

Dr hab. Ludwik Pieńkowski,
prof. uczelni AGH

Energetyka jądrowa - kiedy i jaka?

Pozycja energetyki jądrowej jest różna, w zależności od regionu i kraju. Najsilniejsza jest w Rosji i w Chinach, gasnąca w Niemczech, w stagnacji - w Japonii, Francji, Korei Południowej oraz w fazie próby powrotu do światowej, globalnej rywalizacji w USA. Ten jednozdaniowy przegląd pokazuje współistnienie wzajemnie wykluczających się trendów, co oznacza, że wytyczenie drogi do wdrożenia w Polsce energetyki jądrowej jest bardzo trudne.

Kreśląc obraz współczesnej energetyki jądrowej i wizję przyszłości, należy przede wszystkim widzieć sukcesy i dominującą pozycję Rosji, której portfel zamówień na budowę ponad dwudziestu reaktorów WWER-1200 przekracza 130 mld dolarów. W Rosji odpowiedź na tytułowe pytanie jest prosta: reaktor WWER-1200 to terra incognita nieodległa przyszłość energetyki jądrowej. Sięgając dalej w przyszłość odpowiedź nie jest już tak prosta, gdyż za mniej niż dziesięć lat najprawdopodobniej kilka nowatorskich projektów (licząc w skali globalnej) osiągnie komercyjną dojrzałość, a co najmniej drugie tyle będzie zaawansowana. Rosja ma wiele otwartych ścieżek rozwoju. Na pierwszy plan wybijają się reaktory prężące, co kreśli wizję zamknięcia cyklu paliwowego

i wzmacnia pozycję flagowego reaktora energetycznego WWER-1200. Po drugie, Rosja w końcu 2019 r. odniosła sukces uruchamiając elektrownię jądrową Akademik Łomonosow o mocy 70 MW. Jest ona zainstalowana na pływającej barce zakotwiczonej w zatoce na dalekiej północy. Zasilają ją dwa reaktory KLT-40S, bazujące na reaktorach KLT-40, które od wielu lat są wykorzystywane do napędu rosyjskich lodotamaczy. Realizowane są też inne projekty z reaktorami małej mocy, ale wszystkie zogniskowane są na wykorzystaniu w niedostępnych rejonach dalekiej Syberii i Ładon nie aspiruje do rywalizacji biznesowej z reaktorem WWER-1200 w zurbanizowanych rejonach dysponujących rozwiniętą siecią energetyczną i transportową. Podsumowując, rosyjska energetyka jądrowa

jest bardzo silna, odnosi sukcesy u siebie i w skali globalnej, a jej program rozwoju jest bogaty i logiczny.

Chińska energetyka jądrowa również jest bardzo silna, ale obecnie w skali globalnej ustępuje Rosji. Jej siła wynika z wybudowania w ostatnich latach kilkudziesięciu reaktorów energetycznych z wykorzystaniem zakupionych technologii. Ten wielki program umożliwił Chinom opracowanie własnego reaktora Hualong One, który zaczyna odnosić sukcesy. Właśnie trwa rozruch pierwszego Hualong One w Chinach. Budowa następnych reaktorów postępuje, a w Pakistanie budowa dwóch reaktorów Hualong One jest na ukończeniu. Uruchomienie pierwszego z nich planowane jest za kilkanaście miesięcy. Reaktor Hualong One powstał na bazie francuskiego reaktora

