założenie uwzględniające charakter prawny polityki energetycznej. Stanowi ono, że polityka energetyczna państwa może być źródłem obowiązków władz samorządów terytorialnych, jednak może ona proponować środki prawne w zakresie jej realizacji[21].

Podsumowanie

Nie sposób przedstawić kompleksowo wszystkich zagadnień związanych z polityką energetyczną państwa w jednym artykule. Niniejsza publikacja jest jedynie próbą usystematyzowania wiedzy oraz zasygnalizowania najważniejszych problemów. Obserwując trendy w kształtowaniu polityki energetycznej w Polsce i w Unii Europejskiej należy podkreślić, iż zmierzają one w tym samym kierunku, dostosowując jedynie poszczególne rozwiązania do specyfiki danego państwa. Przykładowo obecnie Polska nie posiada jeszcze elektrowni atomowej, ale posiada za to pokaźne złoża węgla kamiennego i brunatnego, z drugiej strony kraje śródziemnomorskie ze względu na odpowiednie nasłonecznie mogą inwestować np. w odnawialne źródła energii, takie jak ogniwa fotowoltaiczne, nie będąc zbyt uzależnionym od spalania paliw węglowodorowych.

Z zamieszczonych rysunków może wynikać wiele interesujących wniosków. Przede wszystkim łatwo można stwierdzić, że obecnie Wspólnota jest w sposób znaczy uzależniona od dostaw surowców z zewnątrz, w tym w największej mierze od dość nieprzewidywalnej Federacji Rosyjskiej. Biorąc między innymi te fakty pod uwagę powstawała i nadal się kształtuje Polityka Energetyczna Unii. Uwzględniając zapisy znajdujące się w tej Polityce należy mieć nadzieje, że w perspektywie 2030 roku Unia zmniejszy swoją zależność od zewnętrznych dostaw energii i jej nośników. Analizując te zapisy dość łatwo można dojść do wniosku, że w przypadku wywiązania się z nich, osiągnięcie zarysowanego celu jest możliwe. Z kolei, analizując prognozę miksu energetycznego dla Unii Europejskiej, można zauważyć, że przewiduje się zmniejszenie zużycia energii, jak również postępujący wzrost udziału odnawialnych źródeł energii.

Jeśli chodzi natomiast o sytuację energetyczną Polski, to jak wiadomo w sposób znaczący uzależniona jest ona od węgla, jako surowca energetycznego. Prognozy wskazują jednak, że miks energetyczny dla naszego kraju w 2030 roku będzie o wiele bardziej zrównoważony, przy czym zaznaczyć należy, że wzięta pod uwagę w tej analizie została również energetyka jądrowa. Z racji niejasności sytuacji oraz braku wiarygodnych danych odnośnie do gazu łupkowego, surowiec ten nie został uwzględniony w analizie. Uważa się jednak, że może okazać się również dość znacznym czynnikiem wpływającym na miks energetyczny w okresie kilkunastu lat.

Spójna unijna polityka energetyczna jest niezmiernie istotna ze względu na jej strategiczny wpływ na gospodarkę. Zwiększy ona konkurencyjność Unii Europejskiej na rynku globalnym, a dla Polski oznacza szansę na dynamiczny wzrost gospodarczy i zaspokojenie potrzeb wszystkich odbiorców energii. Właściwie zaprojektowana polityka powinna prowadzić również do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa energetycznego zarówno z perspektywy całej Wspólnoty jak również poszczególnych państw. W tym kontekście zapisy dokumentu związane z współpracą z Ukrainą oraz Federacją Rosyjską, szczególnie w kontekście ostatnich wydarzeń powinny zostać zrewidowane oraz w niektórych przypadkach zredefiniowane.

