

Prof. Maciej Chorowski\*, Piotr Bielówka\*\*, Sylwia Wójtowicz\*\*\*

\*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Wrocław

\*\*TECHTRA Sp. z o.o, Wrocław

\*\*\*Wroclawski Park Technologiczny SA, Wrocław

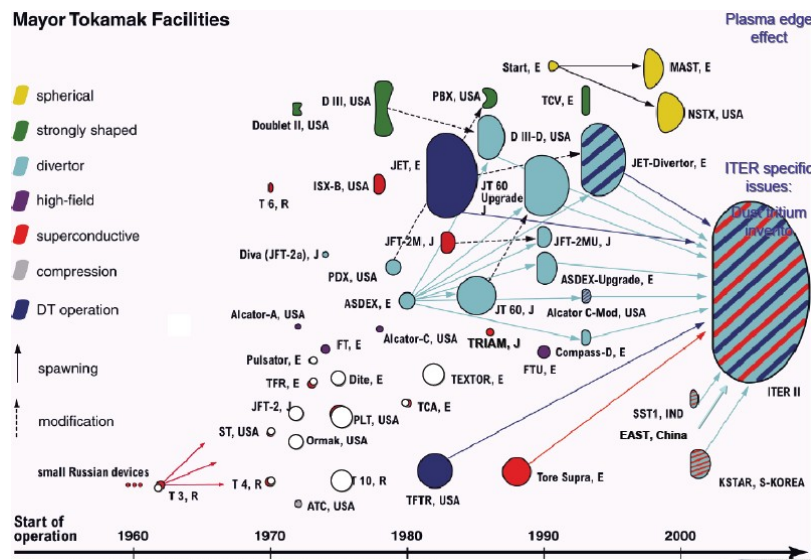
# **1. EKSPERTYZA W ZAKRESIE WŁĄCZENIA KRAJOWYCH PODMIOTÓW GOSPODARCZYCH W FINANSOWANIE PRAC NAD WYBRANYMI BADANIAMI NA POTRZEBY ENERGETYKI TERMOJĄDROWEJ**

## **1.1 Badania na rzecz energetyki termojądrowej**

Pomimo ponad pięćdziesięciu lat, które upłynęły od uruchomienia pierwszego badawczego reaktora termojądrowego – tokamaka - w Instytucie Energii Atomowej w Moskwie w roku 1956, termoenergetyka jądrowa wciąż jest w stadium prac badawczych, a pierwsza komercyjna elektrownia termojądrowa nie powstanie wcześniej niż za co najmniej 30 lat. Jest rzeczą charakterystyczną, że podobny horyzont czasowy wydawał się realny w zasadzie od lat 60 – tych XX wieku, kiedy spodziewano się, że najdalej po 40 latach (a więc na przełomie XIX i XX wieku) zostaną uruchomione pierwsze elektrownie termojądrowe. W trakcie eksploatacji zbudowanych dotychczas badawczych reaktorów termojądrowych (np. Tokamak Fusion Test Reactor TFTR w Princeton Plasma Physics Laboratory USA, Joint European Torus w Culham – Wielka Brytania, TORA SUPRA w CEA Cadarache – Francja, Korea Superconducting Tokamak Advanced Research KSTAR w National Fusion Research Institute w Daejeon Korea), nie udało się uzyskać jednoznacznego potwierdzenia, że technologia kontrolowanej syntezy termojądrowej została opanowana w stopniu pozwalającym na zaprojektowanie, budowę i uruchomienie komercyjnej elektrowni termojądrowej.

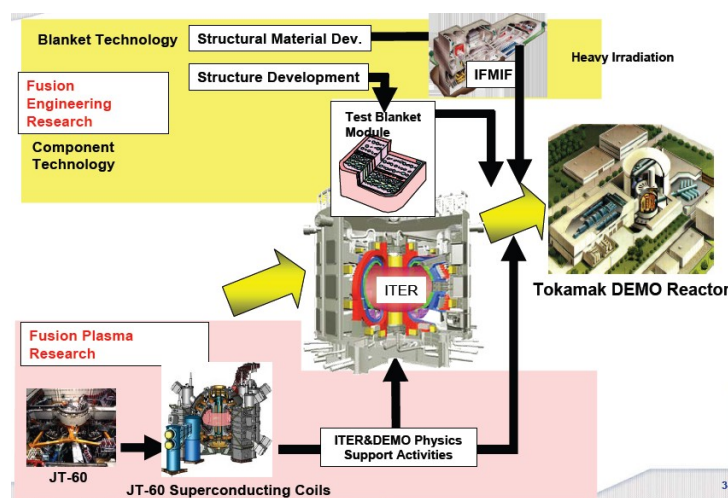
Istnieją jednak naukowe przesłanki, że w wyniku ekstrapolacji dotychczas uzyskanych doświadczeń, w urządzeniach o co najmniej o rząd większej mocy cieplnej, możliwe będzie osiągnięcie dodatniego bilansu energetycznego reaktora, czyli zdolności do wytwarzania energii przewyższającej energię pobieraną na grzanie plazmy. Weryfikacja tych założeń może nastąpić jedynie przez zbudowanie i uruchomienie reaktora termojądrowego o współczynniku wzmocnienia  $Q$  (moc syntezy/moc nagrzewania) istotnie większym od 1. Reaktorem takim ma być ITER, którego budowa zaczęła się w 2008 roku w prowansalskim Cadarache, w bezpośrednim sąsiedztwie laboratorium CEA i zlokalizowanego tam reaktora TORA SUPRA. Współczynnik wzmocnienia ITER ma wynieść  $Q = 10$  w trybie impulsowym i  $Q = 5$  w trybie quasi-ciągłym. Czas trwania wyładowania ma wynosić 500 s w trybie impulsowym i 1000 s w trybie quasi ciągłym, a moc wytwarzana w reakcji syntezy termojądrowej ma osiągnąć odpowiednio wartości 500 i 700 MW. ITER nie będzie więc jeszcze prototypową elektrownią termojądrową, a jedynie demonstratorem reakcji syntezy deuteru z trytem o współczynniku wzmocnienia  $Q$  pozwalającym na zaprojektowanie i budowę takiej elektrowni pracującej

w sposób ciągły. ITER jest więc projektem badawczym, którego znaczenie gospodarcze wynika z rozwoju nowych technologii i materiałów przydatnych również w różnych dziedzinach przemysłu, w szczególności w energetyce. ITER stanowi też podstawowy element strategii badawczej dojścia do komercyjnych reaktorów termojądrowych. W tym projekcie wykorzystywane są doświadczenia zgromadzone w trakcie ponad pięćdziesięcioletniej historii budowy, eksploatacji oraz likwidacji badawczych tokamaków – rys. 1. W ITER spotykają się kluczowe obecnie technologie dla komercyjnego wykorzystania wysokotemperaturowej fuzji jądrowej – grzania plazmy, nadprzewodnictwa i kriogeniki, budowy diwertora, materiałowe, reakcji deuter-tryt i inne.



**Rysunek 1** Badawcze reaktory termojądrowe (tokamaki) i ich powiązanie technologiczne z ITER  
źródło ITER IO

Doświadczenia zgromadzone przez ITER, uzupełnione wynikami badań materiałowych i jądrowych, mają doprowadzić do budowy pilotowej elektrowni termojądrowej DEMO i następnie szerokiego wykorzystania wysokotemperaturowej fuzji jądrowej w energetyce. Wzajemne powiązanie projektu ITER, badań materiałowych, radiacyjnych i fizyki plazmy, będące „mapą drogową” komercjalizacji reaktorów termojądrowych, pokazuje rysunek 2.



**Rysunek 2** Schemat strategii komercjalizacji energetyki termojądrowej  
źródło ITER IO

Stąd, pomimo niepewności czy energetyka termojądrowa jest realną opcją dla obecnych metod wytwarzania energii elektrycznej, niewątpliwie warto jest prowadzić dalsze badania reakcji wysokotemperaturowej fuzji plazmy oraz rozwijać technologie reaktorów: tokamaków, stellaratorów, reaktorów laserowych. Ponadto pomimo, że przedsiębiorstwa działające w warunkach rynkowych nie powinny angażować się w badania naukowe procesów, co do których nie ma realnych szans na ich komercjalizację w kilku-, a najwyżej kilkunastoletniej perspektywie czasowej, to udział przemysłu w projektach badawczych energetyki termojądrowej jest uzasadniony właśnie rozwojem technologii, które mogą zostać spożytkowane w innych dziedzinach gospodarki.

Mając na uwadze, że w chwili obecnej badania na potrzeby energetyki termojądrowej wymagają budowy reaktorów badawczych o skali przemysłowej i o wielomiliardowych budżetach, włączenie polskich podmiotów gospodarczych w te badania powinno polegać przede wszystkim na ich uczestnictwie w procesie budowy termojądrowych reaktorów badawczych (przede wszystkim ITER) oraz rozwoju technologii koniecznych do budowy tych reaktorów. Przy czym powinno to nastąpić przy możliwie szerokiej współpracy z przemysłem europejskim (np. firmą AREVA) oraz polskimi i zagranicznymi ośrodkami naukowo-badawczymi zaangażowanymi w rozwój technologii koniecznych dla komercyjnych zastosowań wysokotemperaturowej fuzji jądrowej.

## **1.2 Energetyka termojądrowa w świadomości polskich podmiotów gospodarczych**

Poza nieliczną grupą naukowców i ich współpracowników bezpośrednio zaangażowanych w badania na rzecz energetyki termojądrowej, w Polsce praktycznie nie istnieje świadomość co do istoty tych badań i stanu ich zaawansowania. Stąd w większości przypadków podmioty gospodarcze, którym proponuje się uczestnictwo w badaniach na potrzeby energetyki termojądrowej nie wykazują zainteresowania tymi badaniami, gdyż nie widzą dla ich rezultatów perspektyw rynkowych. Rozumowanie takie wynika z braku wiedzy o różnorodności technologii rozwijanych na rzecz wysokotemperaturowej fuzji jądrowej oraz powiązaniu tych technologii z innymi dziedzinami takimi jak: energetyka ciepła i jądrowa, inżynieria materiałowa, przemysł lotniczy i kosmiczny, elektronika, automatyka, technologie informatyczne, diagnostyka medyczna, fizyka wysokich energii, astrofizyka i wiele innych.

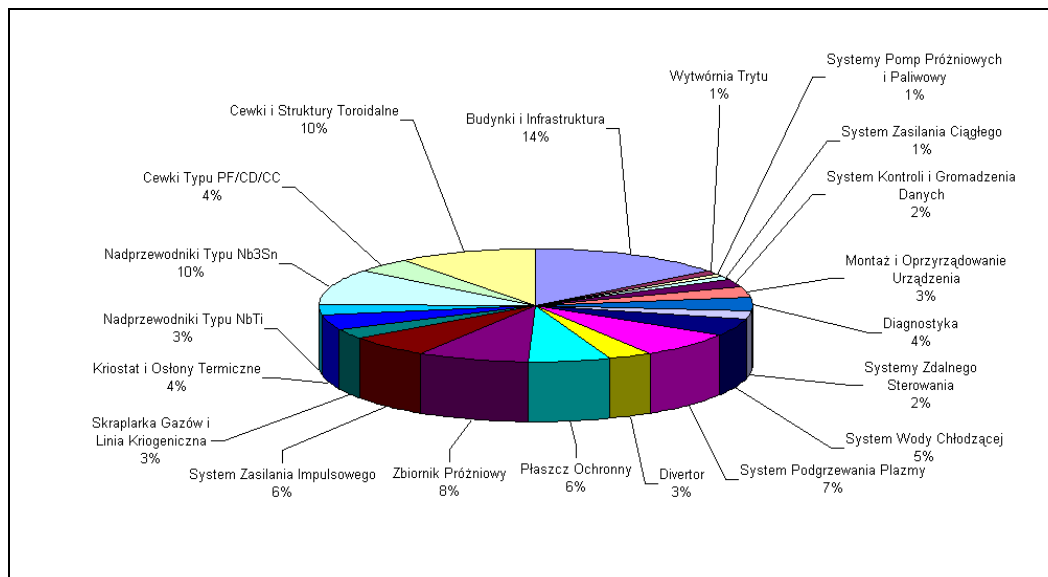
Specyfiką obecnie eksploatowanych i modernizowanych reaktorów termojądrowych jest ich służebność wobec tokamaka ITER polegająca na tym, że stanowią one źródła wiedzy i doświadczeń, które pozwolą na budowę i uruchomienie ITER, a następnie budowę eksperymentalnej elektrowni termojądrowej (Demonstration Power Plant) DEMO zlokalizowanej najprawdopodobniej w którymś z państw azjatyckich – członków międzynarodowej organizacji ITER IO. Ponadto realizowane obecnie projekty badawcze związane z fizyką plazmy są elementem przygotowania naukowego i przemysłowego poszczególnych krajów (w szczególności Korei – reaktor KSTAR, Japonii – m.in. stellarator LHD i Chin – tokamak EAST) do wykorzystania wszystkich możliwości produkcyjnych i technologicznych jakie stwarza budowa ITER.

Niezależnie więc od przyszłych losów energetyki termojądrowej, dotychczas zdobyte przez światowy przemysł doświadczenia i opanowane technologie, w większości będą mogły być wykorzystane przy budowie ITER, a następnie DEMO. Ponadto przedsiębiorstwa zaangażowane w prace na rzecz przyszłej energetyki termojądrowej, znajdują rynek w pokrewnych technologicznie dziedzinach, w szczególności w energetyce jądrowej, technice

kosmicznej, inżynierii bezpieczeństwa i wielu innych. Uświadomienie tego faktu jest kluczowe dla włączenia krajowych podmiotów gospodarczych w badania związane z potrzebami energetyki termojądrowej.

### 1.3 Charakterystyka technologiczna realizowanych projektów związanych z energetyką termojądrową

Wszystkie ostatnio budowane i eksploatowane reaktory termojądrowe dużych mocy (rzędu 500 MW) wykorzystują zaawansowane technologie, takie jak np. nadprzewodnikowe cewki magnetyczne kriostatowane w temperaturze ciekłego (np. LHD, KSTAR, W7-X, ITER) lub nadciekłego (TORE SUPRA) helu. Kriogenika helowa jest również stosowana w układach nagrzewania plazmy wiązkami cząstek neutralnych NBI, gdzie wykorzystuje się kriogeniczne pompy próżniowe bardzo dużych wydajności. Budowa reaktora wymaga między innymi opanowania techniki próżniowej w dużej skali, skomplikowanych systemów sterowania i automatyki, rozwoju inżynierii materiałowej pozwalającej na wytworzenie stopów i kompozytów odpornych na bardzo duże naprężenia, wysoką temperaturę i napromieniowanie oraz zdolnych do transportu dużych ilości ciepła, rozwoju systemów bezpieczeństwa przed skażeniem radioaktywnym trytem, budowy obiektów odpornych na wstrząsy sejsmiczne i wielu innych technologii. Ponadto w budżetach reaktorów wysokie pozycje zajmują roboty budowlane, instalacyjne oraz związane z prowadzeniem dużej inwestycji. O atrakcyjności reaktora termojądrowego dla przedsiębiorstw przemysłowych w zasadzie wszystkich branż świadczy planowany rozkład ponad 5,5 miliardowego (w euro) budżetu budowy tokamaka ITER pomiędzy poszczególne technologie – rys 3.



