



Jesteś zainteresowany europejskim programem badań naukowych?

Kwartalnik RTD info poinformuje Cię o głównych wydarzeniach (postępach, wynikach, projektach, itd.) w tej dziedzinie.

Dostępny w języku angielskim, francuskim oraz niemieckim. Darmową subskrypcję, a także pojedyncze egzemplarze zapewnia:

European Commission

Directorate-General for Research

Information and Communication Unit

B-1049 Brussels

Faks (32-2) 29-58220

E-mail: research@ec.europa.eu

Internet: http://ec.europa.eu/comm/research/rtdinfo/index_en.html

KOMISJA EUROPEJSKA

Dyrekcja Generalna ds. nauki, badań i rozwoju

Badania fuzji jądrowej

Wydział J6 ds. porozumień z Asocjacjami

Kontakt: Hugues Desmedt

European Commission

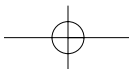
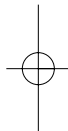
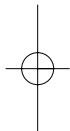
Office CDMA 00/66

B-1049 Brussels

Tel. (32-2) 29-98987

Faks (32-2) 29-64252

E-mail: hugues.desmedt@ec.europa.eu



Komisja Europejska

BADANIA FUZJI JĄDROWEJ

Nowe źródło energii dla Europy XXI wieku

2006

Dyrekcja Generalna ds. nauki, badań i rozwoju
Badania fuzji jądrowej

***Europe Direct jest serwisem, który udziela odpowiedzi na pytania
dotyczące Unii Europejskiej***

***Bezpłatna infolinia:
00 800 6 7 8 9 10 11***

ZASTRZEŻENIA PRAWNE:

Zarówno Komisja Europejska jak i żadna z osób działających w jej imieniu nie ponoszą odpowiedzialności za skutki wynikające z wykorzystania tej broszury.

Za wyrażone w tej publikacji poglądy odpowiedzialni są wyłącznie autorzy. Poglądy te nie zawsze odzwierciedlają punkt widzenia Komisji Europejskiej.

Wiele dodatkowych informacji o Unii Europejskiej jest udostępnionych w internecie.

Informacje te są dostępne poprzez serwer Europa (<http://europa.eu>).

Dane katalogowe umieszczono na końcu publikacji.

Luksemburg: Biuro Oficjalnych Publikacji Wspólnot Europejskich, 2006

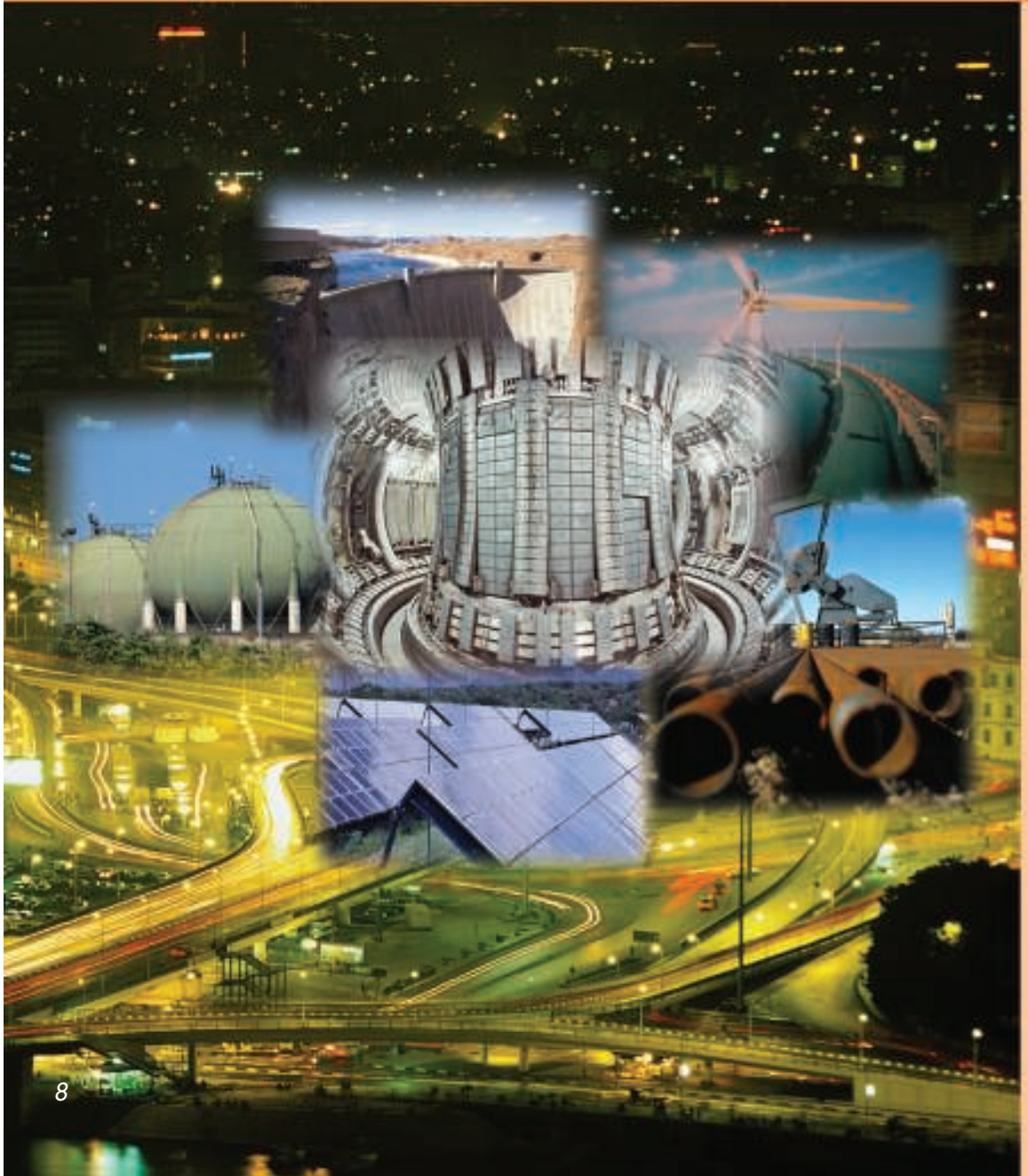
© Wspólnoty Europejskie, 2006

Wydrukowano w Belgii, na papierze ekologicznym.

REPRODUKCYJA JEST DOPUSZCZALNA POD WARUNKIEM PODANIA ŹRÓDŁA.

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE DO FUZJI JĄDROWEJ	
Zapotrzebowanie na stabilne i zasobne źródło energii	9
Źródło energii gwiazd	10
Wytwarzanie energii z wykorzystaniem fuzji jądrowej	11
Bezpieczeństwo	12
Wpływ na środowisko naturalne	13
Postęp w badaniach nad magnetyczną fuzją jądrową	14
EUROPEJSKI PROGRAM BADANIA FUZJI JĄDROWEJ	
ITER i europejska strategia opanowania fuzji jądrowej	16
Europejska Przestrzeń Badawcza w zakresie fuzji jądrowej	18
JAK DZIAŁA SYNTEZA JĄDROWA?	
Fuzja jądrowa z magnetycznym utrzymaniem plazmy	20
Główne elementy tokamaka	22
Nagrzewanie plazmy	24
Diagnostyki i modelowanie plazmy	25
ITER, droga do energii z fuzji jądrowej	26
Rozwój zaawansowanych technologii	28
Popularyzacja fuzji w Europie	30
Euroforum	32
Działalność edukacyjna i szkoleniowa w Europie	33
Zastosowania w innych obszarach zaawansowanej technologii	34
Bibliografia	35
O filmie „The starmakers”	38
DVD	39





Zapotrzebowanie na stabilne i zasobne źródło energii

Gospodarka Unii Europejskiej (UE) jest uzależniona od stabilnych i zasobnych źródeł energii. Obecne zapotrzebowanie na energię zaspokajają głównie paliwa kopalne (ropa naftowa, węgiel i gaz ziemny), które stanowią 80% całkowitego zużycia energii. Prawie 67% zużywanych paliw kopalnych pochodzi z importu co oznacza, że importowane paliwa kopalne pokrywają około 50% zapotrzebowania energetycznego UE. Przewiduje się, że do 2030 roku udział paliw importowanych, głównie ropy naftowej, wzrośnie do około 70%.