[21] M. Swora, *op cit*, s. 887

Jacek Malko
Politechnika Wrocławska

O przyszłości energetyki jądrowej

About the future of nuclear power industry

Podczas gdy kraje świata opracowują swe plany redukcji emisji gazów cieplarnianych – przedsiębiorstwa sektora energii elektrycznej muszą zapewnić swym systemom zarówno pokrycie zapotrzebowania w podstawie wykresu obciążenia jak i zrównoważenie bilansu mocy w strukturach ze znacznym udziałem źródeł o produkcji nieciągłej („intermittent"). W tej perspektywie istotna staje się rola energetyki nuklearnej (zwłaszcza przy świeżej pamięci o incydencie Fukushimy). Raport OECD podaje, iż w skali globalnej 289 reaktorów jądrowych znajduje się w eksploatacji od przeszło 25 lat, zaś w przedziale lat 2000-2011 do systemu włączono jedynie 45 nowych bloków nuklearnych. Wynika stąd zasadność badań i eksperymentów, zmierzających do bezpiecznego wydłużenia czasu pracy istniejących obiektów, by nie dopuścić do drastycznego spadku udziału energetyki jądrowej w „energy mix" już w bieżącym dziesięcioleciu.

W obszarze europejskim koncepcja długoterminowej eksploatacji elektrowni jądrowych (Nuclear Long Term Operation-LTO[1]) jest usilnie propagowana przez międzynarodowe stowarzyszenie pod egidą koncernu *Vattenfall*, ale nie jest to już dziś opcja jedyna. Koncepcji „energetyki jądrowej dla kilku pokoleń" można przeciwstawić inne podejście – „energetyki dla pokoleń następnych". Ta inna opcja zakłada opanowanie procesów fuzji termojądrowej i wydaje się bliższa urzeczywistnieniu niż kiedykolwiek. Warto przyjrzeć się argumentom i opisom stanu rzeczy w tej nowej i zmierzającej do komercji dziedzinie.

Letni numer dwumiesięcznika *Power Engineering International* (*PennWell PEI*, lipiec/sierpień 2013) jako artykuł okładkowy (cover story) eksponuje aktualny przegląd stanu w wielu dziedzinach technologii nuklearnych, zwłaszcza technologii syntezy termojądrowej, nazywając ją najtrudniejszym projektem na świecie.[2]

Przez dziesięciolecia ujarzmienie procesu syntezy jądrowej było marzeniem inżynierów i naukowców niemal od chwili, gdy we wczesnych latach XX w. odkryto istotę procesów zachodzących na Słońcu. Pierwsze i nieskuteczne próby nowatorskiej wówczas i po dzień dzisiejszy technologii podjęto jeszcze w latach 30., a potem wznowiono w późnych latach 40. ubiegłego już wieku. Postęp przejawiał się w budowie coraz większych reaktorów i ich dzisiejszy park obejmuje ok. 20 egzemplarzy, użytkowanych na całym świecie. Od roku 1958 podstawową formą działań w tym zakresie była międzynarodowa współpraca, skupiona zasadniczo na wykorzystaniu magnetycznego pojemnika plazmy w centrum procesu fuzji.