Rysunek 3 Przybliżony rozkład budżetu ITER

źródło [www.iter.org](http://www.iter.org)

Największą pozycję w budżecie równą 14%, (co stanowi około 770 mln euro) tworzą budynki i lokalne zaplecze infrastrukturalne. Również 14 % budżetu zostanie wydanych na cewki toroidalne i poloidalne wraz z konieczną infrastrukturą. Nadprzewodniki Nb<sub>3</sub>Sn oraz NbTi pochłoną 13% budżetu i będą kosztować około 715 mln euro, instalacja próżniowa to 9% budżetu (495 mln euro), natomiast urządzenia i instalacje kriogeniczne to 7 % budżetu (385 mln euro). Urządzenia automatyki i diagnostyki oszacowane są łącznie na 8 % budżetu

(440 mln euro), zasilacze i systemy nagrzewania plazmy – po 7% budżetu (łącznie 770 mln euro). Płaszcz reaktora będzie kosztował 330 mln euro (6% budżetu), instalacje wody chłodzącej – 275 mln euro (5%). Pozostałe 10% budżetu to m.in. diwertor służący do odprowadzania helu z komory reaktora (3%), systemy montażu (6%) oraz instalacja związana z pozyskiwaniem trytu (1%). Udział w rozwoju nowych technologii na rzecz ITER oraz w dostawach technologii, produktów i usług tradycyjnych mogą mieć przedsiębiorstwa z branży budowlanej, energetycznej, metalowej, zaawansowanej inżynierii materiałowej, IT, automatyki i wielu innych. Stąd w otoczeniu miejsca budowy reaktora powstają parki technologiczne i oddziały firm z bardzo wielu branż. Firmy te kooperując ze sobą mogą dostarczać nawet najbardziej zaawansowane technologicznie i innowacyjne produkty. Ponadto stają się cennymi partnerami ośrodków i instytucji naukowych w realizacji projektów badawczych zamawianych przez agencje krajowe finansujące ITER.

Jest rzeczą charakterystyczną, że pomimo bardzo dużych różnic w definiowanych celach badawczych istnieje duże podobieństwo technologiczne reaktorów termojądrowych, akceleratorów wykorzystywanych w fizyce wysokich energii, laserów na swobodnych elektronach i innych urządzeń należących do dużej infrastruktury badawczej. Przykładem jest system kriostatowania tokamaka Tore Supra wykorzystujący hel nadciężki znajdujący się pod dwiema postaciami – w stanie nasyconym oraz jednofazowym sprężonym do ciśnienia 1 bar. System ten został opracowany dla tokamaka Tore Supra, aby następnie zostać dostosowanym do wymagań akceleratora LHC w CERN, maszyny o długości ponad 27 km, w zasadzie nie mającej nic wspólnego z fizyką plazmy, za wyjątkiem stosowanych w obu dziedzinach technologii, w szczególności kriogeniki i nadprzewodnictwa. Z kolei doświadczenia zebrane przez CERN w trakcie budowy akceleratora LHC związane z projektowaniem, budową i eksploatacją magnesów nadprzewodnikowych są obecnie szeroko wykorzystywane w ITER IO, a obie organizacje podpisały w marcu 2009 roku umowę o współpracy w dziedzinie rozwoju i transferu wybranych technologii. W ten sposób powstały rzeczywiste możliwości dla przedsiębiorstw pracujących na rzecz CERN spożytkowania zdobytych w trakcie budowy LHC doświadczeń i kompetencji przy budowie i uruchamianiu tokamaka ITER.

Podkreślić należy, że finansowanie wielomiliardowego budżetu ITER, jak również innych projektów naukowych wymagających budowy dużej infrastruktury badawczej (np. LHC, XFEL, FAIR, ESS) ze środków publicznych, zyskuje aprobatę społeczną również dlatego, że w ich budowie biorą udział przedsiębiorstwa, które w ten sposób uzyskują dostęp do bardzo wymagających, ale również pozwalających na rozwój nowych technologii, rynków. Przedsiębiorstwa te uzyskują zamówienia w ramach których wdrażają nowe technologie, opracowują nowe materiały, wprowadzają systemy jakości. Badania przeprowadzone w CERN pokazały, że przedsiębiorstwa wykonujące zamówienia na rzecz Laboratorium pozyskiwały dzięki zgromadzonym doświadczeniom i referencjom kontrakty od innych zamawiających o wartości statystycznie trzykrotnie przekraczającej wartość kontraktów z CERN.

#### **1.4 Potencjalny rynek dla polskich przedsiębiorstw tworzony przez projekty badawcze energetyki termojądrowej i podobne technologicznie duże inwestycje w infrastrukturę badawczą w Europie**

Tokamak ITER jest największym (nie uwzględniając Międzynarodowej Stacji Kosmicznej) projektem naukowym realizowanym obecnie na świecie. Po trwających od 1988 roku wstępnych badaniach, przygotowaniach technologicznych oraz dyskusjach nad rozwiązaniami organizacyjnymi projektu, w roku 2006 powołano międzynarodową organizację ITER

International Organization (IO) z siedzibą w Cadarache koło Marsylii. Akt powołania ITER IO został podpisany w Pałacu Elizejskim w dniu 21 listopada 2006 roku – rys. 4. Członkami ITER IO są: Unia Europejska ze Szwajcarią, Japonia, USA, Rosja, Chiny, Indie, Korea Południowa.

Podstawowym zadaniem ITER IO jest budowa i następnie eksploatacja reaktora termojądrowego ITER, w celu zebrania doświadczeń i rozwoju technologii pozwalających na budowę reaktora DEMO i późniejszą komercjalizację energetyki termojądrowej.



**Rysunek 4 Ceremonia podpisania konwencji ITER, Pałac Elizejski, 21 listopada 2006**

Budżet ITER wynosi 11 mld. euro, z czego 5,5 mld przeznaczonych jest na budowę, a drugie 5,5 mld. euro na eksploatację urządzenia. Udział finansowy Unii Europejskiej w budowie tokamaka wynosi 5/11, natomiast pozostałe kraje członkowskie wnoszą po 1/11 budżetu. W konsekwencji takiego podziału budżetu w przemyśle europejskim ulokowane zostaną zamówienia obejmujące 5/11 (około 45,5%) kosztów budowy ITER. Pozostałe kraje członkowskie dostarczą elementy tokamaka o wartości 1/11 budżetu (około 9,1%). Część budżetu inwestycji, która zostanie wydana w Europie wynosi więc ok. 5 mld. euro. Projekt jest przewidywany na 30 lat, w tym 10 lat budowy i 20 lat eksploatacji reaktora. Koszty eksploatacji będą dzielone w bardziej zrównoważony sposób, udział Europy w tych kosztach przewidywany jest na około 34%.

Polska poprzez członkostwo w Unii Europejskiej jest pośrednim członkiem ITER IO. Wszyscy członkowie ITER IO mają zagwarantowany statutowo dostęp do rynku tworzonego przez ten projekt. Podstawową zasadą jest podział reaktora oraz jego infrastruktury na elementy, które będą dostarczane z poszczególnych państw członkowskich, przy czym około 10% budżetu projektu będzie alokowane bezpośrednio w ITER IO w Cadarache i zostanie wydane na prace związane z przygotowaniem infrastrukturalnym lokalizacji tokamaka, specyfikacją, testami i integracją dostarczonych elementów. Procedury ubiegania się o kontrakty i granty związane z pracami rozwojowymi i budową tokamaka ITER zostaną szczegółowo omówione w rozdziale 1.5.

Uzgodniony podział dostaw elementów reaktora i infrastruktury ITER między państwa członkowskie ITER IO (w tym Unię Europejską) jest następujący (rysunek 5):

**Chiny (ok. 9,1% budżetu):** nadprzewodniki do budowy magnesów, cewki korekcyjne, zasilacze i podpory, płaszcze reaktora, zbiorniki transportowe zdalnie sterowane, systemy iniekcji gazu, elektronika i systemy elektryczne, niektóre elementy diagnostyki.



**Indie (ok. 9,1% budżetu):** ferromagnetyczne wkładki zbiornika, kriostat tokamaka, rurociągi kriogeniczne i systemy dystrybucji kriogenów, systemy odprowadzania ciepła, cyklotron jonów, zasilacze cyklotronu, diagnostyka neutralnej wiązki, niektóre elementy pozostałej diagnostyki.

**Japonia (ok. 9,1% budżetu):** połowa cewek toroidalnych, większa część struktury cewki toroidalnej, nadprzewodniki do wytworzenia cewek toroidalnych i centralnego solenoidu, część przedniej ściany reaktora, elementy diwertora, zdalny system montażu płaszcz, systemy ochrony atmosfery przed trytem, równikowe cyklotronowe wyrzutnie elektronów z zasilaczami, elementy neutralnej wiązki, elementy diagnostyki.

**Korea (ok. 9,1% budżetu):** część włókien nadprzewodnika, część głównego naczynia wraz z wlotami, płaszcze, narzędzia do montażu reaktora, osłona cieplna, obróbka i magazynowanie trytu, część zasilaczy, elementy diagnostyki.

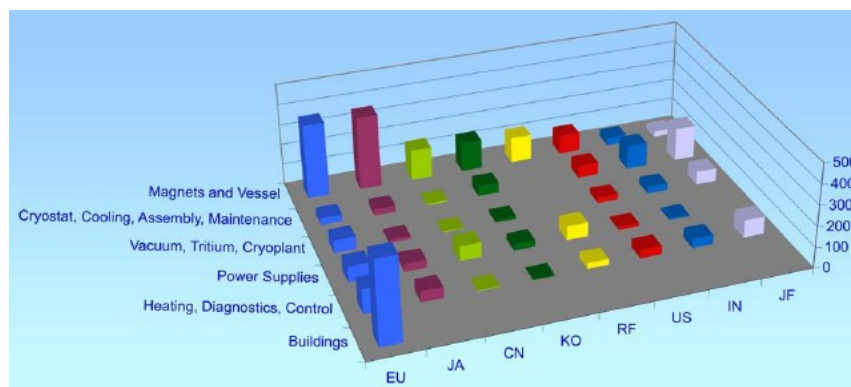
**Federacja Rosyjska (ok. 9,1% budżetu):** cewki PF nr 1 i 6 oraz część nadprzewodnika do wytworzenia cewek PF i TF, elementy naczynia próżniowego, płaszcze i połączenia, kopuła diwertora i testy, przełączniki elektryczne, rury klistronów, diagnostyka plazmy.

**USA (ok. 9,1% budżetu):** uzwojenia cewek centralnego solenoidu CS, część nadprzewodnika cewki toroidalnej TF, płaszcze, ograniczenia wlotów, część systemu chłodzenia, część systemu próżniowego i zasilania paliwem, systemy wylotowe tokamaka, część zasilaczy elektrycznych, linie przesyłowe częstotliwości radiowej, elementy diagnostyki plazmy.

**Unia Europejska (ok. 45,4%):** nie wymienione części reaktora, udział w większości wymienionych powyżej elementów oraz budynki.

**Dostarczane wspólnie urządzenia w ramach budżetów członków ITER IO:** czujniki zasilaczy magnesów, diagnostyka pierwszej ściany, operacje montażu i oprzyrządowanie, wyposażenie obsługi gorącej komory, in-situ montaż systemów; trytu, próżniowego, grzewczego, chłodzącego oraz kriogenicznego, systemy regulacji i akwizycji danych, diagnostyka plazmy.

Jest rzeczą charakterystyczną, że za wyjątkiem Rosji, wszystkie państwa członkowskie ITER IO uczestniczą w rozwoju wszystkich podstawowych technologii reaktora i jego infrastruktury (za wyjątkiem budynków, które zostaną wykonane wyłącznie przez przedsiębiorstwa europejskie, najprawdopodobniej francuskie).



Rysunek 5 Orientacyjny podział dostaw elementów ITER między członków ITER IO

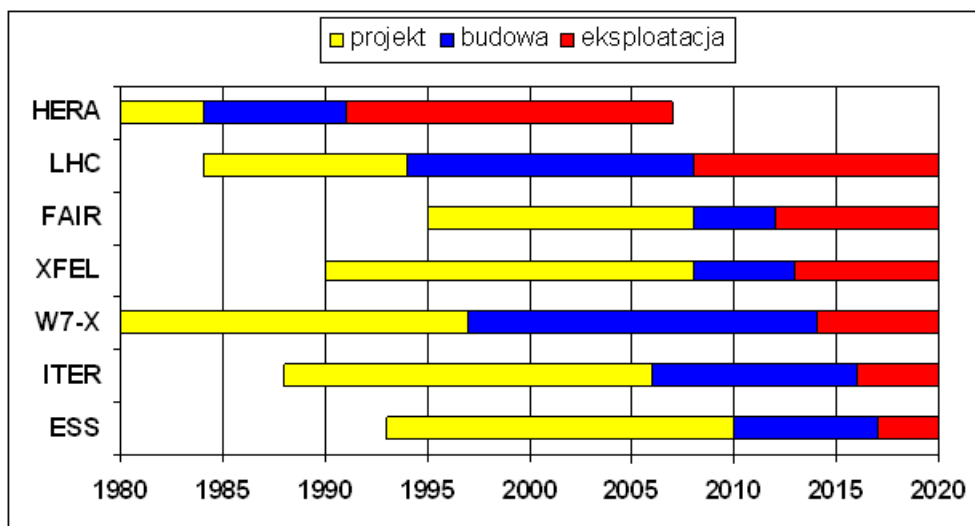
Przyjmując szacunkowo, na podstawie składek płaconych do budżetów innych organizacji międzynarodowych, że pośrednio udział Polski w finansowaniu budżetu ITER wynosi około 2,5%, można w przybliżeniu określić, że z ponad 5 mld euro, które pochłonie budowa reaktora, w Polsce powinno zostać wydanych około 130 mln euro. Zakładając, że budowa reaktora będzie trwała około 10 lat, to rocznie polskie dostawy do ITER IO w Cadarache finansowane przez F4E w Barcelonie powinny wynosić około 13 mln euro. Istotne jest, że dostawy o wartości podobnego rzędu i składające się z produktów wymagających zbliżonych technologii, mogą być również realizowane do innych europejskich laboratoriów, w szczególności CERN, DESY i GSI Darmstadt. W tabeli 1. podano listę dużych projektów infrastrukturalnych w Europie, natomiast rysunek 6. przedstawia uproszczone harmonogramy ich realizacji.

