ARTYKUŁY

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ: DUŻE REAKTORY ENERGETYCZNE CZY MAŁE MODUŁOWE REAKTORY?

Polish Nuclear Energy Programme: Large Power Reactors or Small Modular Reactors?

Józef Sobolewski

Streszczenie: W artykule autor polemizuje z opiniami uznającymi energetykę jądrową, jako technologię przestarzałą w stosunku do technologii odnawialnych, jak i też krytycznie odnosi się do opinii promujących technologię małych reaktorów jądrowych w rozwiązywaniu problemów energetycznych Polski.

Abstract: In the article, the author argues with opinions recognizing nuclear power as an outdated technology in relation to renewable technologies, and also critically refers to opinions promoting the technology of small nuclear reactors in solving Poland's energy problems.

Słowa kluczowe: lekko-wodny reaktor (LWR) także oznacza reaktor energetyczny, mały modułowy reaktor (SMR), Program Polskiej Energetyki Jądrowej.

Keywords: light water reactor (LWR) also means power reactor, small modular reactor (SMR), Polish Nuclear Power Programme.

Jeśli chcemy o czymś sensownie dyskutować, to warto wiedzieć, o czym i mieć choćby podstawową wiedzę na ten temat. Czasy umożliwiające publiczną wypowiedź każdemu, do tego często w sposób anonimowy, nie stymulują do wymogów zawartych w poprzednim zdaniu. Tytułowe pytanie dotyczące energetyki jądrowej jest znakomitym tego przykładem w ostatnich miesiącach. Autorytatywne wypowiedzi osób, charakteryzujące się często niewiedzą potęgują tylko zamieszanie. W niniejszym, artykule chciałbym skomentować często poruszaną kwestię „innowacyjności" technologii służącej wytwarzaniu energii elektrycznej.

W mediach od długiego już czasu dyskutuje się o różnych technologiach wytwarzania energii elektrycznej, przypinając im łatkę technologii innowacyjnych lub przestarzałych albo wręcz nawet anachronicznych. Co ciekawe technologię jądrową często przedstawia się, jako przestarzałą, a inne technologie zwłaszcza związane z tzw. źródłami odnawialnymi, jako innowacyjne czy nowoczesne. Chciałbym tym „ekspertom" przypomnieć, że pierwszymi elektrowniami o charakterze komercyjnym były hydroelektrownie, fakt dzisiaj zaliczane do odnawialnych, a dopiero potem zaczęto używać elektrowni cieplnych, które aż do dziś wyparły wszystkie inne z dość oczywistych, bo ekonomicznych powodów. Pierwsze wiatraki do produkcji energii elektrycznej użyto już pod koniec XIX wieku, oświetlały szkołę. Zasada była taka jak dziś, z tym tylko, że zrobiono to bardziej inteligentnie niż dzisiejsze rozwiązania, bo wytworzona energia ładowała akumulatory, które następnie oświetlały szkołę po zmierzchu. Dzisiejsi zwolennicy wiatraków każą innym martwić się o los wytworzonej przez nich energii. Ogniwa fotowoltaiczne też nie są najnowszym wynalazkiem, pomijając fakt, że zjawisko znane jest od ponad półtora wieku, to już w okresie międzywojennym w Nowym Jorku używano paneli słonecznych bazujących na selenie do wytwarzania energii elektrycznej. To, że obie te technologie się nie przyjęły, wynikło z prostego rachunku ekonomicznego, kosztów wytworzenia energii elektrycznej w dużej skali. Tak naprawdę najmłodszą technologią wytwarzania energii elektrycznej jest technologia jądrowa zastosowana po raz pierwszy w połowie XX wieku.

Niestety, wśród zwolenników energetyki jądrowej też mamy do czynienia z podobną dyskusją, w którym technologię dużych reaktorów energetycznych LWR uznaje się za przestarzałą, zaś technologię SMR za tę innowacyjną, czy przyszłościową. Ostatnio przeczytałem nawet, że technologia SMR to rozwój ostatnich 10 lat. Nic bardziej mylnego, otóż SMR-y były na początku, ale o tym później. W polskich warunkach osoby sugerujące wstrzymanie programu jądrowego opartego o generację 3+ i poczekanie na nieistniejące jeszcze skomercjalizowane roz-

wiązania oparte o SMR, są tak naprawdę przeciwnikami wdrożenia energetyki jądrowej w Polsce.

