
*Urszula Woźnicka**, *Paweł Gąsior****, *Helena Howaniec***

*Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN, Kraków

**Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, Warszawa

1. EKSPERTYZA W ZAKRESIE EDUKACJI NA POTRZEBY FIZYKI TERMOJĄDROWEJ

Niniejsza ekspertyza została wykonana w ramach projektu „*Foresight* dla energetyki termojądrowej” realizowanego w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy z siedzibą w Warszawie ul. Hery 23, w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, na lata 2007-2013, priorytet 1 „Badania i rozwój nowoczesnych technologii”, działanie 1.1 „Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy”, poddziałanie 1.1.1 „Projekty badawcze z wykorzystaniem metody *foresight*”, na podstawie umowy o dofinansowanie projektu Nr UDA-POIG.01.01.01-00-009/08-00, zlecenie nr 7902.

1.1. Wstęp

Sytuacja gospodarcza, ekonomiczna i społeczna, w jakiej znajduje się obecnie nasza cywilizacja została w dużej mierze ukształtowana przez rozwój przemysłowy, zapoczątkowany na przełomie XVIII i XIX wieku w czasie tzw. rewolucji przemysłowej. Należy zwrócić uwagę, że rozwój ten był w dużej mierze stymulowany coraz to bardziej spektakularnymi odkryciami naukowymi, które zostały zaprzężone do opracowywania wynalazków i doskonalenia metod produkcji. Dziś, mimo że trudno jest sobie wyobrazić funkcjonowanie naszego społeczeństwa bez licznych dobrodziejstw oferowanych przez nowoczesną technikę, zaabsorbowani ich wykorzystaniem możemy czasem zapominać, że ich wyprodukowanie było możliwe głównie dzięki wytrwałej pracy naukowców nie tylko obecnych, lecz również tych, którzy prowadzili badania w bliższej lub dalszej przeszłości.

Nauka, mimo swego niezaprzeczalnego wkładu w rozwój cywilizacji, czasem każe czekać na wydanie owoców w odległej przyszłości. Przykładem tego są choćby szkice Leonarda da Vinci, których idee doczekały się realizacji wiele wieków po śmierci mistrza, czy twierdzenia Fouriera i Laplace’a, które umożliwiły przekazywanie informacji w systemach komunikacyjnych. Osiągnięcia te są dowodem, że nawet jeżeli współczesnym pewne prace naukowe wydają się bardzo abstrakcyjne, jedynie przyszłość jest w stanie zweryfikować ich rzeczywistą wartość.

W wielu jednak wypadkach, to technika oraz potrzeby przemysłowe i ekonomiczne stawiają cele nauce. Owocem tego typu badań jest często doskonalenie istniejących rozwiązań, jak choćby zwiększanie szybkości i ilości transferu danych, konstruowanie coraz lepszych i wydajniejszych silników czy produkcja nowych generacji telefonów komórkowych. Zdarza się też jednak, że przed nauką stawiane są wyzwania stworzenia jakościowo nowych wynalazków i technologii.

W obliczu zagrożenia kryzysem energetycznym, jednym z jakościowo nowych wyzwań stojących przed nauką jest skonstruowanie źródła energii zapewniającego jej powszechność, niską cenę, a przy tym bezpieczeństwo korzystania. Paliwo dla takiego źródła powinno być obficie występującym surowcem, który gwarantowałby efektywność rozwiązania dla dalekiej przyszłości. Co więcej, elektrownia nowej generacji powinna być również bezpieczna dla środowiska naturalnego i nie przyczyniać się do jego degradacji.

Spośród wielu zaproponowanych dotychczas rozwiązań, tylko jedno wydaje się obecnie wystarczająco potężne, by móc stać się skutecznym lekarstwem na zażegnanie kryzysu energetycznego. Niestety, jest ono również najbardziej zaawansowane technicznie i skomplikowane, a jego realizacja musi łączyć się z ogromnym wysiłkiem naukowym, finansowym i ekonomicznym. Rozwiązaniem tym jest zastosowanie syntezy termojądrowej.

Dla nauki idea zastosowania reakcji fuzji nie jest bynajmniej nowością. Badania i eksperymenty w tej dziedzinie, którym punkt wyjścia dało równanie $E=mc^2$ Einsteina, prowadzone są już od wielu lat. Już w czasie II Wojny Światowej zorientowano się, że reakcja syntezy jąder lekkich jest w stanie dostarczyć energii, nie wytwarzając jednocześnie zanieczyszczeń. Początkowo spodziewano się, że paliwem, podobnie jak w Słońcu, którego energia wytwarzana jest w procesie syntezy jądrowej, będzie wodór i to właśnie z nim przeprowadzono eksperymenty w Anglii w 1940 roku. Szybko okazało się jednak, że uzyskanie odpowiednich wyników jest sprawą bardzo trudną.

Mimo prostoty i elegancji metody, droga do uzyskania celu okazała się być krętą i wyboistą, niemniej jednak wieloletnie badania przyniosły sukcesy. Kolejne eksperymenty wykazały, że z punktu widzenia praktycznego najlepszą reakcją jest synteza dwóch ciężkich izotopów wodoru – deuteru i trytu. W reakcji tej nośnikami energii są uwolnione neutrony oraz cząstki alfa, tak więc w dalszym ciągu produkowana energia jest czysta, tzn. nie wiąże się z powstawaniem odpadów radioaktywnych ani emisją gazów cieplarnianych. Co więcej, surowce potrzebne do jej przeprowadzenia można uznać za niewyczerpalne, ponieważ deuter występuje w przyrodzie w ilościach zapewniających obfitość przez wiele tysięcy, a może nawet milionów lat, natomiast tryt wytwarzany byłby wewnątrz samego reaktora, pod wpływem oddziaływania produkowanych w czasie reakcji neutronów z litem. Rozwiązanie takie eliminuje zagrożenia związane z przechowywaniem i transportem tego radioaktywnego izotopu, gdyż produkowany jest on w obiegu zamkniętym, a tylko pewna jego ilość musi być dostarczona z zewnątrz do samego rozruchu elektrowni. Badania dostarczyły również wiedzy dotyczącej potencjalnej konstrukcji reaktora odpowiedniego do wytwarzania w ten sposób energii. Obecnie za najbardziej obiecujące uważa się dwa warianty – reaktora wykorzystującego magnetyczne utrzymanie plazmy oraz reaktora, w którym do zapłonu reakcji dochodzi przy wykorzystaniu lasera.