Stabilne i zasobne źródła energii są niezbędne do utrzymania naszego standardu życia. Europejskie badania naukowe mają na celu rozwój technologii wytwarzania energii, które są bezpieczne, wydajne i przyjazne środowisku. Fuzja jądrowa jest właśnie jedną z nich.

W dalszej perspektywie fuzja jądrowa będzie jedną z możliwości produkcji energii na dużą skalę, przy czym będzie to źródło bezpieczne, mające znikomy wpływ na środowisko naturalne, wykorzystujące bogate i ogólnie dostępne złoża surowców naturalnych.

Elektrownie fuzji jądrowej będą szczególnie przydatne, jako podstawowe źródła energii elektrycznej, na obszarach gęsto zaludnionych i na terenach przemysłowych. Mogą one także dostarczać wodór na potrzeby 'gospodarki wodorowej'.

Ta broszura opisuje prace prowadzone przez naukowców europejskich, zmierzające do opanowania fuzji jądrowej jako źródła energii dla dobra ludzkości.



Źródło energii gwiazd

Fuzja jądrowa jest źródłem energii Słońca i innych gwiazd. Jądra lekkich atomów łączą się ze sobą i w efekcie uwalniają energię. Olbrzymie ciśnienie grawitacyjne w jądrze Słońca umożliwia występowanie tego zjawiska w temperaturze rzędu 10 milionów stopni Celsjusza.

Gaz podgrzany do takiej temperatury staje się plazmą, w której elektrony są całkowicie oddzielone od jądra atomowego (jonu). Plazma jest czwartym stanem skupienia materii, wykazującym szczególne własności fizyczne. Badania w dziedzinie fizyki plazmy skupiają się na poznaniu tych szczególnych właściwości. Chociaż na Ziemi materia występuje wyjątkowo rzadko w stanie plazmy, to jednak ponad 99% Wszechświata jest właśnie w tym stanie.

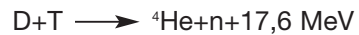
Ponieważ na Ziemi jesteśmy w stanie wytworzyć jedynie znacznie niższe ciśnienia (około 100 miliardów razy mniejsze niż te, które występują we wnętrzu Słońca), więc temperatura potrzebna do tego, aby zachodziła fuzja lekkich jąder przekracza 100 milionów stopni Celsjusza. Do osiągnięcia tak wielkiej temperatury konieczne jest zminimalizowanie strat energii poprzez utrzymywanie gorącej plazmy z dala od ścian komory reaktora. Można to osiągnąć poprzez umieszczenie plazmy w toroidalnej „pułapce” utworzonej z silnego pola magnetycznego, które zapobiega ucieczce elektrycznie naładowanych cząstek plazmy. Jest to niezwykle zaawansowana technologia, leżąca u podstaw europejskiego programu fuzji jądrowej.



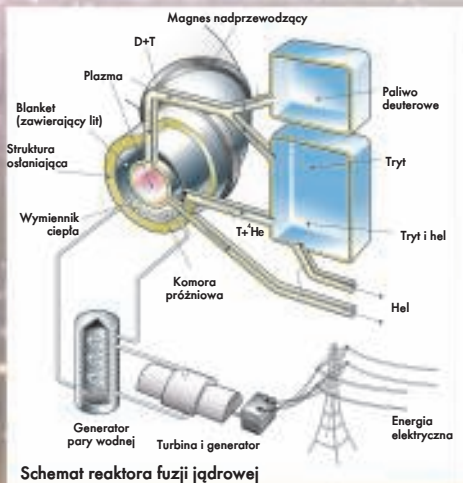
Wytwarzanie energii z wykorzystaniem fuzji jądrowej



Reakcja fuzji jądrowej



W reaktorach fuzji jądrowej pierwszej generacji łączyć się będą ze sobą dwa izotopy wodoru: deuter (D) i tryt (T). Fuzja jąder innych pierwiastków wymaga jeszcze wyższych temperatur. Deuter jest nieradioaktywnym izotopem występującym w wodzie morskiej (średnio 35 g deuteru w każdym metrze sześciennym wody). Tryt nie występuje w sposób naturalny na Ziemi, ale może być produkowany z litu (lekkiego, łatwo dostępnego metalu), wewnątrz reaktora fuzji jądrowej. W wyniku reakcji łączenia jąder deuteru z jądrami trytu powstają cząstki alfa (czyli zjonizowany hel) i neutrony o dużej energii.



Neutrony swobodnie opuszczają plazmę i są spalwiane w „płaszczu” (blankiecie) otaczającym komorę plazmową. Wewnątrz blanketu lit jest przekształcany w tryt, który wraca do komory jako paliwo. Ciepło oddane przez neutrony może być użyte do wytworzenia pary, która napędza turbiny generujące prąd elektryczny. Ocenia się, że roczne potrzeby milionowego miasta będzie w stanie zaspokoić elektrownia syntezy jądrowej, do której raz na rok przyjedzie mała furgonetka z zapasem paliwa.



Bezpieczeństwo



Urządzenie do postępowania z trytem

Reaktor fuzji działa podobnie jak palnik gazowy – paliwo dostarczane do reaktora jest w nim spalane. W komorze, w której zachodzi spalanie, jest w danej chwili niewielka ilość paliwa (około 1 g D-T w objętości tysiąca metrów sześciennych). Jeśli zasilanie komory paliwem zostanie wstrzymane, to reakcja trwa jeszcze tylko kilka sekund. Awaria któregokolwiek z urządzeń reaktora powoduje schłodzenie plazmy i zatrzymanie reakcji.

Surowce pierwotne potrzebne do fuzji, czyli deuter i lit (a także hel produkowany w wyniku reakcji) nie są substancjami radioaktywnymi. Radioaktywny tryt, występujący tu jako paliwo pośrednie, rozpada się stosunkowo bardzo szybko (jego czas połowicznego zaniku wynosi 12,6 lat), a w wyniku jego rozpadu powstają elektrony (promieniowanie beta) o bardzo niskiej energii. W powietrzu elektrony te mogą przemieszczać się na odległość tylko kilku milimetrów i nie są w stanie przeniknąć nawet przez kartkę papieru. Niemniej jednak tryt jest substancją szkodliwą dla człowieka (po przedostaniu się do wnętrza organizmu) i dlatego zaprojektowano i zastosowano w urządzeniach fuzji jądrowej specjalne metody i narzędzia do postępowania z trytem.

Ponieważ tryt jest produkowany w samym reaktorze, nie ma więc potrzeby dostarczania tego radioaktywnego surowca do elektrowni.



Wpływ na środowisko naturalne

Energia wytwarzana w procesie fuzji jądrowej będzie spożytkowana w konwencjonalny sposób, to znaczy do wytwarzania elektryczności i ciepła na użytek przemysłowy, lub, być może, do wytwarzania wodoru.

Zużycie paliwa w elektrowni działającej na zasadach fuzji jądrowej będzie niezwykle małe. Elektrownia o mocy 1 GW będzie potrzebowała około 100 kg deuteru i 3 tony naturalnego litu rocznie po to, aby wytworzyć 7 miliardów kWh energii. Tradycyjna elektrownia węglowa potrzebuje około 1,5 miliona ton surowca, aby wyprodukować tę samą ilość energii!

