

# INFORMACJA O BADANIU

## Cel badania

Badanie, którego wyniki są referowane w tym raporcie, stanowiło jedno z przedsięwzięć mających służyć celom głównym projektu „Foresight dla energetyki termojądrowej”, przede wszystkim dostarczając opinii pracowników naukowych zajmujących się problematyką energetyki termojądrowej w Polsce na temat stanu i perspektyw tej dziedziny w pięciu obszarach:

- I. Międzynarodowej pozycji Polski w badaniach nad fuzją termojądrową, szczególnie w kontekście udziału Polski w projektach ITER, HIPER i JET;
- II. Mocnych i słabych stron badań nad energetyką termojądrową w Polsce;
- III. Inwestycji w sprzęt badawczy w krajowych ośrodkach naukowych;
- IV. Edukacji na potrzeby fizyki termojądrowej;
- V. Współpracy ośrodków prowadzących badania nad energetyką termojądrową z przemysłem.

## Metoda badawcza

Badanie zostało przeprowadzone z użyciem metodologii typu „badania delfickiego”, służącej wykorzystaniu opinii i wiedzy ekspertów (badaczy, praktyków, decydentów etc.) do sformułowania diagnozy aktualnego stanu badanej dziedziny zjawisk i prognozy (możliwych lub pożądaných scenariuszy) jej rozwoju w przyszłości.

Omawiane w tym raporcie badanie składało się z dwóch etapów (faz):

- ❖ wstępnej, polegającej na przeprowadzeniu szeregu wywiadów indywidualnych i dyskusji w gronie specjalistów oraz
- ❖ właściwej, polegającej na przeprowadzeniu sondażu przy użyciu ankiety internetowej wśród pracowników naukowych zajmujących się problematyką energetyki termojądrowej w Polsce.

## Uczestnicy badania

W pierwszym etapie wzięli udział następujący pracownicy i współpracownicy Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy: doc. dr hab. Andrzej Gałkowski, mgr Paweł Gąsior, mgr Helena Howaniec, dr Monika Kubkowska, dr Ryszard Miklaszewski i mgr Włodzimierz Stępniewski, doc. dr hab. Jerzy Wołowski.

Autor badania korzysta z tej okazji, by złożyć wymienionym osobom podziękowanie za ich cenny wkład w postaci konsultacji i dyskusji założeń, zakresu problematyki i narzędzi badawczych oraz fachową pomoc przy opracowaniu wyników.

Do udziału w ankiecie zaproszono 90 pracowników naukowych z różnych instytucji w Polsce. Byli to wybrani członkowie Asocjacji EURATOM-IFPiLM zajmujący się problematyką energetyki termojądrowej oraz wszyscy członkowie Komisji ds. Energetyki Jądrowej przy Prezesie Państwowej Agencji Atomistyki. Ostatecznie w badaniu wzięło udział 59 osób: 48 członków Asocjacji EURATOM-IFPiLM oraz 11 członków Komisji ds. Energetyki Jądrowej PAA (dwie osoby, które są członkami obu tych organizacji, zostały zaliczone do Asocjacji). Stopa zwrotu ankiet od zaproszonych członków Asocjacji wyniosła 72%, zaś od członków Komisji ds. Energetyki Jądrowej PAA – 48%. Inne charakterystyki osób badanych zostały przedstawione w sekcji „Informacje o ekspertach” na końcu tego Wprowadzenia.

## INFORMACJE O EKSPERTACH

### Dane podstawowe

Grupa ekspertów, którzy wzięli udział w ankiecie, była zróżnicowana pod względem wieku.

Wyrównana też była liczebność trzech kategorii pracowników naukowych: (i) licencjatów, inżynierów i magistrów, (ii) doktorów oraz (iii) doktorów habilitowanych i profesorów:

<b>Tytuł/stopień naukowy</b>	<b>(N=43)</b>	
Inżynier, licencjat (bez magisterium)	2	13
Magister, magister inżynier	11	
Doktor, doktor inżynier	16	16
Doktor habilitowany	5	14
Profesor, profesor inżynier	9	

Dominowały w tym gronie osoby o ponad 10-letnim stażu pracy naukowej (29 z 41 odpowiedzi). Cztery osoby miały staż 6-10 lat, pięć - 3-5 lat i po jednej osobie staż: 2 lata, rok i poniżej roku.

Bardziej zróżnicowany jest jednak staż pracy w dziedzinie fizyki termojądrowej:

<b>W tym staż pracy naukowo-badawczej w dziedzinie fizyki termojądrowej</b>	<b>(N=41)</b>
poniżej roku	1
1 rok	3
2 lata	6
3-5 lat	11
6-10 lat	4
więcej niż 10 lat	10
nie pracuję w dziedzinie fizyki termojądrowej	6

### Praca w zespołach i projektach badawczych

Liczba projektów badań nad fizyką lub energetyką termojądrową (krajowych i międzynarodowych), w których eksperci byli zaangażowani w momencie badania, była zróżnicowana: od 9 osób nieuczestniczących w żadnym projekcie po 6 osób, które uczestniczą w ponad 5 projektach każda. Średni uczestnik badania pracował w blisko 3 projektach.

Wśród tych osób 14 pełniło w momencie badania funkcję kierowniczą w swoich zespołach badawczych: połowa w jednym, 4 osoby – każda w dwóch, wreszcie na trzy osoby przypadło po trzy lub więcej funkcji kierowniczych.

Charakterystyka przedmiotowa badań, w których uczestniczą eksperci przedstawia poniższa tablica.

Tablica 1. Przedmioty badań, w których aktualnie uczestniczą badani (N=57, można było wskazać więcej niż jeden przedmiot)



24 osoby uczestniczyły w badaniach nad fuzją prowadzonych w zagranicznych ośrodkach naukowych, przy czym pobyty te miały różną długość – od kilka tygodni (7 osób) do ponad trzech lat (3 osoby).

Liczby wskazań przedmiotów badań w tych projektach (można było wskazać więcej niż jeden przedmiot) przedstawiają się następująco:

**Tablica 2.** Przedmioty badań, w których uczestniczyli badani w zagranicznych ośrodkach naukowych

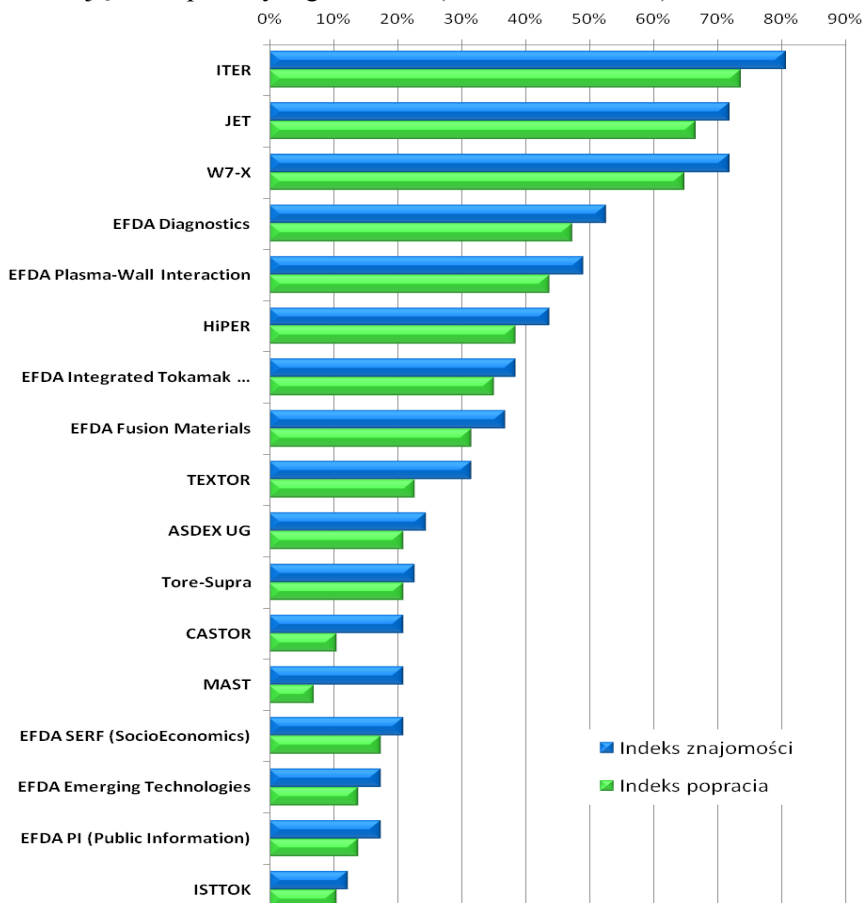


W jednostkach reprezentowanych przez 31 ekspertów uczestniczących w badaniu (którzy odpowiedzieli na to pytanie) średnia roczna liczba publikacji z dziedziny fuzji termojądrowej przypadająca na jednego pracownika naukowego wyniosła średnio 1,9.