W pierwszym z wymienionych rozwiązań, reaktor zwany tokamakiem posiada kształt toroidalny, a zamknięta w nim plazma deuterowo-trytowa utrzymywana jest za pomocą pól magnetycznych wytwarzanych w uzwojeniach zewnętrznych oraz przez prąd płynący przez samą plazmę. Zasada działania tego urządzenia przypomina funkcjonowanie transformatora. W ośrodku wewnątrz toroidalnej komory próżniowej indukowany jest prąd elektryczny, który nagrzewa wytworzoną w ten sposób plazmę, co ma doprowadzić do reakcji syntezy termojądrowej. I w tym wypadku, mimo pozornej prostoty, osiągnięcie stabilnej pracy i zysku energetycznego okazuje się bardzo trudne. Poza problemami, których spodziewano się pierwotnie, takimi jak wytwarzanie trytu w obiegu zamkniętym czy oddziaływanie plazmy ze ścianami urządzenia napotkano na inne istotne trudności jak niestabilność plazmy czy nieefektywność nagrzewania indukowanym prądem plazmowym po osiągnięciu temperatury granicznej, przy której przewodność plazmy jest zbyt wysoka by ogrzewanie mogło być wydajne. Prace badawcze nad wymienionymi zagadnieniami budzą jednak wiele nadziei – opracowano inne metody dogrzewania plazmy – cząstkami neutralnymi oraz falami o odpowiedniej częstotliwości oraz przeprowadzono wiele eksperymentów, które umożliwiły optymalizację przebiegu reakcji. Mimo, że w żadnym z tokamaków nie udało się uzyskać dodatniego bilansu energetycznego, doniosłą konsekwencją badań prowadzonych na istniejących obecnie oraz nieczynnych już układach tego typu jest tzw. prawo skalowania. Na podstawie uzyskanych do tej pory wyników przewiduje ono, że w urządzeniu o odpowiednio dużych gabarytach, pozwalających na uzyskanie odpowiednich parametrów plazmy, będzie

można produkować więcej energii niż wymagane jest do prowadzenia w nim reakcji termojądrowej. Reaktorem, który zostanie jako pierwszy wybudowany na podstawie tych przesłanek będzie ITER budowany we Francji międzynarodowym wysiłkiem Unii Europejskiej, Stanów Zjednoczonych, Japonii, Chin i Korei.

Rozwiązanie polegające na wyzwoleniu fuzji metodami laserowymi, w momencie powstania idei wydawało się proste i sądzono, że jego realizacja jest jedynie kwestią czasu. Klimatowi temu sprzyjał dynamiczny rozwój techniki laserowej, a zwłaszcza szybkie opracowywanie laserów o coraz to większej mocy. Niestety i w tym wypadku naukowców spotkało pewne rozczarowanie, gdyż okazało się, że przeszkody, spośród których wyróżnić należy konieczność uzyskania dużej jednorodności mocy wiązek skupionych na zawierającym termojądrowe paliwo targecie oraz niestabilności plazmy, są nie lada wyzwaniem. Lata badań przyczyniły się do opracowania nowego rodzaju targetów (*holraum target*) oraz modyfikacji metody (tzw. *fast ignition*), które budzą poparte teoretycznymi obliczeniami i wstępnymi eksperymentami nadzieje. Dowodem na to są również duże nakłady finansowe na badania w tym kierunku, które prowadzone są zarówno w Europie (projekt HIPER) jak i w Stanach Zjednoczonych (NIF).

Historia badań nad energetyką termojądrową nie tylko przekonuje nas, że jesteśmy coraz bliżej zrealizowania projektu mającego na celu uzyskanie ogólnie dostępnego i bezpiecznego źródła energii dla przyszłych pokoleń, lecz również pokazuje jak doniosłą rolę dla cywilizacji odgrywa nauka, a także edukacja. Wyzwania, na które napotkały badania, zarówno te, których rozwiązanie już osiągnięto, jak również te, które jeszcze czekają na realizację są najlepszym przykładem potrzeby interdyscyplinarności, której wymaga praca nad doniosłymi dla naszej cywilizacji projektami. W przypadku fuzji termojądrowej, mimo początkowego entuzjazmu, okazało się, że nie wystarczą wysiłki jedynie fizyków plazmowych, lecz że potrzebują oni pomocy naukowców i inżynierów zajmujących się innymi dziedzinami nauki i technologii. Zbudowanie efektywnego reaktora termojądrowego wymaga zaangażowania specjalistów od technologii próżniowych, nadprzewodnictwa, inżynierii materiałowej, sterowania i automatyki, technik komputerowych i obliczeniowych, oraz mechaniki. Nie należy również zapominać, że dziedzina ta wymaga odpowiedniego kształtowania opinii publicznej, która powinna zrozumieć przydatność tego rozwiązania oraz poznać jego zalety i potencjalne wady, co jest zadaniem socjologów i dziennikarzy.

W przedstawionej sytuacji warto zadać sobie pytanie, jakie jest rzeczywiste zapotrzebowanie energetyki termojądrowej na wyżej wymienionych specjalistów i jakie wymagania powinien spełniać system edukacji rozwiniętego kraju, jakim jest Polska. Jak już wspomniano, ważną cechą badań nad energetyką termojądrową jest ich interdyscyplinarność, która również przekłada się na kształt edukacji. W związku z tym należy określić, które z obecnych kierunków edukacji w Polsce można zaadaptować na potrzeby energetyki termojądrowej.

Niniejsza ekspertyza ma odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób należałoby ukształtować system edukacyjny, aby spełniał wymogi tej niezwykle ważnej i rozwijającej się dziedziny wiedzy. Mamy nadzieję, że pokaże również, co wysiłki podjęte na cel rozwoju energetyki termojądrowej mogą zaoferować innym gałęziom nauki i przemysłu.

Prowadzone w wybitnych ośrodkach naukowych na świecie badania nad wykorzystaniem fuzji termojądrowej należą do najbardziej zaawansowanych dziedzin nauki. Energia fuzji może stać się nowym, przyszłościowym źródłem energii bezpiecznej dla ludzkości i środowiska. Zasadność uczestnictwa polskich ośrodków badawczych w tych programach należy uznać za jeden ze strategicznych obszarów działań w latach najbliższych i w skali dziesięcioleci. Polska, jako członek Unii Europejskiej i uczestnik programów

badawczych z zakresu fuzji termojądrowej ma zapewniony dostęp do badań prowadzonych z wykorzystaniem najbardziej zaawansowanych europejskich urzędów badawczych. Natomiast to, na ile Polska będzie w stanie wykorzystać te możliwości i zaangażować się w badania w długookresowej perspektywie, zależy od przygotowania własnego zaplecza badawczego, zarówno w zakresie zapewnienia ciągłości odpowiednio wykształconej kadry jak i rozwoju infrastruktury badawczej. Jest to temat szeroko dyskutowany w Polsce pod hasłem „konkurencyjności polskiej nauki” i dotyczy on nie tylko powyższej tematyki, ale również innych dziedzin nauki.

Instytucją upoważnioną przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego do koordynacji w Polsce działań w europejskim programie badań fuzji termojądrowej jest Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM). Instytut koordynuje prace na podstawie Kontraktu Asocjacyjnego zawartego ze Wspólnotą Euratom, reprezentowaną przez Komisję Europejską. Asocjacja Euratom-IFPiLM grupuje te ośrodki naukowe w Polsce, które uczestniczą w programie badań nad fuzją (11 ośrodków badawczych w tym uczelnie wyższe). IFPiLM reprezentuje Polskę na poziomie Komisji Europejskiej w *Consultative Committee for the Euratom Specific Research and Training Programme in the Field of Nuclear Energy (Fusion)*.

