 - *Requirements analysis for fusion programme*: 129 kEuro,
- WP12 - *Fundamental science programme*: 35 kEuro,

co daje łączną kwotę 178.6 kEuro.

Na skutek zwiększenia środków finansowych na opracowanie laserów repetytywnych dla systemu HiPER, nastąpiły cięcia budżetowe w pozostałych sektorach. W celu utworzenia rezerwy dla Zarządu HiPERa, uruchamianej w przypadku nieprzewidzianych zadań, dotacje dla wszystkich uczestników projektu, w tym również i Polski, zostały pomniejszone o 10%. Ostatecznie więc dla IFPiLM przewidziane jest dofinansowanie w wysokości 144.3 kEuro, w proporcjach odpowiednio 20%, 40% i 40% rozkładając kwotę na 3 lata trwania fazy przygotowawczej. Przewidziany fundusz jest niewystarczający do efektywnej realizacji planowanych zadań, dlatego też ważne jest pozyskiwanie dodatkowych środków z funduszy krajowych.

1.7. Możliwości współpracy nauki z przemysłem w obrębie badań nad energetyką termojądrową

1.7.1. Zasady udziału przemysłu w projekcie ITER

1.7.1.1. Pojęcia podstawowe

Partnerzy – UE, USA, Japonia, Korea, Chiny, Rosja, Indie: kraje, które wspólnie będą budować i eksploatować ITER.

IO – *ITER Organization*: międzynarodowa organizacja o osobowości prawnej, która koordynuje budowę i eksploatację ITERa.

F4E – *Fusion for Energy*: organizacja UE o osobowości prawnej, która koordynuje budowę i eksploatację ITERa w części przypadającej na UE. Pełna nazwa: *European Joint Undertaking for ITER and Development of Fusion Energy*

1.7.1.2. Wstęp

Fundusz projektu ITER to 10 mld Euro, z czego 5 mld na budowę (w ciągu 10 lat) i 5 mld Euro na eksploatację (w ciągu 20 lat). Na fundusz ten składa się udział UE (45%) i udział pozostałych partnerów. Ok. 20% tego funduszu będzie w dyspozycji IO, pozostałe środki w dyspozycji F4E i odpowiednich organizacji w krajach partnerskich.

Zakłada się, że partnerzy będą dostarczać komponenty i usługi dla ITERa głównie w naturze (ang. *in-kind*), czyli z funduszy własnych partnerów. W tej postaci dostarczonych zostanie 80% komponentów i usług. Pozostała część (20%) pochodzić będzie z zamówień opłacanych ze wspólnego funduszu (ang. *cash funded common part*). Fundusz wspólny powstanie z wkładów partnerów proporcjonalnych do ich całkowitego udziału w projekcie. W sumie zamówienia zostaną ujęte w 85 pakietach na ogólną kwotę 4 miliardy Euro. Udział UE to 220 kontraktów, z czego 130 dotyczyć będzie dostaw komponentów, a 90 – usług. Średnia wartość każdego kontraktu na dostawę komponentów lub usług będzie rzędu 12 milionów Euro (od 2 do 60 milionów Euro). Budowa reaktora ITER wymaga bardzo różnorodnych kompetencji począwszy od robót budowlanych poprzez instalacje elektryczne, wentylacyjne, klimatyzacyjne, kriogeniczne, aż do unikalnych naczyń próżniowych i cewek nadprzewodnikowych magnezów. Wszystkie elementy reaktora zostaną wytworzone przez przemysł krajów członkowskich Organizacji Międzynarodowej ITER, przy czym prawie połowa wszystkich zamówień, o wartości 5,5 mld euro, zostanie ulokowana w przemyśle europejskim.

Główne zamówienia (pochlaniające największe środki finansowe) będą dotyczyć:

- Magnezów nadprzewodnikowych (NbTi, Nb₃Sn) 27%
- Budynków 14%
- Płaszcz i diwertora 9%
- Systemów nagrzewania 7%

Pozostałe komponenty ITERa to:

- Komora próżniowa
- Urządzenia próżniowe i kriogeniczne
- Urządzenia do chłodzenia
- Urządzenia do nagrzewania plazmy i generacji prądu elektrycznego
- Technologie paliwa (deuteru, litu i trytu)
- Automatyka i robotyka (zdalne sterowanie)
- Materiały (wytrzymałe i słabo aktywujące się): konstrukcyjne, pierwszej ściany i specjalnego przeznaczenia
- Urządzenia kontrolne

W tabeli 5 pokazano przybliżony podział budżetu ITER pomiędzy poszczególne kategorie. Na podkreślenie zasługuje, że największą pozycję stanowią roboty budowlane (budynki i urządzenia ośrodka w Cadarache) – około 14 %.

Tabela 5. Podział budżetu projektu ITER na poszczególne składniki

Budynki i urządzenia ośrodka w Cadarache	14%
Cewki pola toroidalnego	10%
Cewki pola poloidalnego	4%
Przewody z Nb ₃ Sn	10%
Przewody z NbTi	3%
Kriostat i osłona termiczna	7%
Zasilanie impulsowe	6%
Komora próżniowa	8%
Płaszcz	6%
Diwertor	3%
Systemy nagrzewania	7%
Chłodzenie wodą	5%
Robotyka	2%

Diagnostyki	4%
Montaż urządzenia i oprzyrządowanie	3%
Kontrola i akwizycja danych	2%
Zasilanie ciągłe	1%
Pompowanie próżniowe i zasilanie gazem	1%
Urządzenia do trytu	1%
Inne	3%

W celu koordynacji budowy i późniejszej eksploatacji ITERa w części przypadającej na Wspólnotę Euratom, powołano organizację koordynującą o nazwie Fusion for Energy (F4E).

1.7.1.3. Relacja między IO i F4E

IO spełnia rolę organu tworzącego specyfikację techniczną potrzebnej technologii (urządzenia, materiału).

Jeśli zamówienie dotyczy części dostarczanej w naturze, to zadanie F4E będzie polegać na ulokowaniu zamówienia w przemyśle (analiza rynku dostawców w UE, przeprowadzenie przetargu i wybór dostawcy) i wynegocjowaniu warunków kontraktu. IO akceptuje wynegocjowany z przemysłem kontrakt. W trakcie realizacji zamówienia F4E sprawować będzie nadzór techniczny nad realizacją zamówienia. IO decyduje o tym, czy zrealizowane zamówienie spełnia wymagania zawarte w specyfikacji technicznej. Jeśli tak, to F4E otrzyma zgodę na pokrycie kosztów zamówienia (z funduszu własnego).

Jeśli zamówienie dotyczyć będzie części wspólnej, to całą procedurę przeprowadzi IO. W takim wypadku w przetargu będą mogły uczestniczyć firmy wszystkich partnerów. Nie będzie wymogu, aby zamówienia były lokowane tak, aby z każdy z partnerów uzyskał pulę zamówień proporcjonalną do swojego wkładu do funduszu wspólnego. Kontrakty będą trwały dwa lata z możliwością przedłużenia o jeden rok, jeśli zajdzie taka potrzeba.

1.7.1.4. Typy kontraktów z przemysłem

Przewiduje się trzy typy kontraktów z przemysłem:

- *Build to design (build-to-print) contract (pure manufacturing contract)*: w wypadku kontraktów tego rodzaju zamawiający jest odpowiedzialny za funkcjonowanie zamówionego urządzenia (komponentu), wykonawca odpowiada jedynie za zgodność dostarczonego komponentu z dokumentacją techniczną (projektem technicznym).
- *Engineering contract (contractor is responsible for functionality)*: za funkcjonowanie odpowiada wykonawca, w specyfikacji zamówienia ujęte są funkcje i cechy zamawianego urządzenia (komponentu).
- *Development contracts*: wykonawca (firma przemysłowa) uczestniczy także w fazie badawczo-rozwojowej zamawianej technologii (urządzenia, komponentu).

1.7.1.5. Procedura zawierania kontraktu

1. F4E ogłasza krótki opis przewidywanych do realizacji zamówień
2. F4E ogłasza szczegółowy opis zamówienia, jego przewidywany budżet, oczekiwane dane o ofercie (kompetencje i sytuacja finansowa, referencje) oraz termin złożenia oferty
3. Firmy składają swoje oferty
4. Komitet powołany przez F4E przeprowadza ocenę ofert
5. F4E ogłasza listę (*short list*) firm, do których zostanie przesłane zaproszenie do przystąpienia do przetargu

6. Przetarg właściwy (z podaniem kryteriów oceny, w tym udziału w ocenie części finansowej i merytorycznej)

7. Rozstrzygnięcie przetargu i podpisanie kontraktu

Firmy przystępujące do przetargu mogą tworzyć konsorcja, konsorcja będą też mogły powstać po ogłoszeniu wyników kontraktu. Lista aktualnie otwartych przetargów dostępna jest na stronie <http://fusionforenergy.europa.eu/Procurement.htm>

1.7.1.6. Udział małych i średnich przedsiębiorstw (MSP)

Fusion for Energy pracuje nad wprowadzeniem rozwiązania umożliwiającego włączenie małych i średnich przedsiębiorstw (MSP) w mechanizm aplikowania o udzielenie zamówienia poprzez tworzenie konsorcjów z dużymi firmami i wspólną realizację dostaw. Przewiduje się, że udział MSP będzie wzrastał z czasem. W pierwszej fazie (2007–2009) główne zamówienia (cewki nadprzewodnikowe, komora próżniowa, budynki) zostaną skierowane do dużych firm i korporacji. Na tym etapie MSP będą uczestniczyć głównie jako podwykonawcy. W celu ułatwienia udziału MSP zostanie stworzona baza danych o takich firmach – do wykorzystania przez głównych wykonawców. W drugiej fazie (2010-2014) część zamówień będzie kierowana do MSP, głównie w obszarze, który nazywa się inżynieria plazmowa (diagnostyki, systemy kontroli i sterowania, automatyka, programy komputerowy dla tych systemów). W ostatniej fazie, gdy ITER będzie już działał, możliwości udziału MSP wzrosną – w zakresie wyspecjalizowanych usług związanych z utrzymaniem ITERa w ruchu i naprawami.