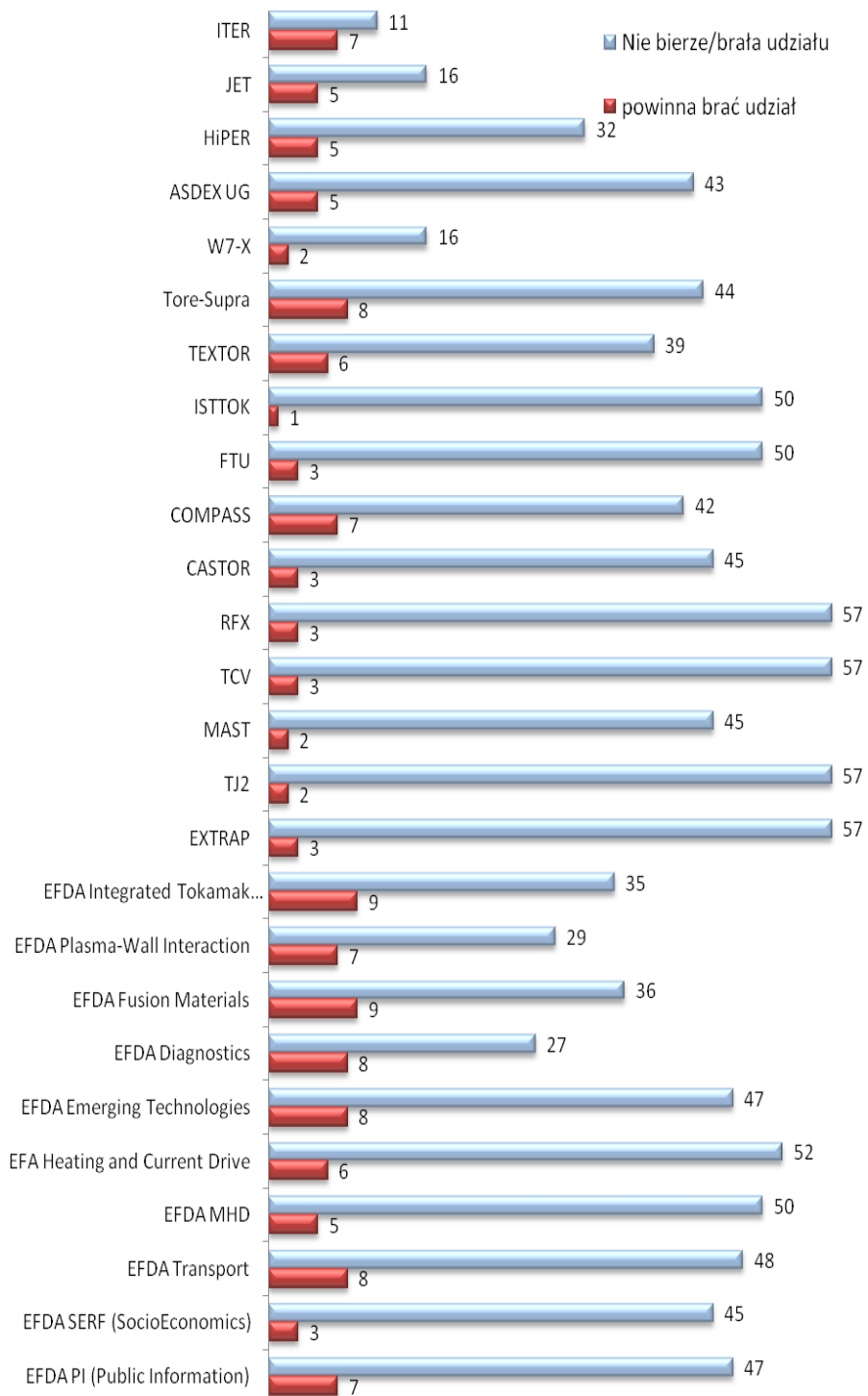
### MIĘDZYNARODOWA POZYCJA POLSKI W BADANIACH NAD FUZJĄ TERMOJĄDROWĄ

#### UDZIAŁ POLSKI W MIĘDZYNARODOWYCH PROJEKTACH BADAŃ NAD FUZJĄ TERMOJĄDROWĄ

**Tablica 3.** Częstość wskazań, że Polska uczestniczy w danym projekcie badań nad fuzją oraz aprobaty tego udziału (% wskazań; N=57)



**Tablica 4.** Liczby wskazań międzynarodowych projektów badań nad fuzją termojądrową, w których Polska nie bierze/brała udziału, oraz opinii, że powinna w nich brać udział. (N=57)



Fakt udziału Polski w poszczególnych międzynarodowych projektach badań nad fuzją termojądrową oceniany jest pozytywnie: Polska powinna brać udział w tych projektach.

Istnieje silna korelacja między znajomością faktu udziału Polski w projekcie a poparciem tego udziału – w odniesieniu do projektów, w których Polska faktycznie uczestniczy, osoby znające ten fakt są także w większości przekonane o tym, że Polska powinna brać w nich udział. Pokazuje to tablica

Odpowiednio – niewielu ekspertów opowiada się za udziałem naszego kraju w projektach, w których według ich wiedzy nasz kraj nie uczestniczy (tablica 4).

Blisko połowa respondentów (24 z 57) uznała, że Polska uczestniczy w którymś z pięciu projektów, w których faktycznie w praktyce jest nieobecna. Więcej tych nietrafnych wskazań uczestnictwa pochodzi od członków Asocjacji niż członków Komisji ds. Energetyki Jądrowej PAA.

## ARGUMENTY ZA UDZIAŁEM POLSKI W PROJEKTACH

Ekspertów poproszono o podanie uzasadnień, dlaczego Polska powinna uczestniczyć we wskazanych przez nich międzynarodowych projektach badań nad fuzją termojądrową. Uzasadnienia te dają się pogrupować w pewne kategorie, których liczebności w odniesieniu do wszystkich projektów przedstawia następujący wykres:

Tablica 5. Rodzaje (kategorie) uzasadnień słuszności udziału Polski w międzynarodowych projektach badań nad fuzją termojądrową



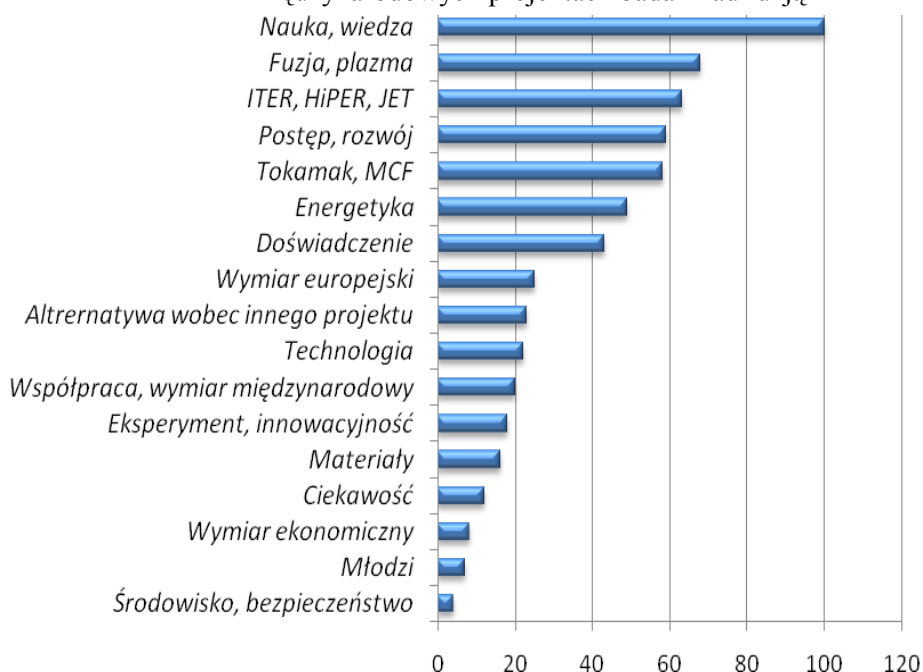
Dla części projektów można wskazać pewien dominujący rodzaj argumentacji za udziałem w nich Polski. Jak widać w tabelicy 6, projekt Tore-Supra ma dwa dominujące rodzaje argumentów na poparcie udziału w nim, zaś EFDA Integrated Tokamak Modelling – nawet trzy.

**Tablica 6.** Najczęstsze uzasadnienia, dlaczego Polska powinna brać udział w wybranych międzynarodowych projektach badań nad fuzją termojądrową (kategorie uzasadnień, na z co najmniej 5 wskazaniami dla danego projektu)

Dominujący argument za udziałem	Projekty
<i>Doniosłość badań również w perspektywie dużych układów (HIPER, ITER)</i>	EFDA Integrated Tokamak Modelling EFDA Plasma-Wall Interaction EFDA Transport HiPER ITER Tore-Supra
<i>Współpraca, zdobycie doświadczenia i znaczenie dla prowadzonych badań</i>	COMPASS EFDA Diagnostics

<b>Dominujący argument za udziałem</b>	<b>Projekty</b>
	EFDA Fusion Materials EFDA Integrated Tokamak Modelling JET W7-X
<i>Aspekty związane z opinią społeczną, wizerunek Polski</i>	EFDA PI (Public Information)EFDA SERF (SocioEconomics)
<i>Możliwość wniesienia znaczącego wkładu</i>	EFDA Integrated Tokamak Modelling
<i>Związek z innym programem, kontynuacja</i>	EFDA Integrated Tokamak Modelling
<i>Cechy urządzenia, Ciekawe urządzenie, zadanie</i>	TEXTOR

**Tablica 7.** Częstość występowania wybranych kategorii pojęciowych w tekstach wypowiedzi argumentujących za udziałem Polski w międzynarodowych projektach badań nad fuzją



Formułowane argumenty za udziałem Polski w międzynarodowych projektach badań nad fuzją termojądrową można analizować także pod względem częstości występowania w nich pewnych charakterystycznych kategorii pojęciowych. Można w ten sposób zbliżyć się do określenia kryteriów, według których eksperci dokonywali oceny projektów (choć niekoniecznie świadomie i celowo te kryteria przyjmowali). Wynik takiej analizy frekwencyjnej jest przedstawiony w tablicy 7.



## ARGUMENTY PRZECIWI UDZIAŁOWI POLSKI W PROJEKTACH

W tabelicy 4 powyżej podano, ilu uczestników ankiety nie wskazało przy danym projekcie, że Polska w nim uczestniczy, oraz ile spośród nich uważa zarazem, że powinna. Jak widać z tych danych (konkretnie z różnic między długością słupka niebieskiego i czerwonego), dla wszystkich projektów dominują w takich przypadkach oceny negatywne – *Polska nie powinna w uczestniczyć projekcie* [w którym faktycznie nie uczestniczy].