Dla Polski jak najszybszy rozwój energetyki jądrowej to kwestia naszej suwerenności politycznej i energetycznej, a także osiągnięcia celów klimatycznych. Dla świata to nie tylko dostęp do taniej i gwarantowanej energii, ale jedyna możliwość ograniczenia użycia paliw kopalnych i osiągnięcia realnej redukcji emisji gazów cieplarnianych w skali globalnej.

Duże czy małe reaktory od strony technologii

Przyglądając się rozwiązaniom LWR i SMR warto w tym miejscu przypomnieć kilka podstawowych faktów dotyczących technologii jądrowej. Istnieje wiele różnych rodzajów reaktorów jądrowych wytwarzających ciepło w oparciu o proces rozszczepienia jądra atomowego. Możemy dzielić reaktory ze względu na typ reakcji (np. termiczne czy prędkie), użyte paliwo (obecnie głównie uran), moderator (najczęściej woda lub grafit), chłodziwo (najczęściej woda, ale także gaz, stopione sole czy metale), konstrukcję (np. zbiornikowe czy kanałowe), generację (w ramach polskiego programu najwyższa komercyjnie dostępna generacja 3+) i przeznaczenie (energetyczne, napędowe, badawcze czy militarne). Oczywiście istnieją także inne bardziej związane z technologią podziały.

Paliwo, a właściwie jego dostępność jest kluczowa dla komercjalizacji technologii i często podnoszona przez przeciwników energetyki jądrowej, jako rzekome ograniczenie. Obecnie w zdecydowanej większości, jako paliwo używany jest uran, a konkretnie jego izotop ^{235}U. Uran występuje naturalnie w skorupie ziemskiej i choć nie jest pierwiastkiem stabilnym (okres półrozpadu najtrwalszego izotopu to około 4 mld lat), to jest pierwiastkiem występującym powszechnie. Dostępność uranu zależy wyłącznie od kosztów jego pozyskania. Zasoby dostępne po obecnych kosztach wydobycia szacowane są na kilkaset lat, przy włączeniu recyklingu wypalonych elementów kilkadziesiąt tysięcy lat, a przy wydobyciu z wody morskiej (w pracach badawczych koszt szacowany na 3-4 krotność obecnej ceny uranu) starczy go nam na miliony lat. Ponieważ koszt paliwa ma stosunkowo niewielki udział w koszcie produkowanej energii elektrycznej, mówienie o ograniczonych zasobach paliwa jest zwyczajną nieprawdą.

Inną możliwością jest użycie, jako paliwa plutonu (Pu) produkowanego obecnie głównie w celach militarnych. Pluton ze względu na krótki okres półrozpadu (najtrwalszy izotop około 80 mln lat) nie występuje naturalnie w skorupie ziemskiej, jednakże może być łatwo produkowany z naturalnie występującego izotopu ^{238}U. Przy odpowiedniej konstrukcji, taki reaktor (powielający) używający neutronów prędkich, produkuje więcej paliwa, niż go sam zużywa.

Paliwem przyszłości w reaktorach rozszczepialnych nowego typu może stać się tor (Th). Pierwiastek ten występuje w skorupie ziemskiej naturalnie, a ze względu na jego długi okres półrozpadu (najtrwalszy izotop około 14 mld lat) szacuje się, że jest go w skorupie 6-krotnie więcej niż uranu.

Co różni oba rozwiązania?

Wracając do kwestii LWR czy SMR należy wyraźnie podkreślić, że jedyną różnicą pomiędzy nimi jest … fizyczna wielkość. W przeciwieństwie do dużych reaktorów energetycznych (powyżej 3000 MWt mocy termicznej) typu LWR budowanych, a właściwie często składanych na miejscu budowy elektrowni, przyjmuje się, że reaktory SMR będą produkowane w fabryce, a na placu budowy elektrowni przywożone i instalowane. Można to sobie wyobrazić, jako jeden kompletny moduł gotowy do instalacji, ale także, jako kilka (dosłownie) modułów składanych na miejscu instalacji. Należy podkreślić, że definicja SMR nie jest jednoznaczna. Jednakże kompaktowość SMR oznacza znacznie mniejszą moc, o ile klasyczne reaktory LWR mają moc od 900 do 1600 MWe (mocy elektrycznej), to istniejące projekty reaktorów SMR mają moc od 5 do 200 MWe (MAEA przyjmuje się też, jako górną granicę 300 MWe). Ponieważ nie jest moim celem dyskusja o nomenklaturze, przyjmijmy, że SMR to reaktory małej mocy produkowane w fabryce, składające się z jednego lub kilku modułów, instalowane na miejscu użytkowania.