Najnowszą, największą i najkosztowniejszą instalacją jest Międzynarodowy Termojądrowy Reaktor Eksperymentalny (International Thermonuclear Experimental Reactor), którego akronim (ITER) nieprzypadkowo wywodzi się łacińskiego słowa "droga". Reaktor ten jest nadal budowany na południu Francji i oczekuje się, że będzie zdolny wykazać dodatni bilans energetyczny, co oznacza, iż możliwe będzie pozyskiwanie większej energii w reakcji syntezy niż jest to konieczne dla jej zainicjowania i kontynuacji. Jest to podstawowy warunek, by uznać takie źródło za możliwe do wykorzystania w generowaniu energii elektrycznej. Harmonogram prac ITER zakłada możliwość uruchomienia procesu na pełną skalę w roku 2030 lub później. Jednakże ostatnio uwagę skupiło alternatywne podejście do syntezy, polegające na odmiennej koncepcji zarządzania plazmą z wykorzystaniem „pojemnika bezwładnościowego" (inertial confinement). Oczekuje się, że pomyślny przebieg eksperymentu doprowadzi do fazy demonstracyjnej projektu w latach 20. naszego wieku, a źródło komercyjne – termojądrowa elektrownia – pojawi się w latach 30., nieco później niż wynika to z „mapy drogowej" dla technologii pojemnika magnetycznego. Najbardziej zaawansowane prace nad pojemnikiem inercyjnym prowadzone są nie jako przedsięwzięcie międzynarodowe, lecz jako projekt amerykański, który niemal niepostrzeżenie wyewoluował z badań o charakterze wojskowym. Podobnie jak w koncepcji pojemnika magnetycznego wariant bezwładnościowy nie jest jeszcze zdolny do wytworzenia więcej energii niż jest to wymagane dla zainicjowania i podtrzymania reakcji fuzji. Mimo tajności tego programu można oczekiwać, iż „kamień milowy" procesu wdrażania technologii będzie osiągnięty niebawem.

Problemy syntezy jądrowej

Synteza jądrowa jest technologią atrakcyjną ze względu na perspektywę niemal nieograniczonej produkcji energii w prostym procesie, niemal pozbawionym emisji do atmosfery toksycznych produktów. Podstawowa reakcja, analogiczna do procesu zachodzącego w Słońcu, prowadzi w istocie do przekształcenia na drodze fuzji atomów wodoru w atomy pierwiastków o wyższej masie atomowej. Powstający w tym procesie deficyt masy jest przekształcany w znaczne ilości energii, na mocy einsteinowskiej formuły $E = mc^2$.

We wnętrzu Słońca i innych gwiazd zachodzą dwa zasadnicze typy reakcji: pierwsza polega na fuzji dwóch atomów wodoru dla utworzenia atomu deuteru (atomu ciężkiego wodoru). W drugiej reakcji następuje połączenie atomów deuteru z atomem wodoru dla utworzenia atomu helu. Jednakże istnieje jeszcze inna reakcja, zachodząca pomiędzy deuterem lub jeszcze cięższym izotopem wodoru – trytem i jest ona interesująca ze względu na to, iż zachodzi łatwiej niż inne dwie relacje i przy mniej ostrych uwarunkowaniach. Reakcja fuzji pomiędzy dwoma izotopami wodoru wytwarza atom helu oraz jeden neutron i powoduje uwolnienie większej ilości energii, która z kolei jest wykorzystywana do wytwarzania energii elektrycznej.

Potencjał tych reakcji jest ogromny. Energia tworzenia deuteru o masie 1 t jest równoważna $3 \cdot 10^6$ tonom węgla. Niestety koszty są również porażające. Reakcja może zachodzić jedynie w plazmie o skrajnie wysokiej temperaturze, a w przypadku pojemnika bezwładnościowego – w warunkach także skrajnie wysokiego ciśnienia. Tak więc największym wyzwaniem jest uzyskanie warunków, niezbędnych dla inicjacji i kontynuacji reakcji syntezy wraz z umożliwieniem kontroli tego procesu.

Pojemnik magnetyczny

Gdy materia ogrzana jest do temperatury zbliżonej do występującej we wnętrzu Słońca, to przechodzi ona w postać plazmy, w której poszczególne atomy stają się chmurą jąder atomowych, utrzymywanych przez oddziaływania elekromagnetyczne. Badania procesów jądrowych dość wcześnie wykazały, że taki stan materii nie może być utrzymany przy wykorzystaniu materiałów konwencjonalnych i tak zrodziła się koncepcja pojemnika magnetycznego. Okazało się to jednak znacznie trudniejsze w realizacji niż oczekiwano, a problem rozwiązano w gronie atomistów rosyjskich jako *TOKAMAK*. Aczkolwiek nadal trwa poszukiwanie innych rozwiązań, to w istocie propozycja rosyjska jest podstawą konstrukcji reaktora najbliższego realizacji.