Reaktory fuzji jądrowej nie emitują do atmosfery gazów cieplarnianych ani innych zanieczyszczeń wpływających niekorzystnie na środowisko i powodujących zmiany klimatu.

Neutrony uwalniane podczas fuzji aktywują materiały konstrukcyjne reaktora. Staranny wybór tych materiałów zapewni to, że po zakończeniu pracy elektrowni będą one musiały być składowane nie dłużej niż 100 lat, po czym będą wyjęte spod kontroli radiologicznej, co umożliwi ich utylizację. Odpady pochodzące z reaktora nie będą więc ciężarem dla przyszłych pokoleń.

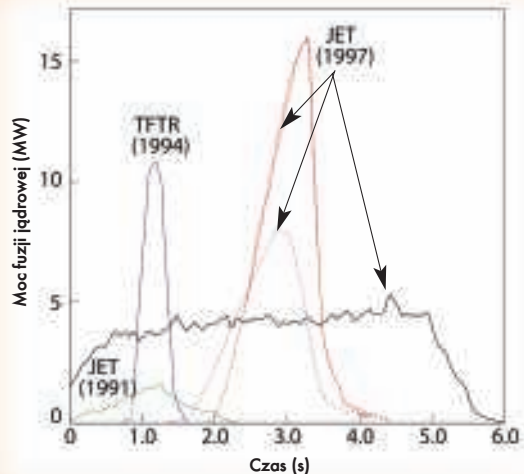


Europejskie laboratorium JET
(Culham – Wielka Brytania)



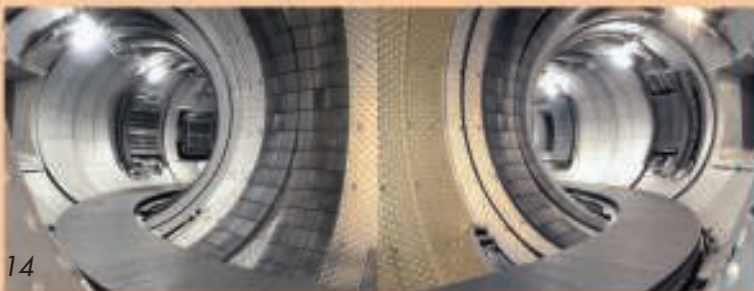
Postęp w badaniach nad magnetyczną syntezą jądrową

Europejski tokamak JET (Joint European Torus), zlokalizowany w Culham (Wielka Brytania), jest największym na świecie urządzeniem działającym na zasadzie fuzji jądrowej i jedynym, który może pracować z mieszaniną deuteru i trytu. Do chwili obecnej JET osiągnął wszystkie postawione przed nim cele, a w niektórych przypadkach uzyskał parametry lepsze niż zaplanowane. W roku 1997 osiągnął rekordową moc 16 MW energii uwalnianej z reakcji fuzji jądrowej.



Rekordowe wyniki fuzji jądrowej

W Europie jest wiele dużych urządzeń eksperymentalnych, które służą poszerzaniu i pogłębianiu wiedzy na temat fuzji jądrowej. Jednym z ostatnich osiągnięć, służących zrozumieniu kwazistacjonarnego stanu fuzji jądrowej, były doświadczenia przeprowadzone na wielkim francuskim tokamaku o nazwie TORE SUPRA. W roku 2003 TORE SUPRA osiągnął rekordowy wynik – przez 6 i pół minuty trwało nieprzerwanie wyładowanie elektryczne w plazmie. Całkowita energia dostarczona przez ten czas na nagrzanie i utrzymanie gorącej plazmy (energia ta musiała też być odprowadzona w postaci ciepła) przekroczyła wartość jednego gigadżula (czyli tysiąca milionów dżuli – jest to energia wystarczająca do zagotowania 3 ton wody).



Tokamak Tore Supra (Cadarache, Francja) – bardzo dobra plazma o rekordowo długim czasie trwania



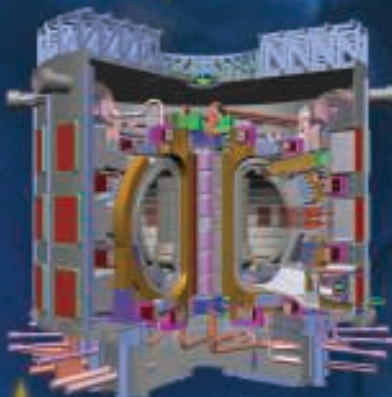
ITER i europejska strategia opanowania fuzji jądrowej

Długofalowa polityka badań i rozwoju fuzji jądrowej państw członkowskich Unii Europejskiej (oraz krajów stowarzyszonych z Programem Ramowym Euratom) ma na celu „wspólne stworzenie prototypu reaktora spełniającego oczekiwania społeczeństwa: bezpiecznego, nie zagrażającego środowisku oraz ekonomicznie opłacalnego”.

Strategicznym krokiem umożliwiającym osiągnięcie tego długofalowego celu jest zbudowanie we współpracy międzynarodowej eksperymentalnego reaktora ITER. Ogólnym celem programowym projektu ITER jest pokazanie naukowej i technologicznej możliwości opanowania dla celów pokojowych energii pochodzącej z fuzji jądrowej. ITER osiągnie ten cel poprzez zademonstrowanie kontrolowanego spalania plazmy deuterowo-trytowej oraz opanowanie technologii istotnych dla reaktora jako zintegrowanego systemu. Celem dalszym jest ciągła praca reaktora.

ITER będzie prekursorem prototypowej elektrowni („DEMO”). Urządzenie DEMO będzie w stanie, po raz pierwszy na świecie, wytwarzać znaczące ilości energii elektrycznej i jednocześnie będzie samowystarczalne pod względem produkcji trytu. Budowa zarówno ITERa, jak i następnego po nim reaktora DEMO, wymagać będzie znacznego zaangażowania przemysłu europejskiego i będzie wspierana przez badania w zakresie fizyki i technologii, zarówno w laboratoriach syntezy jądrowej, jak i w instytucjach akademickich.

Schemat ITERa





Współpraca międzynarodowa dotycząca projektu urządzenia ITER była i jest nadal ważnym elementem europejskiego programu badawczego w zakresie fuzji jądrowej. Podstawą tego projektu było europejskie urządzenie JET (Joint European Torus, Culham – Wielka Brytania). Dzięki modelowaniu, wykorzystującemu obszerną bazę danych z eksperymentów europejskich i światowych, możliwa jest ekstrapolacja uzyskanych dotychczas wyników do warunków tokamaka ITER.

Współpraca w zakresie projektu ITER prowadzona jest pod auspicjami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA, Wiedeń – Austria). Celem strategicznym ITERa jest pokazanie naukowej i technicznej możliwości opanowania na potrzeby pokojowe energii pochodzącej z fuzji jąder.



Wizja artystyczna europejskiej lokalizacji ITERa w Cadarache (Francja)

Jednocześnie z pracami związanymi z ITERem podejmowane są prace badawczo-rozwojowe dotyczące celów długofalowych związanych z reaktorem DEMO. Ważnym celem tych prac jest rozwój zaawansowanych materiałów konstrukcyjnych, w szczególności takich, które nie ulegają silnej aktywacji i które są optymalne z punktu widzenia warunków panujących we wnętrzu reaktora.