ra EPR, a na bazie reaktora AP1000 firmy Westinghouse powstały projekty CAP1000 i CAP1400. Jeszcze kilka lat temu wydawało się, że w chińskiej energetyce jądrowej w niedalekiej przyszłości będą dominowały reaktory CAP1000 i CAP1400, ale obecnie niekwestionowanym liderem jest Hualong One. To rozstrzygnięcie ma wiele przyczyn, ale przede wszystkim wynika z sukcesów reaktora Hualong One podczas, gdy budowa choćby jednego reaktora CAP1000, albo CAP1400 nie została jeszcze uruchomiona. Krążą jedynie niepotwierdzone spekulacje, że budowę pierwszego reaktora wzorowanego na AP1000 niedawno rozpoczęto. Po drugie, w czasach epidemii COVID-19 wzrosła siła globalna rywalizacja pomiędzy USA i Chinami, co z całą pewnością utrudnia realizację projektów bazujących na reaktorze AP1000. Awaria pompy cyrkulacyjnej w 2019 r. w jednym z czterech reaktorów AP1000 działających w Chinach wyłączyła go z pracy na niemal cały rok, co również osłabiło projekty CAP1000 i CAP1400. Równocześnie współpraca z Francją rozwija się. Kreślone są plany kolejnych wspólnych inwestycji, w tym budowy reaktorów Hualong One w Wielkiej Brytanii. Podsumowując, bez żadnej wątpliwości można stwierdzić, że teraźniejszość i niedaleka przyszłość chińskiej energetyki jądrowej jest klarowna i jest oparta o reaktor Hualong One.

Chiny prowadzą też bardzo szeroki program badawczo-rozwojowy budowy reaktorów testowych, demonstracyjnych i już dysponują reaktorem pródkim. Pracują nad zaawansowanymi technologiami reaktorowymi i lekkowodnymi reaktorami modularnymi. Wydaje się, że program budowy modularnej elektrowni HTR-PM jest ich największym programem. Jego celem jest zademonstrowanie pracy dwóch reaktorów wysokotemperaturowych typu HTR. Umieszczenie dwóch i więcej reaktorów HTR w jednym budynku (bloku energetycznym) jest akcep-



foto: unsplash.com

towne przez dozory jądrowe, gdyż w tej technologii rolę szczelnej obudowy bezpieczeństwa zapobiegającej skażeniu środowiska pełni konstrukcja paliwa TRISO, a nie budynek reaktora. Docelowy blok energetyczny HTR-600 ma być zasilany sześcioma reaktorami pracującymi na jedną wspólną turbinę parową i ma generować moc 600 MW. Jednak projekt HTR-PM kilka lat temu ugrzązł w opóźnieniach, obecnie dostępne są bardzo skąpe dane o jego realizacji. Niedawna informacja o zakończeniu zimnych testów wlała porcję nadziei, że inwestycja zostanie dokończona. Jeszcze niedawno, około 2017 r. wydawało się, że modularny blok energetyczny HTR-600 już niedługo będzie mógł konkurować z reaktorem Hualong One, ale obecnie widoczne jest, że jeśli to nastąpi, to w znacznie dłuższej perspektywie czasu.

Ostatnim sukcesem francuskiej energetyki jądrowej było uruchomienie w 2016 r. budowy dwóch reaktorów EPR w elektrowni Hinkley Point C w Wielkiej Brytanii. Było to możliwe po skorzystaniu z pomocy Chin, które objęły jedną trzecią udziałów w tej inwestycji. Obecnie widoczne było to pyrrusowe zwycięstwo Francji, gdyż strategiczne porozumienie z Chinami otworzyło im drogę do stworzenia i ekspansji projektu Hu-

along One, wzorowanego na reaktorze EPR. Tym samym zmniejszyły się możliwości rozwoju i ekspansji projektu EPR. Francja obecnie jest zbyt słaba, aby to zrobić samodzielnie. Chiny natomiast, z którymi mają strategiczną umowę o współpracy - nie mają w tym żadnego interesu. Wydaje się, że decyzje Brytyjczyków w sprawie budowy kolejnych elektrowni jądrowych mogą mieć istotny wpływ na globalną przyszłość tego sektora. Wśród kilku opcji rozważanych przez Brytyjczyków jest zarówno reaktor EPR, jak i budowa pierwszego w Wielkiej Brytanii reaktora Hualong One. A może w Wielkiej Brytanii zostanie wybrana technologia własna z reaktorem małej mocy firmy Rolls-Royce, albo jedna z technologii amerykańskich? Należy bowiem pamiętać, że w 2017 r. reaktor AP1000 uzyskał licencję w Wielkiej Brytanii po przeprowadzeniu trwającego dziesięć lat procesu Generic Design Assessment.