Dwoma największymi reaktorami, znajdującymi się dziś w fazie procedur badawczych są Połączony Torus Europejski (JET) w Culham (W. Brytania) oraz Testowy Reaktor Fuzji Tokamak (TFTR) w Princeton (USA). Realizowany w nich program rozpoczęto z paliwem deuter/tryt (DT) w latach 90., a w r. 1997

[1] http://www.nuclearenergy insider.com/nuclear-long-term-operations-europe. Sept.2013

[2] Editorial: Nuclear fusion update: The most difficult project on earth. *PEI* Vol. 21, iss. 7, July-August 2013

reaktor JET ustanowił rekord największej wartości generowanej mocy (16 MW). Reaktor dla osiągnięcia takiej wartości na wyjściu wymaga dostarczenia mocy powyżej 16 MW, a stosunek mocy na wejściu do mocy na wyjściu (*wzmocnienie*), wynoszący 0,7 jest już bliski jedności. Zarówno JET jak i TFTR są reaktorami doświadczalnymi w skali pilotowej, a uzyskanie punktu równowagi jest kwestią skali eksperymentu. Dla uzyskania wzmocnienia ponad jeden konieczne są reaktory większe i dające większe wartości mocy. Będzie to zrealizowane w reaktorze doświadczalnym następnej generacji, bazującym na konstrukcji tokamaku – reaktorze ITER. Prace nad jednostkami mniejszej mocy nie zostały jednak zaniechane. Konstrukcję JET zmodyfikowano dla rozszerzenia zakresu parametrów eksploatacyjnych w celu dokonania serii eksperymentów pre-ITER, szczególnie obejmujących stabilność plazmy. Plazma w tokamaku przepływa zgodnie z liniami pola magnetycznego. Temperatura w środku plazmy reaktora JET osiąga wartość $170 \cdot 10^6$ st. Celsjusza. Wewnątrz najgorętszego obszaru plazmy następuje zjawisko „pęcherzykowania" – tak jak we wrzącej wodzie – i rozwijają się prądy wirowe, co reakcję czyni zarówno nieefektywną jak i niestabilną. Kontrolowanie i ograniczanie turbulencji jest jednym z kluczowych warunków zbudowania efektywnego reaktora, realizującego zasadę fuzji, a prace nad JET, planowane w okresie lat 2015-2020, powinny pomóc w lepszym zrozumieniu zjawiska turbulencji plazmy.

Występują również problemy konstrukcyjne, które muszą być rozwiązane przed osiągnięciem przez ITER fazy operacyjnej. Jest to np. dobór materiałów stosowanych dla pokrycia komory reaktora. W JET są to płytki węglowe, ale węgiel absorbuje tryt, co zmusza do poszukiwania rozwiązania alternatywnego. Preferowane jest wykorzystanie wolframku berylu i materiał ten jest testowany w JET. Takie eksperymenty również nastawione są na rozwiązywanie problemów ITER – w jego fizykalnym modelu. Sam ITER ma za sobą długą historię – od 1988 roku budowany był pod auspicjami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej przez kooperujące kraje UE, Japonię, Rosję i USA. Założenia projektowe ukończono w r. 2001, lokalizację w Cadarache wybrano w r. 2005, zaś formalne porozumienie zainteresowanych stron podpisano w r. 2007, rozszerzając grono uczestników o Chiny, Indie i Koreę Płd. Przewidywana objętość plazmy wynosić ma 800 m^3, dziesięciokrotnie więcej niż dla JET, a cieplna moc na wyjściu – 500 MW, 30-krotnie więcej niż osiąga JET. Istnieje uzasadnione przypuszczenie, iż przy tych parametrach możliwe będzie osiągnięcie stosunku mocy wy/we rzędu 10, a więc 50 MW pozwoli na uzyskanie termicznej mocy wyjściowej 500 MW.