Historyczny rozwój rektorów jądrowych nie rozróżniał w zasadzie skali wielkości. Reaktory na początku miały małą moc, zwłaszcza że, były używane głównie przez wojsko do produkcji plutonu, albo w celach napędowych. Pierwsze reaktory komercyjne też nie były duże i miały kolejno 5, 50 i 60 MWe (radziecki, brytyjski, amerykański). Warto wspomnieć, że ten ostatni był pierwszym reaktorem wodnym ciśnieniowym (typ PWR), technologii, która dominuje dziś w energetyce jądrowej. Można więc powiedzieć, że historia reaktorów jądrowych rozpoczęła się od SMR-ów. Reaktory służące wyłącznie celom energetycznym zaczęto budować coraz większe, ponieważ prosta ekonomia mówi, że im większa moc, tym niższa cena jednostkowa wytworzonej energii. Niestety, wzrost wielkości spowodował także wzrost jednostkowej ceny reaktora, jak i całego bloku energetycznego.

Trwający dziesiątki lat rozwój komercyjnych reaktorów energetycznych spowodował także dominację pewnych rozwiązań technologicznych i ich dostawców. Obecnie dostępne są zasadniczo trzy technologie w zastosowaniach energetycznych, to wspomniany już PWR

(lekko-wodny ciśnieniowy), BWR (lekko-wodny wrzący) oraz PHWR (ciężko-wodny ciśnieniowy). W reaktorach tych woda jest zarówno chłodziwem, jak i moderatorem. Istnieje jeszcze kilkanaście innych rozwiązań, w części także użytych komercyjnie. Tylko dla przypomnienia reaktor z Czarnobyla nie był żadnym z powyższych i używał, jako moderatora grafitu, nie wody. Ponad 2/3 zainstalowanych obecnie na świecie reaktorów w elektrowniach jądrowych to reaktory PWR. Technologią budowy dużych reaktorów energetycznych dysponują obecnie takie kraje jak: USA, Japonia, Rosja, Chiny, Francja, Kanada i Korea Południowa. Lista ta kiedyś była dłuższa.

W innym kierunku poszedł rozwój małych reaktorów używanych głównie w celach militarnych i badawczych. O ile reaktory badawcze oprócz użycia w badaniach naukowych były najczęściej testerami różnych technologii, to reaktory wojskowe używane w celach napędowych (typ PWR) rozwinęły się naprawdę w kierunku SMR, czyli były produkowane w fabryce, niekiedy nawet w seriach liczących około 100 sztuk, a w miejscu użytkowania wyłącznie instalowane. Ponieważ wymogiem wojska było jak najdłuższe używanie reaktora, bez wymiany paliwa, reaktory te pracują na ogół na bardzo wysokowzbogaconym uranie, co nie jest dozwolone w sektorze cywilnym, ze względu na przepisy nieproliferacyjne. Obecnie produkuje się reaktory napędowe dla łodzi podwodnych, które bez wymiany paliwa pracują nawet 30 lat. Łącznie szacuje się, że liczba wyprodukowanych w ciągu ostatnich ponad 60 lat reaktorów napędowych przekroczyła 1000 sztuk (!).

Cywilnymi zastosowaniami oprócz reaktorów badawczych, były także reaktory napędowe stosowane na kilku statkach handlowych oraz na statkach specjalnych, jak na przykład flota rosyjskich lodołamaczy o napędzie atomowym (7 statków, 2-3 reaktory na statek). Sporadycznie używano też małych reaktorów do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej na północy Rosji. Ostatnim przykładem takiego zastosowania są pływające elektrownie jądrowe, jak choćby Akademik Łomonosow, na którym zainstalowano 2 reaktory KLT-40S (SMR typu PWR) o łącznej mocy 300 MWt, mogące wytwarzać energię elektryczną o mocy 70MWe.