1.7.1.7. Internetowa baza danych dostawców komponentów i usług

Została stworzona internetowa baza danych EIDI (*EFDA Industrial Data Base for ITER*) potencjalnych dostawców towarów i usług (pod adresem <http://eidi.f4e.europa.eu/>). Jest to dynamiczna baza danych, do której wpis polega na wypełnieniu formularza internetowego. Baza ta jest otwarta, tzn. każda firma może zadeklarować swoje zainteresowanie udziałem w projekcie ITER oraz podać zakres swoich kompetencji. Takie rozwiązanie pozwala także małym firmom przedstawić swoje możliwości i zainteresowanie udziałem w programie. Lista ta będzie także pomocna głównym dostawcom wtedy, gdy zajdzie potrzeba znalezienia poddostawców. Kolejnym zadaniem bazy danych będzie ułatwienie grupie małych przedsiębiorstw stworzenie konsorcjum do realizacji większych zamówień.

Należy podkreślić, że początkowo baza ta nie będzie wykorzystywana jako lista potencjalnych uczestników przetargu – to zależy od ewaluacji i akceptacji tej listy przez zarząd F4E. Do tego czasu baza będzie wykorzystywana przede wszystkim jako lista adresowa przedsiębiorstw i MSP zainteresowanych udziałem w projekcie ITER i otrzymywaniem bieżących informacji na ten temat.

W dalszym etapie na podstawie tej bazy danych zostanie utworzona lista krótka (*short list*) tych firm, które po procesie ewaluacji zostaną uznane za firmy, które będą mogły brać udział w przetargach i do których kierowane będzie zapytanie ofertowe.

W bazie EIDI firmy pogrupowane są w następujących kategoriach:

- Inżynieria cywilna i budownictwo
- Inżynieria elektryczna (dostawa podzespołów)
- Elektronika
- Przetwarzanie danych
- Inżynieria mechaniczna i techniki wytwarzania
- Techniki próżniowe i kriogenika
- Techniki postępowania z trytem

- Zdalne sterowanie, automatyka i robotyka
- Diagnostyki i detektory
- Usługi wsparcia technicznego

1.7.1.8. Udział Asocjacji

Przewiduje się, że laboratoria skupione w Asocjacjach EURATOM będą służyły jako zaplecze naukowe i technologiczne dla przemysłu i w związku z tym konieczne jest wypracowanie systemu transferu technologii z Asocjacji do przemysłu. Laboratoria będą też współdziałały bezpośrednio z przemysłem w obszarze, który nazywa się inżynieria plazmowa. Obszar ten obejmuje następujące zagadnienia:

- nagrzewanie plazmy i podtrzymywanie prądu elektrycznego (Asocjacje + przemysł)
 1. Linie transmisyjne dużej mocy elektrycznej (w zakresie 120-180 GHz)
 2. Źródła mocy elektrycznej o dużej częstotliwości (w zakresie 5-8 GHz i 120-180 GHz)
 3. Zasilanie źródeł wiązek neutralnych i komponenty wysokonapięciowe (rzędu 1 MV)
- diagnostyki (Asocjacje + MSP)
- systemy aktywnej kontroli plazmy
- systemy akwizycji i obróbki danych
- systemy zdalnego sterowania, techniki obliczeń rozproszonych, technologie zdalnego udziału w eksperymencie

1.7.1.9. Standardy

Przewiduje się, że firmy, które będą brały udział w budowie i eksploatacji ITERa powinny mieć certyfikat ISO 9001:2000. W odniesieniu do tych komponentów, które będą musiały wykazać się certyfikatem bezpieczeństwa jądrowego zastosowanie mieć będzie prawo francuskie (*INB – Installation Nucléaire de Base*), zgodne z wymaganiami MAEA (*IAEA Safety Guides 50-C/SG-Q*).

W projektowaniu ITERa zostało wykorzystane oprogramowanie CAD typu CATIA (*Dassault Systems + IBM*) w wersji IV. Przewiduje się przejście do wersji V oraz wprowadzenie systemu zarządzania danymi typu VPM (*Virtual Product Management*).

1.7.2. Dotychczasowe działania w Polsce

Za kontakty F4E z firmami z danego kraju odpowiedzialni są łącznicy z przemysłem (Industrial Liaison Officers – ILO). Polskim ILO jest Maciej Chorowski, Prezes Zarządu Wrocławskiego Parku Technologicznego S.A., dziekan Wydziału Energetycznego Politechniki Wrocławskiej.

1.7.2.1. Warsztaty Projekt ITER. Możliwości dla biznesu, Wrocław, 6 czerwca 2009

Warsztaty „ITER – możliwości dla biznesu” odbyły się na terenie Wrocławskiego Parku Technologicznego w dniu 9 czerwca 2009 r. Warsztaty zostały zorganizowane przez Wrocławski Park Technologiczny S.A. oraz Krajowy Punkt Kontaktowy Euratom-IFPiLM. Celem warsztatów było przedstawienie przedsiębiorstwom oraz instytucjom naukowo-badawczym projektu budowy reaktora termojądrowego ITER, omówienie możliwości udziału polskich przedsiębiorstw w tym przedsięwzięciu oraz wyjaśnienie i przedyskutowanie procedur obowiązujących przy pozyskiwaniu kontraktów z europejskiej agencji finansującej ITER – organizacji F4E (Fusion for Energy) z siedzibą w Barcelonie.

W warsztatach uczestniczyło ok. 120 osób, w tym reprezentanci ok. 80 firm, zainteresowanych realizacją dostaw na potrzeby reaktora, a także przedstawiciel Komisji Europejskiej Chris Ibbot oraz przedstawiciel Ministerstwa Gospodarki – Radca Ministra Edward Słoma.

Referentami były osoby odpowiedzialne za zakupy i kontrakty w Fusion for Energy: Philippe Corr ea, Szef Działu Zakupów, oraz Benjamin Perier. Andrzej Gałkowski z IFPiLM przedstawi  aktualny stan badań nad fuzj  jądrową i problemy stojące przed nauk  i przemysłem.

Wystapienia Philippe’a Corr e i Benjamina Periera z Fusion for Energy dotyczy  strony formalnej zawierania kontraktów, obowiązujących procedur i wymaga  stawianych aplikującym firmom. Przeprowadzona została także wideokonferencja z udziałem Federica Casci z Działu ITER Fusion for Energy, który przedstawi  projekt od strony technicznej i odpowiada  na pytania uczestnik  warsztatów. Jednym z prelegentów by  także Bogdan Bielak – szef działu badawczego związanego z fuzj  w firmie AREVA, będącej światowym potentatem w dziedzinie budowy reaktorów jądrowych. Przedstawi  on mo liwosc i wspólpracy polskich firm z AREVA w zakresie budowania konsorcjów i wspólnej realizacji dostaw. Kolejną cz sci  warsztatów by  przedstawienie potencjału polskiego przemysłu – prezentacje polskich firm zainteresowanych dostarczaniem towarów/usług na potrzeby projektu ITER.

W trakcie przerw i po zakończeniu oficjalnych wystapi n miały miejsce bezpośrednie rozmowy reprezentantów polskich firm z przedstawicielami Fusion for Energy i firmy AREVA.

Patronat medialny nad wydarzeniem objęła TVP3, Rzeczpospolita oraz portal Money.pl. Dzięki publikacji artyku w dot. projektu ITER w prasie ogólnopolskiej do udziału w warsztatach zg losi o się wiele firm z bran z budowlanej, pr wniowej, metalurgicznej, obróbki cieplnej itp. Firmy te zg losi y gotowo c uczestniczenia w budowie reaktora.

1.7.3. Przyszłe działania w Polsce

Wrocławski Park Technologiczny S.A. wspólnie z KPK Euratom-IFPiLM planuj  dalsze działania mające na celu promowanie udziału polskiego przemysłu w budowie i eksploatacji ITERa oraz informowanie firm o mo liwosc iach realizacji dostaw na największy obecnie rynek nowych technologii, jaki stanowi inwestycja ITER. Na terenie Wrocławskiego Parku Technologicznego zostanie zorganizowany punkt kontaktowy ITER IO i F4E z polskim przemysłem oraz instytucjami badawczymi zainteresowanymi dostawami do ITER. Zostanie przygotowany dedykowany serwis www.

W chwili obecnej trwają prace nad przygotowaniem katalogu „Polski przemysł dla ITER”. Publikacja będzie stanowiła zbiór ofert firm zainteresowanych udziałem w budowie ITERa i zostanie przekazana osobom odpowiedzialnym za zakupy w *Fusion for Energy* oraz przedstawicielom przemysłu poszczególnych krajów. Informacje zawarte w katalogu będą przydatne przy budowaniu konsorcjów. Publikacja będzie miała form  papierową i elektroniczną i będzie na bieżąco uzupełniana o nowe oferty pochodzące od przemysłu.

Planuje się zorganizowanie wizyty polskich przedsiębiorców w siedzibie firmy AREVA we Francji. AREVA jest największym europejskim przedsiębiorstwem działającym na rynku energetyki jądrowej. Obecny podczas warsztatów przedstawiciel tej firmy zaprosi  polskie przedsiębiorstwa do podjecia wspólpracy i wspólną realizacj  dostaw do ITER.

Dla zainteresowanych firm i instytucji b d  organizowane wizyty do ITER IO w Cadarache – miejsca budowy tokamaka po czone ze spotkaniami z inżynierami prowadzącymi inwestycj .