Wymienione w tabeli 1. projekty tworzą rynek o wartości około 18 mld euro. Zakładając polski udział w tym rynku na poziomie 2,5% , oznacza to około 450 mln euro, które powinny zostać wydane w polskiej gospodarce. Dostarczone do wymienionych projektów produkty i usługi mogą być różnorodne i wynikać zarówno z technologii koniecznych do zbudowania danego urządzenia (por. rys. 3 wskazujący na wartościowy udział poszczególnych technologii w reaktorze), jak i podziału projektu pomiędzy partnerów projektu (np. członków organizacji międzynarodowej ITER IO, czy wspólników firmy XFEL GmbH). Z rysunku 6 wynika również, że fazy projektowania, budowy i eksploatacji dużych europejskich urządzeń badawczych są względem siebie przesunięte, jednocześnie dla żadnej z tych faz nie ma okresów martwych. W ten sposób rynek tworzony przez te projekty jest rynkiem ciągłym, a nabyte przy projektowaniu i budowie jednej z instalacji kompetencje mogą być następnie wykorzystywane i rozwijane w trakcie realizacji kolejnej inwestycji. Szczególnego znaczenia nabierają kompetencje, które przedsiębiorstwa europejskie (w tym polskie) nabyły w trakcie budowy oraz uruchamiania akceleratora LHC w CERN - inwestycji o budżecie najbardziej zbliżonym do budżetu ITER, realizowanej również przez organizację międzynarodową i wykorzystującej w dużej części analogiczne technologie.

**Tabela 1 Budowane i planowane duże urządzenia badawcze w Europie**

Urządzenie, lokalizacja	Typ urządzenia	Całkowity budżet , €	Zaawansowanie projektu
LHC z detektorami, CERN, Genewa	zderzacz pp	ok. 4 mld	Po wstępnym uruchomieniu z energią 0,45 TeV, awarii 19.09.08 i przygotowaniu do powtórnego uruchomienia na przełomie lat 09/10
FAIR, GSI, Darmstadt	akceleratory jonów	ok. 1,2 mld	faza studialna, przygotowywanie specyfikacji podzespołów
XFEL, DESY, Hamburg	laser na swobodnych elektronach	ok. 1,1 mld	faza kończenia specyfikacji, pierwsze dostawy podzespołów
W7-X, Max Planck, Greifswald	reaktor termojądrowy, stellarator	ok. 300 mln	zaawansowana faza budowy
ITER, ITER IO, Cadarache	reaktor termojądrowy, tokamak	ok. 11 mld	początek robót ziemnych, etap specyfikacji i zakupów podzespołów
ESS	neutronowe źródło spalacyjne	ok. 300 mln	faza studialna
CLIC	akcelerator liniowy	brak danych	w trakcie opracowania technologii
ILC	akcelerator liniowy	brak danych	wstępna faza studialna
<b>Razem</b>		<b>17,9 mld €</b>	





Rysunek 6 Harmonogramy realizacji dużych projektów badawczych w Europie

## 1.5 Procedury i warunki włączenia się polskich przedsiębiorstw w projekt ITER

Polska będąc członkiem Unii Europejskiej może partycypować w dostawach europejskich, obejmujących niespełna połowę budżetu reaktora, i najbardziej zdywersyfikowanych pod względem technologicznym. Ponadto podmioty polskie mogą współpracować bezpośrednio z ITER IO z siedzibą w Cadarache, w ramach prac związanych z integracją dostarczanych elementów i podsystemów akceleratora. Przykładem jest umowa zawarta przez Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej z ITER IO dotycząca m.in. nadzoru nad projektowaniem i produkcją linii kriogenicznych, które zostaną dostarczone przez Indie oraz wykonania analizy ryzyka systemu kriogenicznego reaktora.

Za wyjątkiem zamówień wychodzących bezpośrednio z ITER IO w Cadarache, wszystkie dostawy elementów reaktora oraz budowa niezbędnej infrastruktury będą organizowane przez krajowe agencje reprezentujące w ITER IO poszczególnych udziałowców.

Za realizację dostaw zadeklarowanych przez strony projektu oraz kontakty z ITER IO odpowiadają powołane w tym celu agencje krajowe (**DA – Domestic Agencies**). Z ITER IO współpracuje więc 7 krajowych agencji reprezentujących strony zaangażowane w realizację projektu. Agencje te są odpowiedzialne za wybór dostawców oraz koordynację dostaw.

Krajową Agencją reprezentującą państwa UE i Szwajcarię jest **Fusion For Energy (F4E)**. Agencja F4E została powołana w kwietniu 2007r., z siedzibą w Barcelonie i oddziałami w Garching oraz Cadarache. Agencja ma działać przez okres 35 lat. Do roku 2010, F4E planuje zatrudnić ok. 300 pracowników. Relacje pomiędzy F4E a ITER International Organization reguluje Plan Zadań (ITER Task Agreement) oraz Plan Zakupów (Procurement Arrangement). F4E jest upoważniona do podejmowania decyzji w imieniu krajów europejskich oraz jest odpowiedzialna za koordynację budowy i późniejszej eksploatacji ITER w części przypadającej na Unię Europejską i Szwajcarię.

Chociaż F4E nie prowadzi oficjalnej polityki zrównoważonych zakupów (tzn. takiej aby zakupy czynione w poszczególnych państwach europejskich były proporcjonalne do ich udziału w nakładach na budowę reaktora) to nieoficjalnie wyrażana jest wola, aby stan taki został osiągnięty. Służy temu mianowanie łączników przemysłowych (Industrial Liaison Officers) w państwach Unii Europejskiej i Szwajcarii, których zadaniem jest doprowadzenie do alokacji pożądanej części zamówień w ich krajach.

### 1.5.1 Wkład in-kind

Partnerzy będą dostarczać komponenty i usługi dla ITER głównie w formie wkładu rzeczowego (*in-kind*). W tej postaci dostarczonych zostanie 90% komponentów i usług. Realizacja dostaw „*in-kind*” oznacza, że każda ze stron uczestniczących w projekcie ITER wyłoni firmy, które wykonają podzespoły do reaktora oraz dostarczą elementy pozostałej infrastruktury projektu. W przypadku części przypadającej na Europę podwykonawcy zostaną wyłonieni spośród firm reprezentujących poszczególne kraje. Zaletą wynikającą z przyjęcia rozwiązania „*in-kind*” nad wkładem pieniężnym jest fakt, iż wkład „*in-kind*” jest mniej wrażliwy na wahania wartości waluty danego kraju. Podstawową trudnością tego rozwiązania jest konieczność centralnej koordynacji dostaw od siedmiu członków ITER IO, bardzo różniących się kulturą techniczną, procedurami zakupów i stosowanymi normami (np. Indie i Szwajcaria). Choć wkłady „*in-kind*” były stosowane w innych projektach (np. w trakcie budowy LHC w CERN), to jednak nigdzie nie przekroczyły kilkunastu procent budżetu inwestycji. W ITER zasada przyjęcia wkładów „*in-kind*” obejmuje 90% dostaw i jest zastosowana na bezprecedensową skalę. Stąd pojawiają się liczne wątpliwości, czy uda się dokonać integracji wszystkich dostarczonych elementów, pochodzących np. z Indii oraz Europy. Europejski wkład „*in-kind*” będzie zamawiała europejska Agencja F4E, ale specyfikacje są i będą przygotowywane bezpośrednio w ITER IO, często przy współpracy inżynierów z krajów pochodzenia planowanych dostaw.

Najważniejszym zadaniem Agencji F4E jest wytypowanie firm realizujących dostawy na potrzeby ITER. Do pozostałych zadań należy w szczególności utrzymywanie kontaktów z łącznikami przemysłowymi z poszczególnych krajów Europy. F4E odpowiada za kontakty z Krajowymi Agencjami reprezentującymi pozostałych uczestników projektu (tj. Chiny, Indie, Japonię, Koreę, Rosję i USA). F4E zajmuje się również koordynacją oraz nadzorem nad terminowością i jakością realizowanych przez Europę dostaw. Należy pamiętać, że realizacja dostaw na rzecz ITER wymaga zastosowania i połączenia różnorodnych rozwiązań technologicznych, a także współpracy zespołów z różnych krajów. Realizacja poszczególnych komponentów przez różne firmy wymaga korzystania ze zunifikowanych rozwiązań. Poniżej, celem zobrazowania zagadnienia unifikacji stosowanych narzędzi, przedstawiono wymagania dotyczące oprogramowania, jakie F4E sformułowała w stosunku do firm realizujących dostawy w obszarze *Engineering Analysis and Codes* (tabela 2).

Część prac będzie realizowana przez europejskie laboratoria i instytuty naukowe w formie grantów (dotyczy to zwłaszcza prac projektowych, testów oraz przygotowywania specyfikacji technicznej zamówień), jednakże zasadnicza większość dostaw (dostawa gotowych urządzeń, komponentów oraz przygotowanie projektów wykonawczych w oparciu o specyfikacje techniczne) będzie realizowana w formie kontraktów przemysłowych. Jak już wspomniano 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 magnesów. Większość kontraktów zawieranych przez F4E z firmami europejskimi będzie lokowanych w następujących obszarach tematycznych (por. rysunek 5):

- Budownictwo i infrastruktura
- Automatyka i robotyka
- Urządzenia i systemy kontrolne
- Systemy próżniowe i kriogeniczne
- Reaktorowa komora próżniowa
- Magnesy nadprzewodzące

- Osłony i diwertor reaktora fuzyjnego
- Technologie paliwa fuzyjnego
- Inżynieria materiałowa

Kraje Europejskie będą uczestniczyć praktycznie we wszystkich obszarach realizacji ITER.

**Tabela 2 Wymagania dotyczące oprogramowania stosowanego przez europejskich dostawców Agencji F4E**

WYMAGANIA	REKOMENDOWANE OPROGRAMOWANIE	OPROGRAMOWANIE ALTERNATYWNE
System CAD	CATIA v5 r19 SP 3 IGEXAO	Autocad (w przypadku budynków)
Oprogramowanie do analiz	ANSYS (Civil FEM, LS-DYNA, FLUENT)	ABAQUS (akceptowany w wyjątkowych przypadkach, użycie wymaga zgody F4E)
System umożliwiający zarządzanie danymi	EnoviaVPM (IO), EnoviaSmarteam(f4e,associations, suppliers)	-
Oprogramowanie do zarządzania projektami	Primavera	Microsoft Project (akceptowany w wyjątkowych przypadkach, użycie wymaga zgody F4E)

## 1.5.2 Procedury wylaniania dostawców

Część budżetu ITER przypadająca na Europę zostanie rozdysponowana poprzez:

1. **Granty** przyznawane w drodze zapytań ofertowych.
2. **Kontrakty handlowe** realizowane w drodze przetargów.

Kontrakty handlowe będą przyznawane w oparciu o obowiązujące w krajach Unii Europejskiej przepisy o zamówieniach publicznych, z zastosowaniem następujących trybów organizacji przetargów:

1. Przetarg Nieograniczony (*Open Procedure*) - procedura, w ramach której wszystkie osoby fizyczne lub prawne bądź grupy tychże, mogą złożyć ofertę przetargową w odpowiedzi na ogłoszenie o przetargu.
2. Przetarg Ograniczony (*Restricted procedure*) - procedura, w ramach której, po ukazaniu się ogłoszenia o przetargu, oferty składać mogą jedynie ci oferenci, którzy zostali zaproszeni przez Jednostkę Kontraktującą.
3. Dialog Konkurencyjny – (*Competitive dialogue*) - tryb postępowania dwuetapowy. W pierwszym etapie wykonawcy w odpowiedzi na ogłoszenie o zamówieniu składają wnioski o dopuszczenie do udziału w postępowaniu. Z zakwalifikowanymi wykonawcami zamawiający prowadzi dialog, a po jego zakończeniu składają oni oferty. Dokładne opisanie przedmiotu zamówienia przez zamawiającego następuje dopiero po ukończeniu dialogu z wykonawcami.

4. Procedura Negocjacyjna (*Negotiated procedure*) - procedura nie wymagająca publicznego ogłoszenia o przetargu, w ramach której Jednostka Kontraktująca konsultuje się z jednym lub kilkoma oferentami i negocjuje z nimi warunki umowy

Z uwagi na unikatowość i zaawansowanie technologiczne komponentów, które zostaną użyte w ITER, **F4E planuje udzielanie zamówień głównie w trybie Przetargu Ograniczonego oraz Dialogu Konkurencyjnego**. Każdorazowo kryterium decydującym o wyborze wykonawcy będzie **najniższa cena**.

### **Kwalifikacja wstępna potencjalnych dostawców.**

F4E rozwija portal internetowy, ułatwiający kontakty z przemysłem. Portal będzie zawierał bazę danych potencjalnych dostawców oraz umożliwiał ocenę potencjalnego dostawcy i jego wstępną kwalifikację.

Przedsiębiorca po wypełnieniu wszystkich wymaganych pól w bazie danych, dotyczących oferty oraz doświadczenia otrzyma informację, czy został wstępnie zakwalifikowany jako wiarygodny partner, mogący realizować dostawy na potrzeby ITER. Warto zauważyć, że dostawca, którego doświadczenie nie pozwala na wstępną kwalifikację, nie jest automatycznie wykluczony z udziału w procedurze zakupowej i ma prawo do uczestniczenia w przetargu. Również uzyskanie wstępnej kwalifikacji nie oznacza, że firma otrzyma zamówienie. Lista firm wstępnie zakwalifikowanych do udziału w projekcie zostanie udostępniona sześciu pozostałym Krajowym Agencjom.

### **Kontrakty handlowe obejmują trzy typy zamówień:**

- Kontrakt inżynierski: zamawiający jest odpowiedzialny za funkcjonowanie zamówionego urządzenia, natomiast wykonawca odpowiada za zgodność dostarczonego urządzenia z dokumentacją techniczną.
- Kontrakt „pod klucz”: wykonawca odpowiedzialny jest za prawidłowe funkcjonowanie danego elementu, zaś w specyfikacji zamówienia w sposób szczegółowy opisany jest zamawiany komponent oraz jego funkcje.
- Kontrakt badawczo-rozwojowy: wykonawca aktywnie uczestniczy w fazie badawczo-rozwojowej elementu będącego przedmiotem kontraktu.

### **Procedury kontraktowania.**

Agencja F4E jest zobowiązana do przestrzegania reguł równego traktowania wszystkich ofert z krajów UE, pochodzących od podmiotów starających się o realizację kontraktu. Aby uniknąć wpływu kosztów transportu na wartość oferty, porównaniu podlegają oferty „*Ex-Work*”, z zastosowaniem reguły: „*best value for money*”. Stosowane procedury wyłaniania dostawców zależą od oszacowanej wartości kontraktu i są następujące:

- **Dla kontraktów o spodziewanej wartości przekraczającej 250 tysięcy Euro – procedura dwustopniowa:**

#### **Stopień pierwszy:**

1. F4E ogłasza krótki opis przewidywanych do realizacji zamówień.
2. F4E ogłasza szczegółowy opis zamówienia, przewidywany budżet, oczekiwane kompetencje oferenta (np. referencje, sytuacja finansowa i inne) oraz termin składania ofert.
3. Zainteresowane firmy zgłaszają akcesu do przetargu.
4. F4E przeprowadza ocenę formalną zgłoszeń.