Kilkanaście lat temu wskutek szybko rosnących kosztów dużych jednostek energetycznych powstała pewnego rodzaju moda na rozwiązania SMR, mające na celu obniżenie jednostkowych kosztów inwestycyjnych. Ponieważ, jak wspomniałem, określenie jest dość nieprecyzyjne, ilość rozwiązań określanych tym skrótem jest też znacząca, szacuje się, że powstało około 50 różnych rozwiązań, określanych, jako SMR. Podstawową cechą tych reaktorów oprócz istotnie niższych kosztów inwestycyjnych jest kwestia bezpieczeństwa. Mniejsza moc oznacza zdecydowanie mniejszą energię powyłączeniową, a więc łatwiejsze konwekcyjne wychłodzenie reaktora w przypadku awarii układu chłodzenia. Wszystkie projekty są tak tworzone, że uniemożliwiony jest najgroźniejszy stopień awarii reaktora, czyli stopienie rdzenia. Oprócz małej mocy, większej prostoty konstrukcji, skrócenia czasu inwestycji i większego bezpieczeństwa reaktory SMR, o których się u nas mówi, mają jeszcze jedną cechę wspólną, otóż nie istnieją jeszcze w wersji komercyjnej w świecie zachodnim.

W ramach toczących się obecnie prac przygotowawczych, zwłaszcza w USA i Kanadzie, zaproponowano szereg różnych typów technologicznych reaktorów jądrowych typu SMR. Najbliższe celom wdrożenia komercyjnego są obecnie reaktory będące miniaturyzacją klasycznych reaktorów wodnych typu PWR. Projekty reaktorów tego typu są poddawane obecnie w USA i Kanadzie procesowi licencjonowania. Zaproponowany ostatnio w Polsce reaktor BWRX-300 jest reaktorem wodno-wrzącym (BWR) i jest to nieco unikatowe rozwiązanie pośród wodnych SMR. Często określa się pozostałe (nieużywające wody) reaktory, jako Advanced, wśród których najbardziej obiecującym typem są reaktory wysokotemperaturowe chłodzone gazem (HTGR, hel), których pierwsze wersje komercyjne budowane są obecnie w Chinach. Inne rozważane rozwiązania to reaktory chłodzone płynnym metalem (USA-Japonia) oraz reaktory, w których paliwo i chłodziwa są stopionymi solami (MSR).

Czy SMR może zastąpić LWR?

Autorzy projektów SMR sami stwierdzają, że ze względu na większe koszty na jednostkę mocy w porównaniu do dużych reaktorów i w związku z tym wyższe koszty wytwarzania energii ekonomicznie uzasadnione będzie stosowanie ich w lokalizacjach dalekich od sieci przesyłowych, zwłaszcza w północnych rejonach globu (stąd Kanada) oraz w przypadku słabo rozwiniętych sieci przesyłowych niezdolnych do wykorzystania dużych bloków energetycznych, jako lokalne źródła nie tylko energii elektrycznej, ale także ciepła dla przemysłu, do ogrzewania, czy odsalania wody morskiej. Oczywiście może to być znakomite rozwiązanie dla niewielkich krajów chcących zachować swoją suwerenność energetyczną, stąd ostatnio aktywność w tym obszarze Estonii. Można takie jednostki stosować także, jako wspomaganie do zasilania w szczytach energetycznych w dużych krajach rozwiniętych, ze względu na znacząco wyższe ceny energii w tym czasie.

Podsumowując, można powiedzieć, że mamy obecnie trzy dojrzałe technologie dużych reaktorów energetycznych dostarczanych przez firmy z siedmiu państw oraz dwa bliskie realizacji projekty SMR, jeden będący miniaturyzacją technologii PWR i jeden będący bardziej nowatorskim rozwiązaniem w technologii HTGR.