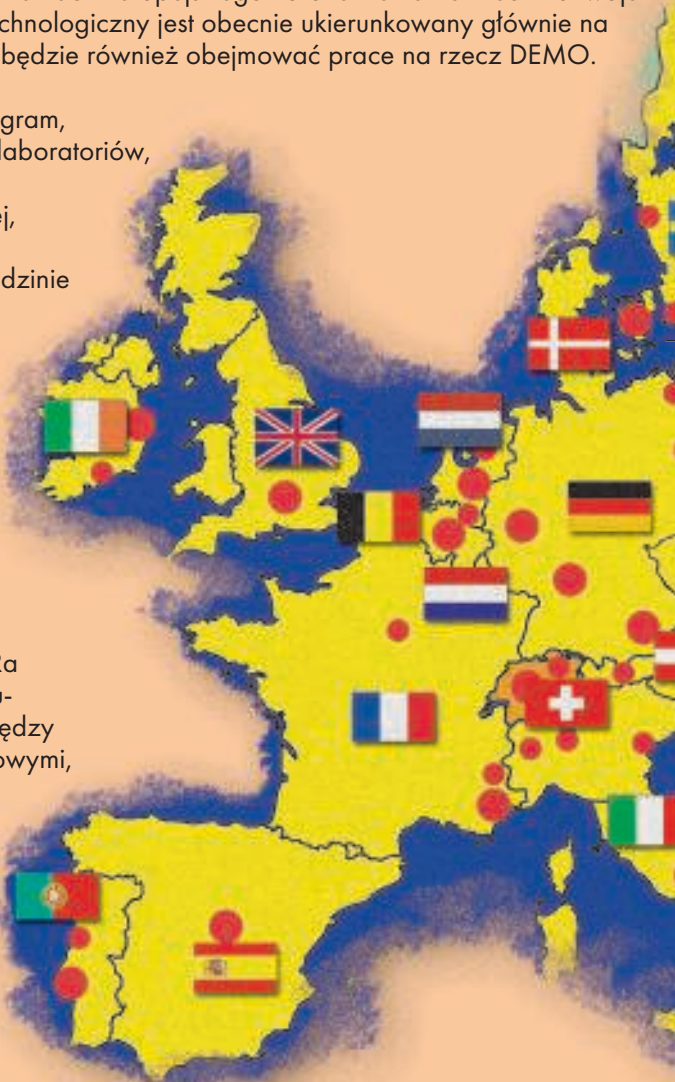


Europejska przestrzeń badawcza w zakresie fuzji jądrowej

Kluczową cechą europejskiego programu fuzji jądrowej jest koordynacja, niespotykana dotychczas na taką skalę, prowadząca do efektywnego wykorzystania wszystkich europejskich zasobów badawczo-rozwojowych, mających znaczenie dla tego programu. Szczególnie ważna jest współpraca dotycząca urządzenia JET i programu technologicznego, prowadzona w ramach Europejskiego Porozumienia na rzecz Rozwoju Fuzji Jądrowej (EFDA). Program technologiczny jest obecnie ukierunkowany głównie na potrzeby ITERa, ale w przyszłości będzie również obejmować prace na rzecz DEMO.

Taki jednolity, skoordynowany program, z celem wspólnym dla wszystkich laboratoriów, dużych i małych, jest przykładem Europejskiej Przestrzeni Badawczej, co stawia Europę na czele międzynarodowych badań w dziedzinie fuzji jądrowej z magnetycznym utrzymaniem plazmy. Dzięki wspólnym pracom możliwe było skonstruowanie urządzenia JET, a także postępowanie w rozwoju ITERa, nie do osiągnięcia przez żadne z państw członkowskich lub stowarzyszonych, działających samodzielnie.

Oprócz głównej współpracy międzynarodowej dotyczącej ITERa dąży się także do podpisania dwu- i wielostronnych porozumień pomiędzy laboratoriami europejskimi i światowymi, w celu stworzenia największego na świecie potencjału naukowo-badawczego, skupionego na wybranych zagadnieniach, będących przedmiotem wspólnego zainteresowania.





nu.
oju



Na mocy traktatu Euratom program badań i rozwoju fuzji jądrowej jest koordynowany w Europie przez Komisję Europejską i wdrażany za pomocą następujących mechanizmów:

- Kontrakt Asocjacyjny z instytucjami badawczymi lub organizacjami krajów członkowskich UE i krajów stowarzyszonych z Programem Ramowym Euratom (instytucje te i organizacje, nazywane Asocjacjami EURATOM, zaznaczono na mapie czerwonymi punktami).
- Porozumienie EFDA obejmujące trzy powiązane ze sobą obszary działania:
 - Rozwój technologii fuzji jądrowej, realizowany przez organizacje członkowskie i przemysł europejski,
 - Wspólna eksploatacja tokamaka JET oraz
 - Europejski wkład do projektów międzynarodowych takich jak ITER.
- Zadaniowe kontrakty z laboratoriami, które nie mają podpisanego Kontraktu Asocjacyjnego.
- Porozumienie promujące wymianę personelu badawczego, a także stypendia Euratom.

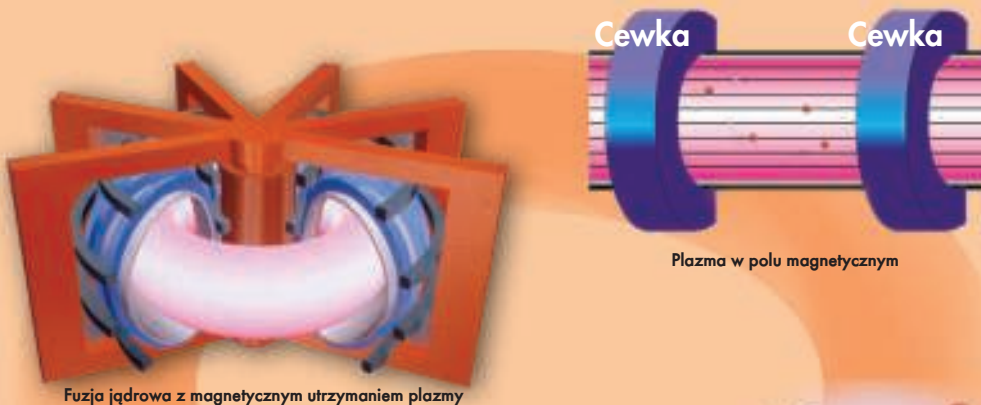
W 6. Programie Ramowym (2002-2006) badania w dziedzinie fuzji jądrowej są priorytetowym obszarem tematycznym. Na ten cel przeznaczono w budżecie Programu 750 milionów Euro (z czego nawet 200 milionów Euro może być wydane na rozpoczęcie budowy ITERa).

Sukces europejskich badań fuzji jądrowej jest możliwy dzięki pracy 2000 fizyków i inżynierów zatrudnionych w europejskich laboratoriach i w europejskim przemyśle.