#### **Stopień drugi:**

5. F4E ogłasza krótką listę (*short list*) firm spełniających warunki formalne, do których zostanie przesłane zaproszenie do przystąpienia do przetargu.
6. Przetarg właściwy, z podaniem wszystkich kryteriów oceny, w tym w części finansowej i merytorycznej.
7. Rozstrzygnięcie przetargu i podpisanie kontraktu.

- **Dla kontraktów o spodziewanej wartości nie przekraczającej 250 tysięcy Euro stosowana jest procedura zakupów „z wolnej ręki”.**

Firmy przystępujące do przetargu mogą tworzyć konsorcja. Konsorcja mogą być również zawiązywane po ogłoszeniu wyników postępowania.

### **1.5.3 Aktualne i przyszłe przetargi**

Agencja F4E przewidziała dokonanie w roku 2009 zakupów na kwotę ok. 290 mln. euro. Od początku roku 2009:

- rozpoczęto 102 procedury zakupowe, w tym 40 grantów,
- zawarto 48 kontraktów, w tym 10 grantów na łączną kwotę 78,6 mln. euro.

Do końca roku 2009 planowane jest rozpoczęcie kolejnych 40 procedur zakupowych na kwotę 38 mln. euro, natomiast w listopadzie 2009 r. zostanie opublikowany Plan Zadań na rok 2010 wraz z grafikami zakupów. Jak widać z porównania planów wydatków w roku 2009 (290 mln euro) oraz zrealizowanych i przewidzianych do ogłoszenia przetargów (116,6 mln euro), w realizacji projektu występują opóźnienia. Niemniej jest to właściwie ostatni moment, żeby przedsiębiorstwa polskie włączyły się w budowę ITER bez wyraźnej luki technologicznej oddzielającej je od przedsiębiorstw z innych państw i wynikającej z doświadczeń zdobytych przez te ostatnie w trakcie realizacji kontraktów na rzecz ITER.

Lista aktualnie otwartych przetargów dostępna jest na stronie internetowej:

<http://fusionforenergy.europa.eu/Procurement.htm>

### 1.5.4 Baza danych dostawców komponentów i usług

Agencja F4E uruchomiła internetową bazę danych EIDI (*EFDA Industrial Data Base for ITER*) potencjalnych dostawców towarów i usług (<http://eidi.f4e.europa.eu/>). Jest to baza danych dedykowana firmom zainteresowanym udziałem w projekcie ITER. Rejestracja w bazie umożliwi przedstawienie potencjału firmy. W bazie EIDI firmy pogrupowane są w następujących kategoriach:

- Budownictwo lądowe i wodne
- Inżynieria elektryczna
- Elektronika
- Przetwarzanie danych
- Inżynieria mechaniczna i techniki wytwarzania
- Techniki próżniowe i kriogenika
- Techniki postępowania z trytem
- Zdalne sterowanie, automatyka i robotyka
- Diagnostyka i detektory
- Usługi wsparcia technicznego

### 1.5.5 Udział małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) w projekcie ITER

Agencja F4E pracuje nad wprowadzeniem rozwiązania umożliwiającego włączenie małych i średnich przedsiębiorstw w mechanizm aplikowania o udzielenie zamówienia poprzez tworzenie konsorcjów z dużymi firmami i wspólną realizację dostaw. Planowane jest stworzenie bazy danych MŚP, dostępnej dla głównych wykonawców. Przy kwalifikacji małych i średnich przedsiębiorstw istotne mają być udzielane im rekomendacje przez krajowych łączników przemysłowych (*Industrial Liaison Officer*).

Warto zwrócić uwagę, że duże firmy, operujące na rynku termoelektryki w celu optymalizacji kosztów podejmują również próby samodzielnego dotarcia do podwykonawców, z którymi mogłyby podpisać długoterminowe umowy. Przykładem jest koncern AREVA, który będzie uczestniczył w budowie ITER w takich obszarach jak m.in. prace konstrukcyjne oraz budowa makiet i prototypów ściany przedniej (*first wall*), osłony (*shield*), diwertora, komory próżniowej. AREVA, będąc największym europejskim przedsiębiorstwem działającym na rynku energetyki jądrowej, uruchomiła na swojej stronie internetowej formularz dla firm zainteresowanych współpracą przy realizacji projektu ITER.

### 1.5.6 Własność intelektualna w projekcie ITER

Prawa własności intelektualnej dotyczące technologii i *know-how* opracowanych w trakcie budowy i eksploatacji ITER są jednym z najbardziej dyskutowanych problemów. W zasadzie wszystkie kraje członkowskie organizacji międzynarodowej ITER IO spodziewają się, że po zakończeniu projektu posiadą całą uzyskaną w trakcie budowy i eksploatacji tokamaka wiedzę i ich przemysły będą zdolne do kontynuacji współpracy przy budowie DEMO, a nawet uzyskają zdolności do samodzielnej konstrukcji i budowy elektrowni termojądrowej (Indie). Ze względu na zdecydowaną przewagę wkładu europejskiego, największe oczekiwania występują po stronie przemysłu europejskiego,



jednocześnie artykułowane są potrzeby silnej ochrony własności intelektualnej przed stronami trzecimi.

Stąd prawa własności intelektualnej do rozwiązań, opracowanych na rzecz projektu ITER, w tym również algorytmów, baz danych oraz wyników opracowanych przez dostawców europejskich w ramach kontraktu na realizację podzespołów ITER, stanowią własność europejskiej agencji F4E.

Jeżeli w ramach kontraktu dostawca chce użyć rozwiązań, baz danych lub rezultatów opracowanych w ramach wcześniejszego projektu (z wyłączeniem rozwiązań powstałych w ramach wcześniejszych projektów z F4E lub EFDA) powinien zgłosić ten fakt przed podpisaniem umowy z F4E. Wszelkie algorytmy, dane wejściowe oraz rezultaty powstałe w ramach umowy z F4E muszą zostać dostarczone przez dostawcę jako część ADP – *Acceptance Data Package* w formie umożliwiającej F4E powtórzenie obliczeń wykonanych przez dostawcę.

## **1.6 Możliwość przeniesienia doświadczeń polskich przedsiębiorstw z CERN do projektów badawczych energetyki termojądrowej**

Jak już wspomniano, pomimo zupełnie różnych celów naukowych i badawczych, obecnie budowane akceleratory cząstek, lasery na swobodnych elektronach i reaktory termojądrowe wykorzystują te same (nadprzewodnictwo, kriogenika, technika próżniowa) lub pokrewne technologie i materiały. Wskazuje to na możliwość wykorzystania doświadczeń nabytych przez przedsiębiorstwa przy jednym z projektów podczas realizacji pozostałych. Szczególnego znaczenia nabierają doświadczenia związane z uczestnictwem polskiego przemysłu i instytucji badawczych w budowie akceleratora LHC i detektorów. CERN jest pierwszym rynkiem utworzonym przez duże laboratorium budujące infrastrukturę badawczą, do którego polskie przedsiębiorstwa uzyskały statutowy dostęp. Procedury zakupów i wyłaniania dostawców stosowane przez CERN stanowią często wzorce lub punkty odniesienia dla innych laboratoriów, w tym ITER. W CERN zastosowano mechanizm dostaw „in-kind” w stosunku do państw, które nie są członkami organizacji, a które zadeklarowały wkład w budowę LHC (np. USA, Rosja, Indie).

### **1.6.1 CERN prekursorem nowego modelu współpracy z przemysłem**

Budowa akceleratora Large Hadron Collider (LHC) wraz z detektorami wytworzyła jakościowo nowy model współpracy dużego laboratorium badawczego z przemysłem. Koszt budowy akceleratora wyniósł około 2,2 miliarda euro, przy uwzględnieniu detektorów koszt całej infrastruktury badawczej może być szacowany na około 4 miliardy euro (por. tabela 1). Rozwiązania techniczne zastosowane w LHC, szczególnie dotyczące kilku tysięcy nadprzewodnikowych magnesów zanurzonych w nadciekłym helu o temperaturze 1,8 K, wymagały rozwoju i zastosowania nowych technologii, którymi przemysł uprzednio nie dysponował. Z kolei skala zastosowań tych technologii w akceleratorze zawierającym między innymi 1200 nadprzewodnikowych dipoli o długości 15 m każdy, kilka tysięcy innych magnesów kriostatowanych nadciekłym helem z 30 kilometrowej linii o bezprecedensowo niskich dopływach ciepła, wymusiła industrializację i rozproszenie produkcji elementów i podzespołów akceleratora, która była prowadzona we wszystkich krajach członkowskich

CERN, a także w USA, Japonii, Rosji, Indiach i innych państwach. Wystąpiło swoiste sprzężenie zwrotne, w którym technologie były opracowywane w CERN przy równoczesnym zaangażowaniu przemysłu w produkcję prototypów, następnie były udostępniane podmiotom gospodarczym, które w oparciu o własne kompetencje dokonywały wdrożenia i useryjnięcia wytwarzania rozwiązań prototypowych, często modyfikując i rozwijając koncepcje pierwotnie zaproponowane przez fizyków i inżynierów z CERN. Pomimo unikatowości rozwiązań technicznych zastosowanych w LHC i wyjątkowości tego urządzenia względem jakiegokolwiek innego obiektu wytworzonego przez człowieka, wielkość akceleratora spowodowała, że stał się on swoistym zaawansowanym technologicznie rynkiem, na tyle głębokim i stabilnym, że wiele przedsiębiorstw zdecydowało się na uruchomienie specjalnych linii produkcyjnych pracujących przez kilka lat jedynie na potrzeby LHC. O głębokości tego rynku świadczy chociażby to, że światowa produkcja nadprzewodnika NbTi musiała zostać podwojona przez okres kilku lat aby zaspokoić potrzeby firm wytwarzających magnesy dla LHC, a całkowita ilość helu jaka zostanie wprowadzona do obiegów kriogenicznych akceleratora przekracza 100 ton i stanowi odpowiednik ponad dwuletniej produkcji tego gazu przez Polskę, jedyne go dostawcę helu w Europie. Atrakcyjność najbardziej zaawansowanego technologicznie w skali światowej rynku, jakim był na przełomie XX i XXI wieku akcelerator LHC, wynikała również z tego, że technologie i *know-how* rozwinięte przez przedsiębiorstwa na potrzeby LHC mogą następnie znaleźć zastosowanie w innych dużych projektach naukowych (w szczególności budowie reaktora termojądrowego ITER) nowoczesnej energetyce (w tym jądrowej), diagnostyce medycznej, inżynierii materiałowej, informatyce i wielu innych dziedzinach.

Do rynku utworzonego przez CERN Polska uzyskała statutowy dostęp z dniem 1 lipca 1991 roku, kiedy stała się pełnoprawnym członkiem Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN z siedzibą w Genewie. Próbné uruchomienie akceleratora LHC przy energii 0,5 TeV nastąpiło w dniu 10 września 2008 roku, przy czym już 19 września 2008 maszyna uległa awarii. Awaria spowodowana wystąpieniem łuku elektrycznego pomiędzy dwoma wadliwie połączonymi kablami nadprzewodnikowymi doprowadziła do prawie całkowitego zniszczenia maszyny na długości około 500 m, konieczna była wymiana kilkudziesięciu magnesów dipolowych i kwadrupolowych oraz przeprojektowanie systemów zabezpieczeń elektrycznych i mechanicznych (w szczególności zaworów i płytek bezpieczeństwa) akceleratora. Z punktu widzenia przemysłu otworzyło to możliwość uczestniczenia w naprawie akceleratora tym przedsiębiorstwom, które pracowały przy montażu maszyny, natomiast kontrakty i zamówienia związane z systemami akwizycji i przetwarzania danych oraz modernizacją peryferyjnej infrastruktury LHC zostały wstrzymane, a zawarte umowy opóźnione w realizacji. Niemniej jednak nadzwyczajna sytuacja jak zaistniała w CERN po awarii LHC pokazała, że te podmioty gospodarcze i naukowe, które uczestniczyły w projektowaniu i budowie akceleratora są później partnerami i kontrahentami Laboratorium zarówno w trakcie normalnej eksploatacji urządzenia, jak i w sytuacjach nadzwyczajnych awarii.

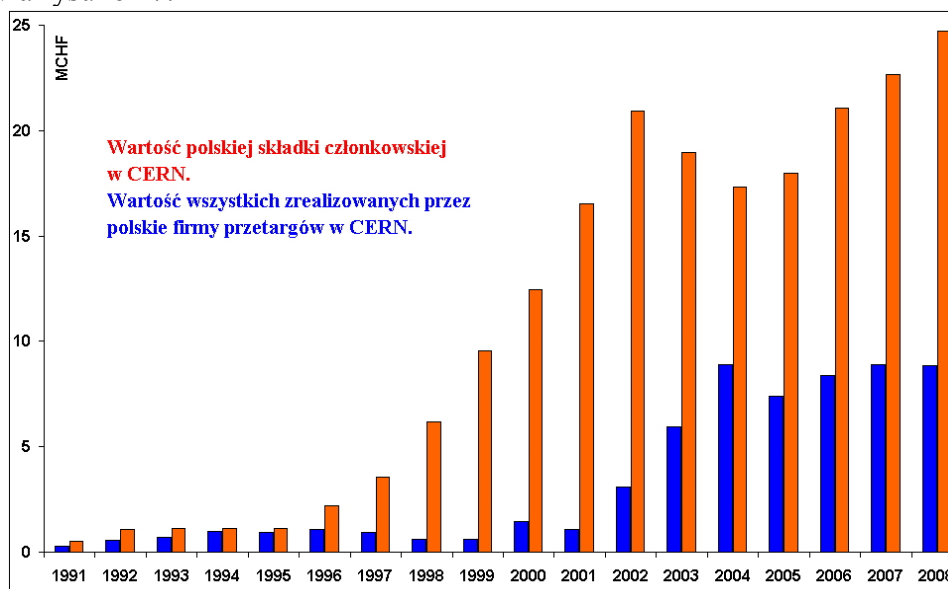
## **1.6.2 Mechanizmy i dynamika włączania się polskich przedsiębiorstw w programy badawcze CERN, w szczególności w budowę LHC**

Profil przedsiębiorstw, które mogą zaangażować się w badania związane z rozwojem energetyki termojądrowej wynika zarówno ze specyfiki tych badań jak i z kompetencji technicznych oraz organizacyjnych dostępnych w Polsce. W przypadku kilkudziesięciu przedsiębiorstw kompetencje te zostały uzyskane dzięki dotychczasowej współpracy przedsiębiorstw z dużymi europejskimi laboratoriami badawczymi, w szczególności

z Europejską Organizacją Badań Jądrowych CERN w Genewie. Przedsiębiorstwa te powinny być jednymi z pierwszych podmiotów, które włączą się w badania nad energetyką termojądrową poprzez bezpośrednie uczestnictwo w budowie dużych reaktorów badawczych, w szczególności ITER.

