

Wojciech Popczyński

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Technologie jądrowe przyszłości

20 grudnia 1951 roku nastąpił wyjątkowo cichy i z pozoru mało spektakularny przełom, w Argonne National Laboratory cztery żarówki zostały zapalone dzięki elektryczności produkowanej przez reaktor EBR-1 (Experimental Breeder Reactor I). Niemal dwa lata później ówczesny prezydent Stanów Zjednoczonych Dwight D. Eisenhower ogłosił w przemówieniu inicjatywę „Atom dla pokoju”. Na świecie rozpoczął się gwałtowny rozwój wykorzystania energii jądrowej w celach cywilnych. Nastąpiły również badania nad jądrowym napędem rakiet kosmicznych. Postęp jednak uległ znacznemu spowolnieniu w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych. Wynikało to w dużej mierze z rosnących obaw dotyczących bezpieczeństwa będących pokłosiem awarii i wypadków, z czego do najbardziej poważnych doszło w Three Mile Island (1979) i Czarnobylu (1986). Mimo to współcześnie elektrownie jądrowe produkują 9% energii elektrycznej na świecie. Również w dziedzinie napędu statków kosmicznych dokonaliśmy znacznego postępu. W dzisiejszym świecie naznaczonym obawami związanymi ze zmianami klimatu, zainteresowanie energetyką jądrową znacznie wzrosło. Niniejsza praca ma na celu przedstawienie możliwych kierunków rozwoju tej technologii w nadchodzących latach.

Współcześnie reaktory jądrowe możemy podzielić na generacje. I generacja obejmuje konstrukcje eksperymentalne, w całości już wycofane z użytku. Reaktory II generacji aktualnie produkują większość energii jądrowej na świecie. W czasie swojego pojawienia się były pierwszymi reaktorami w pełni zaprojektowanymi do tego celu. III generacja to w gruncie rzeczy ewolucja poprzedniej w której skupiono się na paru kluczowych aspektach: ulepszonej technologii paliwa, sprawności termicznej, modułowej konstrukcji oraz wprowadzeniu pasywnych systemów bezpieczeństwa. Aktualnie najnowocześniejszymi w pełni działającymi, są reaktory generacji III+, które oferują zarówno jeszcze bardziej ulepszone systemy bezpieczeństwa jak i zmniejszenie ilości odpadów przez możliwość wykorzystania większej części paliwa przed jego utylizacją. Trwają wyęteżone prace nad następną, IV generacją reaktorów. Jednym z istotnych celów jest zwiększenie sprawności wykorzystania paliwa (stu lub nawet trzystukrotnie!) i umożliwienie wykorzystania odpadów nuklearnych, co tworzyłoby zamknięty cykl paliwowy. Innym jest zmniejszenie kosztu budowy elektrowni przy jednoczesnym utrzymaniu niskiego kosztu produkcji energii. Nie mniej ważne jest zmniejszenie ryzyka proliferacji, to jest wykorzystania materiałów promieniotwórczych do produkcji broni masowego rażenia. Rozważanych jest parę projektów, każdy operujący w wyższej temperaturze niż dotychczasowe konstrukcje, a dzięki temu niektóre mogłyby również zostać użyte do produkcji wodoru. Przewiduje się, że w pełni funkcjonalne reaktory tego typu mają szansę zostać zbudowane w latach trzydziestych XXI wieku.