Fuzja jądrowa z magnetycznym utrzymaniem plazmy

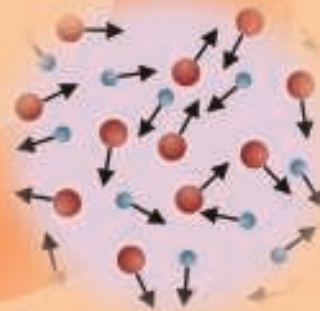
Magnetyczna fuzja jądrowa wykorzystuje bardzo silne pole magnetyczne, utrzymujące plazmę w komorze próżniowej, która izoluje ją od otoczenia. W idealnej sytuacji naładowane elektrycznie jony i elektrony, z których składa się plazma, nie mogą poruszać się w poprzek linii sił pola magnetycznego, natomiast wzdłuż linii sił pola



Plazma w polu magnetycznym

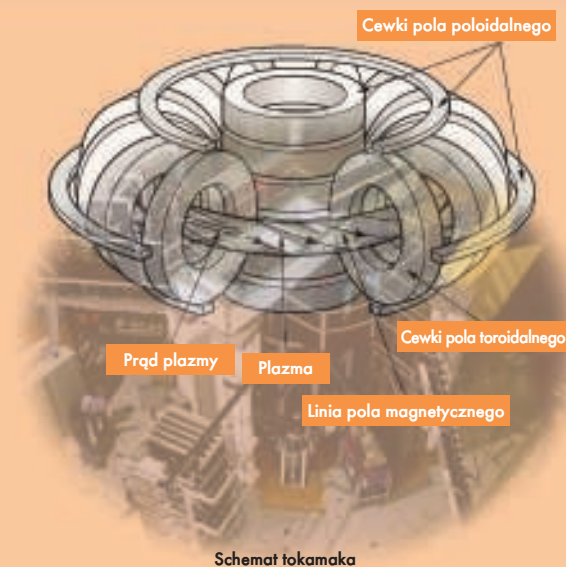
Fuzja jądrowa z magnetycznym utrzymaniem plazmy

poruszają się swobodnie. Poprzez uformowanie linii pola na kształt pętli cząsteczki plazmy zostają praktycznie uwięzione wewnątrz komory. Są one w ten sposób dobrze odizolowane od ścian reaktora i dzięki temu utrzymują wysoką temperaturę. Jednak w rzeczywistym toroidalnym układzie magnetycznego utrzymania plazma traci z czasem swoją energię w procesach takich jak na przykład promieniowanie oraz poprzez wzajemne zderzenia cząstek, powodujące ich ucieczkę w poprzek linii sił pola magnetycznego.



Plazma bez pola magnetycznego

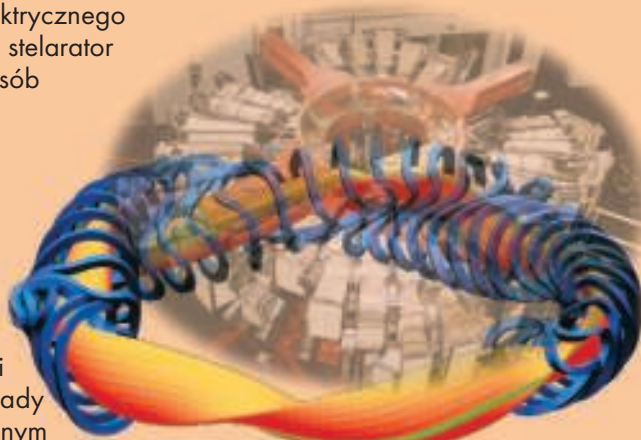
Pole magnetyczne wytwarzane jest przez prądy elektryczne (o bardzo dużym natężeniu), przepływające w cewkach, umieszczonych na zewnątrz komory reaktora. Do utworzenia pułapki magnetycznej wykorzystuje się też prądy elektryczne, płynące w samej plazmie.



Schemat tokamaka

W urządzeniach nazywanych tokamakami plazma jest obwodem wtórnym transformatora (obwód pierwotny umieszczony jest poza komorą, na osi centralnej tokamaka). Zmienność natężenia prądu w obwodzie pierwotnym indukuje prąd elektryczny w plazmie. Prąd ten wytwarza pole magnetyczne pułapki, a ponadto nagrzewa plazmę dzięki jej oporności elektrycznej. Ponieważ transformator nie jest w stanie indukować prądu w sposób ciągły, więc plazma ma skończony czas życia; ciągły przepływ prądu w plazmie musi być zapewniony za pomocą innych środków.

W urządzeniu zwanym stelarator pułapka magnetyczna wytwarzana jest za pomocą cewek, mających bardzo skomplikowany kształt. W urządzeniu tym nie jest potrzebne indukowanie prądu elektrycznego w plazmie i dzięki temu stelarator może pracować w sposób ciągły. Największe urządzenie tego typu, o nazwie W 7-X, jest obecnie budowane w Greifswaldzie (Niemcy). Inne pułapki magnetyczne, podobne do tych, które zostały omówione, to tokamaki zwarte (sferyczne) i układy RFP (pincze z odwróconym polem).



Schemat stelaratora



Główne elementy tokamaka

Centralna cewka indukcyjna

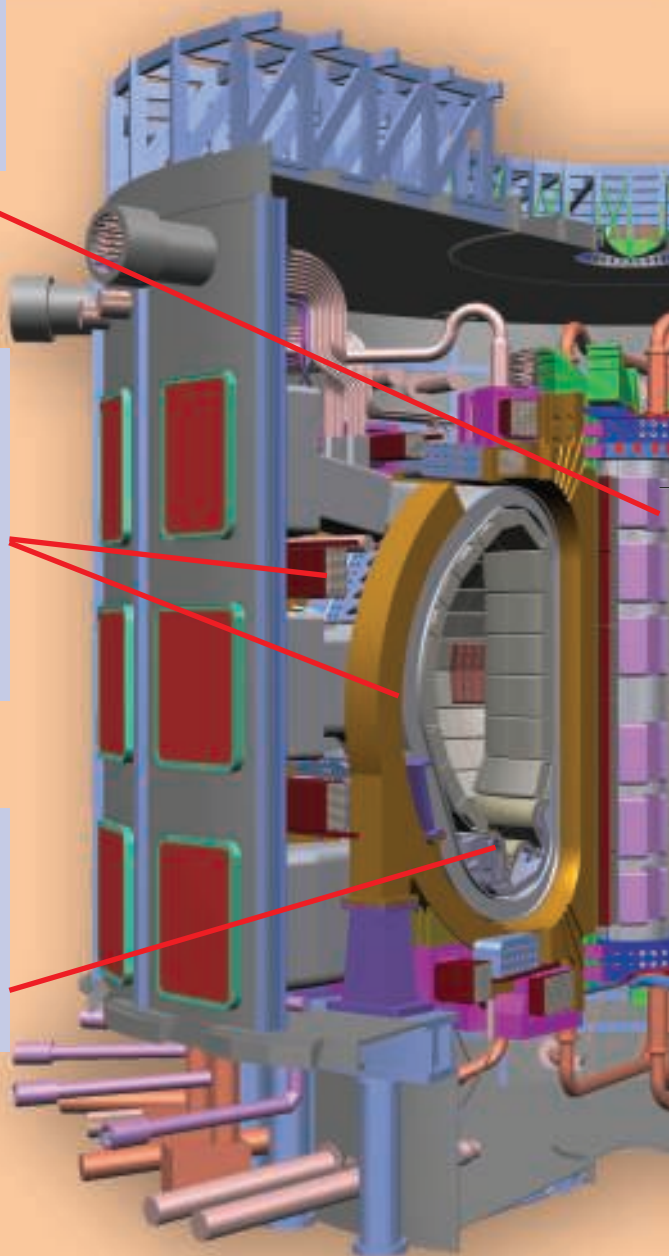
Obwód pierwotny transformatora. Obwodem wtórnym jest plazma.

Cewki toroidalnego i poloidalnego pola magnetycznego

Wytwarzają silne pole magnetyczne (o indukcji rzędu 5 tesli, czyli w przybliżeniu 100 000 razy większe od pola magnetycznego Ziemi), które ogranicza plazmę i izoluje ją od ścian komory próżniowej.

Diwertor

Usuwa zanieczyszczenia i hel z komory próżniowej i jest jedynym obszarem, w którym świadomie dopuszcza się do kontaktu plazmy z powierzchniami materialnymi.