Wśród mniej licznych wskazań, że jednak Polska powinna uczestniczyć w projekcie, który absentuje, stosunkowo najwięcej uzasadniono argumentami równoważnymi stwierdzeniu, że jest to *projekt nieciekawym, zbędnym, bez perspektyw*. Częstość poszczególnych grup argumentów przeciwko udziałowi Polski w danym projekcie przedstawia poniższa tablica (są to sumy wskazań ze wszystkich 57 ankiet i dla wszystkich projektów, dla których badany nie zaznaczył opcji „Polska bierze udział”):

**Tablica 8.** Rodzaje (kategorie) uzasadnień opinii, że Polska nie powinna brać udziału w poszczególnych międzynarodowych projektach badań nad fuzją termojądrową



Jak widać, argumenty z grup drugiej i trzeciej – ogólnie rzecz biorąc wskazujące na niewystarczające środki, którymi dysponuje Polska, by móc brać udział w danym projekcie – są podnoszone w sumie rzadziej (35 + 34), niż te z pierwszej grupy (92). Można uznać, że wśród ekspertów postawa fachowej oceny projektów góruje nad – znaną i dość naturalną we wszystkich gałęziach nauki – potrzebą ekspansji własnej dziedziny badań.

Warto też zwrócić uwagę na stosunkowo wiele opinii, że Polska nie jest jeszcze gotowa do udziału w pewnych projektach, co jednak implikuje tezę, że powinniśmy do tego dążyć (niekiedy wyrażoną wprost).

Wreszcie znacząca jest też liczba (25) argumentów typu: *nie jesteśmy w stanie wnieść do tego projektu wartościowego wkładu*. Należy jednak dodać, że jeszcze więcej (33) było wypowiedzi, w których za udziałem Polski w danym projekcie argumentowano *możliwością wniesienia znaczącego wkładu* (por. tablicę 7 powyżej).

Uzasadnienie dominujące w odniesieniu łącznie do wszystkich projektów (*projekt nieciekawym, zbędny, bez perspektyw*) jest też najczęściej podawanym w odniesieniu do prawie każdego projektu z osobna. Ciekawe jest natomiast spojrzenie na to, w odniesieniu do jakich projektów użyto innych argumentów przeciw udziałowi w nich Polski:

**Tablica 9.** Międzynarodowe projekty badań nad fuzją termojądrową, wobec których użyto danego rodzaju uzasadnienia przeciwko udziałowi w nich Polski

<b>Uzasadnienie, dlaczego Polska nie powinna uczestniczyć w projekcie</b>	<b>Projekt</b>
<i>Urządzenie nieczynne lub niedostępne, projekt zawieszony</i>	CASTOR (3×) EFDA MHD FTU
<i>Nieopłacalne pod względem finansowym, zbyt drogie</i>	ASDEX UG EXTRAP FTU ISTTOK RFX TCV TEXTOR TJ2
<i>Ograniczony potencjał, konieczność wyboru (innych)</i>	MAST COMPASS
<i>Nieznany szerzej projekt, znam urządzenia/zakresu badań</i>	EXTRAP RFX TCV TJ2
<i>To samo robi inne urządzenie, tematyka się pokrywa</i>	FTU HiPER MAST TEXTOR TJ2

Na koniec trzeba dodać, że w dwóch wypowiedziach, po uzasadnieniu, dlaczego nie powinniśmy (czy raczej: nie możemy) brać udziału w danym projekcie, pojawia się żal: „... ale to ciekawy projekt?”; dotyczy to FTU i MAST.

## MOCNE I SŁABE STRONY BADAŃ NAD ENERGETYKĄ TERMOJĄDROWĄ W POLSCE

### POTENCJAŁ NAUKOWY POLSKICH ZESPOŁÓW BADAWCZYCH W PROJEKTACH MIĘDZYNARODOWYCH

W większości eksperci oceniają potencjał naukowy (obejmujący wiedzę, kompetencje, aparaturę) polskich zespołów badawczych jako wystarczająco wysoki, aby mogły one wnieść istotny wkład do europejskich i światowych programów fuzyjnych. Szczególnie często opinię taką wyrażają osoby znające bezpośrednio tę dziedzinę badań w Polsce (o dłuższym stażu pracy w tej dziedzinie, członkowie Asocjacji). Spośród następujących korzyści z uczestnictwa Polski w międzynarodowych programach badawczych:

- rozwój potencjału badawczego i międzynarodowej pozycji naukowej polskich ośrodków uczestniczących w tych programach
- rozwój kadry naukowej i jej przygotowanie do przyszłych wdrożeń energetyki termojądrowej
- wzmocnienie pozycji Polski w międzynarodowym obszarze badań dotyczących przyszłych wydajnych i bezpiecznych źródeł energii
- zaangażowanie polskich laboratoriów technologicznych i nowoczesnego przemysłu w przyszłe wdrażanie energetyki termojądrowej.

wszystkie zostały uznane za ważne lub bardzo ważne (średnie oceny ważności na skali 0-10: od 8,5 dla rozwoju potencjału badawczego do 7,5 dla udziału polskich laboratoriów i przemysłu w przyszłym wdrażaniu energetyki termojądrowej). Wynik ten wzmacnia wnioski z cytowanych wyżej (w tablicach 1 i 2) częstości wskazań, że Polska powinna uczestniczyć w licznych międzynarodowych projektach badań nad fuzją termojądrową.

Podobnie, większość badaczy pracujących w dziedzinie fuzji ocenia potencjał swojego instytutu/zespołu wystarczająco wysoko, by miał możliwość udziału w międzynarodowych programach badań plazmy wysokotemperaturowej i syntezy termojądrowej.

W opinii ekspertów polskie zespoły badawcze mają różną możliwość wniesienia istotnego wkładu w badania oraz rozwój technologii w poszczególnych dziedzinach badań nad energetyką termojądrową:

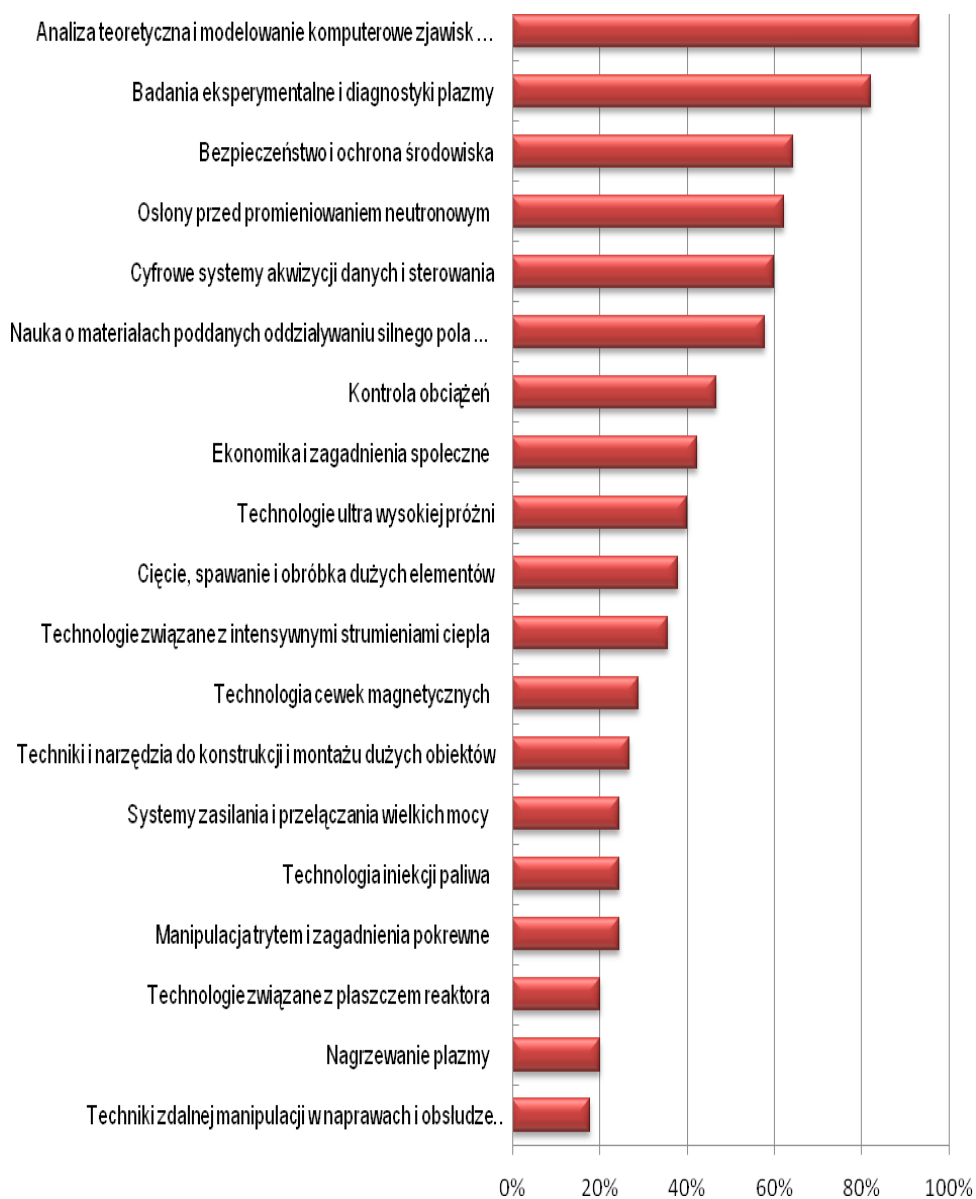
Tablica 10. Częstość opinii, że polskie zespoły badawcze mają możliwość wniesienia istotnego wkładu w badania oraz rozwój technologii w poszczególnych dziedzinach badań nad energetyką termojądrową (N=45):

	<b>Dziedzina badań nad energetyką termojądrową</b>	<b>%</b>
1	<b><i>Analiza teoretyczna i modelowanie komputerowe zjawisk w plazmie</i></b>	93%
2	<b><i>Badania eksperymentalne i diagnostyki plazmy</i></b>	82%
3	<b><i>Technologie ultra wysokiej próżni (w tym metody detekcji nieszczelności w komorze próżniowej, pompy próżniowe, itd.)</i></b>	40%
4	<b><i>Technologia cewek magnetycznych (materiały nadprzewodzące, kriogenika)</i></b>	29%