Wracając do tytułowego pytania po uwzględnieniu powyższych informacji odpowiedź na pytanie LWR, czy SMR dla Polski nie wydaje się trudna:

- Przede wszystkim mówimy tu o dwóch różnych rozwiązaniach. Duże reaktory mają zastosowanie przede wszystkim w wielkoskalowym wytwarzaniu energii elektrycznej, służąc, jako podstawa systemu energetycznego. Małe reaktory w wersji wodnej to przede wszystkim kogeneracja z zasilaniem sieci ciepłowniczych. Małe reaktory w wersji wysokotemperaturowej to także dodatkowo para technologiczna dla przemysłu i wytwarzanie wodoru.
- W obecnym projekcie PEP2040 potrzeby polskiego systemu energetycznego, mogącego zostać zaspokojone przez energetykę jądrową szacowane są 6-9 GWe. Oznacza to w zależności od wyboru reaktora energetycznego 6-9 bloków jądrowych albo przy wyborze SMR od kilkudziesięciu do kilkuset (!) reaktorów. Łączne koszty generacji opartej o SMR będą zdecydowanie wyższe.
- Mamy technologię dużych reaktorów energetycznych, która jest komercyjna i technologię SMR, która jeszcze nie jest (w świecie zachodnim) i minie jeszcze wiele lat zanim będzie. Krótko mówiąc, jeśli chcielibyśmy budować polską energetykę jądrową w oparciu o SMR, to możemy wszystko przerwać i rozpocząć ponownie, za co najmniej 10-15 lat, czyli pierwsza komercyjna elektrownia za 20-25 lat. Osiągnięcie założeń mocy energetyki jądrowej z PEP2040 będzie możliwe dopiero w PEP2060, a dla mnie to nigdy.
- O ile w procesie budowy dużych elektrowni jądrowych możemy liczyć nawet na znaczący udział polskiego przemysłu, także w części reaktorowej, to w przypadku SMR budowanych w jednej fabryce poza naszym krajem, udział polskiej gospodarki sprowadzi się do budowy budynku.

Uważam, że należy jak najszybciej przystąpić do realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej, zostawiając SMR-y tam, gdzie ich zastosowanie przyniesie realne korzyści.

Co dalej z SMR?

Reaktory SMR mają także w Polsce swoją rację bytu, mianowicie reaktory wodne typ PWR/BWR mogą być wykorzystane do produkcji ciepła miejskiego i w kogeneracji. Jednak na obecnym etapie nasz udział w ich rozwoju będzie się sprowadzał do zakupu pudełka z gotowym produktem.

Inaczej jest z technologią wysokotemperaturową HTGR, tutaj możemy jeszcze odegrać aktywną rolę w komercjalizacji tej technologii. Aktualnie trwają prace przygotowawcze do wdrożenia w Polsce technologii małych wysokotemperaturowych reaktorów chłodzonych gazem (hel) i na tym polscy zwolennicy małych reaktorów powinni się teraz skupić. Reaktory tego typu mogą znakomicie być wykorzystane w kogeneracji, w wytwarzaniu pary technologicznej dla przemysłu chemicznego i petrochemicznego, a docelowo w wysoce efektywnej i czystej produkcji paliwa przyszłości – wodoru.

Opinie dra Józefa Sobolewskiego wyrażone w tym artykule są jego prywatnym zdaniem i nie reprezentują stanowiska żadnej instytucji.

dr Józef Sobolewski,
Warszawa

Notka o autorze

Absolwent Wydziału Fizyki UW ze specjalizacją w zakresie fizyki jądrowej. Praca naukowa z zakresu rozszczepienia jądrowego z wykorzystaniem reaktora EWA w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku. Stypendysta Max-Planck-Society. Pracownik Max-Planck-Institute/Otto-Hahn-Institute w Moguncji (Niemcy). Doktor Nauk Fizycznych Uniwersytetu Jana Gutenberga w Moguncji, a następnie pracownik naukowy Uniwersytetu. Kilkunastoletnia praca naukowa w obszarze fizyki jądrowej. Ponad dwudziestoletnia praca w IT, w korporacjach amerykańskich Electronics Data Systems (EDS) i HP Enterprise Systems od inżyniera wdrożeniowca poprzez menadżera projektów do menadżera regionalnego biura sprzedaży w Europie. Specjalizacja w zakresie systemów informatycznych dla energetyki; w Polsce menadżer dużych projektów wdrożeniowych w PSE i PGNiG. Licencjat w zakresie sprzedaży w Global Sales Institiute w Dallas (USA) oraz MBA w Warszawskiej Wyższej Szkole Biznesu. W latach 2016-2019 dyrektor Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Energii.

Powyższy tekst jest nieco zmodyfikowaną wersją artykułu, który ukazał się na portalu BiznesAlert 5 listopada 2019 r. Przedruk za zgodą autora.