Jednak opcja z wyborem reaktora AP1000 wydaje się trudna, gdyż Stany Zjednoczone od lat nie wyeksportowały ani jednego reaktora AP1000. Z drugiej strony, od kilku lat widoczne starania Amerykanów o powrót do światowej energetyki jądrowej, do rywalizacji o prymat globalny po okresie bolesnych porażek. Grzęznące

w kosztach i opóźnieniach nieliczne inwestycje w USA i Europie mają wiele przyczyn. Ich analiza jest trudna, ale wiadomo że największa klęska biznesowa, ze stratą przekraczającą dziesięć miliardów dolarów została poniesiona w USA po porzuceniu budowy dwóch reaktorów AP1000 w elektrowni V.C. Summer w Południowej Karolinie. Po bankructwie Westinghouse w USA zatrzymano budowle wszystkich czterech reaktorów AP1000, a w sierpniu 2020 r. ogłoszono decyzję o pilnej wyprzedaży zgromadzonych części do budowy dwóch reaktorów AP1000 w elektrowni V.C. Summer. Decyzja ta dowodzi, że Amerykanie u siebie nie planują rozwoju reaktorów AP1000 i zakończą przygodę z tą technologią kosztując niezwykle kosztowną i opóźnioną o wiele lat budowle dwóch reaktorów AP1000 w elektrowni Vogtle. Reaktory te dołączają do jedynych obecnie działających czterech AP1000 w Chinach. Podobnie małą flotę ma francuski projekt EPR. Dwa reaktory pracują w Chinach, a cztery od lat budowane są we Francji, Wielkiej Brytanii i Finlandii. Obecnie nikt nigdzie na świecie nie planuje uruchomienia nowej inwestycji, z którymś z tych reaktorów.

Widac, że silne programy, chiński mający za sobą światowe doświadczenie budowy kilkudziesięciu reaktorów i rosyjski z portfelem zamówień na budowle ponad dwudziestu reaktorów - odnoszą sukcesy. Podobnie było w przeszłości, gdy Francja w latach 1974-1989 wybudowała ponad czterdzieści reaktorów energetycznych dużej mocy. Obecnie, w czasach epidemii COVID-19 zarówno USA, jak i Francja doskonale rozumieją, że zdobycie zamówienia na budowle co najmniej dwudziestu reaktorów zdecyduje

o globalnym sukcesie lub porażce odpowiednio reaktorów AP1000 i EPR. Nasz program jest spory. Jednak jeśli byłby jedynym zamówieniem z sześcioma reaktorami to byłoby zbyt małe, aby zbudować konkurencyjny łańcuch dostaw i zminimalizować ryzyko techniczne do akceptowalnego rozmiaru.

Jednak jeszcze kilka lat temu, bo w 2013 r. obraz globalnej energetyki jądrowej był inny i kreślone były inne strategie. Rosja nie była tak silna, Chiny nie miały swojego Hualong One, a w USA sukcesem nazwano umowę, w której Chiny miały zostać globalnym dostawcą dla budowy gdziekolwiek na świecie reaktorów AP1000. Dlaczego nikt wówczas nie widział, że taka umowa oddaje Chinom rynek energetyki jądrowej? Jednak umowa ta nigdy nie rozkręciła się. Nikt nigdzie na świecie nie rozpoczął budowy choć jednego reaktora AP1000 na chińskich częściach. Szybko bowiem okazało się, że umowa ta Chinom była potrzebna do zablokowania rozwoju AP1000, do zrobienia miejsca na globalnym rynku dla ich reaktora Hualong One.