Prace badawcze na rzecz fuzji termojądrowej zmierzające do budowy reaktora ITER są w znacznym stopniu koordynowane przez konsorcjum EFDA (*European Fusion Development Agreement*), korzystające z osobowości prawnej Komisji Europejskiej. Wysoki stopień integracji prac oraz swobodny dostęp do europejskich urzędów dla wszystkich uczestników programu, stworzyły podstawę do intensywnej współpracy i realizacji spójnych badań w ramach wspólnie przyjętej strategii. W realizację programu zaangażowanych jest obecnie w Europie około 2000 pracowników naukowych i inżynierów, w tym około 260 doktorantów.

Aby ocenić potrzeby pod kątem koniecznych zasobów ludzkich, powołany został zespół *Survey of Human Resources in the European Fusion Programme*. W swoim raporcie w marcu 2007 roku zespół stwierdził, że przez kolejne pięć lat, co roku w systemie powinno przybywać po czterdziestu naukowców.

W celu sprostania tym wymaganiom niezbędne jest stworzenie odpowiedniej strategii edukacji, która powinna zapewnić odpowiednią liczbę specjalistów w dziedzinach związanych z fizyką i energetyką termojądrową. Będąc projektem międzynarodowym, realizacja badań nad fuzją termojądrową, sprzyja koordynacji i współpracy pomiędzy europejskimi jednostkami naukowymi oraz uczelniami, co również powinno przyczyniać się do podnoszenia poziomu edukacji oraz ustalania powszechnie obowiązujących i respektowanych standardów.

Polska, wstępując do Unii Europejskiej, włączyła się czynnie w europejskie badania w zakresie kontrolowanej fuzji jądrowej. Wcześniej rozwijane w polskich instytutach badawczych i na uczelniach wyższych kierunki badań naukowych i osiągnięcia na tych polach, w sposób naturalny pozwoliły na włączenie się do badań w zakresie diagnostyki i modelowania plazmy, techniki próżniowej, transportu neutronów, wytrzymałości konstrukcji reaktorów, inżynierii materiałowej, materiałów nadprzewodzących i kompozytów odpornych na ekstremalne obciążenia termiczne. Program badań nad fuzją termojądrową, w związku z konstrukcją ITERA oraz przygotowaniem do DEMO, wszedł obecnie w nową fazę, w której nacisk badawczy przesuwa się z samej fizyki plazmy na badania materiałowe oraz szeroko pojętą inżynierię.

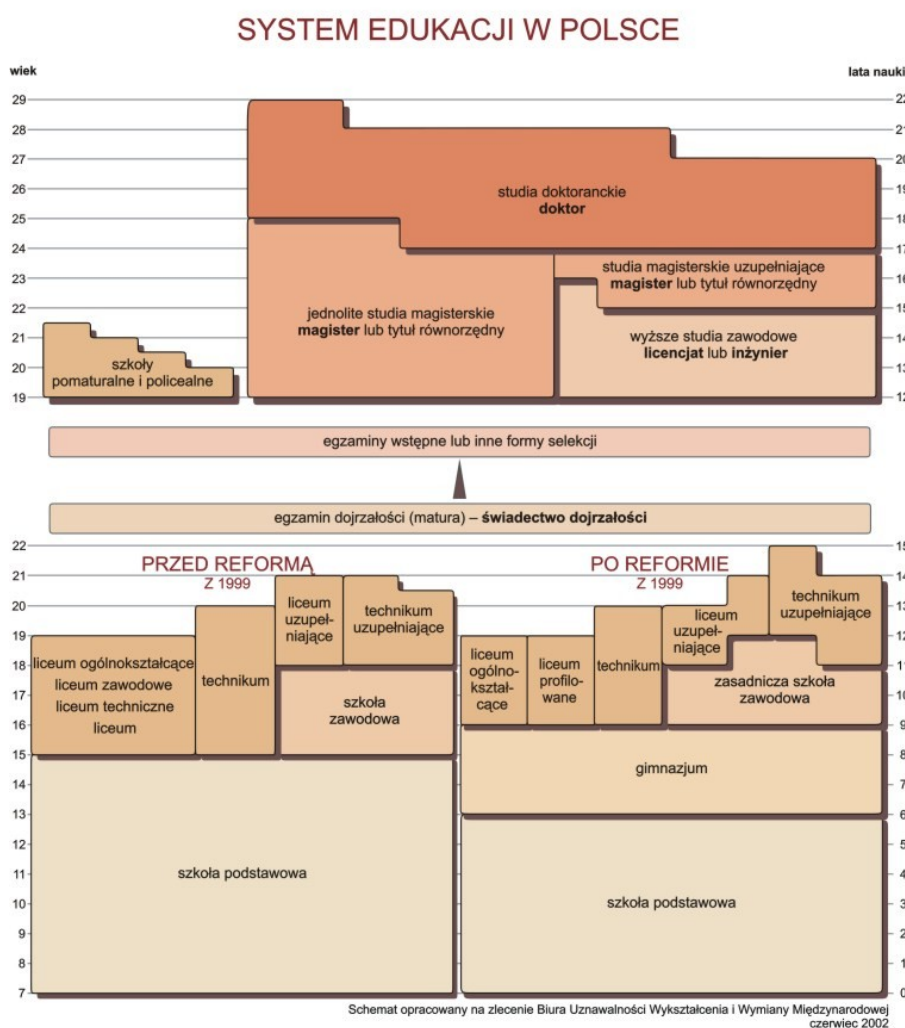
Badania w zakresie fuzji termojądrowej, a także projektowanie i budowa laboratoriów oraz wielkich urzędów badawczych takich jak ITER, HIPER czy IFMIF obejmują szereg dziedzin wiedzy, która wykładana jest w różnym zakresie, począwszy od szkół technicznych i

inżynierskich po studia wyższe i kształcenie podyplomowe. Osobnym zagadnieniem jest działalność ukierunkowana na ogólną edukację społeczeństwa poprzez odpowiednią działalność informacyjną.

Wymienione kierunki badań obejmują następujące dziedziny nauk fizycznych i technicznych:

Fizyka plazmy, pola magnetyczne, detekcja promieniowania elektromagnetycznego, jonizującego, strumieni neutronów, badania materiałowe, techniki wysokiej próżni, tryt, lasery, systemy silnoprądowe, energetyka, systemy informatyczne, modelowanie numeryczne.

1.2. Edukacja w Polsce na poziomie uczelni akademickich



W Polsce na podstawie art. 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym” realizowane są następujące etapy edukacji:

Studia pierwszego stopnia - studia licencjackie lub inżynierskie, umożliwiające uzyskanie wiedzy i umiejętności w określonym zakresie kształcenia, przygotowujące do pracy w określonym zawodzie, kończące się uzyskaniem tytułu licencjata albo inżyniera.

Studia drugiego stopnia - studia magisterskie, umożliwiające uzyskanie specjalistycznej wiedzy w określonym zakresie kształcenia, jak również przygotowujące do twórczej pracy w określonym zawodzie, kończące się uzyskaniem tytułu magistra albo tytułu równorzędnego.

Jednolite studia magisterskie - studia magisterskie, na które przyjmowani są kandydaci posiadający świadectwo dojrzałości, umożliwiające uzyskanie specjalistycznej wiedzy w określonym zakresie kształcenia, jak również przygotowujące do twórczej pracy zawodowej, kończące się uzyskaniem tytułu magistra albo tytułu równorzędnego; ich ukończenie umożliwia ubieganie się o przyjęcie na studia trzeciego stopnia.

