

Mgr inż. Adam Rajewski,

Asystent w Zakładzie Termodynamiki, Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska

Małe reaktory modułowe - czy są szansą dla Polski?

W ostatnich miesiącach do debaty publicznej powrócił temat budowy w Polsce elektrowni jądrowych. Wraz z nim powróciła także dyskusja o tym jakie technologie jądrowe należałoby w Polsce wdrożyć. Jednym z często przywoływanych w niej tematów są tzw. małe reaktory modułowe, określane angielskim akronimem SMR (od Small Modular Reactor). Zdaniem niektórych uczestników debaty, SMR-y mają być nowocześniejszą odstoną energetyki jądrowej, która może - i powinna - odebrać w niebyt starsze rozwiązania dużych jądrowych bloków energetycznych. Padają wręcz stwierdzenia o przestarzałości tych ostatnich. Czy słusznie?

■ SMR - cóż to takiego?

Nie istnieje jedna przyjęta naukowo, albo prawnie definicja SMR-ów. W materiałach informacyjnych, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej definiuje je jako „zaawansowane reaktory wytwarzające moc elektryczną do 300 MWe na moduł”. MAEA wskazuje również na fakt, że reaktory tej klasy projektowane są tak, by powstawały jako kompletne urządzenia w zakładach produkcyjnych, dostarczane w całości na miejsce montażu. Do chwili obecnej, olbrzymia większość z zaproponowanych konstrukcji SMR, reprezentuje pod względem fizyki procesu najpowszechniejszą w cywilnej energetyce jądrowej technologię reaktorów wodnych ciśnieniowych (PWR), najczęściej w postaci zintegrowanej. Wytornice pary są tam zamknięte we wspólnej obudowie ciśnieniowej wraz z rdzeniem reaktora

(jest to rozwiązanie stosowane wcześniej w niektórych reaktorach napędowych przeznaczonych dla okrętów podwodnych). Istnieją też pojedyncze konstrukcje reprezentujące inne technologie.

■ SMR - po co?

Kluczową różnicą pomiędzy konstrukcjami i koncepcjami SMR-ów, a tradycyjnymi reaktorami oferowanymi obecnie na rynku, jest ich moc. Na początku rozwoju energetyki jądrowej bloki jądrowe miały moce rzędu kilkudziesięciu MW, jednak bardzo szybko branżę zdominowały jednostki większe, najpierw w przedziale 500-1000 MWe, a w latach 80. dochodzące nawet do 1500 MWe. Średnia moc czynnego bloku wynosi obecnie niemal 900 MWe, a wśród nowobudowanych jest to blisko 1100 MWe. Motywacją takiego wzrostu była

lepsza ekonomia inwestycji w większą instalację. Niestety skutek uboczny był taki, że pojedyncza inwestycja stawała się sama w sobie przedsięwzięciem bardzo kosztownym. Wraz ze zniknięciem z rynku reaktorów dla bloków mniejszej mocy (obecnie, poza indyjskimi reaktorami ciężkowodnymi, praktycznie nie ma już komercyjnie oferowanych reaktorów dla bloków poniżej tysiąca MW), utworzyło to poważną barierę inwestycyjną. Niezależnie od opłacalności w ciągu całego cyklu życia, elektrownia jądrowa staje się przedsięwzięciem, na które trzeba wyłożyć bardzo poważne fundusze. Dodatkowo konstrukcje dużych bloków są skomplikowane, stąd tworzą spory potencjał do opóźnień. Istnieją także sytuacje, w których inwestor zwyczajnie nie potrzebuje tak dużej mocy. To przede wszystkim na te wyzwania mogłyby odpowiedzieć reaktory mniejsze.

Nie jest to jedyna potencjalna zaleta SMR-ów. Mniejszy rozmiar może także pozwolić na lepszą standaryzację produkcji, prowadząc do skracania czasów przygotowania i realizacji inwestycji. Mówi się wręcz o quasi-seryjnej produkcji identycznych reaktorów. Mniejsze moce jednostkowe reaktorów pozwalają na rozłożenie inwestycji w czasie. Powstaje także potencjał stosowania reaktorów jądrowych w kogeneracji. W przypadku konstrukcji dużych jest on bardzo ograniczony właśnie zbyt dużą dostępną w ciepłe mocą, daleko wykraczającą poza zapotrzebowanie niemal każdego odbiorcy poza wielkimi metropoliami.