Uczestnictwo w budowie reaktora ITER pozwoli na rozwinięcie kompetencji, które mogą być wykorzystywane m.in. w przemyśle jądrowym, energetyce, przy wytwarzaniu

zaawansowanych materiałów i produktów *high-tech* praktycznie ze wszystkich dziedzin techniki. Podkreślić należy, że ITER stanowi obecnie największy światowy rynek zaawansowanych technologii, do którego Polska ma statutowy dostęp. Polskie przedsiębiorstwa realizujące dostawy do ITER nabeżdą doświadczenia konieczne przy inwestycjach w energetykę jądrową, co przygotowuje je do budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Jest nadzieja, że dzięki powyższym działaniom polskie przedsiębiorstwa dołączą do grona dostawców usług lub urządzeń na potrzeby budowy tokamaka ITER.

Badania nad energetyką termojądrową są jedną z najbardziej zaawansowanych technologicznie dziedzin nauki. Przemysł pracujący na rzecz nauki do produkcji swych surowców wykorzystuje technologie opracowane przez naukowców na potrzeby ważnych dziedzin życia, m.in. medycyny czy energetyki. W przyszłości, wraz z rozwojem technologii produkcyjnych opracowywane koncepcje znajdą masowe zastosowanie. Przykładem mogą tu być materiały wytwarzane przez NASA, które początkowo były produkowane na potrzeby badań kosmicznych, a następnie znajdowały inne zastosowania (m.in. w badaniach nad fuzją termojądrową) i zostały skomercjalizowane.

Obecnie w Polsce rynek dostawców sprzętu naukowego na potrzeby badań nad kontrolowaną reakcją termojądrową praktycznie nie istnieje. Istnieje potrzeba stworzenia wieloletniego planu inwestycyjnego, która umożliwiłaby firmom rozwój w dostawach na skalę krajową, a wraz z nabyciem doświadczenia i na skalę międzynarodową. Przyczyn obecnej sytuacji można doszukiwać się w błędnej opinii większości przedsiębiorców, którzy uważają, że badania nad fuzją termojądrową nie przyniosą im korzyści, a stosowane techniki są zbyt zaawansowane. Takie rozumowanie nie jest do końca trafne, gdyż urządzenia służące do badań nad syntezą termojądrową nie są wykorzystywane cały czas i niekiedy mogą posłużyć do celów komercyjnych. Poza tym same badania nad fuzją oprócz docelowej budowy reaktora termojądrowego mogą służyć celom komercyjnym. Chodzi tu przede wszystkim o wykorzystanie badań nad nowoczesnymi technologiami laserowymi (w przypadku ICF) czy badań nad nowymi materiałami o super-wytrzymałej strukturze. Przykładem współpracy przemysłu z nauką może być projekt IFPiLM realizowany wspólnie z firmą Pirelli, którego celem jest opracowanie urządzenia do defektoskopii (on-line) opon. Zaproponowana przez Instytut metoda poprzez zastosowanie dużej intensywności źródła promieniowania rentgenowskiego umożliwi przebadanie wszystkich opon schodzących z taśmy produkcyjnej, a nie jak było to do tej pory jednej opony na sto.

Między innymi z myślą o współpracy nauki z przemysłem z inicjatywy Centrum Atomistyki w 2007 r. zostaje utworzona Polska Platforma Technologii Nuklearnych - PPTN (www.pptn.pl), której zadaniem jest wskazywanie zastosowań technologii nuklearnych we wszystkich dziedzinach gospodarki i życia.

W skład PPTN wchodzi:

- Instytuty Centrum Atomistyki
- Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie
- Instytut Energii Atomowej w Świerku
- Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie
- Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana w Świerku
- Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie
- Spółki Polskiej Grupy Energetycznej
- Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. w Warszawie
- BOT Górnictwo i Energetyka S.A. w Łodzi
- Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
- CAPITAL-Europejski Consulting Inwestycyjny w Warszawie
- KGHM Polska Miedź S.A. w Lubinie

- Politechnika Warszawska
 - Pomorska Specjalna Strefa Ekonomiczna
 - Uniwersytet Warszawski
 - Wrocławski Park Technologiczny
- Jak można przeczytać na stronie internetowej Platformy, główne cele tej organizacji to:
- aktywny udział w strukturach Europejskich Platform Technologicznych,
 - aktywny udział w definiowaniu i realizacji europejskich Strategicznych Programów Badawczych i uczestnictwo w Programach Ramowych UE,
 - przygotowanie ambitnych krajowych programów badawczo-rozwojowych dotyczących strategicznie ważnych sektorów gospodarki,
 - integracja kluczowych partnerów gospodarczych i badawczych wokół tworzonych strategii,
 - promocja i lobbing działań badawczo-rozwojowych korzystnych dla reprezentowanych przez Platformy sektorów gospodarki.

W IFPiLM istnieje również akredytowane Laboratorium Symulowanych Wyładowań Atmosferycznych, które umożliwia producentom uzyskiwanie odpowiednich świadectw dopuszczalności ich produktów do eksploatacji na rynku międzynarodowym. Projektantom i producentom Laboratorium oferuje usługi w zakresie badań obiektów latających i urządzeń naziemnych na odporność na wyładowania atmosferyczne.

1.8. Analiza SWOT (*Strengths Weakness Oportunities Treats* - mocne i słabe strony, szanse i zagrożenia)

1.8.1. Wstęp

Budowa reaktora doświadczalnego ITER, która rozpoczęła się w roku 2008 we współpracy siedmiu największych potęg światowych (Euratom, USA, Rosja, Japonia, Indie, Chiny, Korea Płd.) otworzyła ostatni być może etap na drodze do elektrowni termojądrowej. W ramach tzw. Szerszego Podejścia (*Broader Approach*, BA) projekt ITER będzie wspomagany przez projekty towarzyszące, z których najważniejszy jest IFMIF (*International Fusion Materials Irradiation Facility*) – projekt mający na celu zbudowanie i wykorzystanie do badań urządzenia generującego intensywne strumienie neutronów o energii takiej, jak w reaktorze. Inne projekty mające istotne znaczenie dla światowego programu MCF (*Magnetic Confinement Fusion*) to JET (*Joint European Torus*) eksploatowany przez Wspólnotę Euratom we współpracy z Rosją, USA, Brazylią i innymi krajami; japoński projekt JT60SA (z istotnym udziałem Wspólnoty Euratom, także w ramach BA) oraz europejski projekt W7-X, finansowany głównie przez Niemcy, badający alternatywną do tokamaków (którymi są ITER, JET i JT60SA) koncepcję MCF o nazwie stellarator. Te projekty są głównymi elementami strategii szybkiej ścieżki (*Fast track*) dojścia do DEMO – prototypu elektrowni termojądrowej.

W dziedzinie ICF (*Inertial Confinement Fusion*) najważniejszymi projektami są amerykański projekt NIF (*National Ignition Facility*) oraz europejski projekt HiPER finansowany głównie przez Wielką Brytanię. Projekt NIF służy przede wszystkim celom militarnym (symulacji efektów wybuchu bomby jądrowej), projekt HiPER ma na uwadze wyłącznie cywilne zastosowania.

Z racji tego, że Polska stała się od roku 2004 członkiem Wspólnoty Euratom polska nauka i przemysł mają możliwość udziału na równych prawach w programie fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom obejmującym projekty ITER, BA, JET, W7-X oraz program towarzyszący koordynowany przez Europejskie Porozumienie na rzecz Rozwoju Fuzji Jądrowej EFDA (*European Fusion Development Agreement*) realizowany na istniejących w Europie urządzeniach fuzyjnych (Asdex UG, Tore Supra, Textor, FTU, MAST, ISTTOK,

TCV, COMPASS, FTU, RFX, TJ2, Extrap). EFDA koordynuje ponadto prace laboratoriów europejskich w zakresie teorii i modelowania plazmy, oddziaływania plazmy ze ścianą, materiałów dla fuzji, diagnostyk, nowych technologii dla DEMO oraz badań socjoekonomicznych i informacji publicznej. Udział w tym programie daje też możliwość korzystania z licznych form edukacji i kształcenia, jakie oferuje program fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom. Kwestia ta jest przedmiotem oddzielnej ekspertyzy i w związku z tym nie będzie tu omawiana.

W roku 2008 IFPiLM, jako jednostka badawcza, przystąpił do projektu HiPER.

Przedstawione powyżej fakty stały się ogromną szansą dla rozwoju badań, a w dalszej perspektywie rozwoju przemysłu, związanych z wykorzystaniem fuzji jądrowej jako źródła energii elektrycznej dla potrzeb gospodarki narodowej. Inne szanse, a także silne i słabe strony, przedstawione będą w dalszej części tej analizy. Wskażemy także zagrożenia dla tak zarysowanego programu. Analiza SWOT (*Strengths Weakness Oportunities Threats* – Mocne i Słabe Strony, Szanse i Zagrożenia) zostanie przeprowadzona w odniesieniu do zakresu merytorycznego programu, struktur organizacyjnych i form zarządzania programem, istniejącej infrastruktury badawczej, źródeł i form finansowania oraz współpracy z przemysłem i możliwości udziału przemysłu w budowie i eksploatacji reaktora ITER i innych urządzeń fuzyjnych w Europie i na świecie.