	<b>Dziedzina badań nad energetyką termojądrową</b>	<b>%</b>
5	<b>Technologie związane z intensywnymi strumieniami ciepła</b> (pierwsza ściana komory reaktora narażona jest na ogromne strumienie energii termicznej) materiały odporne na silne strumienie ciepła, techniki chłodzenia ściany reaktora będącej w kontakcie z gorącą plazmą	36%
6	<b>Nagrzewanie plazmy</b> (i układy generacji prądu elektrycznego w plazmie) wykorzystywane są wiązki cząstek o dużej energii oraz generatory promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej i mikrofalowej; także technologie i urządzenia pokrewne (źródła jonów, akceleratory jonów, żyrotrony i linie transmisyjne do nagrzewania wiązkami fal elektromagnetycznych)	20%
7	<b>Oslony przed promieniowaniem neutronowym</b> (potrzebne są dane o aktywacji materiałów)	62%
8	<b>Techniki zdalnej manipulacji w naprawach i obsłudze urządzeń termojądrowych</b>	18%
9	<b>Cięcie, spawanie i obróbka dużych elementów</b>	38%
10	<b>Cyfrowe systemy akwizycji danych i sterowania</b>	60%
11	<b>Nauka o materiałach poddanych oddziaływaniu silnego pola radiacji</b> (radiacyjne utwardzanie materiałów, osłona elektryczna cewek magnetycznych, diagnostyk, korozja materiałów poddanych napromienianiu)	58%
12	<b>Manipulacja trytem i zagadnienia pokrewne</b> (absorpcja trytu przez powierzchnie materiałów, techniki usuwania zaabsorbowanego trytu, separacja izotopów, usuwanie zanieczyszczeń niewodorowych, itd.)	24%
13	<b>Kontrola obciążeń</b> (mechanicznych, elektromagnetycznych i neutronowych)	47%
14	<b>Technologia iniekcji paliwa</b> (wstrzeliwanie kulek paliwa, laserowe odparowanie)	24%
15	<b>Techniki i narzędzia do konstrukcji i montażu dużych obiektów</b>	27%
16	<b>Systemy zasilania wielkiej mocy elektrycznej, systemy przelączania wielkich mocy</b> (do zasilania magnesów i systemów nagrzewania)	24%
17	<b>Technologie związane z płaszczem reaktora</b> (powielanie trytu, chłodzenie, materiały pierwszej ściany i płaszczka)	20%
18	<b>Bezpieczeństwo i ochrona środowiska</b>	64%
19	<b>Ekonomika i zagadnienia społeczne</b>	42%

Faktyczny rozkład ocen widać lepiej po uporządkowaniu dziedzin według częstotliwości opinii o możliwości wniesienia istotnego wkładu:

Tablica 11. Hierarchia dziedzin badań nad energetyką termojądrową pod względem powszechności przekonania, że polskie zespoły badawcze mają możliwość wniesienia do nich istotnego wkładu



Spośród pięciu zakresów badań wymienionych w ankiecie:

- (1) Teoria
- (2) Diagnostyka plazmy i produktów fuzji (neutrony, cząstki  $\alpha$ , etc.)
- (3) Badania materiałowe
- (4) Automatyka, sterowanie
- (5) Kriogenika
- (6) Technologia wytwarzania i pomiaru pól magnetycznych

wg większości ekspertów Polska jest **najsilniejsza** w diagnostyce plazmy i produktów fuzji (21 z 37 odpowiedzi), **najslabsza** zaś w kriogenice (10 z 35 odpowiedzi) oraz technologii wytwarzania i pomiaru pól magnetycznych (11).

**Największe korzyści** Polska może natomiast odnieść z udziału w międzynarodowych projektach badań fuzji w zakresie badań materiałowych (21 z 36 odpowiedzi), a także w zakresie diagnostyki plazmy i produktów fuzji (10).

Jak widać, możliwe są dwie strategie szukania obszarów maksymalizacji korzyści z udziału w międzynarodowych projektach badań fuzji: tam, gdzie jesteśmy raczej słabi (badania materiałowe), lub tam, gdzie właśnie czujemy się najsilniejsi (w diagnostyce).

Tablica 12. Zależność między opinią o tym, w jakiej dziedzinie Polska jest najsilniejsza, a przedmiotem badań, w których ekspert uczestniczy

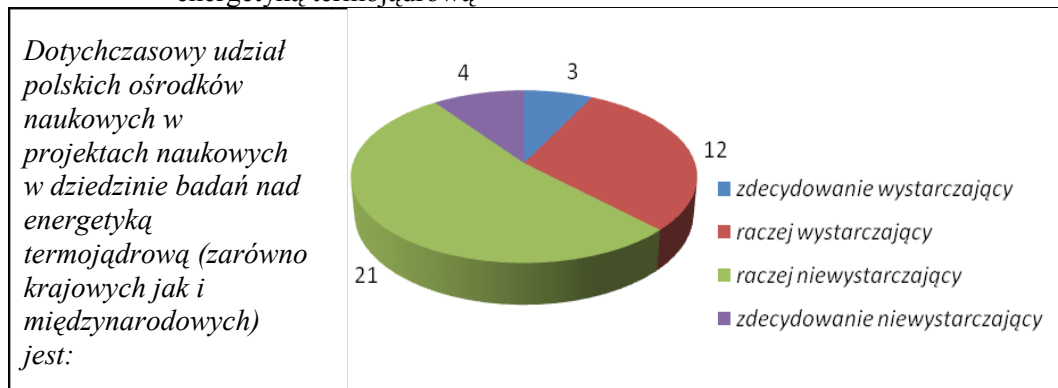
Przedmiot projektu, w którym uczestniczy oceniający ekspert:		Wskazanie dziedziny, w której Polska jest najsilniejsza				
		Teoria	Diagnostyk a plazmy i produktów fuzji	Badania materiałowe	Kriogenika	<i>n</i>
1	Oddziaływania plazma-ściana		80%	20%		5
2	Fizyka plazmy	9%	73%	9%	9%	11
3	Badania materiałowe		50%	38%	13%	8
4	Opracowanie diagnostyk	13%	69%	19%		16
5	Opracowanie technologii		50%	33%	17%	6
6	Modelowanie komputerowe	22%	56%	11%	11%	9
7	Praca na obecnych urządzeniach termojądrowych	17%	83%			6
8	Prace teoretyczne	100%				1
9	Prace socjologiczne				100%	1
10	Popularyzacja		75%		25%	4
11	Dydaktyka		100%			3
<b>Ogół:</b>		<b>16%</b>	<b>57%</b>	<b>16%</b>	<b>11%</b>	

Jak widać, zajmowanie się fizyką plazmy, oddziaływaniami plazma-ściana i praca na obecnie istniejących urządzeniach termojądrowych sprzyjają upatrywaniu głównej siły Polski w diagnostyce. Natomiast zajmujący się badaniami materiałowymi dwukrotnie częściej niż ogół widzą największą siłę Polski w tej właśnie dziedzinie.

#### SYSTEM UDZIAŁU W PROJEKTACH I ICH FINANSOWANIE

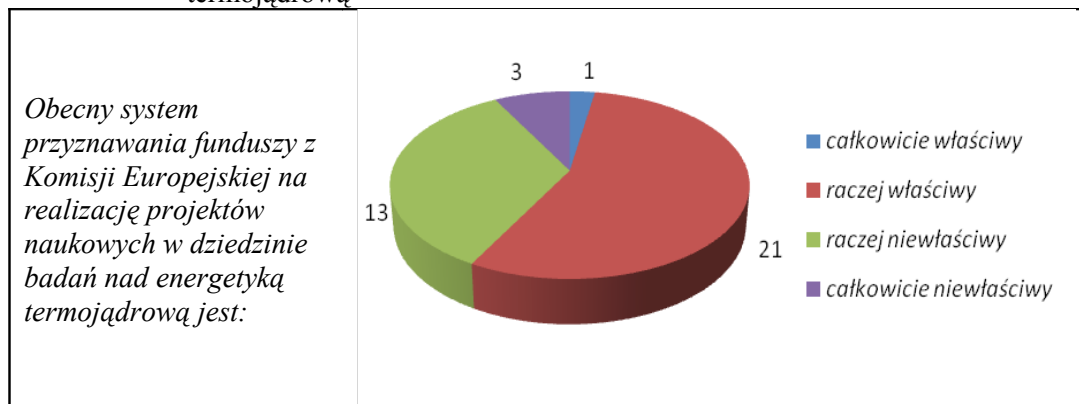
Dotychczasowy **udział polskich ośrodków naukowych w projektach** naukowych w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową (zarówno krajowych jak i międzynarodowych) jest niewystarczający wg zdecydowanej większości ekspertów:

**Tablica 13.** Oceny udziału polskich ośrodków naukowych w krajowych i międzynarodowych projektach naukowych w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową



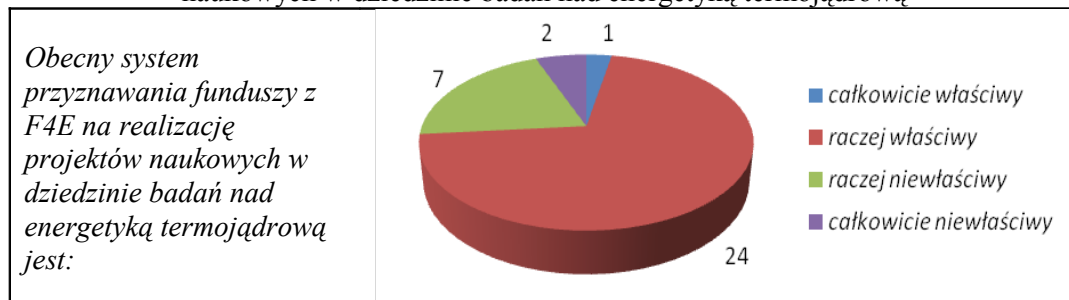
Lepiej oceniany jest system przyznawania **funduszy z Komisji Europejskiej** na realizację projektów naukowych w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową. Ponad połowa oceniających uznaje go za właściwy, nieco mniej – za niewłaściwy.