■ SMR - historia

Idea „powrotu do małości” nie jest nowa. Jako jeden z pierwszych, nową konstrukcję małego reaktora zaproponowali w 1984 r. Argentyńcy. Choć

w tamtym czasie na deklaracjach się skończyło, projekt został odmrożony w 2006 r. i faktycznie skierowany do realizacji. Budowa prototypu CAREM-25 rozpoczęła się w 2014 r. i miała potrwać cztery lata, ale uległa poważnym opóźnieniom, związanym m. in. z problemami z finansowaniem. W chwili obecnej trudno prognozować choćby przybliżony termin zakończenia prac. Jeszcze większą niewiadomą pozostają zgłaszane niegdyś plany rozwinięcia większej wersji reaktora dla bloku 100 MWe.

Jedynym zrealizowanym w ostatnich dekadach przykładem niewielkiego bloku energetycznego, mieszczącego się w przedziale poniżej 300 MW, jest rosyjska pływająca elektrociepłownia jądrowa „Akademik Łomonosow”. Zainstalowano na niej dwa reaktory KLT-40S. Nie jest to jednak nowa konstrukcja, tylko

modyfikacja urządzeń stosowanych do napędu dwóch lodotłamaczy typu Tajmyr oraz barkowca Siewmorput. Instalacja, która wytwarza moc elektryczną do 70 MW, od maja 2020 r. zasila miasto Pevek na północy Rosji (Czukocki Okręg Autonomiczny). Rosjanie rozważają budowę dalszych podobnych obiektów, zarówno pływających, jak i stacjonarnych, opartych o nowsze reaktory RITM-200M, także wywodzące się z napędu dla lodotłamaczy (nowego typu Arktika). Jak do tej pory nic nie wskazuje, by jednostki te miały być oferowane na eksport.

Jeszcze jeden niewielki blok jądrowy znajduje się obecnie w fazie budowy: jest to prototypowy chiński HTR-PM. To ciekawa instalacja wykorzystująca zupełnie inne rozwiązanie: reaktor wysokotemperaturowy chłodzony helem. Dwa reaktory współpracujące z jednym turbospółem mają dawać moc elektryczną



for: unsplash.com

211 MWe. Takie instalacje mogłyby w przyszłości posłużyć nie tylko do produkcji energii elektrycznej, ale także do zasilania różnych odbiorców przemysłowych w wysokotemperaturowe ciepło. Na razie jednak, mimo kilku podejść do tej technologii (wcześniej w latach 70. i 80. w USA oraz RFN), nie udało jej się skomercjalizować. Chiński prototyp jest też znacznie opóźniony. Oryginalnie ukończenia spodziewano się w 2017 r. Obecny stan zaawansowania prac wskazuje jednak na to, że budowa zajmie jeszcze kilka lat. Konstrukcja ta nawet po ukończeniu będzie miała status częściowo eksperymentalny, a docelowa konfiguracja ma być większa (instalacje po 650 MW z sześcioma reaktorami i wspólną turbiną).

Mimo, że powyższe trzy rozwiązania to jedyne, co faktycznie zaczęto do tej pory budować, to nie one stanowią na czas obecny ofertę komercyjną. W kontekście realizacji elektrowni zawodowych, w tym w krajach nieposiadających energetyki jądrowej, wymieniane są raczej konstrukcje zintegrowanych reaktorów wodnych, które nie doczekały się jeszcze realizacji, a nawet choćby jednego potwierdzonego zamówienia. Konstrukcje takie opracowało lub opracowuje szereg firm sektora jądrowego, m. in. Babcock & Wilcox (we współpracy z Bechtlem), Holtec, czy Westinghouse. Jednak najbardziej zaawansowane i najczęściej wymieniane w kontekście polskim są dwie: NuScale oraz GE BWRX-300.

NuScale to jednocześnie nazwa konstrukcji małego reaktora i start-upu, który go zaprojektował, obecnie kontrolowanego przez koncern Fluor. Reaktor NuScale to zintegrowany PWR. W oryginalnej postaci miał każdy moduł służyć do wytwarzania ok. 45 MW mocy elektrycznej, choć z czasem projekt zaczął „rosnąć”. Postać zgłoszona do homologacji przez amerykański dozór jądrowy, to moduł o mocy elektrycznej 50 MW. Zanim homologacja na tę postać została udzielona (w końcu 2020 r.), reaktor ponownie „urósł” i wersja przewidziana do montażu w pilotażowej instalacji ma

już co najmniej 60 MW - co najmniej, bowiem najnowsze doniesienia mówią o dalszym wzroście tej mocy ponad 70 MW. NuScale jest przy tym oferowany do realizacji przede wszystkim w blokach po 12 sztuk realizowanych w jednym wspólnym bloku - i to właśnie takie całe bloki 600-720 MWe podlegają procesowi analizy przez dozór.