1.8.2. Zakres merytoryczny programu

Historia badań w Polsce, związanych z fuzją jądrową, sięga drugiej połowy lat sześćdziesiątych tak więc zespoły badawcze mają już blisko czterdziestoletnie doświadczenie w zakresie fizyki plazmy gorącej, zarówno w odniesieniu do badań eksperymentalnych, w tym rozwoju diagnostyk plazmy, jak i teorii obejmującej modelowanie komputerowe. To doświadczenie i kadra, które to doświadczenie zdobyła, jest mocną stroną programu. Słabą jest to, że doświadczenie to nie obejmuje badania plazmy w układach, które są teraz na pierwszej linii frontu, to znaczy tokamaków i stellaratorów. IFPiLM uczestniczył przez pięć lat (w drugiej połowie lat osiemdziesiątych) w radzieckim programie związanym z tokamakami T15, ale doświadczenie zdobyte wówczas zostało zaprzepaszczone wskutek odpływu kadry w związku ze zmianami organizacyjnymi w IFPiLM na początku lat 90. Doświadczenie zarówno IFPiLM jak i IPJ (IFPiLM i IPJ były do roku 2005 jedynymi ośrodkami w kraju zajmującymi się fizyką plazmy gorącej) dotyczy procesów fizycznych w plazmie o skali czasowej i przestrzennej diametralnie różnej od tej, jaka występuje w plazmie tokamaków i stellaratorów. To pociąga za sobą diametralnie różne techniki i technologie stosowane w badaniach eksperymentalnych. W mniejszym stopniu dotyczy to diagnostyk jądrowych (neutronów i promieniowania gamma) i te właśnie diagnostyki są mocną stroną obecnego programu badawczego i naszego udziału w projektach Wspólnoty Euratom. Tym doświadczeniem, które zachowało ciągłość od czasu współpracy z Instytutem Energii Atomowej w Moskwie (w ramach projektu T15) jest doświadczenie dotyczące modelowania procesów transportu masy i energii w tokamakach i to doświadczenie jest mocną stroną programu.

W przypadku doświadczenia zdobytego przy pracy z laserami sytuacja jest dużo lepsza. W IFPiLM od wielu lat prowadzone są badania zjawisk fizycznych w oddziaływaniu laser-plazma, badania optymalizacyjne laserowej syntezy termojądrowej, badania procesów hydrodynamicznych zachodzących w plazmie laserowej, czy też opracowywane są metody implantacji jonów generowanych laserem dla produkcji nowych materiałów półprzewodnikowych, służąc np. modyfikacji różnych powierzchni.

Tak więc przystąpienie do projektów Wspólnoty Euratom jest wielkim wyzwaniem dla polskich zespołów badawczych i wyzwanie to jest podejmowane głównie przez młodych pracowników nauki, co jest mocną stroną programu.

Odnośnie zakresu merytorycznego programu realizowanego obecnie w Polsce w obszarze fuzji termojądrowej, to zakres ten ukształtował się na drodze jak najlepszego dopasowania istniejącego potencjału i doświadczenia do potrzeb programu Wspólnoty Euratom. W odróżnieniu na przykład od projektu LHC, który ma na celu poznanie tajemnic natury na poziomie cząstek elementarnych, czyli zaspokojenie głodu wiedzy fizyków wysokich energii, program fuzji jądrowej ma na celu zaspokojenie głodu energetycznego ludzkości. W związku z tym obowiązuje tu podejście pragmatyczne, co oznacza, że akceptowane są projekty badawcze, które nie tyle są ciekawe z poznawczego punktu widzenia, ale i przyczyniają się do postępu na drodze do osiągnięcia celu (ITER to droga w łacinie), jakim jest elektrownia termojądrowa. Ta okoliczność dodatkowo wpłynęła na wybór zakresu merytorycznego udziału Polski w europejskich projektach. Udział ten omówiony został w części pierwszej i cechuje go szeroki zakres tematyczny – od teorii i modelowani plazmy, poprzez diagnostyki plazmy, materiały dla fuzji, do badań socjoekonomicznych. I to jest mocna strona programu. Stroną słabą i zagrożeniem jest to, że potencjał polskich zespołów badawczych skupionych w Asocjacji Euratom-IFPiLM jest przez to rozproszony i istnieje zagrożenie, że badania te będą powierzchowne, nie tworzące spójnej całości. Rada Asocjacji postuluje skupienie się na kilku wybranych zagadnieniach, które będą wizytówką Polski w Europie. Zagadnienia te to nasz udział w projektach JET i W7-X, badania oddziaływania plazmy ze ścianą, nowe materiały dla fuzji (udział w projekcie ITER jest oddzielną kwestią). To podejście rodzi jednak zagrożenie takie, że zespoły, które nie biorą udziału w tych kierunkowych pracach, zostaną stracone dla programu bez możliwości konwersji ich przedmiotu zainteresowania z racji tego, że organizacyjnie są poza głównym ośrodkiem programu w Polsce, jakim jest IFPiLM. (Więcej na ten temat w punkcie poświęconym strukturze i organizacji). Generalnie trzeba sformułować jako postulat potrzebę głębszej integracji zespołów badawczych w Polsce i skupienie się wokół wybranych zagadnień mających istotne znaczenie dla programu fuzji jądrowej w Europie. Pojawia się też pytanie, na ile potencjał badawczy i infrastruktura, jakimi dysponuje Polska, pozwalają na udział zarówno w programie MCF Wspólnoty Euratom jak i w projekcie HiPER dotyczącym koncepcji ICF. Pytanie to pozostawiamy bez odpowiedzi. Z całą pewnością jednak potencjał badawczy – zarówno IFPiLM, jaki IPJ – zaangażowany obecnie w badania na urządzeniu, które nie jest brane pod uwagę jako prototyp reaktora termojądrowego (mowa o urządzeniu plasma focus), powinien być stopniowo adaptowany do potrzeb programu fuzji jądrowej na tokamakach i stellaratorach.

Rozważając zakres merytoryczny programu należy wspomnieć jeszcze o trzech zagadnieniach: efektach ubocznych realizacji programu, przygotowaniu na uniwersytetach i politechnikach kadr do realizacji tego programu oraz percepcji energetyki termojądrowej w świadomości społeczeństwa wyrażanej przez tzw. opinię publiczną.

Badania nad fuzją termojądrową niosą ze sobą nie tylko poszukiwanie niezawodnych i bezpiecznych źródeł energii, ale także są to studia innowacyjne w zakresie wdrożeń z obszaru super-wytrzymałych materiałów, czy technologii medycznych. Opracowanie nowych materiałów o bardzo dużej wytrzymałości termicznej związane z zastosowaniem ich np. jako ścianki reaktora termojądrowego, może znaleźć również zastosowanie w lotnictwie, motoryzacji czy kosmonautyce. Ponadto technologie związane z modyfikacją powierzchni za pomocą impulsów plazmowych mogą znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu czy gospodarki. Również zastosowania strumieni szybkich jonów generowanych laserem dużej mocy, w przypadku syntezy laserowej, może znaleźć zastosowanie np. w hadronowej (protonowej) terapii nowotworowej

Jeśli chodzi o przygotowanie nowych kadr, to problem wiąże się z małym zakresem, a właściwie brakiem wyspecjalizowanej edukacji w tej dziedzinie, co sprawia że jest to słaba strona w badaniach nad energetyką termojądrową, jak również stanowi pewne zagrożenie dla

nauki polskiej. Na polskich uniwersytetach i uczelniach wyższych nie ma obecnie w programie studiów fizyki plazmy czy technologii termojądrowych. Zajęcia ze spektroskopii plazmy można jedynie znaleźć w ramach tzw. pracowni studenckich na niektórych uczelniach, jak np. na Uniwersytecie Opolskim, ale to za mało. Tematyka ta sporadycznie przewija się również w organizowanych seminariach czy wykładach, jednak to nie gwarantuje rozwoju odpowiednio wykwalifikowanej kadry naukowej. Pracę w takich ośrodkach badawczych jak np. Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie rozpoczynają ludzie, którzy kończyli inne specjalizacje, co w rezultacie wpływa niekorzystnie na czas zdobywania kolejnych stopni naukowych i specjalizacji zawodowych. Pewnego rodzaju możliwością i szansą pozyskiwania dobrych pracowników są studia i staże w zagranicznych ośrodkach naukowych, jednak w tym momencie pojawia się zagrożenie odpływu na stałe kadry z kraju. Szansą na pozyskiwanie nowych pracowników stają się również uczelnie wyższe, które są zaangażowane w projekty związane z kontrolowaną syntezą termojądrową, jednak pojawia się tu problem, bo ich udział w projektach jest zazwyczaj niewielki. Tak więc słabą stroną badań w dziedzinie energii termojądrowej jest edukacja w tym kierunku, a co za tym idzie słaby przyrost odpowiednio wykwalifikowanych specjalistów w tej dziedzinie.

Energetyka termojądrowa jest tematem mało znanym społeczeństwu. I tu pojawia się kolejny problem, z którym walczy nie tylko omawiana dziedzina, ale także inne pokrewne, takie jak chociażby energetyka atomowa. Tak naprawdę liczne protesty społeczne przeciwko budowie reaktorów jądrowych czy termojądrowych wynikają głównie z wyznawanych wartości ekologicznych połączonych z jednoczesną niewiedzą i obawami przed awarią, która byłaby katastrofalna w skutkach. Dlatego w tym przypadku istotną rolę odgrywa informacja społeczeństwa i przedstawienie ludziom korzyści płynących z danego sposobu dostarczania energii. W przypadku energii termojądrowej należy przede wszystkim uświadomić społeczeństwu różnice pomiędzy tym rodzajem energii a energią atomową. Należy przedstawić argumenty przemawiające „za” wspieraniem badań nad kontrolowaną syntezą termojądrową, takie jak np.:

- energia termojądrowa może stanowić niemal niewyczerpalne źródło energii
- proces powstawania energii termojądrowej jest bezpieczny i nie jest w nim używany węgiel, a więc nie ma tu produkcji do atmosfery CO₂
- podczas reakcji syntezy termojądrowej nie są produkowane żadne pierwiastki promieniotwórcze (w przeciwieństwie do reakcji jądrowej), itp.