Pierwsze polskie dostawy nastąpiły bezpośrednio po przystąpieniu do CERN w roku 1991 i były zrealizowane przez firmy mające związek z energetyką, technologiami obróbki stali szlachetnych oraz przemysłem chemicznym. Rafako dostarczyło kriostaty do prototypowego odcinka akceleratora STRING 1, Metalchem Kościan wykonał dennice do zbiorników próżniowych, natomiast Chemar Kielce przygotował stanowisko do testów prototypowych dipolowych magnesów nadprzewodzących, skomplikowane urządzenia mechaniczne zaczął dostarczać Zakład Doświadczalny Aparatury Jądrowej IPJ ze Świerku, podobnie Instytut Fizyki Jądrowej z Krakowa. Jest rzeczą charakterystyczną, że pierwsze polskie firmy, które za pośrednictwem Państwowej Agencji Atomistyki nawiązały kontakty z CERN, przygotowywały się do udziału w budowie elektrowni atomowej w Żarnowcu i dzięki temu miały bardzo dobre przygotowanie technologiczne pod względem potrzeb CERN oraz wdrożone systemy jakości (Chemar Kielce SA był drugą firmą w Polsce, która wdrożyła system ISO 9000). Następnie w roku 1993 wrocławska firma inżynierska Kriosystem Sp. z o.o. wykonała kriostaty do badań wytrzymałościowych nowych stopów, które znalazły zastosowanie w budowie LHC. Wszystkie te przedsiębiorstwa (lub ich prawni następcy, jak w przypadku Chemar SA) są w chwili obecnej przygotowane do współpracy z laboratoriami budującymi tokamaki lub stellaratory.

Łącznie polskie przedsiębiorstwa dostarczyły do CERN w trakcie budowy akceleratora LHC i detektorów w latach 1991 – 2008 produkty i usługi o wartości około 50 mln CHF, co stanowi około 1 procent całkowitej wartości inwestycji. Mając na uwadze, że składka polska stanowi obecnie ponad 2 procent budżetu organizacji udział ten nie jest satysfakcjonujący. Stanowi jednak dowód zdolności polskich przedsiębiorstw do uczestnictwa w rynku tworzonym przez międzynarodowe projekty badawcze. Dynamikę wzrostu polskiej składki do budżetu CERN oraz zaangażowania polskiego przemysłu w Laboratorium przedstawia rysunek 7.

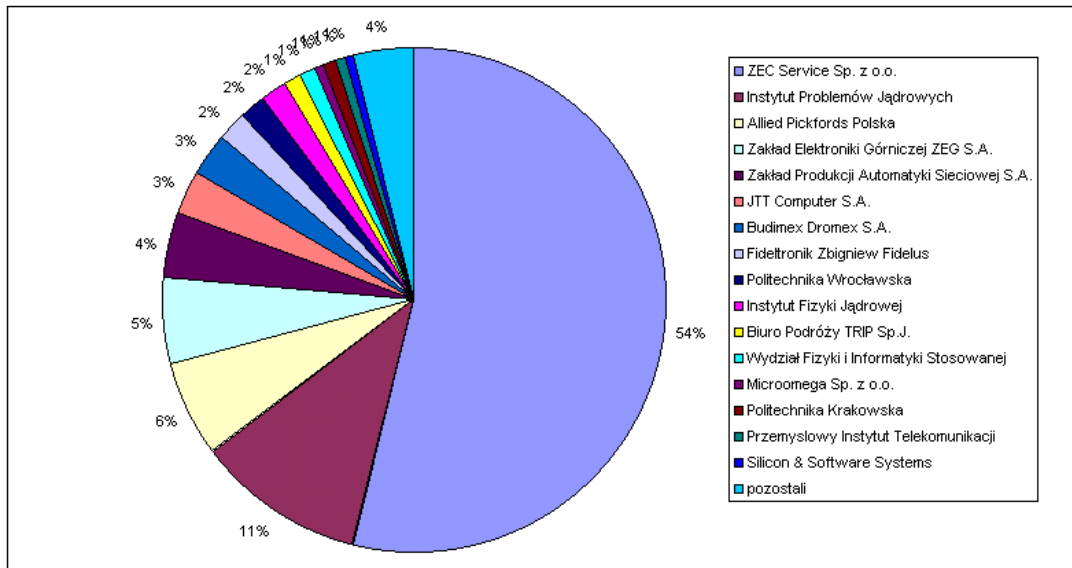


Rysunek 7 Polska składka członkowska oraz wartość zrealizowanych kontraktów na rzecz CERN w latach 1991 – 2008

Interesujący jest również podział dostaw między poszczególne przedsiębiorstwa – rys. 8. Na rynku CERN zaistniało w latach 1998-2007 ponad 50 polskich firm oferujących

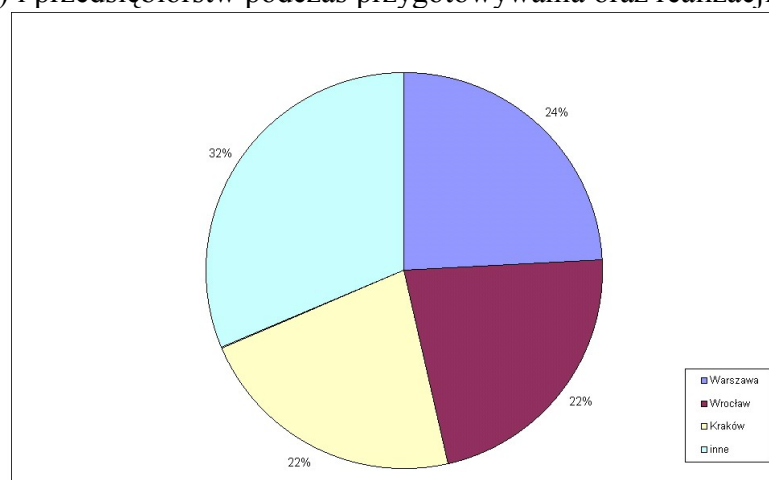
zarówno produkty zaawansowane technologicznie, takie jak nadprzewodzące magnesy, instalacje kriogeniczne, urządzenia próżniowe, jak również usługi instalacyjne, budowlane, modyfikacje tuneli, zarządzanie nieruchomościami wchodzącymi w skład CERN i inne.

Dostawcami towarów i usług do CERN są przedsiębiorstwa z praktycznie wszystkich gałęzi przemysłu, o bardzo zróżnicowanym potencjale naukowym i produkcyjnym. Na rynku 8 wyraźnie widoczna jest dominacja jednego polskiego przedsiębiorstwa – ZEC Service SA. Drugim pod względem obrotów polskim dostawcą do CERN jest Zakład Doświadczalny Aparatury Jądrowej (ZDAJ) Instytutu Problemów Jądrowych. Dostawy produktów i usług do CERN były też realizowane przez takie polskie ośrodki naukowe jak Instytut Fizyki Jądrowej, Politechnika Wroclawska i Politechnika Krakowska.



Rysunek 8 Wykres udziału polskich przedsiębiorstw i ośrodków badawczych w realizacji kontraktów w CERN, w latach 1998-2007

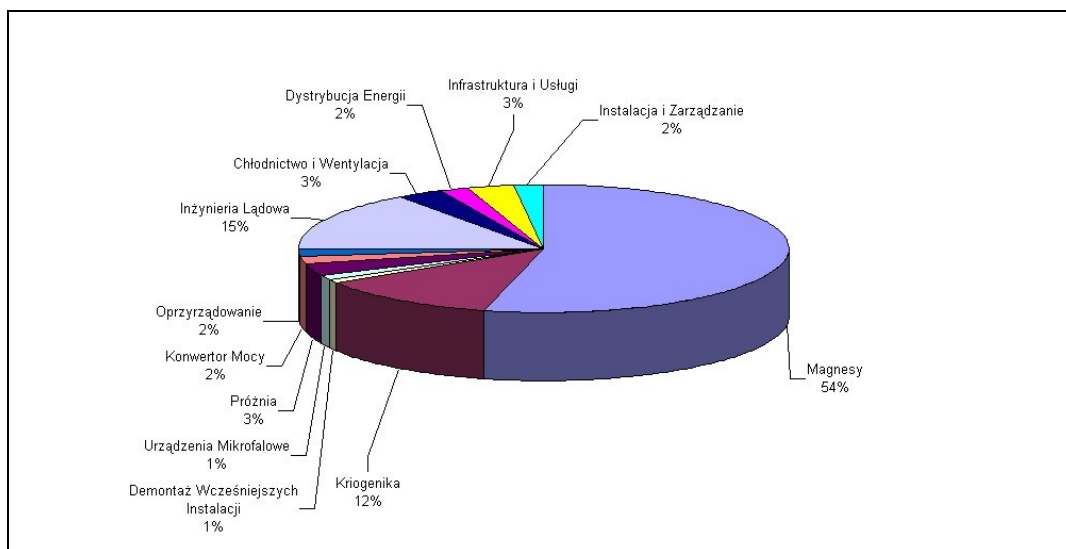
Prawie 70% polskich firm dostarczające towary i usługi do CERN jest zarejestrowana i prowadzi działalność w trzech dużych ośrodkach akademickich: Warszawie, Krakowie i Wrocławiu – rysunek 9. Świadczy to o potencjalnej współpracy instytucji naukowych (instytutów, uczelni) i przedsiębiorstw podczas przygotowywania oraz realizacji kontraktów.



Rysunek 9 Miejsca prowadzenia działalności polskich firm dostarczających w latach 1998-2007 swoje towary i usługi na rynek CERN

Na rysunku 10 pokazano udział poszczególnych technologii w wynoszącym około 4 miliardów euro budżecie LHC. Z porównania rysunków 3 i 10 wynika podobieństwo

struktury budżetów akceleratora i tokamaka. Np. w budżecie ITER budynki z infrastrukturą stanowiły 14%, natomiast w przypadku LHC prace budowlane wyniosły 15% budżetu i stanowiły drugą, po nadprzewodnikowych magnesach, pozycję budżetu. Pomimo różnic w sposobie organizacji budowy badawczych reaktorów energetyki termojądrowej (w szczególności ITER) oraz akceleratorów cząstek (w szczególności LHC), podobieństwa stosowanych technologii oraz skala realizowanych projektów uzasadniają wykorzystanie przez przemysł dotychczasowych doświadczeń. Uzasadnione jest również oczekiwanie, że dynamika zaangażowania polskiego przemysłu w ITER będzie zbliżona do dynamiki wzrostu współpracy z CERN.



Rysunek 10 Podział budżetu LHC

źródło: CERN

## 1.7 Kategorie i przykłady polskich przedsiębiorstw, które mogą z powodzeniem zaangażować się w badania związane z rozwojem energetyki termojądrowej

Polskie przedsiębiorstwa, które mogą zaangażować się w badania na rzecz rozwoju energetyki termojądrowej można podzielić na następujące grupy:

- Koncerny i grupy kapitałowe zainteresowane pozyskaniem technologii istotnych dla rozwoju energetyki w przyszłości oraz dysponujące aktywami, które mogą zostać włączone w duże programy badawcze. Przedsiębiorstwa takie mogą zacząć budować własne działy badawcze, które staną się uczestnikami międzynarodowych programów rozwoju termoenergetyki jądrowej.
- Średnie i duże przedsiębiorstwa z branży mechanicznej, budowlanej, instalatorskiej, remontów i serwisu energetyki, metalowej oraz pokrewnych, przygotowane pod względem technologicznym oraz organizacyjnym do realizacji zleceń o charakterze inwestycyjnym na rzecz laboratoriów, gdzie budowane są reaktory termojądrowe. Przedsiębiorstwa powinny dysponować dobrym zapleczem inżynierskim oraz zdolnością wykonania kontraktu o wartości od kilku do kilkunastu milionów euro (jest bardzo mało prawdopodobne, aby polska firma pozyskała samodzielnie kontrakt

o większej wartości). Szczególnie interesujące mogą być kontrakty związane z budynkiem reaktora wraz z infrastrukturą. Budynek musi spełniać warunki bezpieczeństwa radiologicznego (zapobiec ewentualnemu wyciekowi trytu) oraz ochrony przed wstrząsami sejsmicznymi. Zaangażowanie w jego budowę bądź wyposażenie może stać się dla firmy źródłem istotnych doświadczeń oraz doskonałych referencji do uczestnictwa w programie rozwoju energetyki jądrowej w Polsce.

- Przedsiębiorstwa i firmy inżynierskie dysponujące technologiami pozwalającymi na zaprojektowanie lub wykonanie fragmentu reaktora (np. technika próżniowa, kriogenika, mechanika precyzyjna, automatyka i sterowanie, diagnostyka, optymalizacja konstrukcji, modelowanie numeryczne itp.), posiadające zdolność organizacyjną i finansową do przygotowania oferty i wykonania kontraktu o skali od kilku do kilkunastu milionów samodzielnie lub w konsorcjum z większym partnerem, w szczególności już zaangażowanym w prace na rzecz ITER. W tej grupie powinny dominować średnie przedsiębiorstwa o elastycznej strukturze i łatwej adaptacji do wymagań nietypowego projektu.
- Przedsiębiorstwa o unikalnych kwalifikacjach i technologiach, zdolne do złożenia oferty na wykonanie pracy badawczo-rozwojowej samodzielnie lub we współpracy z polską jednostką naukową. Przedsiębiorstwa takie, przede wszystkim z grupy firm małych i średnich, mogą współpracować bezpośrednio z laboratorium budującym reaktor termojądrowy lub być partnerami polskich ośrodków naukowych w realizacji grantów. Tego typu współpraca powinna być nawiązywaną w takich dziedzinach jak np. technologie jądrowe, inżynieria materiałowa, diagnostyka, technologie ITC.

Włączenie polskich przedsiębiorstw w programy badawcze związane z rozwojem energetyki termojądrowej będzie procesem wieloletnim. Istotne jest aby stosunkowo szybko kilka przedsiębiorstw nawiązało rzeczywistą współpracę z ośrodkami budującymi reaktory termojądrowe (przede wszystkim z ITER IO). Konieczne jest również bezpośrednie zaangażowanie firm w badania prowadzone w Polsce i powiązane tematycznie z reaktorami termojądrowymi. Przede wszystkim są to badania materiałowe, związane z diagnostyką, rozwojem metod pomiarowych, akwizycją danych. Pożądane jest, aby bezpośrednio lub pośrednio w badania dotyczące reaktorów termojądrowych został zaangażowany co najmniej jeden podmiot z grupy bardzo dużych przedsiębiorstw lub koncernów, kilka dużych przedsiębiorstw oraz co najmniej kilkanaście małych i średnich firm współpracujących ze sobą. W ten sposób możliwe będzie skierowanie do Polski zamówień kompensujących polski udział w finansowaniu badań oraz, dzięki udziałowi któregoś z koncernów, realne stanie się wybudowanie w Polsce instalacji, która będąc komplementarną wobec dużych projektów badawczych energetyki termojądrowej, będzie również służyła celom zaangażowanego koncernu.