Studia trzeciego stopnia - studia doktoranckie, na które przyjmowani są kandydaci posiadający tytuł magistra albo tytuł równorzędny, umożliwiające uzyskanie zaawansowanej wiedzy w określonej dziedzinie lub dyscyplinie nauki, przygotowujące do samodzielnej działalności badawczej i twórczej oraz uzyskania stopnia naukowego doktora.

Studia podyplomowe - inna niż studia wyższe i studia doktoranckie forma kształcenia przeznaczona dla osób legitymujących się dyplomem ukończenia studiów wyższych.

Studia w zakresie nauk fizycznych i technicznych realizowane są w zdecydowanej większości na uczelniach publicznych podlegających nadzorowi Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W Obwieszczeniu nr 6/2009 MNiSW w sprawie wykazu uczelni i związków uczelni z dnia 20 lipca 2009 roku wymienionych jest 18 uniwersytetów i 17 politechnik (Załącznik 1). Na tych uczelniach obowiązują określone przez MNiSW standardy kształcenia dla poszczególnych kierunków studiów i poziomów kształcenia (Załącznik 2).

Wszystkie wymienione uniwersytety posiadają wydziały nauk ścisłych lub przyrodniczych, na których wykładana jest fizyka. Współczesna fizyka to fizyka fazy skondensowanej, fizyka atomowa i cząsteczkowa, fizyka cząstek elementarnych i astrofizyka. Miejscem fizyki plazmy wydaje się być astrofizyka obejmująca oprócz kosmologii i nauk planetarnych również fizykę plazmy jak również fizyka atomowa i cząsteczkowa zajmująca się oddziaływaniami pojedynczych atomów i cząsteczek z promieniowaniem. Analizując standardy MNiSW w zakresie podstaw fizyki ewidentnie widać, że obowiązujący materiał jest ograniczony do minimalnej wiedzy z zakresu podstawowych pojęć fizycznych. Absolwent polskiego uniwersytetu, który uzyskał podstawowe wykształcenie z zakresu fizyki mógł w ogóle nie spotkać się z zagadnieniami takimi jak np. możliwość realizacji syntezy lekkich jąder w warunkach ziemskich, co jest fizyczną podstawą fuzji termojądrowej. Również kształcenie kierunkowe w zakresie fizyki, czy to na poziomie studiów pierwszego czy drugiego stopnia nie obejmuje swym zakresem spójnego wykładu z zakresu fizyki fuzji. Oczywiście można doszukać się w poszczególnych specjalizacjach w zakresie astronomii czy elektrodynamiki elementów związanych z fizyką plazmy, nie jest to jednak wiedza kompletna.

Nieco bogatszą wiedzę (z punktu widzenia zagadnień eksperymentalnej fizyki plazmy) mogą wynieść słuchacze fizyki technicznej, która obejmuje kształcenie kierunkowe np. w zakresie podstaw fizyki technicznej, elektrotechniki, laboratorium fizycznego czy metod numerycznych. Student, który w ramach własnych zainteresowań spotkał się z problematyką fuzji wysokotemperaturowej, zdobędzie na tych studiach wstępne podstawy do prac eksperymentalnych związanych z badaniami plazmy fuzyjnej.

Znacznie bardziej interesującą ofertę przedstawiają polskie uczelnie techniczne z zakresu inżynierii materiałowej. Tutaj standardy w zakresie fizyki (inne niż dla kierunku fizyka) jak i nauki o materiałach, metodyki badań materiałów, projektowania inżynierskiego i materiałowego, termodynamiki technicznej i elektrotechniki mogą dawać podstawy do dalszego kształcenia w zakresie studiów trzeciego stopnia z dziedziny eksperymentalnej fuzji termojądrowej.

Osobną rolę w zakresie przygotowania kadr dla fuzji i energetyki termojądrowej mogą pełnić studia w zakresie energetyki. Oprócz kształcenia z zakresu określonych przez MNiSW

standardów, szereg uczelni wyższych w Polsce podejmuje lub reaktywuje obecnie kształcenie z zakresu energetyki jądrowej (Załącznik 3). Działalność ta jest konsekwencją rozpoczęcia prac nad Programem Polskiej Energetyki Jądrowej przez rząd RP w lipcu 2009 roku. Ministerstwo Gospodarki opublikowało przygotowany przez Pełnomocnika Rządu ds. Polskiej Energetyki Jądrowej [ramowy harmonogram działań dla energetyki jądrowej](#). Harmonogram przewiduje uruchomienie w roku 2009 programu kształcenia kadr dla instytucji i przedsiębiorstw związanych z energetyką jądrową, rozwój zaplecza naukowo-badawczego oraz prowadzenie kampanii informacyjnej i edukacyjnej. Został zapoczątkowany cykl szkoleń w instytucjach zagranicznych, z których mogą korzystać dydaktycy wytypowani przez szkoły wyższe. Właśnie te osoby mają stanowić późniejszy trzon kadry w tworzeniu na uczelniach nowych kierunków związanych z energetyką jądrową.

Należy również zwrócić uwagę na to, że ze względu na interdyscyplinarność badań nad energetyką termojądrową dla potencjalnego badacza lub inżyniera, użyteczne mogą być również inne kierunki studiów związane z elektroniką, automatyką i informatyką. Polskie uczelnie oferują wiele specjalizacji, takich jak systemy pomiarowo-kontrolne, optoelektronika, inżynieria komputerowa, modelowanie zjawisk fizycznych i tym podobne. Wykształceni w tych kierunkach inżynierowie i magistry, jeżeli zainteresowaliby się dostępnymi etatami wśród kadry zajmującej się badaniami fuzyjnymi, mieliby duże szanse znaleźć wśród niej swoje miejsce. Jest to możliwe, dlatego że w pracy nad określonym, wyspecjalizowanym zagadnieniem fuzyjnym może wystarczyć dość wąski zakres wiedzy, związany z badanym zjawiskiem lub procesem, uzupełniony szeroką wiedzą z zakresu innej specjalizacji np. numerycznych algorytmów modelujących procesy fizyczne.

1.3. Studia podyplomowe i doktoranckie

Zarówno wyższe uczelnie polskie jak i Polska Akademia Nauk oraz instytuty badawcze prowadzące studia doktoranckie (często o zasięgu międzynarodowym) włączyły się w proces kształcenia specjalistów w zakresie syntezy termojądrowej.

Międzynarodowe Studium Doktoranckie PAN przy Wydziale III Nauk Matematycznych, Fizycznych i Chemicznych PAN (MSD PAN):

Uczestnictwo w MSD PAN zgłosiły w 2000 roku istniejące od wielu lat Studia Doktoranckie prowadzone przez szereg instytutów PAN oraz kilka innych jednostek naukowych, w tym Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN), Instytut Problemów Jądrowych (IPJ), Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN. Poszczególne Studia Doktoranckie zachowują całkowitą samodzielność w zakresie swojego działania, np. programu, regulaminu, rekrutacji. We wszystkich jednostkach naukowych tworzących MSD PAN kształcą się obecnie ponad 200 doktorantów, z tego ponad 60 z zagranicy.