W tym miejscu należy wspomnieć o optymistycznych wynikach dotychczasowych badań, które wskazują, że planowana budowa ITERa zaowocuje w końcu dodatnim bilansem energetycznym reakcji termojądrowej. Tak więc uzyskiwane dotąd rezultaty są niewątpliwie mocną stroną wieloletnich studiów nad kontrolowaną syntezą termojądrową.

Szansą dla badań nad energetyką termojądrową na zwiększenie akceptowalności społecznej jest europejski projekt edukacyjny *Fusenet (A European Fusion Education Network)*, w którym uczestniczy również Polska. Jest to projekt, który ma na celu kształcenie w dziedzinie fuzji termojądrowej i technologii z nią związanych, przy czym program ten dostosowany jest do kształcenia na niemal wszystkich poziomach edukacyjnych, począwszy od szkoły średniej, a skończywszy na studiach doktoranckich. *Fusenet* daje szansę współpracy Polakom z innymi europejskimi Asocjacjami, co z kolei umożliwia dostęp do różnych układów badawczych.

1.8.3. Struktura organizacyjna i struktura zarządzania

Na wstępie należy podkreślić to, że w zakresie MCF (udziału Polski w programie fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom) od czasu akcesji Polski do wspólnot europejskich, w szczególności do Wspólnoty Euratom, ukształtowała się dobrze zdefiniowana struktura

udziału Polski w tym programie i organizacja tego udziału w Polsce. Struktura ta omówiona jest w części pierwszej ekspertyzy. Wyraża się ona w udziale polskich przedstawicieli i delegatów w komitetach doradczych i komitetach kierujących programem takich jak CCE-FU (w randze wiceprzewodniczącego), F4E GB i EFDA SC. Polscy przedstawiciele są też obecni w komitetach eksperckich takich jak: F4E Executive Committee, F4E Technical Advisory Panel, EFDA CEG-Fusion, EFDA Times, High Performance Computer GB, IFE Working Group, Public Relations Group, co jest mocną stroną tych badań

Również w kraju struktura organizacyjna jest dobrze zdefiniowana i utrwalona. Struktura tą jest Asocjacja Euratom-IFPiLM. Obsługę organizacyjną zapewnia tej strukturze Krajowy Punkt Kontaktowy Euratom-IFPiLM na mocy wieloletniego kontraktu z MNiSW i to też jest mocna strona.

Kontrakt Asocjacyjny, który IFPiLM podpisał ze Wspólnotą Euratom, przewiduje funkcję kierownika/koordynatora Asocjacji (ang. *Head of Research Unit*, HRU). Zgodnie z Kontraktem HRU ma duże uprawnienia, w tym kierowanie Asocjacją i decydowanie o wydatkach do 200000 € (powyżej tej kwoty decyduje Komitet Kierujący Asocjacją). Nie w każdym warunkach jest możliwe literalne trzymanie się tego zapisu Kontraktu, co ma miejsce w Polsce, gdzie Asocjacja obejmuje zespoły badawcze z ponad dziesięciu zespołów naukowych w uniwersytetach, instytutach PAN i JBR, z kierownikami niezależnymi w swoich działaniach. W takiej sytuacji Komisja Europejska dopuszcza rozszerzoną definicję HRU, zgodnie z którą kierownik Asocjacji to grupa osób kierująca zespołami badawczymi Asocjacji. Taki sposób zarządzania polską Asocjacją jest niewątpliwie słabą stroną programu fuzji jądrowej w Polsce, ponieważ odpowiedzialność – zarówno za implementację, jak i za efekty realizacji tego programu – jest rozproszona pomiędzy grupę organizacyjnie słabo powiązanych ze sobą osób.

W zakresie ICF jedyną jednostką uczestniczącą w projekcie HiPER jest IFPiLM nie ma więc potrzeby tworzenia specjalnej struktury organizacyjnej.

Kolejną słabą stroną badań nad energetyką termojądrową w Polsce jest też brak jednego, centralnego, dużego ośrodka naukowego, który zajmowałby się tylko badaniami nad kontrolowaną syntezą, z podziałem na syntezę magnetyczną i laserową. IFPiLM, nominalnie spełniający taką rolę, nie ma oddziału badań nad fuzją w układach typu tokamak i stellarator. Zadania związane z udziałem w programie fuzji Wspólnoty Euratom (skoncentrowanym na tego typu urządzeniach) są realizowane przez Oddział Plazmy Laserowej i Oddział Plazmy Namagnetyzowanej (w układach typu *plasma focus*), bez jednoznacznego lidera programu fuzji w układach toroidalnych (tokamakach i stellaratorach).

1.8.4. Infrastruktura badawcza

Odrębną sprawą jest aparatura używana w polskich ośrodkach naukowych do badań w dziedzinie syntezy termojądrowej. Nasz kraj nie posiada (jak dotąd) tak ogromnych urządzeń jak tokamaki czy lasery ogromnej mocy, co jest słabą stroną badań nad kontrolowaną syntezą w Polsce, niemniej jednak w ostatnich latach sytuacja wyposażenia laboratoriów zaczyna się poprawiać, co niewątpliwie wynika z wejścia Polski do wspólnot europejskich w szczególności Wspólnoty Euratom. Ma to trzy aspekty, omówione poniżej, wiążące się zarówno z szansami jak i zagrożeniami.

Po pierwsze podpisanie Kontraktu Asocjacyjnego ze Wspólnotą Euratom udostępniło badaczom polskim dostęp do wszystkich urządzeń programu badań nad fuzją tej Wspólnoty, w szczególności do tokamaka JET, który jest największym na świecie urządzeniem termojądrowym i jednym, jakie może pracować z trytem. JET jest własnością całej Wspólnoty, a więc to jest „nasz” tokamak. Komisja Europejska wspomaga udział w badaniach na JET poprzez refundację wynagrodzeń delegowanych pracowników oraz wypłacanie im diet delegacyjnych i pokrywanie kosztów zakwaterowania i podróży. Warunki

te są na tyle korzystne, że w ciągu ostatnich lat dwóch lat polscy naukowcy przebywali na JET w sumie 1600 dni wnosząc istotny wkład do badań naukowych na tym urządzeniu.

Po drugie – współfinansowanie programu przez Komisję Europejską zwiększyło istotnie krajowy budżet dostępnych środków, co pozwala na modernizację i rozbudowę bazy badawczej w kraju. Z tej możliwości korzystają wszystkie ośrodki skupione w Asocjacji Euratom-IFPiLM.

Po trzecie – dostęp do funduszy strukturalnych UE stwarza szansę na podjęcie w kraju zadań związanych z budową i eksploatacją dużych urządzeń badawczych. Nie będą to zapewne tokamaki, ani stellaratory, ani systemy fuzji laserowej, gdyż budowa takich urządzeń, o skali istotnej dla postępu badań, przekracza obecnie możliwości pojedynczego kraju z wyjątkiem największych potęg światowych takich jak Stany Zjednoczone, Japonia, Francja i Wielka Brytania. Tym niemniej jest potrzeba zbudowania urządzenia w Polsce, które będzie dla fizyków i technologów zajmujących się fuzją ośrodkiem integrującym i dającym szansę na ważne badania także w kraju. Ośrodek taki przyciągałby także naukowców z innych krajów Wspólnoty Euratom sprzyjając w ten sposób integracji w skali europejskiej (a może światowej) i podnosząc poziom badań poprzez udział w nich ekspertów o reputacji międzynarodowej. Takim urządzeniem może być PUMA – projekt urządzenia impulsowego do badania oddziaływania plazmy z materiałami pierwszej ściany reaktora. IFPiLM wystąpił do dysponenta funduszy strukturalnych z wnioskiem o finansowanie tego przedsięwzięcia. Zagrożeniem jest to, że takie wnioski podlegają konkursowi, a wobec słabego jeszcze zrozumienia i wiedzy na temat zagadnień związanych z fuzją szeroko rozumianym środowisku naukowym Polski projekt taki może nie zdobyć uznania w oczach recenzentów.

Słabą stroną infrastruktury badawczej w Polsce, zwłaszcza tej dotyczącej badania materiałów, jest to, że urządzenia tej infrastruktury nie są przystosowane do pracy z materiałami gorącymi (napromieniowanymi neutronami z plazmy urządzeń fuzyjnych). Badania materiałów napromieniowanych mają coraz większe znaczenie ze względu na to, że urządzenia fuzyjne stają się w coraz większym stopniu urządzeniami jądrowymi, w których reakcje fuzji zachodzą z dużą intensywnością. W tej chwili dotyczy to przede wszystkim JETa, w przyszłości ITERa. Zagadnienia takie jak retencja trytu, usuwanie kodepozytów zawierających tryt, detekcja i usuwanie pyłu radioaktywnego z przestrzeni reaktora, są obecnie na pierwszej linii badań.

Gorące komory są dostępne w Laboratorium Badań Materiałowych IEA, ale z kolei badaniami materiałowymi dla fuzji zajmuje się IFPiLM i PW, gdzie takich komór nie ma. Nie jest łatwym zadaniem wykorzystanie infrastruktury IEA oraz infrastruktury PW i IFPiLM do wspólnych badań w wypadku pracy z materiałami radioaktywnymi, które podlegają szczególnym procedurom.

1.8.5. Kadra naukowa i inżynieryjno-techniczna

Liczbę pracowników zajmujących się w Asocjacji Euratom/IFPiLM badaniami w zakresie MCF podaje tabela 6, z rozbiciem na osoby z wyższym wykształceniem oraz techników i administrację.