**Tablica 14.** Oceny systemu przyznawania funduszy z Komisji Europejskiej na realizację projektów naukowych w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową



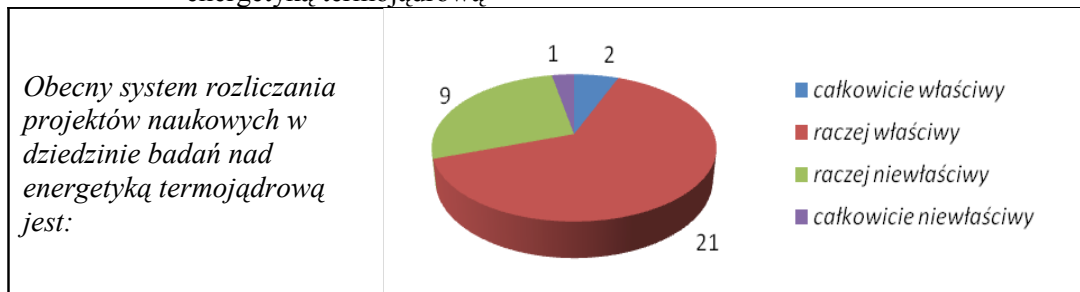
Jeszcze lepiej oceniany jest system przyznawania takich **funduszy z F4E**:

**Tablica 15.** Oceny systemu przyznawania funduszy z F4E na realizację projektów naukowych w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową



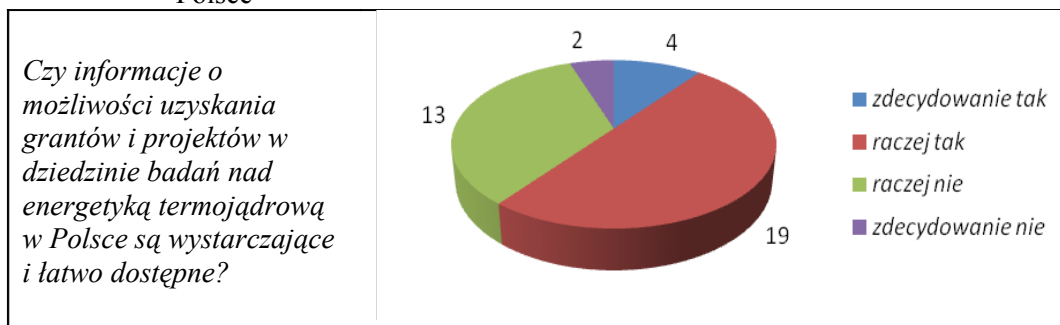
**System rozliczania projektów** naukowych w dziedzinie badań nad energią termojądrową budzi natomiast stosunkowo mało zastrzeżeń.

Tablica 16. Oceny systemu rozliczania projektów naukowych w dziedzinie badań nad energią termojądrową



W podobnym stopniu pozytywnie jest oceniana dostępność **informacji o możliwości uzyskania grantów** i projektów w dziedzinie badań nad energią termojądrową w Polsce.

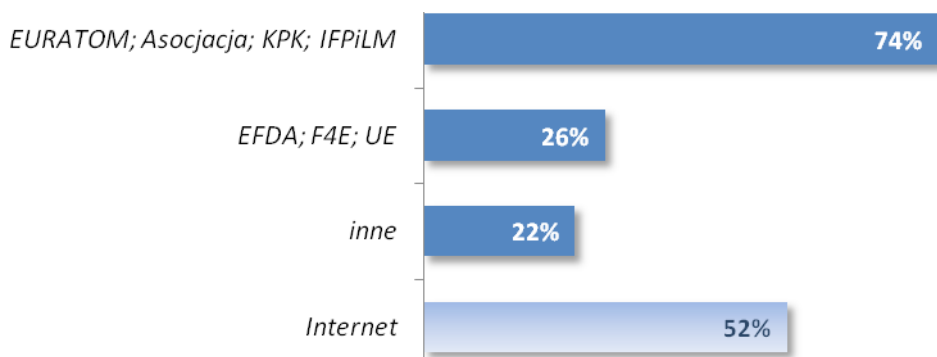
Tablica 17. Oceny dostępności i kompletności informacji o możliwości uzyskania grantów i projektów w dziedzinie badań nad energią termojądrową w Polsce



Najważniejszymi źródłami takich informacji są EURATOM, Asocjacja, IFPiLM oraz KPK. Drugą grupę stanowią instytucje europejskie. Ponad połowa ekspertów wprost stwierdziła, że korzysta ze źródeł informacji na stronach internetowych tych instytucji, niektórzy tylko ogólnie wskazali internet jako źródło.

Tablica 18. Źródła informacji o możliwości uzyskania grantów

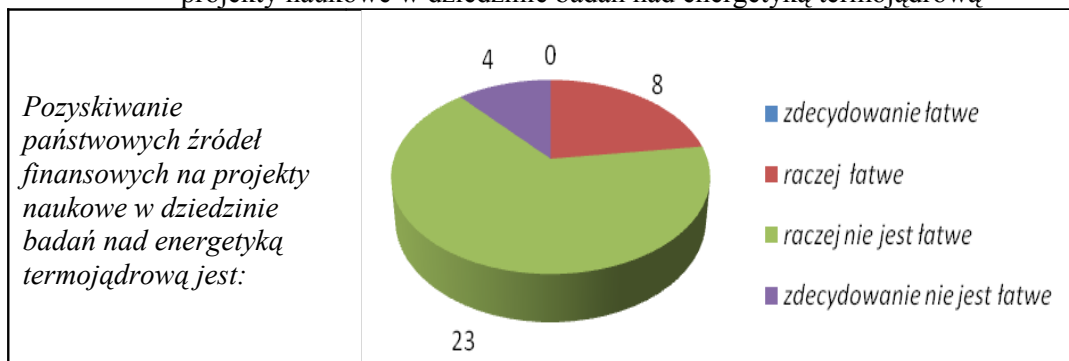




Z kolei osoby niezadowolone z dostępności informacji o możliwości uzyskania grantów i projektów w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową w Polsce postulują lepsze kierowanie i personalizację informacji, wcześniejsze jej dostarczanie, a nawet stworzenie centrum koordynującego przepływ informacji. Proponuje się też dodatkowe działania jak np. konferencje.

Zdecydowanie za trudne jest natomiast wg ekspertów pozyskiwanie **państwowych źródeł finansowych** na projekty naukowe w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową. Nikt nie ocenił systemu pozyskiwania jako zdecydowanie łatwego, ponad trzy czwarte natomiast uznało, że zbyt trudno takie źródła pozyskać.

Tablica 19. Ocena łatwości pozyskiwania państwowych źródeł finansowych na projekty naukowe w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową

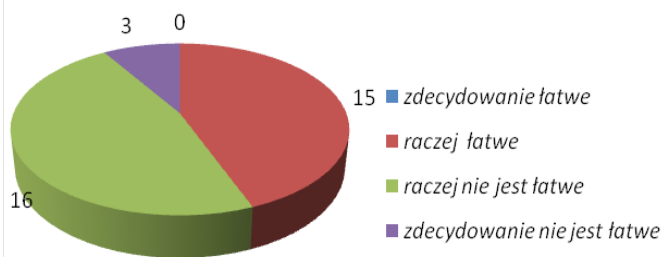


Wśród wad systemu wymienia się długi czas rozpatrywania wniosków i długi czas oczekiwania na pieniądze po przyznaniu grantu. W kilku wypowiedziach pojawiła się też kwestia nierzetelnych recenzji.

Jako nieco łatwiejsze oceniane jest pozyskiwanie **zagranicznych źródeł finansowych** na projekty naukowe w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową.

Tablica 20. Ocena łatwości pozyskiwania zagranicznych źródeł finansowych na projekty naukowe w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową

*Pozyskiwanie zagranicznych źródeł finansowych na projekty naukowe w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową jest:*



W tym przypadku największe trudności sprawiają: biurokracja, duża konkurencja i konieczność posiadania zagranicznego partnera.

### SYSTEM ORGANIZACJI BADAŃ FUZYJNYCH W POLSCE

Zdecydowana większość badanych ekspertów (26 spośród 32 odpowiedzi) uważa, że obecny system organizacyjny udziału polskich zespołów badawczych w międzynarodowych programach badawczych, w tym w programie badania i szkolenia w zakresie fuzji jądrowej Wspólnoty EURATOM jest skuteczny i pozwala osiągnąć odpowiednie cele.

Należy jednak odnotować też wypowiedź o negatywnym, a wręcz pesymistycznym, charakterze:

\* *Moje zaangażowanie w projekty dotyczące fuzji jądrowej jest uwarunkowane aktualnymi możliwościami organizacyjnymi, np. duże utrudnienia w podejmowaniu i realizacji zadań EURATOMu zniechęciły mnie do organizowania nowych grup badawczych i podejmowania nowych zadań.*

Także większość (83%) uważa za celowe utworzenie ogólnokrajowego programu badań fuzyjnych. Na pytanie o zakres takiego programu i przedmiot koordynowanych badań padają bardzo różne odpowiedzi. Przede wszystkim dzielą się na wskazania przedmiotu badań z jednej strony, z drugiej zaś – określenie funkcji, jaką taki program ogólnokrajowy powinien spełniać.

Określenia przedmiotu badań są rozstrzelone i zróżnicowane pod względem dokładności – od konkretnych typu „kriogenika” lub „synteza laserowa” po szerokie lub ogólne stwierdzenia, jak „praca w wielu dziedzinach wymienionych wcześniej” czy wręcz otwartej formuły: „zakres należy określić w odniesieniu do tego co się robi w Europie, świecie oraz potencjalnych możliwości Polski”.