Tym, co wyróżnia NuScale na tle konkurencji, jest zarówno owa homologacja dozoru (która nie oznacza jeszcze zgody na budowę - tę w USA wydaje się dopiero dla konkretnej inwestycji w postaci zintegrowanego pozwolenia na budowę i eksploatację), jak i fakt, że trwają już faktyczne przygotowania do pierwszej realizacji. Prototyp ma powstać w ramach Carbon Free Power Project realizowanego przez UAMPS, zrzeczenie spółek energetycznych funkcjonujące przy władzach stanu Utah. Projekt został formalnie powołany do życia w 2015 r., a w 2016 r. wybrano lokalizację - teren Idaho National Laboratory w pobliżu Idaho Falls. Jesienią 2018 r. planowano, że prace przygotowawcze na placu budowy rozpoczną się w 2021 r., budowa reaktorów w 2023 r., pierwszy moduł zostanie ukończony w 2026 r., a pozostałych jedenaście w 2027 r. Obecnie mówi się jednak o udzieleniu zamówienia najwcześniej w 2022 r., ukończeniu pierwszego modułu w połowie 2029 r., a pozostałych w 2030 r. Projekt trapią także rosnące przewidywane koszty. W listopadzie 2017 r. oceniano je na 3,6 mld USD, w listopadzie 2019 r. na 4,2 mld USD, a obecnie już na 6,1 mld USD. W 2021 r. dostawca technologii otrzymał od inwestora zamówienie na opracowanie wniosku o pozwolenie zintegrowane, ale jednocześnie opracowanie metod obniżenia ryzyka projektu. W tym kontekście dotrzymanie wskazanych terminów nie jest pewne.

BWRX-300 z kolei to propozycja GE-Hitachi, reprezentująca tradycyjną dla GE technologię reaktorów wodnych wrzących (BWR). Jest to konstrukcja znacznie większa od NuScale - pojedynczy reaktor ma zasilać blok o mocy elek-

trycznej ok. 300 MW. Jest to w istocie zmniejszona wersja najnowszej (i nigdy nie zrealizowanej) „dużej” konstrukcji GE, reaktora ESBWR. Nie jest jeszcze znana żadna konkretna lokalizacja dla prototypowego obiektu, jednak konstrukcja ta była przedmiotem listów intencyjnych podpisanych przez dostawcę z estońskiej firmą Fermi Energia oraz, co najbardziej interesujące z polskiego punktu widzenia, z polskim Synthos S.A. GE-Hitachi wyrażała też niedawno „oczekiwanie”, że budowa pierwszych instalacji w USA mogłaby rozpocząć się około lat 2024-2025 (ukończenie 2027-2028), ale nie wiadomo kto miałby być zamawiającym.

■ SMR - nie same zalety

SMR-y, szczególnie z punktu widzenia polskiego programu jądrowego, mają jednak szereg wad. Najważniejsza z nich jest dość prozaiczna - jeszcze ich nie ma i nie wiadomo kiedy naprawdę będą. Część potencjalnych dostawców wycofała się zresztą z ich rozwoju, nie będąc w stanie znaleźć nabywców (zob. tabela). Jak do tej pory spośród tych konstrukcji, które faktycznie mogą być komercyjnie zaoferowane w Polsce, tylko jedna ma w miarę konkretną ścieżkę do budowy prototypu, która zresztą opóźnia się. Dlatego gdybyśmy chcieli w niedalekiej przyszłości zrealizować tego rodzaju jednostkę w Polsce, to ona stałaby się w praktyce prototypem, na którym przemysł dopiero uczyłby się realizacji nowej technologii. Trudno oczekiwać, by obyło się to bez opóźnień. Dodatkowo oznacza to, że nie moglibyśmy skorzystać z potencjalnych pozytywnych skutków standaryzacji i seryjnej produkcji elementów, a także ugruntowanych i sprawdzonych łańcuchów dostaw, gdyż zwyczajnie tej produkcji jeszcze nie będzie.