Nie wszystkie te osoby pracują na rzecz fuzji przez cały dzień roboczy (na uczelniach dużą część czasu pracy zajmuje naukowcom dydaktyka). Liczbę efektywnych etatów można średnio oszacować na 50% (w odniesieniu do liczb sumarycznych; na uczelniach to będzie mniej niż 50%, w instytutach badawczych więcej). Z tabeli tej wynikają następujące wnioski:

- Już w tej chwili w pracach Asocjacji uczestniczy duża liczba osób
- Istnieją niewykorzystane rezerwy czasu prac osób już biorących udział w badaniach (w wypadku uczelni nie będzie możliwe wykorzystanie tych rezerw w 100%)
- W Asocjacji reprezentowane są jednostki badawcze wszystkich trzech typów: jbr, uczelnie i instytuty PAN

- Główne zasoby kadrowe skupione są w trzech instytutach badawczo-rozwojowych
- Udział w pracach Asocjacji Euratom wyższych uczelni w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Opolu, Poznaniu i Szczecinie stwarza szansę na ulokowanie tej tematyki w programach studiów, także doktoranckich, co w przyszłości zapewni dopływ nowych kadr do programu
- Dużą część potencjału kadrowego IFJ PAN stanowią inżynierowie i technicy, którzy zdobyli doświadczenie przy montażu akceleratora LHC (i detektorów) w CERN; doświadczenie to już teraz jest wykorzystywane przy montażu stellaratora W7-X, w przyszłości jest szansa na udział w montażu ITERa

Tabela 6a. Udział liczbowy pracowników zaangażowanych w prace w zakresie MCF

		Z wyższym wykształceniem	Technicy i administracja	Razem
Instytuty jbr (76 osób)	IFPiLM	33	20	53
	IPJ	13	8	21
	IEA	2	0	2
Uczelnie (66 osób)	PW	24	4	28
	UO	6	0	6
	ZUT	6	0	6
	AM	3	1	4
	PP	1	5	6
	AGH	10	1	11
	PWr	5	0	5
PAN (38 osób)	IFJ	14	17	31
	INTBS	6	1	7
Razem		123	57	180

Analogiczna tabela dla obszaru ICF wygląda następująco:

Tabela 6b. Udział liczbowy pracowników zaangażowanych w prace w zakresie ICF

		Z wyższym wykształceniem	Technicy i administracja	Razem
Instytuty jbr (24 osoby)	IFPiLM	13	11	24

Podobnie jak w wypadku MCF nie wszystkie te osoby cały swój czas pracy poświęcają badaniom w zakresie ICF (osoby te pracują także na rzecz MCF: średnio 2/3 czasu pracy poświęcają na ICF i 1/3 czasu pracy na MCF).

Struktura wiekowa kadry jest następująca:

< 30 lat	30-39 lat	40-49 lat	50-59 lat	60-69 lat	≥ 70 lat
9%	18%	19%	30%	18%	6%

Zwraca uwagę mały odsetek (tylko 27%) kadry w wieku najbardziej twórczym i produktywnym (poniżej 40 lat) nieco tylko większy od ułamka kadry w wieku powyżej 60 lat. Połowa kadry jest w wieku 40-59 lat. W sumie struktura wiekowa jest właściwa, a duży

udział uczelni stwarza szansę na dopływ kadr młodych. Analizując to bliżej należy stwierdzić, że w instytutach badawczych rozkład jest przesunięty w kierunku bardziej dojrzałego wieku (młodzi ludzie są przede wszystkim na uczelniach). I nie byłoby to złe, gdyby istniał przepływ osób z tytułem doktora z uczelni do instytutów badawczych. A wydaje się, że tak nie jest, co grozi starzeniem się kadry w instytutach badawczych, które są podstawowymi jednostkami realizującymi program. To jest zagrożenie w przyszłości i słaba strona obecnie. Przyczyn tego stanu rzeczy należy upatrywać w tym, że dla młodych ludzi kariera akademicka jest bardziej atrakcyjna oraz w małej mobilności polskiej kadry naukowej, bardziej ogólnie mówiąc (patrz fiasko programu „*Postdoc w Polsce*”).

1.8.6. Finansowanie

Poza korzyściami naukowymi wynikającymi ze współpracy międzynarodowej polskich zespołów badawczych w dziedzinie energetyki termojądrowej, Polska odnosi również korzyści materialne w postaci dofinansowania prac badawczych oraz aparatury naukowej. Warto również zaznaczyć, że środki finansowe uzyskane na badania w zakresie energetyki termojądrowej mogą być również bardzo użyteczne dla innych obszarów badań, nad którymi prace będą wykonywane w przyszłości, ponieważ przyczyniają się do utrzymywania w branży naukowej wysoko wykwalifikowanych specjalistów oraz kompletowania nowoczesnej aparatury eksperymentalnej.

Jeśli chodzi o finansowanie prac dotyczących MCF w ramach programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom to poczynić należy następujące uwagi:

- Polska przystąpiła do programu w roku 2005, a więc w trakcie 6. Programu Ramowego. Od roku 2008, już w trakcie realizacji 7. Programu Ramowego, nastąpiły zmiany dotyczące form finansowania. Kolejne wyzwanie związane jest z tym, że w tym samym roku zaczęła się realizacja projektu ITER, co spowodowało konieczność adaptacji, w szczególności rewizję założeń realizacji programu w części nie dotyczącej ITERa. Pełne wykorzystanie szans, jakie daje udział w tym programie wymaga czasu i stopniowej mobilizacji potencjału narodowego. W roku 2008, w którym ta mobilizacja była już zaawansowana, Komisja Europejska zmieniła zasady finansowania co niekorzystnie wpłynęło na budżet programu w Polsce (zmalął w porównaniu z rokiem 2007).

- Powrót budżetu do poziomu z roku 2007 wymaga dalszej mobilizacji. Globalny budżet Wspólnoty Euratom w części dotyczącej fuzji wzrósł istotnie, z tym że duża część tego budżetu przypada na ITER. Zagrożeniem dla programu w Polsce jest to, że – przynajmniej na początku – polskie instytucje naukowe (i polski przemysł) nie będą w stanie wykorzystać tej szansy z racji tego, że w krótkim okresie, jaki dzieli Polskę od przystąpienia do tego programu, do chwili, gdy ruszył projekt ITER, nie zdołały nagromadzić niezbędnego doświadczenia i kompetencji, jakie są potrzebne do podjęcia zadań związanych z ITERem.

- Warunki, jakie oferuje 7. PR Wspólnoty Euratom są mniej korzystne (20% udziału KE), niż warunki, jakie oferuje 7. PR Wspólnoty Europejskiej (50% udziału KE). W sytuacji, gdy ten sam projekt może być ulokowany w jednym lub drugim programie kierownik zespołu badawczego może preferować udział w konkursie projektów 7. PR Wspólnoty Europejskiej.

- Na korzyść programu Wspólnoty Euratom przemawia jednak to, że zapewnia finansowanie ciągłe, a nie finansowanie grantów, które mają określony czas trwania (od-do).

- Granty organizacji F4E oferują podobny poziom dotacji ze strony KE (40%) i te same zasady konkurencyjności.

- Problemem jest finansowanie w Polsce zadań związanych z projektem W7-X. Projekt W7-X nie ma bezpośredniego odniesienia do projektu ITER i z tej racji nie ma najwyższego priorytetu dla EFDA i KE. Projekt ten ma znaczenie dla następnego kroku na drodze do fuzji komercyjnej, jakim jest DEMO. To oznacza, że nie można liczyć na to, aby nasz wkład do projektu W7-X uzyskał istotne wsparcie ze strony KE. Należy raczej liczyć na to, że władze polskie docenią znaczenie tego projektu dla współpracy polsko-niemieckiej i wezmą pod uwagę ten fakt, że wnosząc istotny wkład *in kind* do projektu mamy szansę stać się strategicznym partnerem Niemiec w tej dziedzinie oraz beneficjentem naukowym projektu po uruchomieniu urządzenia w roku 2014. Projekt W7-X jest też ważny z tego względu, że jest poligonem doświadczalnym dla polskich inżynierów i techników, którzy doświadczenie tu zdobyte będą mogli wykorzystać oferując swoje usługi przy budowie ITERa.

- Obecne uregulowania prawne nie pozwalają na to, aby IFPiLM – będący stroną Kontraktu Asocjacyjnego i z tej racji będący dystrybutorem strumienia finansowania ze strony KE – był także redystrybutorem krajowych środków budżetowych pochodzących z MNiSW i przeznaczonych na ten cel. Krok w tym kierunku sprzyjałby klarowności systemu finansowania fuzji jądrowej w Polsce.

1.8.7. Współpraca z przemysłem i udział przemysłu w badaniach

Badania nad energetyką termojądrową przez to, że są bardzo zaawansowaną technologicznie dziedziną nauki, stanowią szansę dla rozwoju przemysłu. Badanie te – poza końcowym celem, a więc budową reaktora termojądrowego – mogą służyć także celom komercyjnym. Zarówno badania nad syntezą laserową, jak i magnetyczną mogą być wykorzystywane do badań nad nowoczesnymi technologiami, służącymi do innych celów niż fuzja. Badania nad energetyką termojądrową to również badania nad nowymi materiałami, o nowych właściwościach, które mogłyby być zastosowane w przyszłych reaktorach. Obecność polskich firm w projektach związanych z badaniami nad energetyką termojądrową, stanowi dla nich szansę na przyszłość, na wejście do projektów międzynarodowych typu ITER czy nawet budowa DEMO. Uczestnictwo polskich dostawców w obecnych projektach otwiera im drogę do przyszłych zamówień i rozwoju na rynku europejskim.