Wydaje się, że błędna polityka USA i Francji osłabiła szanse na zbudowanie dużego portfela zamówień na budowle reaktorów AP1000 i EPR. Tym niemniej, administracja prezydenta Donalda Trumpa chcąc powrócić do światowej energetyki jądrowej czyniła znaczne wysiłki, aby zdobyć zamówienia na budowle ponad dwudziestu reaktorów AP1000. W Arabii Saudyjskiej widac, że perspektywę na budowle nawet dziesięciu reaktorów AP1000. Wiosną 2019 r. USA podpisały wstępny umowę z Indiami na budowle sześciu reaktorów AP1000. Jednak działania te poniosły fiasko. Współpracę z Saudami latem 2019 r. zablokował Kongres ar-

gumentując to kwestiami bezpieczeństwa USA. Natomiast Indie odmówiły zawarcia wiążącej umowy w lutym 2020 r., stawiając na rozwój własnych technologii reaktorów ciężkowodnych.

Porażka AP1000 wynika też z przyczyn technicznych i organizacyjnych, z błędów przy wdrożeniu projektu z dużym ładunkiem innowacyjnym. Obecnie widac, że decyzja o niemal równoczesnym uruchomieniu budowy ośmiu reaktorów, po cztery w Chinach i w USA była błędna. Wszystkie te budowle w istotny sposób cierpiały z powodu opóźnień w rozwiązywaniu problemów technicznych. Co więcej, na początku 2019 r. doszło do awarii pompy cyrkulacyjnej w chińskiej elektrowni, co spowodowało wyłączenie jednego reaktora AP1000 na niemal cały rok. Ujawniony niedawno sposób naprawy poprzez skanibalizowanie pompy wyszabrowanej z V.C. Summer¹ przypominał wszystkie wątpliwości związane z ich niezawodnością. Naprawa trwała tak długo, gdyż istotą projektu AP1000 są pompy nie wymagające serwisu przez 60 lat pracy. Dzięki temu można było zrezygnować z wielu kosztownych zaworów bezpieczeństwa, uproszczyć projekt. Komunikaty po naprawie AP1000 w Sanmen zarówno z USA, jak i z Chin nie wzbudziły żadnych zastrzeżeń natury ogólnej. Dopiero ujawniona w sierpniu 2020 lista wyprzedaży z V.C. Summer dała dowód, że naprawy AP1000 w chińskiej elektrowni Sanmen dokonano poprzez skanibalizowanie jednej z pomp z porzuconej budowy w USA. Co więcej, umowa ta pokazuje, że jedną z pomp w kwietniu 2020 r. kupili inwestorzy elektrowni Vogtle w USA. Bez wątpliwości zakup zapasowej pompy wskazuje na spore wątpliwości odnośnie ich niezawodności.

¹ Pompę tą sprowadzono do Chin na początku 2019 r., a umowę pomiędzy Santee Cooper i Westinghouse'em o wyprzedaż części do AP1000 z V.C. Summer, ogłoszono w dniu 31 sierpnia 2020 r., stąd termin wyszabrowana użyty tu w sensie publicystycznym jest usprawiedliwiony. Treść umowy: Santee Cooper, Westinghouse finalize settlement; Santee Cooper to begin equipment sales immediately

www.santeecooper.com/news/2020/083120-Santee-Cooper-Westinghouse-finalize-settlement.aspx AGREEMENT FOR SALE OF PROJECT EQUIPMENT

www.santeecooper.com/About/Increasing-Value/_pdfs/Agreement-for-Sale-of-Project-Equipment.pdf

UWAGA: strony www.santeecooper.com w Polsce są blokowane, ale blokada jest słaba. Dokumenty można pobrać wykorzystując przeglądarkę z VPN, co daje na przykład darmowa przeglądarka OPERA

Należy jednak podkreślić, że pompy w reaktorach AP1000 mają jedynie pośredni wpływ na bezpieczeństwo, gdyż ich awaria jedynie uruchamia pasywne systemy bezpieczeństwa, co prowadzi do wyłączenia reaktora i jego bezpiecznego wychłodzenia. Ich niezawodność jest jednak zasadniczym warunkiem użyteczności gospodarczej tych reaktorów.