Powszechny trend miniaturyzacji nie opuścił również świata energetyki jądrowej. Małe reaktory jądrowe nie są pomysłem nowym, ale dotychczas rozwiązania te były zarezerwowane do zastosowań wojskowych, takich jak napęd lotniskowców lub łodzi podwodnych. Jednak w ostatnich latach jako alternatywę do dużych elektrowni propagowana jest idea SMR – small modular reactor (z ang. małych reaktorów modułowych). W zamyśle projektantów są to mniejsze niż dotychczasowe reaktory które w zamian za zmniejszenie ilości produkowanej energii oferują prostotę i standaryzację umożliwiającą produkcję seryjną. Współczesne reaktory muszą być konstruowane na miejscu, podczas budowy elektrowni co znacząco wydłuża jej czas (średnio 7 lat). Dzięki swoim rozmiarom SMR mógłby zamiast tego być składany w fabryce i w całości przetransportowany w wybrane miejsce a dodatkowo taka elektrownia zajmowałaby znacznie mniej przestrzeni. Obie te zalety pozwoliłyby również na ich budowę w dotychczas niedostępnych lokalizacjach. Wpisuje się to w idee energetyki rozproszonej, małych obiektów do użytku lokalnego. Obecnie trwają prace nad kilkoma różnymi SMR z których część bazuje na już istniejących reaktorach, część zaś to projekty kompletnie nowe. Niestety ich rozwój jest hamowany przez problemy konstrukcyjne skupiające się głównie na kwestii bezpieczeństwa. Chociaż większość z nich w teorii posiada systemy pasywne które powinny zapobiec ewentualnej katastrofie, to w praktyce na ten moment jest to problem nierozwiązany. Nie mniej ważnym jest produkcja odpadów promieniotwórczych i ich proliferacja. Kontrowersyjna jest również ich opłacalność ekonomiczna. Pomimo wspomnianych problemów badania nad SMR wciąż cieszą się dużym zainteresowaniem.

Lodołamacze wraz ze wspomnianymi wcześniej łodziami podwodnymi i lotniskowcami to na ten moment jedyne pojazdy na Ziemi napędzane energią reakcji jądrowych. Jednak napędzanie za ich pomocą rakiet było postulowane już w 1946 roku. Taki nuklearny silnik raketowy posiadałby liczne zalety nad stosowanymi obecnie silnikami chemicznymi. Jego zasada działania opiera się na zastosowaniu reaktora jądrowego do podgrzewania płynnego wodoru który wyrzucany następnie przez dyszę generuje ciąg. Dzięki temu, że wyrzucane cząsteczki wodoru mają masę niższą niż spaliny w silniku tradycyjnym, większa część energii zostaje

wykorzystana na przyspieszenie rakiety. Uzyskany w ten sposób impuls siły znacznie przewyższa nawet najwydajniejsze obecnie silniki chemiczne. Pozwoliłyby to na znaczne zmniejszenie czasu lotu kosmicznego na duże odległości. Jednak, aby wykorzystać wymienioną przewagę potrzebne jest opracowanie odpowiednio małego i lekkiego reaktora. O ile w rakiecie wielostopniowej masa zostaje zredukowana poprzez odrzucanie kolejnych stopni, to w przypadku silnika nuklearnego takiej możliwości nie ma. Innym problemem jest oczywiście bezpieczeństwo jako, że awaria takiej rakiety podczas lotu w atmosferze może doprowadzić do rozrzucaenia materiałów promieniotwórczych na dużym obszarze. Aktualnie prace nad tym napędem wciąż trwają. Rozważa się również użycie reakcji termojądrowych.

Obecnie elektrownia termojądrowa zaczyna przypominać odległą utopię. W teorii dałaby ona możliwość produkcji „czystej” (problem odpadów praktycznie nie istnieje), taniej energii i to za pomocą niemal niewyczerpanych ilości paliwa (paliwem jest tu wodór który stanowi trzy czwarte materii we Wszechświecie). W praktyce grubo ponad pół wieku badań nie doprowadziło nas do satysfakcjonujących rezultatów. Reakcje syntezy ludzkość potrafi wywoływać od 1951 roku, ale obecnie wciąż nierozwiązanym problemem jest uzyskiwanie większej energii z reakcji od tej którą dostarczyliśmy, aby ją rozpocząć. Aktualnie istnieją jednostkowe przypadki osiągnięcia zysku energetycznego, ale system komercyjnej produkcji takiej energii wciąż jest poza naszym zasięgiem. Mimo to wymienione wcześniej zalety tego typu elektrowni wciąż napędzają liczne badania w tym zakresie.

We wspomnianym wcześniej przemówieniu „Atom dla pokoju” Dwight D. Eisenhower powiedział o energii jądrowej: *„It must be put into the hands of those who will know how to strip its military casing and adapt it to the arts of peace”*. Były to czasy zimnej wojny i masowych zbrojeń, ale współcześnie w obliczu zmian klimatu i wyczerpywania się zasobów głównych paliw kopalnych, jesteśmy postawieni przed równie wielką odpowiedzialnością. Energia pochodząca z reakcji jądrowych ma szansę stać się ważnym sprzymierzeńcem w walce z tymi problemami, a obecnie opracowywane technologie mogą stać się jednym z filarów naszej przyszłości.