Jednakże ITER nie jest komercyjnym projektem demonstracyjnym, lecz ma jedynie wykazać, że może wytwarzać moc 500 MW z fuzji jądrowej przez czas 400 sekund. Elektrownia komercyjna musi mieć zdolność do pracy całodobowej przez tygodnie („24x7") lub nawet miesiące. Gdyby reaktor ITER projektowano zgodnie z dzisiejszym stanem wiedzy, to założenia byłyby prawdopodobnie ambitniejsze, ale projekt w ogólnym zamyśle powstawał w latach 1990, gdy zarówno koszty jak i ryzyka związane w budową reaktora termojądrowego, produkującego energię elektryczną, wydawały się ogromne. Tak więc obiekt wirtualnie ma wymiary komercyjne, ale nie zawiera generatora pary ani też turbiny. Co więcej – nie ma on pełnowymiarowego systemu dla wyprowadzenia energii reakcji syntezy w plazmie. Istnieją wprawdzie takie moduły w otoczeniu reaktora, ale pełny system odbioru mocy musi poczekać na pierwszą elektrownię demonstracyjną.

Tak więc ITER jest jeszcze jedynym reaktorem doświadczalnym, a nawet w takim stanie rzeczy jest prawdopodobnie najbardziej porywającym projektem, budowanym dziś na świecie. Przy siedmiu członkach konsorcjum i 34 krajach, pracujących wspólnie nad projektem, wiele zespołów nie będzie budowanych przez jednego producenta, lecz przez przedsiębiorstwa w wielu krajach.

Harmonogramowanie czynności wykonawczych i poziom wymaganej jakości dla projektu o takim stopniu złożoności jest zadaniem na miarę starożytnych herosów. Jeżeli cele te zostaną osiągnięte, to w teorii przewiduje się pierwsze eksperymenty ITER w roku 2020.

Pojemnik bezwładnościowy

Podczas gdy prace nad fuzją z wykorzystaniem pojemnika magnetycznego postępują zgodnie z opisanymi założeniami, za fasadą badań obronnych przeprowadzanych w USA i w innych krajach, bada się rozwiązania całkowicie odmienne. Niestety charakter militarny prowadzonych prac sprawia, że dziś niewiele danych na ten temat jest publicznie dostępnych. Stąd też niewiele można powiedzieć o koncepcji, określanej mianem pojemnika inercyjnego (bezwładnościowego). Podczas gdy reaktor typu ITER zawiera plazmę, zdolną do ciągłego podtrzymywania fuzji, to pojemnik bezwładnościowy wykorzystuje ciąg niewielkich dyskretnych reakcji syntezy, z których każda wytwarza impuls energii. Można to przyrównać do działania silnika tłokowego, w którym energia wytwarzana jest ciągiem niewielkich impulsów nie zaś ciągłym strumieniem mocy.

Koncepcja jest względnie prosta, ale jej przetworzenie na komercyjne źródło energii prostym już być przestaje. Mała kapsułka, zawierająca kilka setek mikrogramów mieszanki DT (deuter-tryt) jest poddana silnemu impulsowi z systemu zwielokrotnionych laserów, o wiązkach skupionych na jej powierzchni, powodując eksplozję kapsułki i impuls promieniowania rentgenowskiego, wytwarzając falę uderzeniową o wartości równej, lecz przeciwnie skierowanej, która wnika do wnętrza kapsułki, ogrzewając i ściskając mieszaninę DT do punktu, w którym następuje reakcja syntezy w jej centrum.

Rozpoczęcie reakcji syntezy powoduje jej rozszerzenie na całą kapsułkę, przy czym prędkość tego procesu jest szybsza niż samo rozszerzenie się reagującego materiału, a cały ładunek paliwowy zostaje zużyty i zachodzi uwolnienie energii. Inercja, właściwa masie atomów mieszaniny DT, zapobiega jej rozprzestrzenianiu się szybciej niż przemieszcza się czoło fuzji i stąd idea określana jest pojęciem „pojemnik bezwładnościowy".