W warunkach polskich koncernem zaangażowanym bezpośrednio lub pośrednio w badania i rozwój energetyki termojądrowej mogłoby być np. PGNiG (ze względu na możliwość pełniejszego wykorzystania jedynej w Europie instalacji separacji helu z gazu ziemnego), któraś z grup energetycznych (ze względu na powiązanie prowadzonych badań z przyszłą energetyką oraz możliwość bezpośredniego wykorzystania uzyskanych wyników i doświadczeń przy rozbudowie polskiej energetyki, szczególnie w obszarze energetyki jądrowej), ewentualnie KGHM, szukający dywersyfikacji produktu w perspektywie kilkunastoletniej i potencjalnie zainteresowany przyszłymi rynkami około-energetycznymi.



Docelowa struktura grupy polskich przedsiębiorstw i podmiotów gospodarczych powinna więc mieć postać podaną w tabeli 3 (przykłady firm podane na podstawie analizy własnej, wstępnych rozmów i wyrażonego przez firmy zainteresowania współpracą z ITER).

**Tabela 3 Przykładowa docelowa struktura grupy przedsiębiorstw współpracujących z programami badawczymi energetyki termojądrowej**

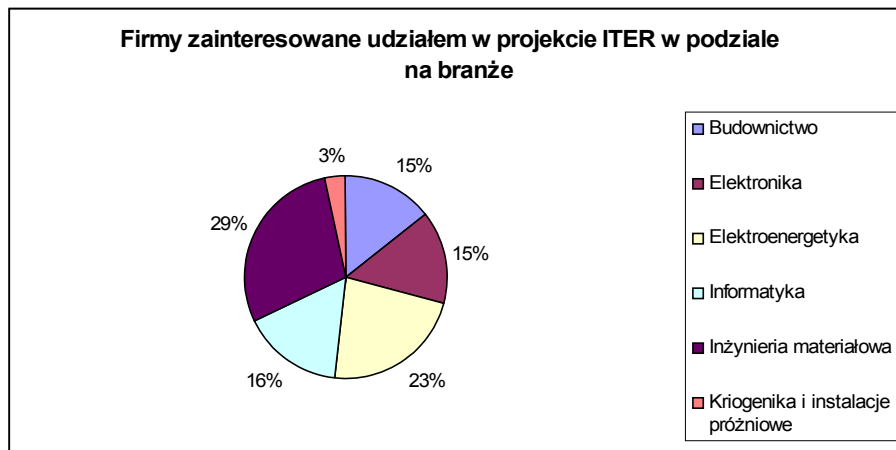
Lp	Typ firmy	Ilość	Przykłady firm	Sposób zaangażowania
1	Bardzo duże (koncern)	~1	PGNiG, PGE, KGHM, duże firmy budowlane	Udział finansowy i organizacyjny w pracach badawczych w Polsce, zaangażowanie w utworzenie w Polsce instalacji komplementarnej, transfer technologii i wdrożenia w Polsce
2	Duże	~3	RAFAKO, ZEC Service, Grupa ZPAS, ZEG Tychy, KPIT, SURFLAND, ENERGOMONTAŻ,	Dostawy elementów reaktora samodzielnie lub w konsorcjach, udział w polskich programach badawczych
3	Małe i średnie	~10	ZPAS, BIAP, CREOTECH, KRIOSYSTEM, AKROPOL ELECTRONICS, CIT Eng., TETA, TEKA, FIDELTRONIK	Dostawy elementów reaktora, udział w konsorcjach koordynowanych przez duże firmy (np. AREVA)
4	Mikro	~10	EXPLOMET, TECHTRA	Udział w programach badawczych ukierunkowanych na rozwój specjalnych technologii np. materiałowych czy detektorów

### 1.7.1 Potencjalne obszary polskiej oferty technologicznej dla obecnie realizowanych projektów energetyki termojądrowej

9 czerwca 2009 r. we Wrocławskim Parku Technologicznym odbyły się warsztaty „ITER – możliwości dla biznesu. W warsztatach uczestniczyło ok. 120 osób, w tym reprezentanci ok. 80 firm, zainteresowanych realizacją dostaw na potrzeby reaktora. Profile firm pokazuje syntetycznie rysunek 11.

Organizatorem w/w warsztatów był Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy oraz Wrocławski Park Technologiczny SA. Referentami były m.in. osoby odpowiedzialne za zakupy i kontrakty w Fusion for Energy (F4E) : Philippe Corr ea (Szef Działu Zakupów) i Benjamin Perier. Jednym z prelegentów by  także pan Bogdan Bielak – szef działu badawczego wysokotemperaturowej fuzji w firmie AREVA. Przedstawi  on możliwosci wspolpracy polskich firm z AREVA w zakresie budowania konsorcjów i wspolnej realizacji dostaw.

Obserwatorami warsztatów byli również przedstawiciel Komisji Europejskiej Chris Ibbot oraz przedstawiciel Ministerstwa Gospodarki - Radca Ministra Edward Słoma.



Rysunek 11 Profile technologiczne firm zainteresowanych współpracą z ITER

Ważną częścią warsztatów było przedstawienie potencjału polskiego przemysłu - prezentacje polskich firm zainteresowanych dostarczaniem towarów/usług na potrzeby projektu ITER. Firmy obecne podczas warsztatów zadeklarowały chęć realizacji dostaw na rzecz projektu.

## 1.8 Warunki zaangażowania się polskich podmiotów gospodarczych w projekty badawcze związane z energetyką termojądrową

Polskie podmioty gospodarcze praktycznie nie uczestniczą w programach badawczych termoenergetyki jądrowej, chociaż jak wynika z zestawienia produktów i technologii niezbędnych do realizacji tych projektów, wiele z elementów, systemów i podsystemów reaktorów mogłoby być rozwijanymi i wytwarzanymi w Polsce. Aby polskie przedsiębiorstwa w sposób istotny zaangażowały się w badania związane z termoenergetyką jądrową i budową reaktorów, spełnione powinny zostać następujące warunki:

- **Punkt kontaktowy:** musi powstać skuteczny system informacyjny i szkoleniowy dotyczący możliwości współpracy przemysłu z projektami badawczymi energetyki termojądrowej; poza łatwym i swobodnym dostępem do informacji dotyczącej w/w projektów. Punkt kontaktowy powinien zapewniać: audyty technologiczne przedsiębiorstw ukierunkowane na określenie zakresu współpracy z projektami rozwojowymi energetyki termojądrowej, szkolenia, pomoc w przygotowaniu ofert badawczych oraz dostaw produktów i usług, wsparcie przedsiębiorstw w nawiązywaniu kontaktów z ośrodkami budującymi reaktory termojądrowe. Ponadto punkt kontaktowy powinien aktywnie poszukiwać kandydatów na stanowiska techniczne, inżynierskie i menadżerskie w ITER IO oraz współpracować z organizacjami zrzeszającymi przedsiębiorców (np. BCC) oraz otoczenia biznesu (parki naukowe i technologiczne, centra transferu technologii).
- **Infrastruktura powiązana z ITER i innymi :** w Polsce powinna powstać instalacja badawcza lub usługowa, której jednym z podstawowych zadań będzie współpraca z ITER oraz zbieranie doświadczeń technologicznych do spożytkowania w trakcie budowy i eksploatacji ITER, jak również innych reaktorów termojądrowych i instalacji pracujących na ich rzecz, w szczególności DEMO (np. International Fusion Irradiation Materials Facility IFMIF). Bardzo dobrym przykładem dużego

narodowego projektu, którego celem były zarówno badania fizyczne jak i przygotowanie przemysłu do współpracy z ITER była budowa w Korei Południowej tokamaka KSTAR. W budowie wzięły udział praktycznie wszystkie duże firmy koreańskie, udział w przedsięwzięciu był traktowany jako obowiązek patriotyczny i obecnie Korea Płd., będąc krajem mniejszym od Polski (ok. 20 mln mieszkańców) jest dostawcą kluczowych pod względem technologicznym elementów ITER, takich jak instalacja obróbki trytu i nadprzewodniki. Dzięki dobremu przygotowaniu inżynierowie koreańscy z powodzeniem aplikują o stanowiska w ITER IO stając się rzeczywistymi ambasadorami przemysłu koreańskiego w środowisku naukowym i politycznym powiązanych z rozwojem energetyki termojądrowej.

- **Wspólne prace ośrodków naukowych i przedsiębiorstw:** powinny powstawać konsorcja naukowo-przemysłowe zdolne do złożenia ofert na prace badawcze w odpowiedzi na przetargi ogłaszane przez F4E w Barcelonie, ITER IO w Cadarache i inne laboratoria budujące dużą infrastrukturę badawczą. Dodatkową motywacją do tworzenia takich konsorcjów jest ogłoszony przez rząd zamiar budowy w Polsce jednej lub więcej elektrowni jądrowych. Niezależnie od głównego dostawcy kluczowych elementów elektrowni jądrowej (reaktora wraz z zabezpieczeniami, systemu gospodarki paliwem jądrowym i innych elementów związanych bezpośrednio z techniką jądrową), jest rzeczą niewątpliwą, że zostanie określony *off-set*, który powinien zostać wykonany w polskim przemyśle. Chcąc zrealizować założenia takiego *off-set'u* należy mieć koncepcję podzespołów, które mogą zostać wykonane w Polsce i zastosowane w nowej polskiej elektrowni jądrowej. Mogą to być np. budynki wraz z infrastrukturą, armatura, wymienniki ciepła, systemy zabezpieczeń i automatyka. Aby przygotować możliwie szeroką polską ofertę konieczne jest tworzenie konsorcjów lub klastrów bezpośrednio ukierunkowanych na uczestniczenie w programie budowy elektrowni jądrowej i mających możliwie szeroką ofertę z punktu widzenia dostaw do takiej elektrowni. Przykładowe przedsiębiorstwa, które mogłyby zaangażować się w przygotowanie oferty dla głównego wykonawcy elektrowni jądrowej, a jednocześnie są zdolne do współpracy z ośrodkami fuzji wysokotemperaturowej to: RAFAKO SA z Raciborza, APC-PRESMET Sp. z o.o. oraz Explomet S.j. z Opola (obie spółki powstały na bazie Metalchem Opole), CHEMAR Kielce, Elektromontaż Południe i wiele innych. Program rozwoju energetyki termojądrowej, chociaż nie powiązany bezpośrednio z energetyką jądrową, mógłby się stać czynnikiem stymulującym nawiązanie współpracy przedsiębiorstw i ośrodków naukowych.
- **Dostawy w postaci wkładu rzeczowego „in-kind”:** zaangażowanie Polski we współpracę z ośrodkami budującymi dużą infrastrukturę badawczą powinno w większym niż obecnie stopniu polegać na dostarczaniu do tych ośrodków wybranych elementów i usług na zasadzie „in-kind”, co pozwoli na rozwój technologii i produktów w Polsce, które następnie zostaną wykorzystane w reaktorach termojądrowych i ich infrastrukturze. W zasadzie cała budowa reaktora ITER opiera się na wkładach in-kind poszczególnych członków międzynarodowej organizacji ITER IO. Jednak stanowiący ponad 44% wkład europejski podlega procedurom przetargowym, w których mogą brać udział podmioty zarejestrowane w państwach członkowskich Unii Europejskiej. Jednak już w przypadku budowy stellaratora W7-X w Greifswaldzie, pożądane byłoby zdefiniowanie polskiego wkładu w postaci rzeczowej i w ten sposób zagwarantowanie rozwoju w kraju wybranych technologii. Ważne jest aby przy realizacji dostaw w postaci wkładów rzeczowych in-kind

zaangażowane były obok jednostek naukowych również przedsiębiorstwa przemysłowe. Dzięki dostawom typu „*in-kind*” uzyskane zostaną dwa efekty: nastąpi rozwój i częściowy transfer technologii do Polski (laboratoria budujące reaktory są zainteresowane jak najlepszymi parametrami dostaw wykonanych jako wkłady rzeczowe i stąd gotowe są dzielić się swoimi doświadczeniami i posiadanymi technologiami), a przedsiębiorstwa zaangażowane w ten typ współpracy uzyskają referencje, które następnie pozwolą im zwiększyć skuteczność w przetargach. Najprawdopodobniej w postaci wkładów rzeczowych „*in-kind*” zostanie wniesiona większość polskich udziałów w spółkach XFEL GmbH oraz FAIR GmbH. Byłoby korzystne, gdyby wkłady rzeczowe dostarczane do różnych projektów charakteryzowały się podobieństwem technologicznym i w ten sposób powstały „polskie specjalności” w budowie dużej infrastruktury badawczej w Europie. Z analizy technologii występujących w dużych projektach badawczych realizowanych obecnie w Europie (por. tab. 1) wynika, że technologiami występującymi we wszystkich tych projektach jest nadprzewodnictwo stosowane oraz służebna wobec niego kriogenika. Mając na uwadze, że Polska jest jedynym europejskim producentem skroplonego helu i posiada prawie 130-letnie, datujące się od prac Karola Olszewskiego i Zygmunta Wróblewskiego, tradycje w rozwoju technologii kriogenicznych, kriogenika mogłaby być jedną z „polskich specjalności” w dziedzinie zaawansowanych technologii przemysłowych, dostarczanych m.in. do laboratoriów prowadzących badania nad wysokotemperaturową fuzją.

- **Prefinansowanie:** prace przygotowawcze związane z rozwojem technologii, przygotowaniem oferty oraz wdrożeniem technologii powinny mieć krajowe prefinansowanie spójne z krajowym systemem finansowania prac naukowo-badawczych. Zasadne jest aby kontrakty o charakterze R&D lub wymagające rozwoju technologii mogły otrzymać wsparcie z NCBiR lub MNiSW na zasadzie analogicznej jak kontrakty zawarte przez przedsiębiorstwa z Komisją Europejską w ramach Programów Ramowych UE. Wsparcie powinno dotyczyć przede wszystkim tych kontraktów, które wymagają rozwoju technologii lub przeprowadzenia dodatkowych badań, a jego wysokość (wyrażona np. w procentach wartości kontraktu) powinna umożliwić przedsiębiorstwu złożenie konkurencyjnej oferty wobec ofert składanych przez podmioty współpracujące od wielu lat z dużymi laboratoriami badawczymi i dysponującymi w zasadzie gotowymi technologiami i rozwiązaniami organizacyjnymi.
  