Dokładniej określone są oczekiwania funkcjonalne wobec takiego ogólnokrajowego programu badań fuzyjnych. Podstawową funkcją ma być koordynacja działalności badawczej różnych ośrodków w kraju w takich celach, jak:

- ochrona przed powielaniem prac, dublowaniem tematów, sprzyjanie specjalizacji poszczególnych ośrodków
- wymiana informacji, forum dyskusji
- opracowywanie strategii badań w Polsce, kierunków rozwoju
- współpraca przy szkoleniu nowej kadry i doszkalananiu obecnych pracowników badawczych

W kilku głosach podniesiono funkcję łączenia wysiłków, synergii, np. w celu wspólnej realizacji większych programów, a nawet pojawił się postulat stworzenia „platforma

wiodących jednostek”, czyli niejako pierwszej ligi w badaniach fuzji termojądrowej. W jednej wypowiedzi wskazano na potrzebę koordynacji badań w zakresie syntezy z inercyjnym utrzymaniem plazmy (IFE), gdyż „badania w zakresie MCF są już koordynowane przez Asocjację EURATOM – IFPiLM”. Wreszcie w kilku wypowiedziach padł postulat, by celem takiego programu była budowa „dużego urządzenia”, a nawet pojawił się dość dokładny plan: „w dłuższej perspektywie czasowej (10-20 lat), w przypadku sukcesu ITER-a powinno dojść do Narodowego Programu Budowy Średniej Klasy Tokamaka w Polsce”.

#### INSTYTUCJA KOORDYNUJĄCA

W kwestii, jaka instytucja powinna koordynować te badania rozkład głosów (w pytaniu otwartym, bez listy do wyboru) był następujący:

IFPiLM lub Asocjacja IFPiLM–EURATOM.....	11
MNiSW, PPA, NCBiR.....	2
Komitet, rada, ciało niezależne i nieprowadzące badań.....	3
Inna istniejąca placówka badawcza lub organizacja podmiotów badawczych .....	5

Należy dodać, że tylko jeden z tych głosów pochodził od osoby spoza Asocjacji IFPiLM–EURATOM, większość członków Komisji ds. Energetyki Jądrowej nie miała w tej sprawie zdania.

### INWESTYCJE W SPRZĘT BADAWCZY W KRAJOWYCH OŚRODKACH NAUKOWYCH

#### STAN WYPOSAŻENIA W APARATURĘ BADAWCZĄ DLA FUZJI

Według zdecydowanej większości ekspertów aktualny stan wyposażenia w aparaturę badawczą dla potrzeb badań fuzyjnych jest w Polsce niewystarczający. Swobodne wskazania, czego najbardziej brakuje można pogrupować następująco:

Tablica 21. Czego najbardziej brakuje w wyposażeniu dla potrzeb badań fuzyjnych w Polsce?

Kategorie najważniejszych braków	Liczba wskazań	% wskazań	% osób
Dużego urządzenia typu tokamak lub laser wielkiej mocy	10	26%	32%
Podstawowego nowoczesnego wyposażenia laboratoryjnego	8	21%	26%
Zaawansowego technologicznie sprzętu naukowo badawczego o różnych zastosowaniach	7	18%	23%
Sprzętu specjalistycznego do badań plazmowych	2	5%	6%
Wielu rzeczy, wszystkiego	5	13%	16%
Pieniądzy	4	10%	13%
Lepszej współpracy	1	3%	3%
Trzeba korzystać zagranicą	2	5%	6%
		<b>39</b>	<b>31</b>

Podobnie więc jak pokazały wypowiedzi w kwestii utworzenia ogólnokrajowego programu badań fuzyjnych, w których kilka osób za jego cel uznało budowę „dużego urządzenia”, i w tym miejscu co trzeci badany ekspert wskazuje na brak dużego urządzenia typu tokamak lub laser wielkiej mocy.

W siedmiu wypowiedziach pojawił się wprost aspekt przestarzałości sprzętu w polskich placówkach (nawet tych największych – IFPiLM oraz IPJ) i potrzeby jego unowocześnienia. Dotyka to wszystkich, poznając od największych:

*\* Oba największe ośrodki badań plazmowych (IFPiLM oraz IPJ) posiadają stare, znacznie wyeksploatowane duże układy badawcze. Występują także znaczne braki nowoczesnej aparatury pomiarowej.*

A nie można wykluczyć, że taka ocena jest powszechna. I zapewne więcej ośrodków zmuszonych jest do korzystania z bazy zagranicznej, nie tylko te dwa, których pracownicy podali taką informację. Notabene – jak łatwo można domyśleć się – osoby mające doświadczenia uczestnictwa w badaniach nad fuzją prowadzonych w zagranicznych ośrodkach naukowych częściej oceniają krytycznie stan wyposażenia w odpowiednią aparaturę badawczą polskich placówek.

Należy też zwrócić uwagę na dwie kategorie braków (wskazanych w sumie przez blisko 30% badanych): „wszystkiego” i „pieniędzy”, co znaczy mniej więcej to samo – że wyposażenie polskich ośrodków badawczych w dziedzinie fuzji termojądrowej wymaga radykalnej poprawy. A streszcza to dobrze lakoniczna wypowiedź:

*\* Pieniądzy, młodych pracowników, aparatury i kompetentnych organizatorów badań naukowych. Praktycznie wszystkiego.*

## STRATEGIE INWESTOWANIA

Z dwóch strategii rozwoju badań nad fuzją termojądrową w Polsce, przedstawionych jako:

- ❖ inwestowanie w duże urządzenia badawcze (urządzenia fuzyjne – tokamaki, stellaratory; generatory plazmy; systemy laserowe; urządzenia do badań technologicznych etc.), wokół których skupione byłyby zespoły pracowników naukowych
- ❖ system rozproszony, polegający na inwestowaniu w wyposażenie małych zespołów realizujących konkretne zadania badawcze

dwa razy więcej ekspertów opowiada się za opcją pierwszą niż za drugą. Współgra to z omówionymi wyżej wyrazami potrzeby dużego urządzenia, a także w tym, że skłonności do wyboru tej opcji sprzyja raczej krytyczna ocena przez eksperta stanu wyposażenia w aparaturę badawczą:

Tablica 22. Oceny aktualnego stanu wyposażenia w aparaturę badawczą dla potrzeb badań fuzyjnych

Aktualny stan wyposażenia w aparaturę badawczą dla potrzeb badań fuzyjnych jest:	Wybrana opcja:		Ogółem
	duże urządzenia	system rozproszony	
zdecydowanie wystarczający	<b>0</b>	<b>1</b>	1
raczej wystarczający	<b>2</b>	<b>2</b>	4
raczej niewystarczający	<b>10</b>	<b>6</b>	16
zdecydowanie niewystarczający	<b>12</b>	<b>4</b>	16

Ogółem	24	13	37
--------	----	----	----

Jak widać z danych w tablicy 27, wśród uzasadnień wyboru opcji inwestowania w duże urządzenia badawcze na czoło wybija się zwiększenie możliwości prowadzenia badań, i to nie tylko w odniesieniu do dużych projektów. W niektórych wypowiedziach podkreślano, że możliwość dysponowania dużym urządzeniem stanowi też szansę dla mniejszych ośrodków czy zespołów, prowadzących bardzo wyspecjalizowane badania – czy to przez rozwój badań nad fuzją w ogóle, czy dzięki możliwości korzystania z takich dużych urządzeń.

**Tablica 23.** Dlaczego lepszym rozwiązaniem jest inwestowanie w duże urządzenia badawcze?



Nawet jednak wśród zwolenników takiej strategii inwestycji (w duże urządzenia) zdarza się wyraz wątpliwości w jej wykonalność w nieodległej przyszłości, oczywiście z powodów finansowych.

Powyższe podsumowanie częstości skategoryzowanych argumentów warto uzupełnić kilkoma „żywymi” wypowiedziami samych respondentów (wszystkie wypowiedzi w całości zamieszczone są w Aneksie III):

- \* *System rozproszony nigdy nie pozwoli polskim ośrodkom naukowym wejść do głównego nurtu badań nad energetyką termojądrowa. Niemniej jednak obecnie inwestycja w duże urządzenie badawcze typu tokamak przekracza możliwości finansowe i organizacyjne polskiej nauki. Dlatego potrzebny jest program przygotowawczy do budowy tak wielkiej infrastruktury w Polsce. Realizując taki program dość konsekwentnie można doprowadzić w przeciągu 10-20 lat do budowy tej skali urządzenia. W każdym razie w Korei to się udało.*
- \* *Duże programy badawcze mają wiele zalet: pozwalają na realizację wieloletniego programu badań, dookoła którego można budować zespół, mają większą stabilność finansowania, lepiej określone cele strategiczne, z których wynikają działania krótkookresowe i generują szeroki wachlarz krótkookresowych programów badawczych ukierunkowanych na*

*rozwiązanie istotnych zagadnień. Projekty rozproszone też mają sens, pod warunkiem, że ich celem jest rozwiązanie konkretnego zagadnienia a nie są badaniami typu: "mam młotek, więc badam kinetykę wbijania gwoźdźcia".*

- \* Większe zespoły badawcze (i tak bardzo małe w porównaniu z dużymi ośrodkami zagranicznymi) miałyby większą szansę na realizację bardziej ambitnych zadań badawczych. Wspomniana droga pozwoliłaby także zaoszczędzić znaczne środki, ponieważ droga aparatura pomiarowa byłaby lepiej wykorzystana.*
- \* [Lista podana w pytaniu: (urządzenia fuzyjne – tokamaki, stellaratory; generatory plazmy; systemy laserowe; urządzenia do badań technologicznych etc.)] obejmuje zdecydowanie zbyt duży zasięg urządzeń. Budowa reaktora fuzyjnego w Polsce nie ma uzasadnienia merytorycznego i organizacyjnego. Ilość tokamaków w Europie jest wystarczająca do prowadzenia badań naukowych również przez polskich naukowców. Nie należy mnożyć bytów ponad potrzebę. Natomiast systemy laserowe do badań materiałowych, specjalistyczne laboratoria badawcze (np. do rozwoju diagnostyk neutronowych) na pewno są w Polsce potrzebne i powinny spełniać kryteria pierwszej odpowiedzi.*

Z kolei niektóre uzasadnienia głosów na rzecz systemu rozproszonego (mniej licznych) – oprócz realistycznej oceny, że szanse i możliwości finansowe Polski na budowę dużych urządzeń są niewielkie lub wręcz żadne – wskazują także na większą efektywność czy to finansową, czy prakseologiczną takiego rozwiązania. Tak więc kryterium elastyczności może uzasadniać obie strategie, co wszak jest często spotykanym dylematem decyzyjnym. W przypadku wyboru strategii rozwoju badań nad fuzją termojądrową w Polsce z pewnością będzie to wymagać szczegółowych analiz wykonalności i opłacalności różnych wariantów.