Realizacja tej technologii jest wyobrażalna dla przypadku pojedynczego impulsu, ale jest to jeszcze odległe od konstruowania elektrowni opartej na tym podejściu, gdyż wymaga wielokrotnego powtarzania cyklu. Dla praktycznej realizacji niezbędne jest przeprowadzenie piętnastu takich fuzji na sekundę. Praktyczna wykonalność tego zadania jest obecnie sprawdzana w programie rządowym USA, zwanym Narodowym Urządzeniem Zapłonowym (NIF).

Nowa droga do fuzji

NIF jest projektem drogim i ambitnym, a jego początku doszukiwać się można w Traktacie Zakazu Testów Całościowych (CTBT), którego celem było wyeliminowanie doświadczeń nad bronią jądrową. „Urządzenie Zapłonowe" dostarczać będzie danych doświadczalnych dla wsparcia zakazu testów i ceną tego przedsięwzięcia jest preliminowana w budżecie obronnym USA kwota 5 mld USD.

Jednakże NIF ma jeszcze dwa inne cele: jest narzędziem badań podstawowych oraz próbą wykazania zdolności generowania energii elektrycznej w procesie syntezy z wykorzystaniem pojemnika inercyjnego. Podstawowym elementem NIF jest system laserów; całe urządzenie wykorzystuje 192 źródła laserowe, zdolne do dostarczania energii o wartości 5 MJ w impulsach 20-nanosekundowych. Realnie osiągnięty poziom energetyczny wynosi 1,8 MJ, równoważny mocy 500 TW. Lasery początkowo generują światło w podczerwieni, ale dalej jest ono przekształcane początkowo do widma widzialnego, a następnie do ultrafioletu przed osiągnięciem celu. Celem tym jest niewielka kapsułka o średnicy ok. 2 mm i zawierająca 150 mg mieszaniny DT. Jest to ładunek równoważny mocowo właśnie 500 TW.

Waga projektu NIF z pespektywy wytwarzania energii elektrycznej polega na tym, że moc laserów jest już teraz generowana na skalę niezbędną do zbudowania instalacji o mocy rzędu gigawata. Możliwa jest więc pełnoskalowa symulacja pojemnika bezwładnościowego i generacji mocy w pełnowymiarowej elektrowni.

NIF doprowadzono do stanu operacyjnego w roku 2000, przeprowadzając serię eksperymentów zapłonu. Określeniem „zapłon" określa się punkt, w którym kapsuła DT wytwarza więcej energii niż odbiera od układu laserów. W pierwszych doświadczeniach wyniki uzyskano na poziomie 50-60 razy niższym niż cel, warunkujący zapłon. W ciągu następnego trzylecia zbliżono się bardziej do tego celu, osiągając poziom trzy, cztery razy niższy. Gdy osiągnięty zostanie zapłon, reakcja syntezy ma cechy samopodtrzymywania, gdyż generuje ona energię dostateczną dla utrzymania wymaganych wartości temperatury i ciśnienia. Jeżeli eksperymentalnie wykazane będzie spełnienie tego warunku, to znaczyć to będzie dowiedzenie możliwości zbudowania elektrowni, bazując na opisanej koncepcji. Prace nad doprowadzeniem do wdrożenia praktycznego są realizowane w innym projekcie (Laserowa Inercyjna Fuzja Energetyczna – LIFE). Konstrukcja elektrowni jest wynikiem współpracy technologów, przedsiębiorstw energetycznych, oferentów wyposażenia dla elektrowni, regulatorów i grup rzeczników ochrony środowiska. Celem jest zbudowanie elektrowni demonstracyjnej w ciągu dziesięciu lat od osiągnięcia zdolności do zapłonu w NIF z wykorzystaniem zespołów i elementów, które już dziś mogą być wyprodukowane przez przemysł wysokich technologii.