Po drugie nadzieje na uproszczenia związane z budową reaktorów małych, niekoniecznie mają oparcie w rzeczywistości. W szczególności zintegrowane PWR-y mają bardzo duże rozmiary, jak na generowaną moc. Reaktor NuScale dla bloku 60 MWe ma wysokość

Nazwa	Firma	Kraj	Typ reaktora	Moc cieplna [MW]	Moc elektryczna bloku [MW]	Status
ACP100 Linglong One	NPIC/CNNC	CHN	PWR zintegrowany	385	125	Przygotowania do budowy pierwszych jednostek w toku
ACPR1000	CGN	CHN	PWR zintegrowany	450	140	Niejasny, być może zarzucony?
BWRX-300	GE Hitachi	USA/JPN	BWR	870	ok. 300	Projekt w opracowaniu Listy intencyjne (EST, POL)
CAREM-25	CNEA	ARG	PWR zintegrowany	100	27	Prototyp w budowie (ARG)
CAREM [duży]	CNEA	ARG	zintegrowany		100-200	Plan
HTR-PM	Tsinghua University	CHN	HTR	2 x 250	211	Prototyp w budowie (opóźnionej)
IRIS	Westinghouse	USA	PWR zintegrowany	1000	335	Zarzucony
KLT-40S	OKBM Afrikantowa	RUS	PWR	150	35	W eksploatacji (RUS)
mPower	BWXT	USA	PWR zintegrowany		125-180	Zarzucony
NuScale	NuScale	USA	PWR zintegrowany	160	45-50	Homologowany w USA Brak planów budowy w tej konfiguracji
NuScale720	NuScale	USA	PWR zintegrowany	200	60	Projekt w opracowaniu 1. inwestycja w przygotowaniu (USA)
RITM-200M	OKBM Afrikantowa	RUS	PWR	175	50	Projekt w opracowaniu
SMART	KAERI	KOR	PWR zintegrowany	330	100	Homologacja dla nieaktualnej konfiguracji (KOR, 2012) Projekt w opracowaniu Wstępne plany lokalizacji w Arabii Saudyjskiej
SMR-160	Holtec	USA	PWR zintegrowany	525	160	Projekt w opracowaniu Poszukiwanie potencjalnych lokalizacji (UKR) Homologacja w przygotowaniu (USA, CAN)
Westinghouse SMR	Westinghouse	USA	PWR zintegrowany	800	225	Projekt w opracowaniu Homologacja zawieszona

Tab. 1. Zestawienie wybranych, najbardziej zaawansowanych koncepcji i konstrukcji SMR

19,8 m i średnicę 2,8 m. Dla porównania, amerykański „duży” reaktor AP1000 ma wymiary 12,2 x 4,5 m, a pozwala wyprodukować ponad 1100 MW. „Small” nie oznacza zatem małych gabarytów. A to oznacza, że do uzyskania tej samej mocy będzie trzeba w istocie wykonać dużo więcej trudnych i czasochłonnych w produkcji zbiorników ciśnieniowych.

Po trzecie, wreszcie trzeba spojrzeć na zagadnienie z punktu widzenia roli, jaką ma do odegrania energetyka jądrowa w Polsce. Atom ma nam posłużyć do możliwości produkcji znaczących w skali systemu ilości energii. A to wymaga budowy kilku tysięcy MW mocy zainstalowanej. Z tego punktu widzenia mała moc pojedynczego reaktora nie jest sama w sobie żadną zaletą. Przeciwnie,

oznaczać będzie więcej etapów inwestycji, więcej instalacji jądrowych wymagających „opieki” dozoru, a także wyższe koszty, bowiem małe reaktory będą tańsze „za sztukę”, ale nic nie wskazuje, by były tańsze „za kilowat”. Dodatkowo obecnie bardzo mało wiemy na temat kosztów ich eksploatacji, bowiem dane są więcej niż skąpe i trudno by było inaczej na etapie, w którym w większości przypadków nie istnieje jeszcze nawet ostateczny projekt instalacji, nie mówiąc już o jakimkolwiek doświadczeniu.

Nie znaczy to, że SMR-y nie mogą okazać się interesującym rozwiązaniem w przyszłości. Jak wspomniano wcześniej, ich niewielkie moce mogą uczynić je atrakcyjnym rozwiązaniem dla skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej

i ciepła, a więc np. miejskich elektrociepłowni. W ten sposób mogłyby one stanowić cenne uzupełnienie innych niskoemisyjnych źródeł energii, w tym dużych reaktorów jądrowych pracujących w elektrowniach systemowych. Aby jednak snuć ambitne plany, najpierw musi dojść do realizacji prototypowych instalacji, oceny tej realizacji, wdrożenia wniosków i poprawy wad, które w każdej nowej konstrukcji są praktycznie nieuniknione. Dopiero wtedy będzie można na takim rozwiązaniu budować konkretną politykę. Tymczasem jednak w budowie atomu trzeba oprzeć się na rozwiązaniach istniejących, sprawdzonych i dostępnych „od zaraz”, bowiem sytuacja klimatyczna nie pozwala na zwlekanie z wdrażaniem niskoemisyjnych źródeł energii. □