**Tablica 24.** Dlaczego lepszym rozwiązaniem jest system rozproszony, polegający na inwestowaniu w wyposażenie małych zespołów realizujących konkretne zadania badawcze?



I znowu warto tu zacytować kilka wypowiedzi *in extenso* (wszystkie zostały zamieszczone w Aneksie III):

- \* *Wygląda na to, że nie jesteśmy w stanie budować dużych urządzeń w naszym kraju. Polska nie mogła nawet przyjąć KOMPASa z Anglii, ponieważ nie było pieniędzy (i kadry) na jego instalację. Poza tym nakłady na naukę w Polsce nie wzrastają i wygląda na to, że pod tym względem [nic] się nie zmienia. Moja opinia byłaby inna, gdybym usłyszał o zmianie polityki naukowej w Polsce. Tymczasem jest stagnacja.*
- \* *Systemy duże oprócz tego, że pochłaniają olbrzymie zasoby finansowe są dostępne w ramach Unii Europejskiej. Małe i wyspecjalizowane ośrodki w naszej rzeczywistości ze względu na elastyczność mogłyby realizować zadania dużo sprawniej. Tym bardziej, że Polska nie należy do gigantów w dziedzinie badań nad energetyką termojądrową.*
- \* *Uważam za mało prawdopodobne, aby idea ITERa i HIPERa odniosła sukces. Rozwiązań należy poszukiwać w rozwijaniu różnorodnych technologii.*

Jak widać z powyższego omówienia uzasadnień obu strategii – zarówno skoncentrowanego jak i rozproszonego systemu inwestowania w urządzenia dla badań fuzyjnych w Polsce – eksperci rzadko rekomendują któreś z tych rozwiązań jako „jedynie słuszne”. Zwolennicy dużych inwestycji doceniają ich użyteczność i prorozwojowość także dla małych zespołów, natomiast system rozproszony jest często widziany jako etap w rozwoju całej tej dziedziny badań w Polsce, nierzadko z akceptacją dla dążeń do budowy dużych urządzeń w przyszłości.

## **EDUKACJA NA POTRZEBY FUZJI TERMOJĄDROWEJ**

### **OCENA STANU AKTUALNEGO**

Liczba studentów i doktorantów zajmujących się obecnie fuzyją termojądrową niepokoi niemal wszystkich ekspertów, gdyż gwarantuje według nich zastępowalności pokoleniowej kadr w tej dziedzinie w przyszłości. Identyfikacja przyczyn tego stanu rzeczy prowadzi do zaleceń, jak to zmienić:

Tablica 25. Skoro liczba studentów i doktorantów zajmujących się fuzyją termojądrową nie gwarantuje zastępowalności pokoleniowej kadr - jak zwiększyć tę liczbę?



Z uwag badanych ekspertów wynika, że właściwie cała dziedzina fizyki termojądrowej w sferze kształcenia wymaga stworzenia niemal od początku. Lepiej od streszczeń obrazują to wybrane cytaty odpowiedzi:

- \* *Na polskich uniwersytetach nie ma kierunku fizyka plazmy, a na polskich politechnikach specjalność o nazwie inżynieria jądrowa (w szczególności termojądrowa) dopiero się odradza w związku z planami budowy elektrowni jądrowej. Remedium może być włączenie w proces odradzania inżynierii jądrowej elementów, a z czasem całych bloków, wiedzy na temat inżynierii termojądrowej. Należy też zbudować system zachęt do podejmowania takich studiów za granicą (stypendia dedykowane, na przykład).*
- \* *System kształcenia w naszym kraju całkowicie zapominał o aspektach związanych z plazmą i energetyką jądrową. W systemie kształcenia na wydziałach fizyki o plazmie nie mówi się prawie nic. Remedium na to może być wprowadzenie nowych kierunków specjalistycznych w ramach kształcenia akademickiego. Taki system działa z powodzeniem w Niemczech.*
- \* *Brakuje pracowników, ponieważ wielu pracowników zajmujących się badaniami fizyki termojądrowej jest już pokoleniem, które niedługo będzie odchodzić na emeryturę. Najpierw uruchomienie specjalizacji studiów w tym zakresie a następnie większe zachęty do studiowania oraz reklama wśród uczniów szkół średnich.*
- \* *Należy podnieść wyposażenie i standard polskich laboratoriów plazmowych tak, żeby absolwenci chcieli w nich pracować.*
- \* *Zbyt mało ludzi wybiera fizykę i nauki ścisłe jako kierunek swoich studiów. Prowadzić akcje propagandowe aby wzbudzić zainteresowanie młodych ludzi naukami ścisłymi.*



- \* *Wymaga to podniesienia poziomu i znaczenia kształcenia średniego w dziedzinach nauk przyrodniczych, promocji takich przedmiotów jak matematyka, fizyka i chemia jako przedmioty maturalne; promocji kariery zawodowej związanej z wykształceniem wyższym na kierunkach nauk ścisłych.*
- \* *Uważam, że należałoby dążyć do utworzenia w paru miastach, związanych z ośrodkami naukowymi techników zawodowych przygotowujących praktyków do pracy przy obsłudze.*
- \* *Trzeba lepiej informować o możliwościach i stwarzać atrakcyjne miejsca do studiowania, m.in. przez powstanie ośrodków wyposażonych w nowoczesną aparaturę prowadzących badania w zespołach międzynarodowych.*

Wśród odpowiedzi na to pytanie pojawił się apel brzmiący wręcz desperacko: „Zmusić do studiowania fizyki plazmy”, co też w jakiś sposób obrazuje poziom frustracji środowiska badaczy fuzji w odniesieniu do systemu edukacyjnego.

#### POTRZEBA NOWYCH ROZWIĄZAŃ

W konsekwencji wszyscy badani eksperci uznali za wskazane propagowanie wiedzy na temat fuzji jądrowej wśród młodzieży szkół średnich. Blisko dwie trzecie (25 z 40) wyraża natomiast przekonanie, że w chwili obecnej istnieje potrzeba utworzenia nowego kierunku lub specjalności na uczelniach wyższych dla kształcenia przyszłych pracowników w dziedzinie fuzji jądrowej.

Na pytanie o obecnie istniejące na uczelniach polskich kierunki lub specjalności, których absolwenci mogą znaleźć lub faktycznie znajdują zatrudnienie w pracach nad fuzją, najwięcej wskazań (49 ze 141, czyli ponad jedna trzecia) dotyczy **fizyki** – ogólnie (26 wskazań) lub określonych specjalności.

Na drugim miejscu są **studia inżynierskie** (36, czyli ponad jedna czwarta wskazań) – podobnie, ogólnie lub na określonych kierunkach. Wśród tych kierunków najczęściej (18 razy) wskazano **inżynierię materiałową**, i to jest też najczęściej wymieniany konkretny kierunek studiów, którego absolwenci znajdują zatrudnienie w pracach nad fuzją.

Trzecią co do liczby wskazań grupę kierunków stanowią: **informatyka**, techniki informacyjne i obliczeniowe oraz programowanie (łącznie 16), do czego można dodać matematykę (4) i metody numeryczne (1).

W kolejności jest **elektronika** (łącznie 14 wskazań) oraz automatyka, sterowanie, robotyka i mechatronika (łącznie 8 wskazań).

Szczegółowa lista obecnie istniejących na uczelniach polskich kierunków lub specjalności, których absolwenci mogą znaleźć lub faktycznie znajdują zatrudnienie w pracach nad fuzją jądrową jest – według wskazań ekspertów – długa (w kolejności liczby wskazań podanej z prawej strony):

Tablica 26. Kierunki kierunków lub specjalności, których absolwenci mogą znaleźć lub faktycznie znajdują zatrudnienie w pracach nad fuzją jądrową (liczba wskazań)

Fizyka (ogólnie) .....	26
Inżynieria materiałowa.....	18

Informatyka, techniki informacyjne i obliczeniowe, programowanie.....	16
Elektronika.....	13
Automatyka, sterowanie, robotyka.....	8
Fizyka jądrowa.....	7
Inżynieria mechaniczna.....	6
Inżynieria elektryczna dużej mocy.....	5
Fizyka doświadczalna, fizyka teoretyczna, matematyka i energetyka ..– po	4
Fizyka techniczna i inżynieria (ogólnie).....– po	3
Fizyka atomowa (np. spektrometria), optoelektronika i chemia.....– po	2
Fizyka neutronowa, fizyka cząstek elementarnych (UW), fizyka ciała stałego, ochrona radiologiczna, spektroskopia, optyka i techniki laserowe, elektronika, metody numeryczne, inżynieria jądrowa, technika cieplna, kriogenika, wysoka próżnia energetyka jądrowa oraz socjologia i psychologia.....– po	1

Osoby, które stwierdziły, że w chwili obecnej istnieje potrzeba utworzenia nowego kierunku lub specjalności na uczelniach wyższych dla kształcenia przyszłych pracowników w dziedzinie fizyki jądrowej, na pytanie *Jaki powinien to być kierunek lub specjalność?* wskazują najczęściej (12 z 31 wskazań) na **fizykę plazmy**. Jeden z ekspertów sformułował to dobitnie: „*Przede wszystkim, powinno się przywrócić specjalność fizyka plazmy na polskich uniwersytetach oraz politechnikach.*”

Na drugim miejscu potrzeb jest **energetyka termojądrowa** (9), w kolejności fizyka termojądrowa i technologie jądrowe (po 4 wskazania). Pojedyncze głosy padły na fizykę syntezy jądra atomowego oraz materiały dla energetyki jądrowej. Ten ostatni fakt wraz z najczęstszym wskazywaniem studiów w zakresie inżynierii materiałowej jako źródła kadr dla badań nad fuzją sugerują, że w tej dziedzinie potrzeby są względnie dobrze zaspokojone.