- **Objęcie przez Polaków stanowisk technicznych, inżynierskich i menadżerskich w międzynarodowych zespołach pracujących w laboratoriach budujących reaktory termojądrowe.** W szczególności dotyczy to ITER IO w Cadarache gdzie ukończone zostały prace ziemne związane z przygotowaniem platformy tokamaka ITER i obecnie przygotowywane są inwestycje w infrastrukturę. Organizacja zatrudniła w latach 2007-2009 około 300 osób, w tym ani jednego Polaka. Podkreślić należy, że obywatele UE stanowią 67% wszystkich zatrudnionych, pozostali to: Japończycy – 7%, Rosjanie – 6%, Amerykanie – 6%, Koreańczycy – 5%, Hindusi – 5%, Chińczycy – 4%. Wśród Europejczyków największą grupę stanowią Francuzi – 45%, Anglicy – 18%, Niemcy – 10%, Włosi – 9%, Hiszpanie – 5%, Holendrzy – 3%, Belgowie – 3%, inne narodowości – 7%, Polacy – 0%! Dają się zauważyć wyraźna korelacja pomiędzy liczbą zatrudnionych i zaangażowaniem kraju w projekty związane z energetyką termojądrową (a także

konwencjonalną energetyką jądrową). W Polsce powinien powstać program uruchomienia staży, przede wszystkim inżynierskich, w ITER IO. Pozwoli to na ukształtowanie się środowiska zawodowego inżynierów powiązanego z budową dużej infrastruktury badawczej energetyki termojądrowej i umożliwi transfer niezbędnego *know-how* do polskiego przemysłu.

### **1.8.1 System informacji przedsiębiorstw o możliwościach uczestnictwa w badaniach na rzecz energetyki termojądrowej – punkt kontaktowy**

Podstawowym warunkiem zaangażowania się przedsiębiorstw we współpracę z ośrodkami badawczymi jest dostęp do informacji dotyczącej rodzaju poszukiwanych kompetencji przemysłowych, instrumentów finansowania badań, procedur zgłaszania przez przedsiębiorstwa chęci nawiązania współpracy, składania ofert, możliwości tworzenia konsorcjów, uzyskania wsparcia przy rozwoju technologii poszukiwanej przez laboratorium badawcze. Skuteczność działań gwarantujących dostęp do informacji wymaga utworzenia punktu kontaktowego odpowiedzialnego za aktywną „rekrutację” przedsiębiorstw do współpracy z ośrodkami prowadzącymi badania na rzecz energetyki termojądrowej oraz udzielanie wsparcia podmiotom już w taką współpracę zaangażowanych. Przy czym ośrodek taki powinien dysponować wiedzą dotyczącą badań prowadzonych przez polskie ośrodki naukowe na rzecz termoenergetyki jądrowej, stanu zaawansowania budowy reaktorów badawczych, procedur wyłaniania przez laboratoria kooperantów przemysłowych.

Proponowane zadania punktu kontaktowego można podzielić na dwie grupy: zadania związane bezpośrednio z identyfikacją i wsparciem zaangażowania przedsiębiorstw w programy badawcze energetyki termojądrowej oraz zadania mające na celu szeroką popularyzację energetyki termojądrowej.

### **1.8.2 Zadania związane z identyfikacją oraz przygotowanie przedsiębiorstw do zaangażowania się w badania związane z rozwojem energetyki termojądrowej**

- a) Typowanie podmiotów potencjalnie zainteresowanych udziałem w pracach badawczych związanych z energetyką termojądrową. Audyty technologiczne firm przeprowadzane pod kątem spójności posiadanych technologii z programami badawczymi energetyki termojądrowej.
- b) Opracowanie profili technologicznych przedsiębiorstw i umieszczenie informacji w bazie dostawców organizowanej przez F4E. Udzielenie potencjalnym dostawcom rekomendacji dotyczącej przygotowania technologicznego i organizacyjnego.
- c) Szkolenia, warsztaty i seminaria o tematyce dotyczącej:
  - możliwości uczestniczenia w pracach badawczych oraz budowie i eksploatacji reaktorów termojądrowych i infrastruktury z nimi związanej,
  - aktualnej polityki zamówień realizowanej przez duże laboratoria badawcze (w szczególności ITER IO) oraz procedur przetargowych,
  - możliwości transferu technologii opracowanych na rzecz reaktorów termojądrowych do innych dziedzin gospodarki.
- d) W trybie indywidualnych konsultacji: pomoc w identyfikacji krajowych i zagranicznych partnerów, weryfikacja wniosków badawczych i dokumentów przetargowych, analiza poprzetargowa złożonych ofert.

- e) Organizacja wyjazdów studialnych dla polskich oferentów biorących udział w przetargach organizowanych przez F4E lub bezpośrednio ITER IO.
- f) Przygotowanie i obsługa wizyty przedstawicieli ITER IO, F4E oraz firm europejskich powiązanych z rozwojem energetyki termojądrowej, w polskich instytucjach i firmach zainteresowanych nawiązaniem współpracy, w szczególności przy realizacji zamówień na rzecz ITER.
- g) Merytoryczna i prawna pomoc przy tworzeniu konsorcjów.

Lista przedsiębiorstw stanowiąca rezultat dotychczasowych starań o identyfikację podmiotów gospodarczych gotowych do włączenia się w programy badawcze energetyki termojądrowej jest podana w załączniku 1. Lista uwzględnia firmy, które zadeklarowały swoje zainteresowanie udziałem w budowie reaktora ITER, wzięły udział w jednodniowych warsztatach „ITER – możliwości dla biznesu”, które odbyły się we Wrocławskim Parku Technologicznym SA 9 czerwca 2009 roku, współpracują z Organizacją Badań Jądrowych CERN w Genewie i wyraziły zainteresowanie ITER lub, wg subiektywnej oceny autora tej ekspertyzy, mają potencjał nawiązania współpracy z ośrodkami budującymi reaktory termojądrowe.

### **1.8.3 Zadania ukierunkowane na szerokie upowszechnianie informacji nt. celów programów badawczych energetyki termojądrowej, stopnia zaawansowania tych programów i korzyści społecznych oraz gospodarczych wynikających z ich realizacji**

- a) Druk materiałów promocyjnych, współpraca z mediami.
- b) Prowadzenie wyspecjalizowanej witryny internetowej udostępniającej informacje o rynku tworzonym przez programy badawcze energetyki termojądrowej (w szczególności ITER), prowadzonych eksperymentach i opracowywanych technologiach. Stały monitoring i analiza zapytań ITER IO oraz F4E pod kątem możliwości pozyskania zleceń przez polskich oferentów.
- c) Popularyzacja programów badawczych energetyki termojądrowej oraz technologii opracowanych na potrzeby reaktorów termojądrowych, prezentacja możliwości transferu technologii – festiwale nauki, konferencje popularno-naukowe dla szerokiej publiczności, wystawy.

W zasadzie wszystkie działania związane z upowszechnianiem informacji nt. celów programów badawczych energetyki termojądrowej zostały zainicjowane i są obecnie prowadzone przez Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy. W szczególności możliwe jest uzyskanie informacji nt. aktualnych zapytań ofertowych zgłaszanych przez F4E, ITER IO i inne laboratoria. Konieczne jest natomiast rozpoczęcie i konsekwentne prowadzenie działań aktywnych, szczególnie związanych z identyfikacją i wsparciem grupy przedsiębiorstw przy nawiązaniu kontaktów z ITER i pozyskaniem pierwszych zamówień.



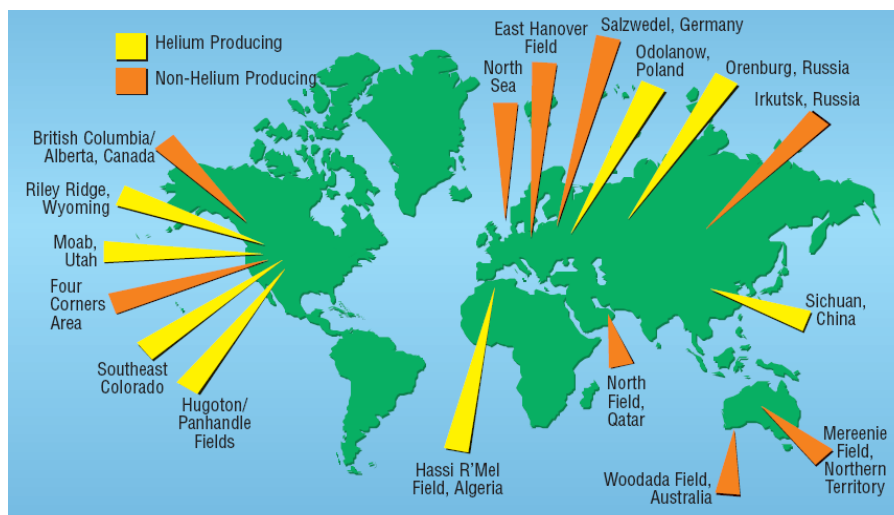
#### **1.8.4 Utworzenie ośrodka testów kriogenicznych elementów reaktorów termojądrowych**

Polska, chcąc włączyć się gospodarczo do programów budowy reaktorów termojądrowych powinna, wzorem innych państw (w szczególności Korei – podobnej pod względem wielkości kraju, a nawet niektórych doświadczeń historycznych), uruchomić własny projekt badawczy związany z budową i eksploatacją reaktora termojądrowego, lub badań pokrewnych. Bardzo dobrym przykładem jest koreański reaktor KSTAR, którego budżet wyniósł około 400 mln USD. Dzięki tej inwestycji, poza osiągnięciem celów naukowych, nastąpiło przygotowanie koreańskiego przemysłu i inżynierów do uczestnictwa w ITER i pełnego opanowania technologii reaktorów termojądrowych o zastosowaniach energetycznych. Równolegle powinny być czynione starania o włączenie polskich instytucji w proces badań, rozwoju i testów przemysłowych elementów reaktorów termojądrowych.

W Polsce brak jest obecnie infrastruktury, która mogłaby być wykorzystywana do testów oraz prac badawczo-rozwojowych elementów i podzespołów reaktorów termojądrowych takich jak np. cewki nadprzewodnikowe magnesów, pompy NBI lub elementy systemów dystrybucji gazów i kriostatowania reaktorów. Uniemożliwia to zarówno podjęcie się przez polski przemysł opracowania, wykonania i przetestowania takich elementów, jak i przeprowadzenie testów elementów tokamaka ITER wykonanych w którymś z państw członkowskich Organizacji. Powstanie ośrodka badawczo-rozwojowego ukierunkowanego na współpracę z ITER IO oraz laboratoriami budującymi podobną pod względem technologicznym infrastrukturę badawczą pozwoliłoby na włączenie polskich przedsiębiorstw w programy badawcze energetyki termojądrowej na dwa sposoby. Po pierwsze centrum takie powinno zostać zbudowane przy udziale polskiego przemysłu, który przy tej okazji nabrałby kompetencji koniecznych przy uruchamianiu dużych instalacji badawczych dedykowanych do specjalnych zadań, a więc nie zakupionych z gotowych ofert producentów aparatury laboratoryjnej i pomiarowej. Po drugie centrum umożliwiłoby składanie polskim przedsiębiorstwom samodzielnie lub w konsorcjach z jednostkami naukowymi ofert badawczych i rozwojowych oraz testowania elementów reaktorów i instalacji termojądrowych.

Mając na uwadze, że podstawowymi technologiami wykorzystywanymi w budowie ITER są nadprzewodnictwo i kriogenika helowa, oraz to, że elementy kriogeniczne mogą być testowane poza miejscem wytworzenia, wydaje się, że najbardziej zasadne byłoby utworzenie w Polsce ośrodka testów kriogenicznych w temperaturze ciekłego helu.

W Europie istnieje kilka laboratoriów zdolnych do wytworzenia odpowiednio dużych mocy chłodniczych w temperaturze ciekłego helu i dysponujących odpowiednią infrastrukturą pomiarową, aby można w nich było testować np. pojedyncze cewki toroidalne ITER czy pętle chłodzenia reaktora. Są to np. laboratoria w Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), hala testów w CERN, CEA w Grenoble, hala testów w Instytucie Maxa Plancka w Greifswaldzie. Wszystkie te laboratoria są uzależnione od dostaw helu, który jest produkowany jedynie w kilku miejscach na świecie, w tym w Odolanowie koło Ostrowa – rysunek 12.



**Rysunek 12** Miejsca separacji helu z gazu ziemnego (strzałki żółte) oraz złoża helonośne (strzałki pomarańczowe)

Światowe zużycie helu wynosi około 75 ton na dobę i ma tendencję wzrostową. Polska jest jedynym państwem w Europie, gdzie produkuje się ciekły hel przez jego separację z gazu ziemnego i następnie skroplenie. Udział PGNiG - oddział w Odolanowie w globalnej produkcji helu wynosi około 3%. Stąd Polska ma naturalną przewagę w Europie w zakresie swobodnego dostępu do dużych ilości helu i powinna stać się liderem technologii helowych, w tym użycia helu w dużych instalacjach badawczych wykorzystujących hel w postaci skroplonej. Jest więc zasadne aby współpracujący z dużymi projektami badawczymi ośrodek testów i rozwoju technologii był powiązany z kriogeniką helową. Ośrodek taki mógłby zostać zlokalizowany w Odolanowie, w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji odazotowywania gazu ziemnego, połączonej z instalacją skraplania helu i położonej na terenie PGNiG Oddział Odolanów - jedynym miejscu w Europie, gdzie wytwarza się hel na skalę przemysłową poprzez jego separację z gazu ziemnego. Stanowi to o istotnej przewadze Odolanowa nad innymi ośrodkami posługującymi się helem na skalę przemysłową i uzależnionymi od rynku tego szlachetnego gazu zdominowanego przez popyt. Podkreślić należy, że hel wykorzystany w kriostatach badawczych byłby w całości odzyskiwany i ponownie skraplany, a więc nie zostałaby ograniczona produkcja helu w Odolanowie, a jedynie uzyskany efekt wielokrotnej sprzedaży tego samego gazu. Dodatkowym argumentem za utworzeniem i uruchomieniem w Odolanowie ośrodka testów jest to, że jest dostępny zespół inżynierów przygotowany do pracy z ciekłym helem na skalę przemysłową. Jednocześnie, dzięki sąsiedztwu oddziału Instytutu Fizyki Molekularnej oraz bliskości ośrodków akademickich, gdzie rozwijana jest kriogenika, dostępni są specjaliści obeznani z procedurami i technikami stosowanymi w ośrodkach naukowych.

## **1.9 Współpraca z organizacjami zrzeszającymi przedsiębiorstwa i organizacjami otoczenia biznesu**

Ze względu na brak w Polsce wewnętrznego rynku na produkty wykorzystujące technologie i materiały powstałe na potrzeby reaktorów termojądrowych lub niezbędne do wytworzenia takich reaktorów, organizacje zrzeszające przedsiębiorstwa nie przywiązują wagi do projektów badawczych termoeenergetyki jądrowej, traktując te projekty co najwyżej jako ciekawostkę technologiczną. Stąd też nie formułują oczekiwań wobec rządu i agencji

finansujących badania naukowe i stosowane, aby takie programy były realizowane z jak największym udziałem komponentu polskiego. Przeprowadzone rozmowy z władzami BCC wskazują na rosnące zainteresowanie tej organizacji uruchomieniem w Polsce rzeczywistych procesów wdrażania w przedsiębiorstwach, przede wszystkim małych i średnich, produktów i technologii przygotowanych do wejścia na duże rynki *high-tech*. Dodatkowym argumentem uzasadniającym nawiązanie współpracy z BCC jest działanie tej organizacji na rzecz zwiększenia się zaangażowania rządu w programy rozwoju energetyki, w tym jądrowej.