Studia Doktoranckie przy IFJ PAN oraz IPJ przedstawiają konkretną ofertę dla doktorantów z zakresu fizyki termojądrowej. IPJ: fizyka i technologia plazmy, IFJ PAN: diagnostyki neutronowe.

Interdyscyplinarne Studia Doktoranckie "Zaawansowane Materiały dla Nowoczesnych Technologii i Energetyki Przyszłości":

Z dniem 1 października 2009 roku trzy krakowskie instytucje naukowe, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej, Instytut Fizyki Jądrowej PAN oraz Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, uruchomiły nowe środowiskowe studia doktoranckie o nazwie Interdyscyplinarne Studia Doktoranckie "Zaawansowane Materiały dla Nowoczesnych Technologii i Energetyki Przyszłości". Studia te finansowane są w większości ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki. Projekt przewiduje czteroletni system studiów z trzykrotnym naborem kandydatów (2009, 2010, 2011).

Kształcenie i badania naukowe realizowane w ramach ISD dotyczą fizycznych, chemicznych i technologicznych aspektów nauki o materiałach z zakresu: nanotechnologii, nanoelektroniki, spintroniki, projektowania i badania własności nowych materiałów dla nowoczesnych technologii, biotechnologii, chemii produktów ekologicznych oraz energetyki przyszłości. Studia adresowane są do absolwentów studiów magisterskich w zakresie fizyki, chemii, informatyki, biologii, energetyki oraz kierunków pokrewnych obejmujących naukę o materiałach. IFJ PAN zgłosił w ramach pierwszego naboru możliwość realizacji 17 prac doktorskich, w tym 5 tematów jest związanych bezpośrednio z problemami diagnostyki plazmy wysokotemperaturowej.

Studia Doktoranckie na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej:

Studia prowadzone są w trybie III stopnia kształcenia w zakresie inżynierii materiałowej. Na studia przyjmowani są absolwenci kierunku inżynieria materiałowa Wydziału i innych uczelni technicznych. Tematyka prac doktorskich jest ściśle związana z tematyką prac naukowych prowadzonych przez samodzielnych pracowników naukowych.

1.4. Szkolenia podyplomowe. Kursy specjalistyczne

Z inicjatywy Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, począwszy od roku 2001 organizowana jest corocznie w Polsce Międzynarodowa Letnia Szkoła Fizyki Plazmy w Kudowie. W pierwszych latach działalności Szkoły tematyka była zogniskowana na ogólnych zagadnieniach plazmowych oraz urządzeniach typu *plasma-focus*, jednak z biegiem lat środek ciężkości profilu tematycznego szkoły przeniósł się w stronę energetyki termojądrowej, w szczególności opartej na rozwijaniu koncepcji tokamaków.

Wykłady prowadzone są przez wybitnych naukowców z głównych ośrodków naukowych w Europie zajmujących się badaniami nad fuzją. Młodzi uczestnicy – często doktoranci z różnych ośrodków europejskich – mają szansę zaprezentować wyniki swoich badań. Uczestnictwo młodych naukowców ze wszystkich stron świata (również spoza Europy) stwarza możliwości odnajdywania wspólnych obszarów zainteresowań naukowych oraz prowadzenia współpracy. W 2009 roku współorganizatorami szkoły oprócz IFPiLM i Asocjacji Euratom-IFPiLM były Asocjacje Euratom z Czech i Węgier.

1.5. Edukacja w zakresie szkolnictwa średniego w Polsce

Przygotowanie społeczeństwa do zaakceptowania fuzji jądrowej jako nowej formy pozyskiwania energii, powinno rozpoczynać się na poziomie szkolnictwa ponadpodstawowego. Jest tutaj duże pole do działania dla nauczycieli fizyki, zarówno w gimnazjum jak i liceum. Z inicjatywą współpracy z kadrą nauczycielską wystąpiła z początkiem 2008 roku Asocjacja Euratom IFPiLM wraz z Krajowym Punktem Kontaktowym Euratom.

Inicjatywa wyszła naprzeciw szeroko odczuwanym potrzebom dokształcania nauczycieli w zakresie fizyki współczesnej i otwarcia instytutów naukowych dla ogółu społeczeństwa. Nauczyciele mają możliwość poszerzenia swojej wiedzy i poznania najnowszych osiągnięć technicznych, które dokonują się na ich oczach. Poprzez nauczycieli informacja o badaniach naukowych, podejmowanych przez instytuty na rzecz szeroko pojętego rozwoju myśli naukowej i technicznej, dociera do młodzieży i do szerokiego grona odbiorców.

W ramach wspomnianego projektu Asocjacji organizowane są szkolenia i konferencje dla nauczycieli fizyki z udziałem wykładowców z IFPiLM oraz współpracujących ośrodków IPJ Świerk, JET Culham (Wielka Brytania), w zakresie otrzymywania i utrzymywania plazmy, zasad działania tokamaka plazmowego oraz przyszłościowej produkcji energii bezpiecznej dla środowiska (patrz Załącznik 4). Nauczyciele regularnie otrzymują materiały dydaktyczne, które wykorzystują w pracy z uczniami: na lekcjach, zajęciach pozalekcyjnych, organizowanych sesjach szkolnych i międzyszkolnych. Pracownicy IFPiLM są zapraszani do szkół na tego typu sesje, wygłaszają wykłady, uczniowie szkół mają bezpośredni kontakt z pracownikami naukowymi, mają możliwość zadawania pytań. Obecnie projekt ten pod nazwą „Fuzja w szkole i społeczeństwie” gromadzi ok. 100 nauczycieli przedmiotów przyrodniczych z gimnazjów i liceów z całej Polski. Na potrzeby projektu wykonywane są tłumaczenia na język polski materiałów edukacyjnych i propagandowych opracowanych przez EFDA. KPK również opracowało swoje własne materiały dydaktyczne. Są to tłumaczenia artykułów na temat fuzji jądrowej znanych europejskich autorów z czasopisma dla nauczycieli „Science in School” oraz artykuły napisane przez pracowników naukowych IFPiLM dla polskich czasopism popularnonaukowych.

Istnieje strona internetowa poświęcona projektowi: www.kpk.ifpilm.pl/edukacja, na której znajdują się wszystkie materiały wykorzystywane w projekcie oraz aktualne i archiwalne informacje na temat podejmowanych działań: szkoleń, konferencji, sesji, wystaw.

Od 2010 roku planowane jest włączenie zainteresowanych uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych w realizację projektu. Uczniowie, podobnie jak obecnie nauczyciele mieliby możliwość zwiedzania laboratoriów naukowych, uczestniczenia w szkoleniach, bezpośredniej obserwacji pracowników naukowych przy pracy. Wiedza zdobyta w ten sposób stanie się bardziej przystępna, przyjazna dla młodego człowieka i miejmy nadzieję wzbudzi zainteresowanie fizyką i naukami przyrodniczymi wśród młodzieży.