Odpowiadając na pytanie o to, **która z polskich uczelni** jest najlepiej przygotowana do podjęcia postulowanej tematyki i utworzenia odpowiedniego kierunku studiów, eksperci wskazali następujące uczelnie (wg liczby wskazań):

**Tablica 27.** Uczelnie najlepiej przygotowane do prowadzenia nowych kierunków studiów

Politechnika Warszawska.....	12
Uniwersytet Warszawski.....	9
Akademia Górniczo-Hutnicza.....	4
Uniwersytet Jagielloński.....	2
Politechnika Wrocławska.....	2
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego.....	1
PAN.....	1

Wśród odpowiedzi pojawiło się też przypuszczenie: „*nie można wykluczyć, że podobne zadania mogłyby być realizowane w innych ośrodkach akademickich, np. w [...] Politechnice Poznańskiej*”.

Za uczelniami warszawskimi (Politechniką i Uniwersytetem) przemawia взгляд na „*bliskie usytuowanie IPJ i IFPiLM*”, lecz wskazywane też bywają ich konkretne jednostki jako najlepsi wykonawcy nowego zadania: Wydział Fizyki UW, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa oraz Instytut Matematyki i Fizyki Stosowanej PW.

Spośród tych 15 osób, które nie widzą obecnie potrzeby utworzenia nowego kierunku lub specjalności na uczelniach wyższych dla kształcenia przyszłych pracowników w dziedzinie fuzji jądrowej, 7 sądzi jednak, że taka potrzeba pojawi się w przyszłości, pewnie w perspektywie 6 – 10 lat.

#### OPTYMALNE FORMY KSZTAŁCENIA

Na pytanie o sposób, w jaki należy kształcić specjalistów w dziedzinie fuzji jądrowej, większość (18 głosów z 46) uznała za najlepszą formę .....*uzupełnienie programu nauczania innych specjalności elementarnymi wiadomościami o rozwoju energetyki termojądrowej, a następnie umożliwienie odbywania zainteresowanym studentom praktyk w ośrodkach zajmujących się badaniami o tej tematyce*. Niewiele mniej osób (14) preferuje jednak *studia doktoranckie*. Osiem zaś uznało za najlepsze *studia podyplomowe*.

Jak wspomniano wyżej, na pytanie *Czy uważa Pani/Pan za wskazane propagowanie wiedzy na temat fuzji jądrowej wśród młodzieży szkół średnich?* wybrano wyłącznie odpowiedź „tak”. Zróżnicowane natomiast są zapatrywania na to, jakie korzyści może to przynieść. Najliczniejsi są zwolennicy poglądu, że dzięki temu społeczeństwo będzie bardziej uświadomione w sprawach fuzji – jako najważniejszą korzyść wskazuje to 15 osób (por. tablica 34).

Warto jednak zauważyć, że w sumie jeszcze więcej osób upatruje głównej korzyści w personalnym i kompetencyjnym zasileniu sfery badań nad fuzją termojądrową, na co składają się wybory jako najważniejszej jednej z dwóch opcji: *zwiększenie się liczby specjalistów fuzji jądrowej oraz zasilenie kadry nowopowstających ośrodków badań nad energetyką termojądrową przez absolwentów studiów magisterskich, inżynierskich i doktorskich* (po 9 wskazań każdej z nich).

**Tablica 28.** Najważniejsza korzyść z propagowania wiedzy na temat fuzji jądrowej wśród młodzieży szkół średnich



Ponieważ odpowiadając na pytanie o korzyści eksperci mogli wskazywać ich więcej niż jedną, proporcje częstości wszystkich wskazań na poszczególne korzyści są nieco bardziej wyrównane, niż rozkład wskazań najważniejszej. Z łącznej liczby 143 wskazań poszczególne opcje uzyskały następujące liczby wskazań:

Spółeczeństwo będzie bardziej uświadomione.....	38
Zwiększy się liczba studentów na fizyce i kierunkach ścisłych.....	31
Zwiększy się liczba specjalistów fuzji jądrowej w przyszłości.....	26
Absolwenci studiów magisterskich, inżynierskich i doktorskich zasilą kadry nowopowstających ośrodków badań nad energetyką termojądrową.....	25
Absolwenci studiów magisterskich, inżynierskich i doktorskich znajdą pracę w przemyśle związanym z rozwojem energetyki termojądrowej oraz dziedzinami pokrewnymi (technika jądrowa, inżynieria materiałowa, technologie plazmowe itp.).	20
Absolwenci techników znajdą pracę w przemyśle na rzecz fuzji.....	16

## WSPÓŁPRACA BADACZY Z PRZEMYSŁEM

### POLA WSPÓŁPRACY

Wprawdzie na pytanie o najbardziej prawdopodobne pola współpracy badań z przemysłem odpowiedziało 33 spośród 59 uczestników ankiety, to jednak z lektury dalszych wypowiedzi co do możliwości poprawy w tym zakresie można wnioskować, że wśród badaczy dominuje przekonanie o słabości – lub wręcz nieistnieniu – tej współpracy obecnie i sceptycyzm co do szans na przyszłość.

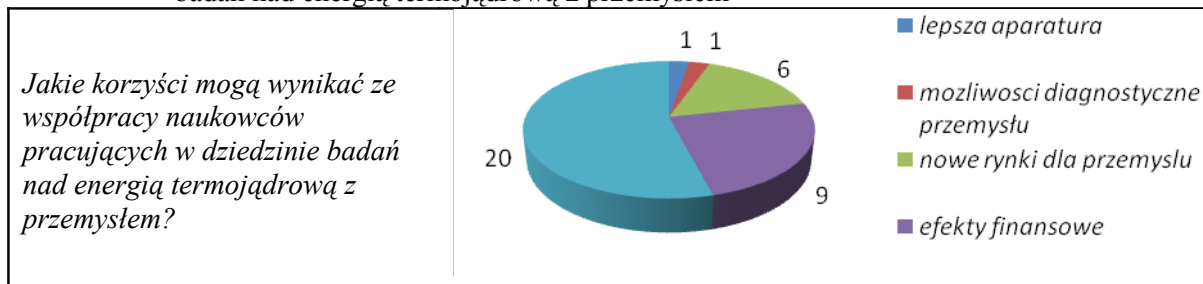
Wśród dziedzin badań, w których można spodziewać się najściślejszej współpracy naukowców z przemysłem w Polsce, eksperci w przeważającej większości wskazują na badania materiałowe (20 wskazań z 33), w drugiej kolejności na automatykę i sterowanie (7). Po dwa głosy padły na teorię, kriogenicę oraz diagnostykę plazmy i produktów fuzji.

### KORZYŚCI ZE WSPÓŁPRACY

Blisko trzy na cztery osoby dostrzegają korzyści ze współpracy naukowców pracujących w dziedzinie badań nad energią termojądrową z przemysłem:

Jako korzyści dla przemysłu wymienienia się przejmowanie od ośrodków naukowych nowych technologii, pożytki finansowe i nowe rynki zbytu dla produktów firm komercyjnych.

**Tablica 29.** Rodzaje korzyści ze współpracy naukowców pracujących w dziedzinie badań nad energią termojądrową z przemysłem



### PROPOZYCJE ZMIAN

Na pytanie *Co należy zrobić aby zwiększyć współpracę ośrodków naukowych z przemysłem?* padło niewiele odpowiedzi – cztery wskazujące na konkretne dziedziny zmian oraz trzy znacznie bardziej ogólne. W miarę konkretne propozycje:

- \* *Instytuty badawcze powinny dążyć do opracowania urządzeń i technologii, które mogą zostać wdrożone w przemyśle.*
- \* *[Należy] zwiększyć innowacyjność i konkurencyjność.*
- \* *Należałoby organizować wystawy i konferencje, na których nastąpi wymiana informacji o potrzebach naukowców i możliwościach włączenia się przemysłu.*
- \* *Obecnie brak współpracy, polski przemysł nawet nie wie o możliwościach związanych z ITER czy DEMO.*

można sprowadzić do dwóch obszarów:

- oferta instytutów badawczych – powinna być innowacyjna, nowoczesna i dopasowana do potrzeb przemysłu
- wymiana informacji między instytutami a przemysłem.

Odpowiedzi ogólne wskazują na przyczyny braku współpracy, na które badacze nie mają i nie mogą mieć wpływu – aż po postulat... stworzenia dopiero po tamtej stronie partnera dla współpracy:

- \* *Zmienić sposób funkcjonowania sfery przemysłowej, co obecnie jest utopią (np. odpisywanie od podatków przynajmniej części środków przekazywanych przez przemysł na badania naukowe).*
- \* *Przemysł musiałby być nią zainteresowany, na co się nie zanosi.*
- \* *[Należy] utworzyć przemysł zainteresowany tą współpracą.*

Uczestnicy ankiety w większości nie mają jednak bezpośredniego doświadczenia w kontaktach z przemysłem – tylko 4 osoby uczestniczyły we współpracy swojego instytutu lub uczelni z przedsiębiorstwami w zakresie fuzji termojądrowej (spośród 44, które udzieliły odpowiedzi na to pytanie). Z jednej strony wydaje się to potwierdzać opinię o braku współpracy ośrodków badawczych z przemysłem, z drugiej jednak – oznacza, że opinie badanych na ten temat nie są oparte na ich własnym doświadczeniu. Większość natomiast (27 osób) uczestniczyła w ramach swojej pracy w wyborze lub zakupach aparatury naukowo-badawczej. Lecz i ten rodzaj kontaktów z przedsiębiorstwami nie stanowi istotnego źródła wiedzy o omawianej współpracy z przemysłem krajowym, gdyż w ponad trzech czwartych zakupy te dokonywane były w firmach zagranicznych. (Notabene informacja ta potwierdza wyrażone w innym miejscu ankiety opinie, że stan wyposażenia polskich placówek badawczych jest niewystarczający, i stwierdzenie wynikających stąd potrzeb korzystania z bazy zagranicznej.)