Rozważając relację pomiędzy przemysłem i nauką trzeba wziąć pod uwagę przede wszystkim to, że kryterium podstawowym dla firm komercyjnych jest osiągnięty zysk i czas amortyzacji inwestycji. Z tego powodu przemysł europejski już dość dawno przedstawił swoje stanowisko na forum CFI (*Committee for Fusion Industry*) komitetu doradczego Komisji Europejskiego działającego pod przewodnictwem Angela Airaghi. Otóż przemysł europejski stwierdził dość jednoznacznie, że oba powyższe czynniki (spodziewany zysk i okres amortyzacji inwestycji) wykluczają finansowanie badań nad fuzją jądrową ze źródeł prywatnej przedsiębiorczości. (Sytuacja jest nieco inna w USA, gdzie prywatna firma *General Atomics* zbudowała i eksploatuje w San Diego tokamak Doublet IIID, który odegrał o odgrywa nadal ważną rolę w postępie na drodze do fuzji. Jako ciekawostkę można też podać to, że Bob Guccione, założyciel i wydawca magazynu *Penthouse*, zainwestował w badania nad fuzją ponad 16 milionów dolarów w ciągu 5 lat dekady osiemdziesiąt ubiegłego wieku). Tak więc w Europie jedynym źródłem funduszy na potrzeby badań nad fuzją są pieniądze publiczne podatników zjednoczonej Europy. W tej sytuacji związku z nauką w tej dziedzinie mają dwa aspekty:

- Transfer technologii opracowanych w nauce do przemysłu
- Udział przemysłu w budowie i eksploatacji urządzeń fuzyjnych oraz w dostawie komponentów i usług dla tych urządzeń

Jeśli chodzi o aspekt pierwszy, to jest on przedmiotem oddzielnej ekspertyzy i nie będzie tu omawiany zbyt szczegółowo. Drugi aspekt został omówiony szczegółowo w części pierwszej ekspertyzy w odniesieniu do projektu ITER.

Krajowy Punkt Kontaktowy Euratom-IFPiLM wspólnie z Wrocławskim Parkiem Technologicznym, którego prezesem jest Maciej Chorowski będący jednocześnie osobą ds. kontaktów z polskiego przemysłu z F4E, podjął działania zmierzające do zwiększenia udziału firm polskich w budowie ITERa i innych urządzeń fuzyjnych.

Słabą stroną przemysłu polskiego jest to, że w Polsce nigdy nie były budowane urządzenia typu tokamak czy stellarator i w związku z tym brakuje doświadczenia w tym względzie, co oznacza że są małe szanse na to, aby polskie firmy zdobyły kontrakty w pierwszej fazie budowy ITERa. Także to, że ITER jest urządzeniem jądrowym stwarza dodatkową barierę związaną z koniecznością sprostania normom prawa atomowego Francji. Zaniechanie budowy w elektrowni jądrowej w Polsce na początku lat dziewięćdziesiątych spowodowało, że przemysł związany z energetyką jądrową w Polsce praktycznie nie istnieje. W Polsce nie istnieje też przemysł kosmiczny, który wykorzystuje materiały spełniające te same wymagania odporności na wysokie temperatury, co materiały pierwszej ściany ITERa. Są to więc słabe strony sytuacji przemysłu polskiego w odniesieniu do projektu ITER.

Tym niemniej ITER jest wielką szansą dla przemysłu polskiego na zdobycie korzystnych kontraktów oraz rozwoju technologii, które znajdą zastosowanie (i przyniosą zyski) w innych obszarach nauki i techniki, a tym samym wejścia na światowe rynki *high-tech*. Organizacje F4E i IO stwarzają elastyczne warunki tworzenia konsorcjów i realizacji kontraktów pod klucz, a także udziału w fazie rozwojowej projektów. Mocną stroną grupy firm polskich jest doświadczenie zdobyte podczas budowy akceleratora LHC, w którym znalazły zastosowanie podobne lub te same technologie, przede wszystkim dotyczące systemów kriogenicznych wykorzystujących nadciężki hel oraz nadprzewodnikowych magnesów i przewodów elektrycznych. Także techniki ultrawysokiej próżni, w tym pompy kriogeniczne, są te same, jak w ITER. Jest to ogromną szansą dla tych firm.

1.9. Podsumowanie i wnioski końcowe

Tabela 7 przedstawia zebrane mocne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia dotyczące badań nad energetyką termojądrową w Polsce (analiza SWOT). Jak widać liczba słabych stron nie jest mała, co prowadzi do pytania „co jest tego powodem?” i „czy mamy wpływ na zmianę tych relacji?”. Otóż odpowiedź na to drugie pytanie jest twierdząca, a podstawą tego optymizmu są szanse, jakie ten program stwarza. Szanse związane są z tym, że program ten oferuje cywilizacji na Ziemi ostateczne rozwiązanie problemu źródeł energii niezbędnych do pomyślnego rozwoju tej cywilizacji – to z jednej strony, a z drugiej strony oferuje tym, którzy zaangażują się w realizację tego programu, stabilną sytuację zawodową na wiele lat i udział w jednym z najbardziej fascynujących przedsięwzięć ludzkości. Przystąpienie Polski do Wspólnoty Euratom zwielaokrotniło te szanse i możliwości.

Nie można jednak zapominać o zagrożeniach, które zebrane są w ostatniej części analizy SWOT i które powinny być motywacją do podjęcia działań zmierzających do usunięcia tych zagrożeń dając szansę „szansom”.

Rząd powinien wspierać badania nad energetyką termojądrową poprzez kreowanie inteligentnej polityki energetycznej, gdyż jakiegokolwiek cięcia budżetowe w tej dziedzinie spowodują opóźnienia w założonych celach tych badań. Tak więc zmniejszenie nakładów finansowych w tej dziedzinie jest zagrożeniem dla badań nad kontrolowaną syntezą termojądrową. Oczywiście mogą odezwać się tu głosy krytyki mówiące, że pieniądze przeznaczane na te badania mogłyby być przeznaczone na inne technologie, np. związane z odnawialnymi źródłami energii, jednak trzeba pamiętać, że energetyczna przyszłość ludzkości

to pakiet różnych technologii, wśród których fuzja jądrowa będzie odgrywała bardzo ważną rolę. My wierzymy, że w dłuższej skali czasu najważniejszą.

Tabela 7. Zbiór mocnych i słabych stron, szans i zagrożeń w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową

Mocne strony badań nad energetyką termojądrową	
1.	Optymistyczne wyniki dotychczasowych badań (prawo skalowania)
2.	Udział Polski w projektach międzynarodowych w ramach Wspólnoty Euratom, w tym: <ul style="list-style-type: none"> • dostęp do urządzeń fuzyjnych w Europie (niczym nie ograniczony) • dostęp do różnych form edukacji w dziedzinie kontrolowanej syntezy termojądrowej za granicą
3.	Uczestnictwo Polski w projekcie HiPER
4.	Doświadczenie zdobyte we współpracy z Instytutem Energii Atomowej w Moskwie w zakresie modelowania zjawisk transportu w plazmie tokamaka
5.	Podjęcie ogromnego wyzwania, jakim jest udział w programie fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom przez młodych, ambitnych i zaangażowanych pracowników nauki
6.	Udział polskich delegatów w komitetach doradczych i decyzyjnych programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom
7.	Udział polskich przedstawicieli w ciałach zarządzających programem fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom
8.	Ustalona i utrwalona struktura organizacyjna udziału Polski w programie fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom, w formie Asocjacji Euratom/IFPiLM
9.	Dostęp do urządzeń badawczych na terenie UE, w tym w szczególności do Wspólnotowego tokamaka JET, ale także do innych urządzeń: ASDEX, TEXTOR, Tore Supra, ISTTOK, budowany W7-X, COMPASS
10.	Współfinansowanie programu przez Komisję Europejską zwiększyło istotnie krajowy budżet dostępnych środków, co pozwala na modernizację i rozbudowę bazy badawczej w kraju
11.	Doświadczenie zdobyte przez inżynierów i techników z IFJ i PWR przy budowie akceleratora LHC i jego detektorów pozwoli na udział Polski w budowie reaktora ITER
12.	Udział firm polskich w przedsięwzięciach na terenie CERN dało tym firmom podstawę i niezbędne doświadczenie do ubiegania się o kontrakty dla ITERa
13.	Właściwa struktura wiekowa kadry realizującej program, z maksimum w przedziale 40-59 lat (prawie połowa)
Słabe strony badań nad energetyką termojądrową	
1.	Mały poziom edukacji na poziomie szkolnictwa wyższego w dziedzinie fizyki plazmy i technologii termojądrowych
2.	Niedostateczna informacja społeczeństwa na temat badań nad energetyką termojądrową
3.	Brak w Polsce urządzeń termojądrowych typu tokamak czy stellarator

4. W zakresie infrastruktury związanej z jądrowym aspektem programu – gorące komory są w IEA, ale aparatura do badań materiałowych jest w PW, gdzie z kolei nie można pracować z materiałami napromieniowanymi, które w programie badawczym fuzji zapewne wkrótce zaczną odgrywać większą rolę w pracach nad materiałami dla reaktorów termojądrowych; to dotyczy też innych ośrodków

5. Kilkudziesięcioletnie doświadczenie IFPiLM i IPJ w zakresie badań nad fuzją jądrową dotyczy urządzeń, które nie są obecnie na pierwszej linii badań (istotne jest to, że skale czasu i przestrzeni zjawisk w tych urządzeniach są diametralnie różne od skal czasu w tokamakach i stellaratorach, a to oznacza zastosowanie zupełnie innych metod badania, w tym diagnostyk plazmy)

6. Niezgodność form finansowania z KE i MNiSW (te pierwsze są zcentralizowane, te drugie rozproszone)

7. Słaba integracja Asocjacji wokół wyselekcjonowanych zagadnień

8. Mała liczba naukowców pracujących w kraju, którzy doświadczenie zdobyli za granicą (na stażach, w tym typu *postdoc*, kontraktach, itp.)