1.6. Ogólnospoleczne działania edukacyjne i informacyjne

Komisja Europejska w ramach działań informujących społeczeństwo o wadze badań nad energetyką termojądrową organizuje, począwszy od 1993 roku wystawę objazdową „Fusion Expo”. Od 1999 roku w opracowywaniu wystawy uczestniczy konsorcjum EFDA. Co kilka lat wystawa jest uaktualniana, ostatnio w roku 2008. Wystawa prezentuje program badawczy fuzji jądrowej w Europie i na świecie, jest przygotowana w bardzo atrakcyjnej współczesnej formie. Przeznaczona jest dla szerokiego grona odbiorców: od dzieci z ostatnich klas szkoły podstawowej, poprzez młodzież gimnazjalną i licealną jak i dla całego społeczeństwa.

Gospodarzami wystawy są uczelnie wyższe, które zobowiązują się do zapewnienia wykwalifikowanej obsługi informacyjnej. Organizowanie wystawy jest doskonałą okazją dla uczelni do nawiązania współpracy ze szkołami w swoich rejonach oraz kontaktu z ludźmi, niepracującymi w dziedzinie nauk ścisłych. Wystawa gościła już prawie we wszystkich krajach Europy, jak również poza Europą. W Polsce była pokazywana w 2003 w Gdańsku, w 2004 Warszawie, Krakowie i Poznaniu oraz w 2006 we Wrocławiu. W roku 2009 odwiedziła

cztery polskie miasta: Koszalin, Szczecin, Łódź i Katowice. W każdym z wymienionych miast wystawa wzbudziła szerokie zainteresowanie. W czasie trwania wystawy odbywały się dostępne dla wszystkich chętnych ciekawe wykłady popularnonaukowe na temat fuzji, energetyki jądrowej, termojądrowej i energetyki przyszłości. Wystawa odbiła się szerokim echem w lokalnych mediach: prasie, radiu i telewizji.

Uczelnie wyższe, które jeszcze nie gościły wystawy u siebie, zgłosiły chęć przyjęcia jej w najbliższej przyszłości. Trwają przygotowania nad zorganizowaniem wystawy w Lublinie, Kielcach i Bydgoszczy w 2011 roku.

Na uwagę zasługuje również uczestnictwo naukowców i organizacji związanych z energetyką termojądrową w innych przedsięwzięciach promujących naukę i wiedzę, takich jak np. pikniki naukowe. W organizowanym w Warszawie pikniku naukowym tradycyjnie bierze udział grupa IFPiLM prezentując zainteresowanym zagadnienia związane z fuzją termojądrową i fizyką plazmy oraz udostępniając materiały promocyjne.

1.7. Działalność edukacyjna na poziomie europejskim

Według postanowień FP7 Komisja Europejska ma do dyspozycji zaplecze instrumentów oraz inicjatyw wspierających edukację w dziedzinie energetyki termojądrowej. Wśród nich należy wymienić programy wspierające wymianę personalną oraz kształcenie, takie jak:

- EURATOM Fusion Training Scheme
- Erasmus
- Erasmus Mundus (dla magistrantów)
- Comenius (dla nauczycieli)
- Leonardo da Vinci (w głównej mierze dla studentów związanych z technologią)

Nowym programem koordynującym działania edukacyjne w skali europejskiej w zakresie fuzji termojądrowej jest *Fusion Educational Network* (FUSENET) uruchomiony w 2008 roku w ramach 7 PR. Program skierowany jest do wszystkich instytucji edukacyjnych, od poziomu szkoły średniej wzwyż i ma na celu wspieranie nauczania w zakresie przedmiotów związanych z badaniami nad fuzją, badaniami materiałowymi oraz związanym z tymi dziedzinami przemysłem. Organizacja posiada strukturę otwartą, która umożliwia dołączanie się kolejnych jednostek i odszukanie niszy dla obszaru własnych zainteresowań. Realizacją i nadzorowaniem programu Sieci zajmuje się Rada Akademska, w której skład wchodzi profesorowie i reprezentanci poszczególnych instytucji należących do FUSENET, a każdy poziom kształcenia (studia doktoranckie, magisterskie, inżynierskie, licencjackie oraz poziom szkoły średniej) podlega osobnemu komitetowi. W Polsce uczestnikiem projektu edukacyjnego FUSENET jest IFPiLM.

Projektami podobnymi do FUSENET, lecz nieco starszymi, a przez to bardziej „doświadczonymi” są ENEN (Europejska Sieć Edukacji Nuklearnej - *European Nuclear Education Network*) oraz NEPTUNO (Nuklearna Europejska Platforma Szkoleniowa i Uniwersytecka - *Nuclear European Platform for Training and University Organisations*). Zarówno NEPTUNO jak i ENEN realizują podobną strategię oraz posiadają podobne cele, jakie obecnie przyświecają sieci FUSENET. Należy tu wymienić organizację sieci, koordynację celów edukacyjnych, implementację projektów pilotażowych oraz stworzenie strony internetowej będącej portalem dla instytucji zajmujących się badaniami i edukacją w dziedzinie fizyki i technologii jądrowej, oraz dla studentów zainteresowanych tą tematyką.

Warto również nadmienić, że niektóre z instytucji zaangażowanych w prace ENEN biorą również udział w budowaniu FUSENET.

Bardzo ważną rolę w procesie edukacji na poziomie studentów szkół wyższych i doktorantów odgrywają letnie szkoły i kursy organizowane przez wiodące europejskie ośrodki badawcze. Warto tu wymienić kilka z nich o utrwalonej renomie:

The Carolus Magnus Summer School organizowana przez *Energy Research and Plasma Physics at Research Centre Jülich*, *The FOM-Institute for Plasma Physics Rijnhuizen* oraz *The Laboratory for Plasma Physics ERM/KMS* w Brukseli w ramach *Trilateral Euregio Cluster* (TEC). Szkoła ukierunkowana jest na zagadnienia teoretycznych i eksperymentalnych aspektów plazmy wysokotemperaturowej komprimowanej polem magnetycznym. Szkoła odbywa się w cyklu dwuletnim, w 2009 roku odbyła się jej dziewiąta edycja. Wykłady prowadzone są przez naukowców z *North Rhine-Westphalia*, z Belgii i Holandii, a także innych ośrodków badawczych związanych z Euratomem. Szkoła jest przeznaczona dla doktorantów i absolwentów wyższych uczelni, którzy chcą rozpocząć studia doktoranckie w zakresie fizyki plazmy i syntezy termojądrowej.

The Karlsruhe International School on Fusion Technologies została zorganizowana w 2009 roku po raz trzeci z serii corocznych letnich szkół, które umożliwiają przegląd kluczowych technologii syntezy jądrowej, ich stan obecny oraz wyniki badań, szczególnie w związku z projektem ITER oraz DEMO. Szkoła jest finansowana przez Komisję Europejską i organizowana wspólnie przez *Forschungszentrum Karlsruhe* (FZK), Niemcy, *Commisariat à l'Energie Atomique* (CEA), Francja, *United Kingdom Atomic Energy Authority* (UKAEA), Wielka Brytania, *Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente* (ENEA), Włochy, *Österreichische Akademie der Wissenschaften* (ÖAW), Niemcy oraz AREVA NP, Francja.