Projekt NIF będzie kontynuowany jako eksperymentalna podbudowa koncepcji LIFE, ale istnieje przekonanie, że osiągnięcie punktu zapłonu warunkuje budowę elektrowni. Elektrownia „demo" przewidywana jest jako obiekt o mocy elektrycznej 400 MW, lecz z możliwością dojścia do mocy 1000 MW. Na podstawie bieżących ocen stwierdzić można, że taka elektrownia może osiągnąć zdolność operacyjną na początku następnego dziesięciolecia, zaś elektrowni w pełni komercyjnej spodziewać się można do roku 2030. Osiągnięcie celu projektu LIFE będzie kamieniem milowym opanowania procesu fuzji. Konieczne jest jednak pokonanie istniejących problemów w rodzaju integracji wszystkich elementów: od systemu laserowego, po system dostaw paliwa, odprowadzanie ciepła i wytwarzanie energii elektrycznej.

Operowanie cyklicznym procesem w rodzaju spotykanego w silnikach tłokowych było już zademonstrowane w skali elektrowni, istnieje jednak poważna przeszkoda – skonstruowanie systemu osłon – warstwy, otaczającej komorę plazmy w przypadku reaktora tokamak i komory zapłonu w elektrowni typu LIFE.

Cele osłon są dwojakie: po pierwsze spowolnienie neutronów o skrajnie wysokiej energii, powstających w reakcji fuzji oraz absorpcja ich energii i doprowadzenie do poziomu, umożliwiającego wytwarzanie energii elektrycznej, po drugie zaś – wytwarzanie trytu.

Reaktory fuzyjne – jak się oczekuje – będą zdolne do powielania własnego paliwa i proces ten zachodzić będzie wewnątrz osłony. W istocie konstrukcja osłonowa o wyglądzie i materiałach pozostających domeną domysłów musi zawierać lit, gdyż ten pierwiastek jest źródłem trytu. Gdy atom litu jest narażony na działanie strumienia neutronów (takich, jakie powstają w procesie syntezy trytu), to powstaje atom trytu i atom helu. Tryt ten musi być usunięty z osłony w postaci paliwa dla dalszej syntezy. Ciekły tryt stanowić może chłodziwo wewnątrz reaktora, cyklicznie podawane do wymiennika dla wytwarzania pary. Mogą być również wykorzystywane inne rodzaje chłodziwa (np. hel), zaś lit może występować raczej w postaci ceramicznej niż ciekłej. Można również stosować stopione sole z zawartością litu

Co dalej?

Jaka jest zatem przewidywana przyszłość fuzji jądrowej? Oceniając optymistycznie elektrownia termojądrowa wykorzystująca zasobnik inercyjny może osiągać fazę gotowości komercyjnej do roku 2030, chociaż czerpiąc naukę z innych kompleksowych projektów można raczej przewidywać dłuższy czas realizacji tego przedsięwzięcia.

Tymczasem z projektem ITER wiąże się nadzieja uruchomienia elektrowni opartej na syntezie w skali komercyjnej mniej więcej w tym samym czasie. Jeżeli postęp projektu spełni oczekiwania, wdrożenie pierwszej elektrowni demonstracyjnej ITER (określanej przez partnerów z przemysłu jako obiekt DEMO), stanowić może przełomowy postęp.

Mówi się, z przekąsem, że komercyjna elektrownia oparta na syntezie termojądrowej jest zawsze przewidywana w perspektywie najbliższego 30-lecia. W istocie jest to długa droga do przebycia i nikt nie wykazał jeszcze, że fuzja może dać energię elektryczną, nie zaś być jej konsumentem, ale osiągnięcie takiego progu wydaje się dziś bliższe niż było kiedykolwiek.