Kriostat

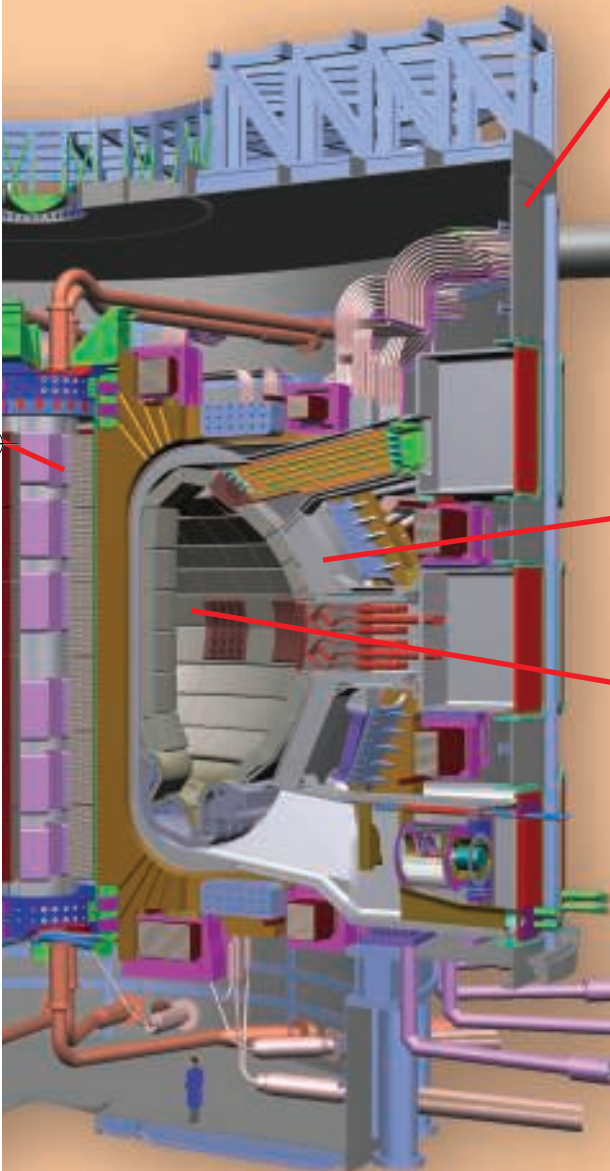
Otacza cewki i komorę próżniową. Kriostat jest schłodzony do temperatury około -200 stopni Celsjusza, co zapewnia utrzymanie roboczej temperatury cewek nadprzewodzących (-269 stopni Celsjusza).

Komora próżniowa

Służy do tego, aby otaczające powietrze nie dostawało się do obszaru plazmy.

Blanket

Blanket to płaszcz otaczający komorę, w którym umieszczony jest lit. Neutrony reagują z litem wytwarzając tryt, który następnie jest separowany i wprowadzany do plazmy. Energia oddana przez neutrony wykorzystywana jest do nagrzania wody krążącej w obiegu zamkniętym. W wymiennikach ciepła wytwarzana jest para wodna, która napędza generator prądu elektrycznego.

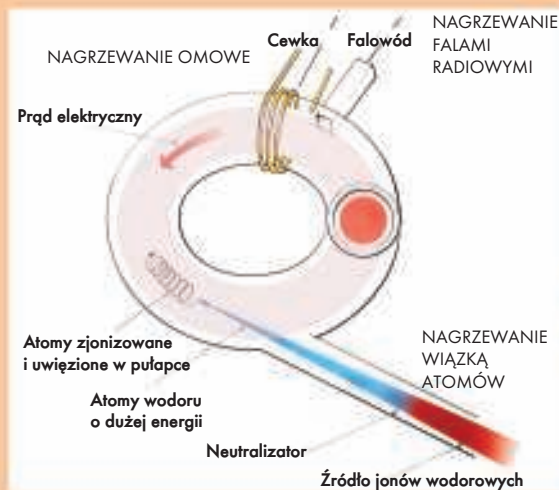




Nagrzewanie plazmy

Prąd elektryczny przepływający przez plazmę tokamaka sprawia, że plazma nagrzewa się. Ponieważ ze wzrostem temperatury oporność elektryczna plazmy maleje, więc tym sposobem można ją nagrzać do temperatury nie większej niż kilka milionów stopni, a to jest dziesięć razy za mało, aby reakcje fuzji jądrowej zachodziły z dużą intensywnością. Dalszy wzrost temperatury musi odbywać się poprzez dostarczanie ciepła ze źródeł zewnętrznych.

Plazmę można nagrzewać za pomocą silnych źródeł fal elektromagnetycznych o dużej częstotliwości, przekazujących swoją energię do plazmy poprzez zjawiska absorpcji rezonansowej. Obecnie rozwijane są trzy typy źródeł, wykorzystujących następujące zjawiska rezonansowe: jonowy rezonans cyklotronowy (w zakresie od 20 do 55 MHz), elektronowy rezonans cyklotronowy (100-200 GHz, jest to zakres mikrofal) i rezonans w zakresie częstotliwości dolnej hybrydowej (1-8 GHz).



Antena fal radiowych w Tore Supra (CEA, Cadarache – Francja)



JET – urządzenie do nagrzewania plazmy wiązką atom

Inne źródło ciepła do nagrzewania plazmy to wiązki atomów o dużej energii wstrzykiwane do plazmy. Atomy zderzają się z cząstkami plazmy i przekazują im swoją energię kinetyczną.



Diagnostyki i modelowanie plazmy

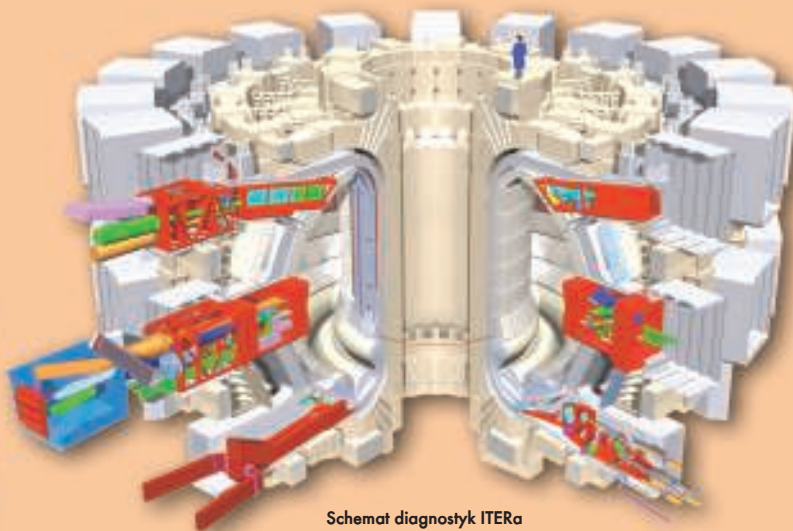
Poznanie procesów zachodzących w plazmie jest niezbędne do tego, aby zaprojektować reaktor fuzji jądrowej. Wymaga to stosowania wyrafinowanych i skomplikowanych systemów pomiarowych, które nazywane są diagnostykami.

Diagnostyki są rozwijane w laboratoriach europejskich po to, aby monitorować wszystkie parametry plazmy: od temperatury we wnętrzu plazmy (co robi się za pomocą silnych laserów) do ilości zanieczyszczeń w plazmie i źródła ich pochodzenia.

Dane otrzymane z tych diagnostyk są wykorzystywane w programach komputerowych, które mają za zadanie przewidywać działanie tokamaka i zapewnić jego funkcjonowanie zgodne z oczekiwaniami.



nagrzewania
cząstką atomów



Schemat diagnostyk ITERa



ITER, droga do energii z fuzji jądrowej

ITER jest następnym głównym krokiem na drodze do stworzenia reaktora działającego na zasadzie fuzji jądrowej.

Projekt ITER jest możliwy dzięki owocnej współpracy międzynarodowej w zakresie projektów badawczo-rozwojowych z różnych dziedzin nauki i techniki. ITER będzie w stanie generować 400 MW energii w impulsach sześciominutowych, a w dalszej perspektywie powinien pracować w sposób ciągły.