Począwszy od 1997 roku *Max-Planck-Institut für Plasmaphysik*, IPP, organizuje corocznie *IPP Summer University for Plasma Physics and Fusion Research* przeznaczony dla absolwentów wyższych uczelni, którzy planują podjęcie dalszego kształcenia na poziomie studiów doktoranckich. Kurs obejmuje główne aspekty fizyki plazmy i fuzji jądrowej tak w aspekcie badań eksperymentalnych jak i astrofizyki.

1.8. WNIOSKI I KOMENTARZE

Analizując możliwości i potrzeby uzyskania w Polsce wyższego wykształcenia dającego podstawy wiedzy z zakresu szeroko rozumianej fuzji i energetyki termojądrowej, należy przede wszystkim wziąć pod uwagę rynek pracy, z którym zderzy się potencjalny absolwent.

Aktualny rynek pracy w Polsce sprowadza się do skromnego zapotrzebowania na młodych pracowników naukowych i nielicznej grupy inżynierów mogących znaleźć zatrudnienie w laboratoriach badawczych lub przedsiębiorstwach innowacyjnych. Struktura ta jest odzwierciedleniem ogólnego zapotrzebowania europejskiego ocenionego na 200. naukowców w pięcioletniej perspektywie. Czy ta sytuacja ma szansę zmienić się w perspektywie 10–20 lat? W zakresie kadry pracowników naukowych sytuacja uwarunkowana będzie dynamiką rozwoju badań naukowych w Polsce, która nieodłącznie powiązana jest z nakładami na naukę oraz rozwojem infrastruktury badawczej. Biorąc pod uwagę cele stawiane przed polską gospodarką promujące „gospodarkę opartą na wiedzy” oraz „konkurencyjność nauki polskiej” można prognozować dynamiczny rozwój badań naukowych związanych z fuzją i energetyką termojądrową w Polsce. Obecnie w badania w tej dziedzinie w Polsce zaangażowanych jest 11 instytucji naukowych. Analizując projekty

badawcze proponowane przez te instytucje do realizacji w ramach Asocjacji Euratom IFPiLM, widać że są to projekty rozwojowe. Można z tego wnosić, że przy sprzyjającej koniunkturze istniejące grupy badawcze będą się powiększać oraz pojawią się nowe. Interesującym uzupełnieniem może tu być lektura „Ekspertyzy w zakresie inwestycji w sprzęt badawczy w krajowych ośrodkach naukowych” przygotowanej również dla potrzeb „*Foresightu* dla energetyki termojądrowej”.

Badania w zakresie fuzji termojądrowej mają zdecydowanie charakter międzynarodowy. Wynika to przede wszystkim z wysokich kosztów tych badań, które opierają się w znacznej mierze na wielkich urządzeniach badawczych budowanych wysiłkiem wielu krajów, przekraczając nawet możliwości Unii Europejskiej. Nasi pracownicy naukowci oprócz podstawowej wiedzy merytorycznej muszą również posiadać umiejętności pracy w złożonych międzynarodowych grupach badawczych.

Czy dostępny dla naszej młodzieży system edukacji pozwala na uzyskanie takiego wykształcenia? Można by powiedzieć, że „dla chcącego nic trudnego”. Uzyskane obecnie wykształcenie wyższe w Polsce obejmujące kurs fizyki ogólnej lub technicznej i kierunkowe wykształcenie w zakresie badań materiałowych pozwala na podjęcie studiów doktoranckich w zakresie fuzji termojądrowej, zwłaszcza, jeśli studia te zostaną poprzedzone np. uczestnictwem w jednej z wymienionych powyżej międzynarodowych letnich szkół fizyki lub technologii plazmy. Poza nielicznymi pozytywnymi aspektami takiego trybu zdobywania wiedzy (jest to droga dla zdeterminowanych pasjonatów, którzy z pewnością sprawdzą się jako wartościowi pracownicy naukowci) nie można takiego systemu edukacji uznać za właściwy. Faktem jest, że w polskich uczelniach wyższych zagadnienia fuzji termojądrowej czy energetyki termojądrowej jako przyszłościowego źródła energii nie pojawiają się w sylabusach wykładów specjalistycznych.

Jedynie w Politechnice Warszawskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie student może otrzeć się o wymienione zagadnienia, co wynika jednoznacznie z faktu, że te dwie wysoko notowane polskie uczelnie realizują prace badawcze w ramach Asocjacji Euratom IFPiLM. Nie dziwi więc również fakt, że obydwie te uczelnie prowadzą studia doktoranckie, na których można realizować prace doktorskie w zakresie fuzji.

Ten przykład poddaje możliwy scenariusz uaktywnienia uczelni wyższych w kierunku podejmowania kształcenia w zakresie fuzji i energetyki termojądrowej. Jest nim zwiększenie udziału wyższych uczelni w prowadzeniu prac badawczych we wspomnianych dziedzinach. W Polsce badania w zakresie fizyki plazmy, fuzji termojądrowej wraz z zagadnieniami diagnostyki plazmy fuzyjnej (np. badania neutronowe) prowadzone są głównie w instytutach badawczych (np. IFPiLM, IPJ, IFJ PAN) a nie na uczelniach. To jest głównym powodem, że tematyka ta nie występuje w programach edukacyjnych uczelni, gdyż pracownicy naukowci, w tym również profesorowie, specjalizujący się w wyżej wymienionych dziedzinach są zatrudniani w instytutach naukowych nie posiadających obowiązków dydaktycznych. Również dlatego w Polsce studia doktoranckie, w ramach których można kształcić się w zakresie fuzji (działające nie tylko przy uczelniach wyższych, co przedstawiono w niniejszym opracowaniu), są w zasadzie łatwo dostępne.

Dodatkową zachętą dla polskich uczelni wyższych mogłaby stać się inicjatywa typu *education for educators* skierowana do wykładowców wyższych uczelni. Tego rodzaju kursy dla kadry dydaktycznej wyższych uczelni powinny być prowadzone przez wybitnych specjalistów w zakresie fuzji termojądrowej.

Osobnym zagadnieniem jest perspektywa rynku pracy dla kadry inżynierskiej, która będzie zainteresowana pracą w innowacyjnych przedsiębiorstwach przemysłowych związanych z nowymi technologiami, czy to bezpośrednio związanymi z budową urządzeń badawczych dla potrzeb fuzji, czy też wykorzystujących opracowane technologie do innych

zastosowań przemysłowych. Głównym kierunkiem wykształcenia jest tu szeroko pojęta inżynieria techniczna i materiałowa. Umieszczenie wzmianek dotyczących energetyki termojądrowej w programach wydziałów specjalizujących się w elektronice, informatyce oraz technikach obliczeniowych mogłoby również wywrzeć bardzo pozytywny wpływ poprzez zasygnalizowanie studentom popytu na ich usługi w dziedzinie badań nad fuzją.