9. Wiele kierunków badawczych w IFPiLM przez co nawet potencjał głównego instytutu w kraju jest rozproszony na badania dość odległych od siebie mimo wspólnego mianownika, jakim jest fizyka plazmy i fuzji jądrowej

10. Udział Polski w budżecie programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom jest niższy procentowo od składki Polski do budżetu UE

11. Udział Polski w budżecie programu Wspólnoty Euratom, w porównaniu z udziałem innych krajów (Finlandia, Austria, Łotwa, Grecja, Czechy), jest mniejszy biorąc pod uwagę wielkość i potencjał naszego kraju

12. Polski przemysł nie ma doświadczeń w realizacji prac na rzecz dużych projektów fuzyjnych nie należy więc oczekiwać kontraktów dla przemysłu w pierwszej fazie budowy ITERa

13. Polski przemysł nie ma doświadczeń w realizacji kontraktów dotyczących instalacji jądrowych (konieczność spełnienia standardów francuskiego prawa atomowego INB zgodnego z wymaganiami MAEA)

14. W Polsce nie istnieje przemysł jądrowy i kosmiczny. Obydwie te gałęzie rozwijają technologie przydatne dla fuzji

15. Nie ma przepływu technologii od nauki do przemysłu w obszarze związanym z energetyką termojądrową, w szczególności w zakresie diagnostyk i systemów nagrzewania plazmy oraz aktywnej kontroli

16. Odpowiedzialność –zarówno za implementację jak i za efekty realizacji programu fuzji jądrowej w Polsce – jest rozproszona pomiędzy grupę organizacyjnie słabo powiązanych ze sobą osób

17. Nikły przepływ kadry wykszcolonej w uczelniach do instytutów badawczych

Szanse badań nad energetyką termojądrową

1. Praca na rzecz innych dziedzin nauki np. nad super-wytrzymałymi materiałami, czy technologiami medycznymi

2. Uczestnictwo w programie edukacyjnym *Fusenet*

3. Wzmocnienie współpracy polskiego sektora nauki z gospodarką, a zwłaszcza z przemysłem

4. Prowadzona obecnie dyskusja nad reorganizacją instytutów atomistyki stwarza szansę na skupienie dużej części potencjału sprzętowego i kadrowego, obecnie rozproszonego, w jednym ośrodku z jednoznacznie oddzieloną od siebie częścią

MCF i ICF

5. Doświadczenie zdobyte przez polski przemysł przy budowie akceleratora LHC i detektorów. Doświadczenie to dotyczy technologii, które są podobne lub identyczne do tych, jakie będą wykorzystane w reaktorze ITER, co stwarza szanse na udział w kontraktach F4E i IO

6. Projekt ITER jest szansą dla MSP, które mogą dostarczać wyspecjalizowane usługi w drugiej fazie budowy ITERa

7. F4E stwarza możliwość tworzenia konsorcjów do realizacji zamówień na rzecz ITERa, co pozwoli na udział polskiego przemysłu i jednostek badawczych nawet wówczas, gdy samodzielnie nie będą mogły podjąć zadań związanych z budową ITERa

8. Uruchomienie punktu kontaktowego dla przemysłu przy Wrocławskim Parku Technologicznym

9. Uczestnictwo w budowie reaktora ITER pozwoli na rozwinięcie kompetencji, które mogą być wykorzystywane m.in. w przemyśle jądrowym, energetyce, przy wytwarzaniu zaawansowanych materiałów i produktów *high-tech* praktycznie ze wszystkich dziedzin techniki

10. Powstanie PPTN, która powinna stać się platformą integracji nauki, techniki i przemysłu na rzecz technologii fuzji jądrowej

11. Dostęp do funduszy strukturalnych pozwalający na rozbudowę infrastruktury badawczej na terenie kraju w szczególności na zbudowanie nowoczesnego laboratorium laserowego i urządzenia PUMA do symulacji oddziaływania plazmy z materiałami pierwszej ściany reaktora

12. Udział w pracach Asocjacji Euratom wyższych uczelni w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Opolu, Poznaniu i Szczecinie stwarza szansę na ulokowanie tej tematyki w programach studiów, także doktoranckich, co w przyszłości zapewni dopływ nowych kadr do programu

13. Rozpoczęcie realizacji projektu ITER jest szansą na pozyskanie funduszy na badania związane z tym projektem, na warunkach bardziej korzystnych niż dotychczas (40, a nie 20 procent udziału Komisji Europejskiej w kosztach projektu)

14. Udział Polski w projekcie W7-X jest szansą na zdobycie doświadczenia niezbędnego do tego, aby zaoferować swoje usługi przy budowie ITERa

15. Ten sam projekt jest też szansą dla fizyków i technologów zainteresowanych projektem DEMO, do którego W7-X ma bezpośrednie odniesienie

16. Udział w projekcie HIPER jest szansą dla młodej kadry na zdobycie doświadczenia

Zagrożenia badań nad energetyką termojądrową

1. Nieakceptowalność technologii termojądrowej przez społeczeństwo, co przełożyć się może na brak poparcia polityków

2. Zmniejszenie nakładów finansowych na naukę wskutek kryzysu światowego

3. Niejednoznaczna odpowiedzialność za realizację programów; nie jest jednoznacznie określone, kto personalnie odpowiada za realizację programu. Za planowanie, monitorowanie, koordynowanie i raportowanie programu odpowiada koordynator Asocjacji, za implementację zbiorowy HRU, czyli kierownicy zespołów badawczych w 12 zespołach badawczych

4. Słabe przygotowanie absolwentów uczelni wyższych do podjęcia pracy w tej dziedzinie nauki i technologii z racji tego, że na polskich uczelniach nie ma, lub dopiero się odradzają, kierunki związane z energetyką jądrową. Fizyka plazmy nie jest

specjalnością na żadnym z wydziałów fizyki polskich uniwersytetów

5. Odływ kadr z kraju co wynika z szans, jakie daje otwarcie na Europę
6. Słabe przygotowanie maturzystów do podjęcia studiów za granicą, w tym ciągle jeszcze nie całkiem powszechna znajomość języka angielskiego lub innych języków europejskich
7. Brak gwarancji ze strony rządu dotyczących finansowania polskiego udziału w projekcie HiPER (finansowanie ze strony koordynatora projektu, Wielkiej Brytanii, nie jest wystarczające do tego, aby pomyślnie zrealizować przyjęte zobowiązania)
8. Możliwość utraty dla programu zespołów badawczych spoza IFPiLM, których przedmiot badań nie będzie mieścił się w ewoluującym programie badań fuzyjnych w Europie
9. Słaba znajomość zagadnień fuzyji w szeroko rozumianym opiniotwórczym środowisku polskiej nauki może spowodować, że wnioski o finansowanie przedsięwzięć w tym zakresie z funduszy strukturalnych mogą nie znaleźć uznania w oczach recenzentów takich wniosków
10. Postarzenie kadry w instytutach badawczych wskutek słabego dopływu wykształconej kadry z uczelni
11. Zagrożeniem dla programu w Polsce jest to, że – przynajmniej w początkowym okresie – polskie instytucje naukowe (i polski przemysł) nie będą w stanie wykorzystać szansy związanej z ITERem, z racji tego, że w krótkim okresie, jaki dzieli Polskę od przystąpienia do tego programu do chwili, gdy ruszył projekt ITER, nie zdołały nagromadzić niezbędnego doświadczenia i kompetencji, jakie są potrzebne do podjęcia zadań związanych z ITERem
18. Rozdrobnienie organizacyjne Asocjacji Euratom-IFPiLM (12 ośrodków słabo zintegrowanych ze sobą)

Źródła informacji:

- [1] *Synteza termojądrowa – źródło energii dla elektrowni przyszłości*, Urszula Woźnicka, Raport nr 4/POP (2008)
- [2] *Od JETa do ITERa. Ważny krok na drodze do energii taniej, bezpiecznej i przyjaznej środowisku*, Andrzej Gałkowski, POSTĘPY FIZYKI, Nr 3, 59 (2008)
- [3] *Strategia rozwoju atomistyki w Polsce*, Rada do spraw atomistyki (2006)
- [4] *Fusion. The Search for Endless Energy*, Robin Herman, Cambridge University Press (1990)
- [5] KOM(2006) 847; Komunikat komisji do rady, parlamentu europejskiego, komitetu ekonomiczno-społecznego oraz komitetu regionów, Działania na rzecz europejskiego strategicznego planu w dziedzinie technologii energetycznych
- [6] Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, <http://www.ifpilm.waw.pl>
- [7] Instytut Problemów Jądrowych w Świerku, <http://www.ipj.gov.pl>
- [8] Politechnika Warszawska, <http://www.inmat.pw.edu.pl>
- [9] Instytut Energii Atomowej, <http://www.cyf.gov.pl>
- [10] Projekt ITER, <http://www.iter.org>
- [11] Projekt HIPER, <http://www.hiper-laser.org>
- [12] <http://www.energetykatermojadrowa.pl/>
- [13] Fusion for Energy, <http://fusionforenergy.europa.eu/>
- [14] EFDA, *European Fusion Development Agreement*, <http://www.efda.org/>
- [15] National Ignition Facility, <https://lasers.llnl.gov/>
- [16] Laser Lab Network, <http://www.laserlab-europe.net/>
- [17] Extreme Light Infrastructure, <http://www.extreme-light-infrastructure.eu/>
- [18] Polska Platforma Technologii Nuklearnych www.pptn.pl

- [19] *Association Euratom-IPPLM Annual Reports 2005, 2006, 2007, 2008*. Andrzej Gałkowski, Dorota Błoniarz Łuczak, Editors
- [20] Asocjacja Euratom-IFPiLM, <http://www.ipplm.pl>
- [21] Krajowy Punkt Kontaktowy Euratom-IFPiLM, <http://www.kpk.ifpilm.pl>
- [22] Materiały posiedzeń Rady Asocjacji Euratom-IFPiLM
- [23] Protokoły posiedzeń komitetów programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom
- [24] Komisja Europejska, <http://www.ec.europa.eu>