Całkowite koszty inwestycyjne urządzenia ITER szacuje się na 4,6 miliardów Euro (w cenach z roku 2000). Po osiągnięciu porozumienia przez grono międzynarodowych partnerów budowa ITERa zajmie od 8 do 10 lat, natomiast jego eksploatację planuje się na okres około 20 lat.

Do budowy ITERa wykorzystane zostaną doświadczenia naukowe zdobyte podczas eksploatacji wielu urządzeń eksperymentalnych rozsianych po całym świecie.

Prototyp diwertora
ITERa w skali naturalnej

Stanowisko
do zdalnego
manipulowania
diwertorem ITERa

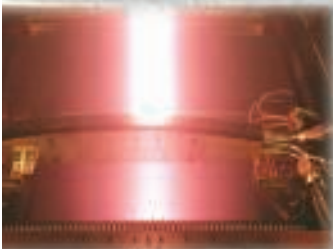
Gyrotron - źródło mikrofal o dużej częstotliwości

Test odporności t



ra
turalnej

o
ania
ITERa



sporności termicznej płytek osłaniających



Model w skali naturalnej pionowej płyty
diwertora, testowany w korporacji Framatome



Testowanie prototypu
cewki pola toroidalnego



Spawanie sektorów komory
próżniowej laserem dużej
mocy (11 kW)



Gyrotron – źródło mikrofal
o dużej częstotliwości i mocy 1MW



Stanowisko do testowania blanketu

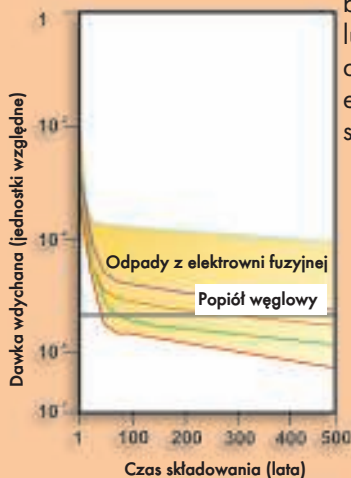


Rozwój zaawansowanych technologii

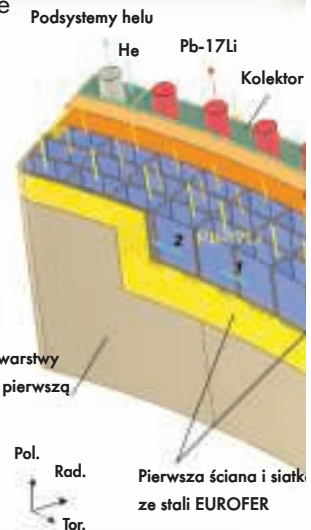
Oprócz prac związanych z ITERem prowadzi się ponadto istotne badania technologiczne i prace rozwojowe na potrzeby urządzenia DEMO. Europejskie badania dotyczące blanketu powielającego tryt koncentrują się na koncepcji płaszcza chłodzonego helmem, z medium powielającym w postaci mieszaniny litu i ołowiu lub w postaci ceramicznych kulek ze związków litu. Badania te są niezbędne do zaprojektowania cyklu obiegu trytu w reaktorze fuzji jądrowej.

Europejskie badania materiałów strukturalnych koncentrują się na stalach ferrytowych i martenzytowych typu EUROFER, cechujących się obniżoną aktywacją promieniotwórczą; w dalszej perspektywie rozważane jest zastosowanie kompozytów węglowo-krzemowych.

Analizowane są także problemy bezpieczeństwa reaktorów fuzji jądrowej i ich wpływu na środowisko naturalne. Prace te, koncentrujące się głównie na koncepcjach zaawansowanych oraz na kwestii zminimalizowania ilości materiałów aktywowanych, prowadzą do istotnego wniosku stwierdzającego, że reaktor syntezy jądrowej może być tak zaprojektowany, iż żaden wypadek wewnątrz elektrowni nie będzie wymagał ewakuacji miejscowej ludności. Badania socjoekonomiczne analizują aspekty ekonomiczne energetyki fuzyjnej i długofalowe strategie jej rozwoju.



Obliczony zanik radiotoksyczności dla różnych modeli elektrowni fuzyjnej jądrowej w porównaniu z radiotoksycznością popiołu węglowego



Projekt modułu blanketu reaktora



Dystrybutor trytu



Testowanie korozji metali ciekłych



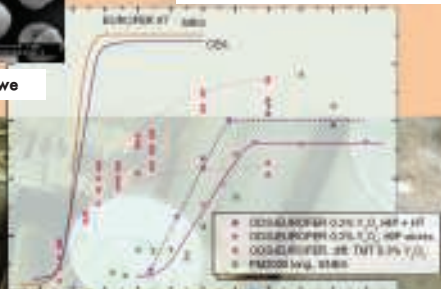
Kulki berylowe



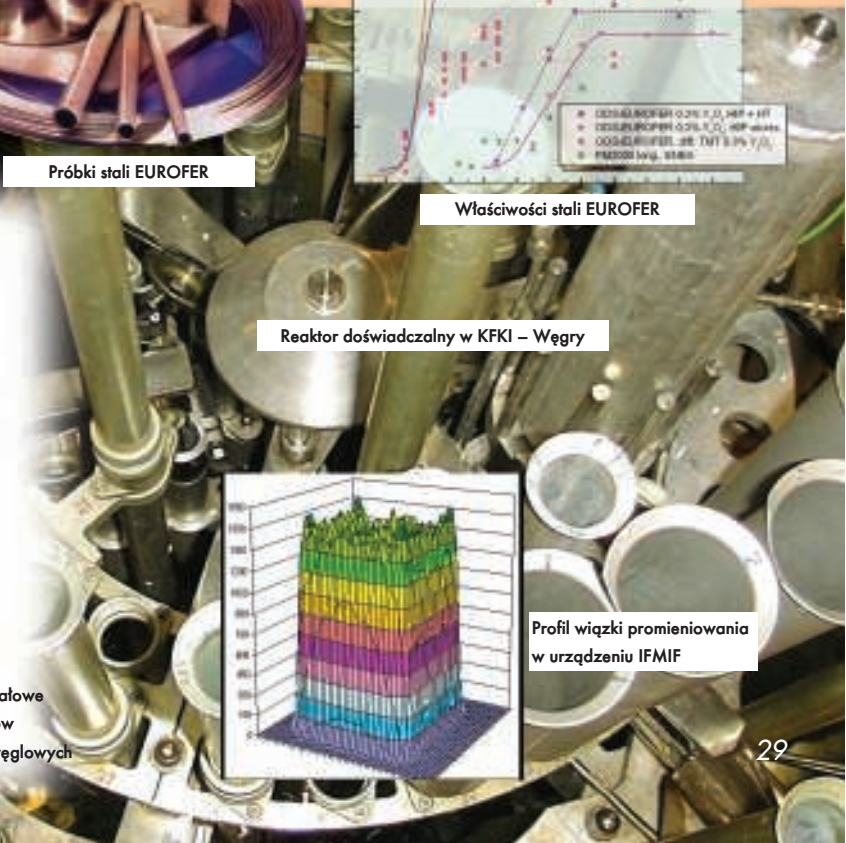
Próbki stali EUROFER



Właściwości stali EUROFER



Reaktor doświadczalny w KFKI – Węgry



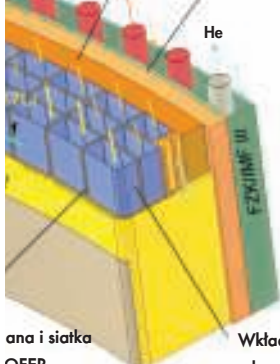
Li

Kolektor chłodzący

Oslona gorąca

Oslona zimna

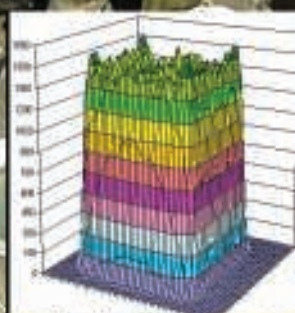
He



ana i siatka OFER

Wkładki kanalowe z kompozytów krzemowo-węglowych

Profil wiązki promieniowania w urządzeniu IFMIF





Popularyzacja fuzji w Europie

Objazdowa wystawa Fusion Expo została stworzona, a następnie pokazana w wielu miastach europejskich, z zamiarem poinformowania społeczeństwa, w szczególności młodzieży uczącej się, o pracach na polu fuzji jądrowej w Europie.