Nie można tu pominąć jeszcze jednego rynku pracy funkcjonującego w kilku ośrodkach naukowych w Polsce. W związku z budową wielkich urządzeń badawczych, takich jak *Large Hadron Collider*, powstał w Europie wysoko specjalistyczny rynek pracy dla techników, inżynierów, kadry nadzorczej zdolnych do realizacji tych inwestycji. IFJ PAN, AGH, IPJ skierowały swoich pracowników inżynieryjno-technicznych m.in. do budowy LHC. Działalność ta spowodowała powstanie w IFJ PAN Działu Budowy Aparatury i Infrastruktury Naukowej (DAI) składającego się z czterech Sekcji: Budowy Aparatury, Elektroniczno-Elektrycznej, Infrastruktury Naukowej i Materiałów Kompozytowych. Pracownicy DAI uczestnicząc w budowach wielkich jednostkowych urządzeń badawczych i ich wyposażenia aparaturowego zdobywają wyjątkowe doświadczenie i umiejętności zawodowe, stając się elitarną grupą zawodową w skali europejskiej. Począwszy od 2008 roku ponad 20 techników i inżynierów z DAI uczestniczy w budowie i montażu stellaratora Wendelstein w IPP Greifswald.

Tego typu grupy pracowników inżynieryjno-technicznych zatrudnione są również w AGH i IPJ. Powstaje problem wymagający poważnej dyskusji nad trwałością takich grup inżynieryjno-technicznych (np. zapewnienie ciągłości kadry) ściśle powiązanych z budową i rozwojem infrastruktur naukowych w skali europejskiej. Już obecnie wiadomo, że nasi specjaliści osiągnęli sukces na arenie europejskiej i są poszukiwanymi pracownikami. W Polsce w najbliższych latach również będą budowane duże urządzenia badawcze jak cyklotron w IFJ PAN dla Centrum Terapii Hadronowej Bronowice, czy synchrotron na Uniwersytecie Jagiellońskim. W Europie, oprócz różnych poważnych inwestycji (np. XFEL, w którego budowę zamierza zaangażować się IFJ PAN oraz IPJ) jest przecież budowany ITER i planuje się budowę DEMO.

Doświadczeni specjaliści z wyżej wymienionych instytucji mogą stanowić podporę ekspercką i edukacyjną dla przedsiębiorców decydujących się na zaangażowanie w cząstkowe etapy budowy ITERA.

Nie do przecenienia jest działalność popularyzatorska i informacyjna skierowana do młodzieży szkół ponadpodstawowych. Nauczyciele jako pierwsi mają możliwość przekazywania młodym ludziom wiedzy o najnowszych osiągnięciach i wyzwaniach cywilizacyjnych, do których należy również energetyka termojądrowa. Bezpośredni kontakt pracowników naukowych z nauczycielami umożliwia tym drugim przekazywanie młodzieży aktualnych, wiarygodnych informacji opartych na własnym doświadczeniu. Jeśli dodatkowo nauczyciel robi to z entuzjazmem i zaangażowaniem, młodzież wyrabia sobie bardzo pozytywny, korzystny pogląd na zasadność prowadzonych prac badawczych w dziedzinie fuzji jądrowej. Duże znaczenie ma informowanie młodzieży o ogromnym zasięgu współpracy międzynarodowej, umiejętnej koordynacji prac i uświadamianie im konieczności działań w grupie. Bardzo dobrym rozszerzeniem kooperacji instytutów naukowych ze szkołami ponadpodstawowymi jest włączenie uczniów, szczególnie zainteresowanych przedmiotami przyrodniczymi w bezpośrednią współpracę. Młody człowiek będzie miał możliwość obserwacji jak czysta nauka zamienia się w konkretne działania, które mogą przynieść wymierne korzyści w przyszłości. Takie zetknięcie się z katedrą nauki może być dla młodych ludzi doświadczeniem decydującym o ich dalszej drodze życiowej, o wyborze kierunku studiów i przyszłej pracy.

Istnieje duże prawdopodobieństwo, że w przyszłości uczniowie ci podejmą studia w zakresie nauk ścisłych i za kilka lat zasilą kadre naukową i inżynierską dla energetyki termojądrowej.

Dlatego też, aby osiągnąć zamierzony cel rozbudzenia wśród uczniów zainteresowania problematyką energii jądrowej należy w pierwszej kolejności przeszkolić kadre nauczycielską w tym zakresie. Objęcie nauczycieli zaplanowanym programem doskonalenia zawodowego pozwoli na przygotowanie ich nie tylko od strony merytorycznej z zakresu energetyki jądrowej, ale również od strony metodycznej w obszarze dydaktyki nauczania przedmiotu. Nowa podstawa programowa kształcenia ogólnego określona rozporządzeniem Ministra Edukacji Narodowej z dnia 23 grudnia 2008 roku w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół (Dz. U. z 2009 r. Nr 4, poz. 17) dla III etapu edukacyjnego nie zawiera w sobie żadnych treści dotyczących problematyki energetyki jądrowej, natomiast dla IV etapu edukacyjnego określone zostały treści jedynie na poziomie podstawowym. W tych treściach znajduje się m.in. zapis, iż uczeń: podaje przykłady zastosowania zjawiska promieniotwórczości i energii jądrowej; opisuje reakcję rozszczepienia uranu ^{235}U zachodzącą w wyniku pochłonięcia neutronu; opisuje działanie elektrowni atomowej oraz wymienia korzyści i zagrożenia płynące z energetyki jądrowej; opisuje reakcje termojądrowe zachodzące w gwiazdach oraz bombie wodorowej (Treści nauczania pkt. 3.8 - 3.11).

Znaczne ograniczenie treści nauczania fizyki w szkołach ponadgimnazjalnych znacznie zuboży zakres wiedzy społeczeństwa z zakresu energetyki jądrowej czyniąc ją bardziej tajemniczą i niezrozumiałą dla przeciętnego obywatela. Zagadnienia związane z fizyką współczesną a szczególnie z fizyką jądrową są trudne i wymagają klarownego ich przedstawiania. Nauczyciele, nie mając dostępu do specjalistycznych laboratoriów, w których prowadzi się badania z promieniowaniem jonizującym, zmuszeni są do znacznego ograniczenia metod dydaktycznych w prowadzeniu lekcji z tej tematyki ograniczając się jedynie do metod podających. Brak stosowania metod aktywizujących skutkuje brakiem późniejszego zainteresowania wśród uczniów. Z tego właśnie powodu przeprowadzenie szeroko zakrojonego szkolenia nauczycieli w zakresie doskonalenia swojego warsztatu pracy w obszarze energetyki jądrowej i termojądrowej jest w pełni uzasadnione. Odpowiednie przygotowanie kadr nauczycielskich pozwoli na przygotowanie uczniów szkół ponadgimnazjalnych do obcowania i rozumienia problematyki energii jądrowej jak też świadomego podjęcia studiów w zakresie nauk ścisłych oraz inżynierskich.

Przedstawione powyżej działania realizowane przez Asocjację Euratom IFPiLM wraz z Krajowym Punktem Kontaktowym Euratom spotykają się z ogromnym zainteresowaniem ze strony pedagogów i są również wysoko oceniane przez Komisję Europejską. Działalność ta powinna być kontynuowana w znacznie szerszym zakresie i objąć znacznie większą grupę nauczycieli i uczniów, reprezentatywną dla całego polskiego szkolnictwa ponadpodstawowego.

.....
Prof. dr hab. Urszula Woźnicka

.....
Mgr inż. Paweł Gąsior

.....
Mgr inż. Helena Howaniec

Kraków-Warszawa, 20 października, 2009 r.