Współpraca z organizacjami zrzeszającymi przedsiębiorców powinna mieć dwa cele:

- Rozpowszechnienie informacji dotyczącej korzyści gospodarczych oraz możliwości transferu technologii w ramach współpracy z projektami badawczymi związanymi z energetyką termojądrową i innymi dużymi projektami badawczymi;
- Współdziałanie w opracowaniu programu i procedur wsparcia, które powinno być udzielane przedsiębiorstwom zdecydowanym na rozwój technologii powiązanych z energetyką termojądrową. Programy takie, w szczególności dla małych i średnich przedsiębiorstw, powinny umożliwiać udzielenie zainteresowanym podmiotom gospodarczym pomocy w wysokości *de minimis* przede wszystkim polegającej na wsparciu w prowadzeniu prac badawczo-rozwojowych technologii i produktów oraz wprowadzenia tych produktów na rynki tworzone przez projekty budowy dużej infrastruktury badawczej.

Naturalnymi partnerami wdrażania programów wsparcia przedsiębiorstw (w szczególności małych i średnich) są parki naukowe, technologiczne i przemysłowe. Parki, będące beneficjentami projektów rozwojowych Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (POIG) i Regionalnych Programów Operacyjnych (RPO) są zobowiązane do transferu otrzymanego wsparcia na rzecz małych i średnich przedsiębiorstw w postaci m.in. prac badawczo-rozwojowych, transferu technologii, pomocy w opracowaniu prototypów i innych. Doświadczenia Wrocławskiego Parku Technologicznego SA, beneficjenta projektu „Od Wrocławskiego Parku Technologicznego do Innowacji Wrocław” wskazują, że transfer wsparcia może dotyczyć przedsiębiorstw, które starają się o wejście na rynki tworzone przez duże projekty badawcze – por. tabela 1. Największym takim rynkiem jest obecnie budowa ITER.

Zasadne jest również, aby przedsiębiorstwa zainteresowane współpracą z projektami badawczymi energetyki termojądrowej utworzyły klaster, który mógłby uzyskać grupowe wsparcie w rozwoju komplementarnych technologii.

Klasy definiowane są jako geograficzne skupiska firm działających w pokrewnych branżach, jednostek świadczących na ich rzecz usługi (np. dostawców), a także instytucji naukowych. Klaster stanowi powiązanie laboratoriów, uczelni wyższych oraz przedsiębiorstw, wspólnie opracowujących często nowatorski produkt. Produkt ten sprzedawany jest następnie pod marką klastra, zaś poszczególni uczestnicy powiązania sieciowego, proporcjonalnie do udziału w wytworzeniu produktu, ponoszą koszty jego promocji. Firmy, w innych warunkach często konkurujące ze sobą, w ramach klastra podejmują współpracę nad wspólnym projektem - zaawansowanym technologicznie produktem bądź usługą. Rozwiązanie to jest powszechne w wysoko rozwiniętych krajach. Przykładem produktów „klastrowych” jest np. zegarek Swatch czy samochód Smart. Warto dodać, że idea klastrów technologicznych jest wspierana przez Unię Europejską, ponieważ współpraca w ramach klastra ułatwia transfer technologii z jednostek naukowych do

podmiotów gospodarczych, a tym samym przyczynia się do budowy gospodarki opartej na wiedzy. Istnieją programy pomocowe nakierowane właśnie na rozwój klastrów.

## 1.10 Podsumowanie

Projekty badawcze związane z termoeenergetyką jądrową tworzą obecnie rynek dostępny statutowo dla przedsiębiorstw polskich. Uwzględniając proporcje udziału Polski w bezpośrednim lub pośrednim finansowaniu tych projektów oraz podobnych przedsięwzięć pod względem stosowanych technologii (akceleratorów, laserów na swobodnych elektronach), polskie przedsiębiorstwa powinny zrealizować w ciągu najbliższych kilkunastu lat dostawy do dużych laboratoriów badawczych na poziomie 450 mln euro, przy czym udział polskiego przemysłu w budowie tokamaka ITER powinien wynieść około 130 mln euro. Rocznie polskie dostawy dla ITER, przede wszystkim w postaci realizacji przetargów i grantów ogłaszanych przez agencję F4E powinny wynosić około 13 mln zł.

Rynek tworzony przez duże projekty badawcze, w szczególności infrastrukturę badawczą energetyki termojądrowej, jest praktycznie nieznaną dla większości polskich przedsiębiorstw, a nawet instytucji wspierających przedsiębiorczość. Konieczne wydaje się rozpropagowanie wiedzy na jego temat. Jest to rynek specjalistyczny, na którym panuje duża bariera wejścia, zaś firmy konkurują głównie w zakresie jakości dostarczanych rozwiązań. Jest to rynek specyficzny, tworzony przez wiele krajów. Na potrzeby rynków tworzonych przez projekty badawcze swoje produkty i usługi dostarczają najlepsze światowe firmy. Rynki te stanowią również źródło nowoczesnych technologii, z których korzysta przemysł: odbiorcami badań są firmy, mające rozwinięte zaplecze badawczo-rozwojowe, a tym samym zdolne do absorpcji najnowocześniejszych rozwiązań. Dla firm polskich udział w rynku tworzonym przez projekty typu ITER stanowi okazję, żeby w sposób naturalny nawiązać kontakty z wiodącymi światowymi firmami działającymi w obszarze *high-tech*. W ten sposób produkty polskich firm będą pośrednio promowane na światowych rynkach, co w przyszłości pozwoli na dalszą ekspansję tych firm.

Pomimo dotychczasowego braku współpracy polskich przedsiębiorstw z dużymi projektami badawczymi energetyki termojądrowej, możliwe jest wykorzystanie doświadczeń zgromadzonych przez polskie firmy podczas budowy akceleratora LHC w CERN i szybkie włączenie się w proces budowy reaktora ITER.

W celu zainteresowania potencjalnych dostawców programami badawczymi energetyki termojądrowej konieczne jest wytworzenie sprawnego systemu przekazywania informacji do przemysłu oraz wsparcia przedsiębiorstw w przygotowaniu technologii, ofertowaniu, znajdowaniu partnerów i innych działaniach mających na celu nawiązanie przemysłowej współpracy z ITER i innymi pokrewnymi projektami. System taki powinien wykorzystywać dotychczasowe doświadczenia punktu kontaktowego utworzonego przez IFPiML oraz uwzględniać współpracę z organizacjami zrzeszającymi przedsiębiorców (np. BCC, izby gospodarcze) i instytucjami otoczenia biznesu (parki technologiczne). Istotne jest, aby część stanowisk w organizacji ITER IO oraz Agencji Krajowej F4E objęli Polacy, dobrze znający realia polskiego przemysłu i ośrodków badawczo-rozwojowych.

W Polsce powinna powstać instalacja komplementarna do potrzeb dużych projektów energetyki termojądrowej, służąca np. niskotemperaturowym testom podzespołów ITER. Instalacja taka powinna powstać przy współpracy z jednym z dużych przedsiębiorstw polskich (np. PGNiG). Instalacja taka mogłaby być związana z rozwojem kriogeniki helowej na potrzeby testów elementów ITER i innych projektów wykorzystujących nadprzewodnictwo. Światowe zużycie helu wynosi około 75 ton na dobę i ma tendencję wzrostową. Polska jest jedynym państwem w Europie, gdzie produkuje się ciekły hel przez jego separację z gazu ziemnego i następnie skroplenie. Udział PGNiG - oddział w Odolanowie w globalnej produkcji helu wynosi około 3%. Stąd Polska ma naturalną przewagę w Europie w zakresie swobodnego dostępu do dużych ilości helu i powinna stać się liderem technologii helowych, w tym wykorzystywanych na potrzeby projektów badawczych energetyki termojądrowej.

Struktura polskich przedsiębiorstw współpracujących z ITER powinna być zróżnicowana, przy czym małe i mikro przedsiębiorstwa powinny przede wszystkim być członkami konsorcjów przemysłowych oraz naukowo-przemysłowych realizujących granty zlecane przez agencję F4E lub polskie instytucje finansujące (np. NCBiR). Pożądanym jest udział przynajmniej jednego bardzo dużego przedsiębiorstwa, mogącego dzięki swej skali współdecydować o regulach współpracy przemysłowej obowiązujących w agencji F4E oraz ITER IO.

W Polsce brak jest obecnie infrastruktury, która mogłaby być wykorzystywana do przemysłowych testów oraz prac badawczo-rozwojowych elementów i podzespołów reaktorów termojądrowych. Powstanie ośrodka wyposażonego w taką infrastrukturę pozwoliłoby na włączenie polskich przedsiębiorstw w programy badawcze energetyki termojądrowej. Dzięki temu polskie przedsiębiorstwa nabrałyby kompetencji koniecznych przy uruchamianiu dużych instalacji badawczych dedykowanych do specjalnych zadań, np. konwencjonalnej energetyki jądrowej, co nabiera szczególnego znaczenia w aspekcie planów budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Konieczne jest sformułowanie zasad uczestnictwa Polski w innych niż ITER projektach badawczych związanych z rozwojem energetyki termojądrowej, w szczególności z realizowanym przez Instytut Maxa Plancka projektem budowy stellaratora Wendelstein 7-x. Zasady takie powinny zostać sformułowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i mieć na celu zarówno udział polskich ośrodków naukowych i przedsiębiorstw w budowie i eksploatacji reaktorów jak i uzyskanie przez Polskę reprezentacji w organach zarządzających tymi projektami.

## Spis treści:

<u>1. EKSPERTYZA W ZAKRESIE WŁĄCZENIA KRAJOWYCH PODMIOTÓW GOSPODARCZYCH W FINANSOWANIE PRAC NAD WYBRANYMI BADANIAM NA POTRZEBY ENERGETYKI TERMOJĄDROWEJ.....</u>	<u>1</u>
<u>1.1 Badania na rzecz energetyki termojądrowej.....</u>	<u>1</u>
<u>1.2 Energetyka termojądrowa w świadomości polskich podmiotów gospodarczych.....</u>	<u>3</u>
<u>1.3 Charakterystyka technologiczna realizowanych projektów związanych z energetyką termojądrową.....</u>	<u>4</u>
<u>1.4 Potencjalny rynek dla polskich przedsiębiorstw tworzony przez projekty badawcze energetyki termojądrowej i podobne technologicznie duże inwestycje w infrastrukturę badawczą w Europie.....</u>	<u>5</u>
<u>1.5 Procedury i warunki włączenia się polskich przedsiębiorstw w projekt ITER.....</u>	<u>9</u>
<u>1.5.1 Wkład in-kind.....</u>	<u>10</u>
<u>1.5.2 Procedury wyłaniania dostawców.....</u>	<u>11</u>
<u>1.5.3 Aktualne i przyszłe przetargi.....</u>	<u>13</u>
<u>1.5.4 Baza danych dostawców komponentów i usług.....</u>	<u>14</u>
<u>1.5.5 Udział małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) w projekcie ITER.....</u>	<u>14</u>
<u>1.5.6 Własność intelektualna w projekcie ITER.....</u>	<u>14</u>
<u>1.6 Możliwość przeniesienia doświadczeń polskich przedsiębiorstw z CERN do projektów badawczych energetyki termojądrowej.....</u>	<u>15</u>
<u>1.6.1 CERN prekursorem nowego modelu współpracy z przemysłem.....</u>	<u>15</u>
<u>1.6.2 Mechanizmy i dynamika włączania się polskich przedsiębiorstw w programy badawcze CERN, w szczególności w budowę LHC.....</u>	<u>16</u>
<u>1.7 Kategorie i przykłady polskich przedsiębiorstw, które mogą z powodzeniem zaangażować się w badania związane z rozwojem energetyki termojądrowej.....</u>	<u>19</u>
<u>1.7.1 Potencjalne obszary polskiej oferty technologicznej dla obecnie realizowanych projektów energetyki termojądrowej.....</u>	<u>21</u>
<u>1.8 Warunki zaangażowania się polskich podmiotów gospodarczych w projekty badawcze związane z energetyką termojądrową.....</u>	<u>22</u>
<u>1.8.1 System informacji przedsiębiorstw o możliwościach uczestnictwa w badaniach na rzecz energetyki termojądrowej – punkt kontaktowy.....</u>	<u>25</u>
<u>1.8.2 Zadania związane z identyfikacją oraz przygotowanie przedsiębiorstw do zaangażowania się w badania związane z rozwojem energetyki termojądrowej.....</u>	<u>25</u>
<u>1.8.3 Zadania ukierunkowane na szerokie upowszechnianie informacji nt. celów programów badawczych energetyki termojądrowej, stopnia zaawansowania tych programów i korzyści społecznych oraz gospodarczych wynikających z ich realizacji. .</u>	<u>26</u>
<u>1.8.4 Utworzenie ośrodka testów kriogenicznych elementów reaktorów termojądrowych.....</u>	<u>27</u>
<u>1.9 Współpraca z organizacjami zrzeszającymi przedsiębiorstwa i organizacjami otoczenia biznesu.....</u>	<u>28</u>
<u>1.10 Podsumowanie.....</u>	<u>30</u>



## Spis rysunków:

Rysunek 1 Badawcze reaktory termojądrowe (tokamaki) i ich powiązanie technologiczne z ITER .....	2
Rysunek 2 Schemat strategii komercjalizacji energetyki termojądrowej .....	2
Rysunek 3 Przybliżony rozkład budżetu ITER .....	4
Rysunek 4 Ceremonia podpisania konwencji ITER, Pałac Elizejski, 21 listopada 2006.....	6
Rysunek 5 Orientacyjny podział dostaw elementów ITER między członków ITER IO.....	7
Rysunek 6 Harmonogramy realizacji dużych projektów badawczych w Europie.....	9
Rysunek 7 Polska składka członkowska oraz wartość zrealizowanych kontraktów na rzecz CERN w latach 1991 – 2008.....	17
Rysunek 8 Wykres udziału polskich przedsiębiorstw i ośrodków badawczych w realizacji kontraktów w CERN, w latach 1998-2007.....	18
Rysunek 9 Miejsca prowadzenia działalności polskich firm dostarczających w latach 1998-2007 swoje towary i usługi na rynek CERN.....	18
Rysunek 10 Podział budżetu LHC.....	19
Rysunek 11 Profile technologiczne firm zainteresowanych współpracą z ITER.....	22
Rysunek 12 Miejsca separacji helu z gazu ziemnego (strzałki żółte) oraz złoża helonośne (strzałki pomarańczowe).....	28

## Spis tabel:

Tabela 1 Budowane i planowane duże urządzenia badawcze w Europie.....	8
Tabela 2 Wymagania dotyczące oprogramowania stosowanego przez europejskich dostawców Agencji F4E.....	11
Tabela 3 Przykładowa docelowa struktura grupy przedsiębiorstw współpracujących z programami badawczymi energetyki termojądrowej.....	21