Objazdowy pokaz fuzji jądrowej

Dobrym przykładem działań edukacyjnych podejmowanych przez społeczność naukowców fuzyjnych są objazdowe pokazy opracowane w holenderskiej Asocjacji Euratom-FOM. W bardzo ciekawy i zrozumiały sposób przedstawiają one serię prostych eksperymentów wyjaśniających podstawowe zasady fuzji jądrowej.



EiROforum

Europejski program syntezy jądrowej jest także członkiem (reprezentowanym przez konsorcjum EFDA) grupy EIROforum skupiającej siedem europejskich międzyrządowych organizacji naukowych odpowiedzialnych za infrastrukturę i laboratoria badawcze. Celem zasadniczym EIROforum jest odgrywanie aktywnej i konstruktywnej roli w promowaniu osiągnięć i znaczenia badań europejskich. W szczególności zadaniem EIROforum jest koordynacja działań wspomagających, w tym transferu technologii i edukacji społecznej.

Siedmiu członków EIROforum to:

- **CERN** Europejska Organizacja Badań Jądrowych (Szwajcaria),
- **EFDA** Europejskie Porozumienie na rzecz Rozwoju Syntezy Jądrowej (Wielka Brytania, Niemcy),
- **EMBL** Europejskie Laboratorium Biologii Molekularnej (Niemcy),
- **ESA** Europejska Agencja Kosmiczna (Unia Europejska),
- **ESO** Europejskie Obserwatorium Południowe (Niemcy, Chile),
- **ESRF** Europejskie Centrum Promieniowania Synchrotronowego (Francja),
- **ILL** Instytut im. Laue–Langevina (Francja).



Fizyka na stanowisku 3. – nauczyciele w czasie pokazu



Działalność edukacyjna i szkoleniowa w Europie

Edukacja i szkolenie młodych naukowców są ważną częścią programu prac w Asocjacjach Euratomu. Wielu pracowników naukowych wykłada w instytucjach akademickich, głównie na uniwersytetach, a 200 – 250 doktorantów prowadzi swoje badania w laboratoriach Asocjacji. Niektóre z Asocjacji organizują dla studentów i młodych naukowców zaawansowane kursy oraz szkoły letnie w zakresie fizyki jądrowej i fizyki plazmy.

Oto przykłady szkół letnich organizowanych przez Asocjacje:

- Szkoła Letnia im. Karola Wielkiego – grupa Asocjacji TEC (Belgia, Niemcy, Holandia),
- Szkoła Letnia w Culham – Asocjacja Euratom-UKAEA (Wielka Brytania),
- Szkoła Letnia w Volos – Asocjacja Euratom-Greece (Grecja),
- Szkoła Letnia w Pradze – Asocjacja Euratom-IPP.CR (Czechy),
- Szkoła Letnia w Kudowie Zdroju – Asocjacja Euratom-IFPiLM (Polska).



Zastosowania w innych obszarach zaawansowanej technologii

Przemysł, który odgrywa znaczącą rolę w budowaniu urządzeń oraz rozwijaniu technologii potrzebnych w badaniach i rozwoju fuzji jądrowej, osiąga również dodatkowe korzyści dzięki doskonaleniu swoich kompetencji i produktów handlowych, oferowanych na rynkach poza obszarem fuzji. Te poboczne zastosowania obejmują inżynierię plazmową, obróbkę powierzchni, zaawansowane techniki oświetleniowe, wyświetlacze plazmowe, technologie próżniowe, elektronikę dużych mocy i metalurgię.



Silnik jonowy do napędu w kosmosie

Transfer wiedzy odbywa się także dzięki badaczom, którzy przenoszą się ze środowiska fuzyjnego do innych obszarów technologii i tam wykorzystują swoje umiejętności nabyte w obszarze fuzji.

Tego rodzaju wzajemna wymiana wiedzy i interdyscyplinarność są jednymi z najważniejszych czynników stymulujących europejski postęp naukowy i technologiczny.





Bibliografia

Lektura podstawowa:

Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, Green Paper, European Commission, COM (2000)769

http://ec.europa.eu/comm/energy_transport/en/lpi_lv_en1.html

Strony internetowe:

http://ec.europa.eu/research/energy/fu/article_1122_en.htm

<http://www.efda.org>

<http://www.jet.efda.org>

<http://www.iter.org>

<http://www.fusion-eur.org>

<http://www.eiroforum.org>

Dodatkowych informacji mogą udzielić:

R. Antidormi

Komisja Europejska

Dyrekcja Generalna ds. nauki, badań i rozwoju

Wydział J6 ds. porozumień z Asocjacjami

Rue de la loi 200

B-1049 Bruksela

tel: +32 229 98899

faks: +32 229 64252

email: rosa.antidormi@ec.europa.eu

http://ec.europa.eu/comm/research/energy/fu/fu_en.html

SPRZEDAŻ I PRENUMERATA

Odpłatne publikacje, wydane przez Urząd Oficjalnych Publikacji, dostępne są w naszych biurach sprzedaży w różnych częściach świata.

Jaka jest procedura nabycia dowolnej publikacji?

Po otrzymaniu listy biur sprzedaży należy wybrać odpowiednie biuro i skontaktować się z nim w celu złożenia zamówienia.

Jak dotrzeć do listy biur sprzedaży?

- Można ją przejrzeć na stronie internetowej Urzędu <http://publications.europa.eu/>
- Bądź wysłać faksem zamówienie pod numer (352) 2929-42758, aby otrzymać jej wersję papierową.

Komisja Europejska

Badania fuzji jądrowej — Nowe źródło energii dla Europy XXI wieku

Luksemburg: Biuro Oficjalnych Publikacji Wspólnot Europejskich

2006 — 40pp. — format A5, 14,8 x 21,0 cm

O filmie "The starmakers"



Ośmiominutowy film „Starmakers” przedstawia ITER – wielkie urządzenie eksperymentalne, które zostanie zbudowane w szerokiej współpracy międzynarodowej jako następny krok na drodze do opanowania fuzji jądrowej na potrzeby energetyki. Wirtualna rzeczywistość filmu dostarcza odbiorcy wizualnego wyobrażenia o tym olbrzymim projekcie. Na wystawie Fusion Expo film ten można oglądać przez okulary polaryzacyjne i dzięki temu seans staje się spektakularną wycieczką w trójwymiarowej przestrzeni wirtualnej. Wersja, która jest dołączona do tej broszury, jest wersją dwuwymiarową i do jej oglądania nie są wymagane specjalne okulary.

Film został zaprojektowany przez Centrum Badań Fizyki Plazmy w Szwajcarskiej Politechnice Federalnej w Lozannie, przy wsparciu finansowym ze strony Dyrekcji Generalnej ds. nauki, badań i rozwoju Komisji Europejskiej. Firma Digital Studios S.A. (Paryż, Francja) stworzyła ten film za pomocą techniki cyfrowej, na podstawie komputerowego projektu urządzenia ITER.