Przełóżając raport Jean-Martin Folz'a z jesieni 2019 r. widoczne już na wstępie autor wymienia kilkanaście poważnych błędów, które doprowadziły do klęski biznesowej inwestycji we Flamanville i choćby na tej podstawie można sądzić, że szanse na zbudowanie dużego rynku nabywców francuskich reaktorów EPR są jeszcze mniejsze niż dla reaktora AP1000. Projekt ten wymagałby gruntownej rewizji, uproszczenia i trudno oczekiwać, aby Francja podjęła ten wysiłek wiedząc, że pracą też wykonali już Chińczycy tworząc projekt reaktora Hualong One.

Nawet najbardziej skróty przegląd obecnie dostępnych reaktorów dużej mocy mógłby być nieco szerszy, ale Korea Południowa ogłosiła parę lat temu plan odchodzenia od atomu. Japonia po katastrofie w Fukushima nie uruchomiła ani jednego reaktora wrzącego, a plan budowy reaktorów

ciężkowodnych w Rumunii jest ledwie co zarysowany.

Podsumowując, należy bardzo sceptycznie ocenić szanse sukcesu budowy w Polsce sześciu reaktorów AP1000 lub EPR, a wątpliwość tę potwierdza fakt, że nikt, nigdzie nie kreśli obecnie realnych planów budowy tych reaktorów, co oczywiście może się zmienić.

Niedawne decyzje w USA wskazują na silną determinację powrotu do gry o prymat w światowej energetyce jądrowej. Pierwsza elektrownia NuScale ma zostać uruchomiona w Idaho w 2030 r. i obecnie widoczne wartości zbadano możliwości realizacji naszych planów z wykorzystaniem tej technologii. Bez żadnej wątpliwości i Amerykanie inwestują w projekt NuScale. Firma FLUOR (główny udziałowiec firmy NuScale Power) zaangażowała w projekt NuScale w ciągu ostatnich lat ponad pół mld dolarów, a administracja rządowa wsparła go grantami o łącznej wartości ponad trzystu mln dolarów. W ostatnich tygodniach projekt ten pokonał zasadniczy próg na drodze do uzyskania pozwolenia na budowę uzyskując licencję. W połowie października administracja rządowa zaakceptowała 1,4 mld dolarów wsparcia na budowę pierwszej elektrowni NuScale w Idaho. U.S. International

Development Finance Corporation (DFC), czyli instytucja finansowa mająca za zadanie wspierać amerykańskie inwestycje zagraniczne, w tym w energetyce jądrowej podpisała list intencyjny w sprawie zbadania zasadności i możliwości budowy kilku elektrowni NuScale o łącznej mocy 2500 MW w Republice Południowej Afryki. Projekt NuScale buduje swoją przewagę konkurencyjną na modularności wyposażając każdy reaktor w indywidualną obudowę bezpieczeństwa. To unikalne rozwiązanie wśród reaktorów lekkowodnych pozwala umieścić dwanaście reaktorów małej mocy we wspólnym basenie, stworzyć jeden blok energetyczny o mocy 720 MW. W USA inne projekty lekkowodnych reaktorów małej mocy takie jak BWRX-300, czy Holtek-160 są znacznie mniej zaawansowane, są opóźnione w stosunku do NuScale o pięć lat i kosztują nawet dziesięć lat pracy z budżetem pomiędzy pół mld i mld dolarów. Właściciele tych projektów są obecnie na etapie gromadzenia funduszy na przeprowadzenie prac wstępnych i szukają ich między innymi w Polsce.

Przewaga konkurencyjna lekkowodnych reaktorów dużej mocy wynika z efektu skali. Ich największą słabością jest trudność w zbudowaniu



dużego rynku nabywców, co obecnie udało się Rosji i zapewne wkrótce osiągną to Chiny. Budowa pojedynczych reaktorów dużej mocy jest droga. Po pierwsze, ze względu na unikalny charakter każdej inwestycji, konieczność zmierzenia się z problemami technicznymi i organizacyjnymi typowymi dla budowy prototypów. Doświadczenie sprzed kilkunastu lat przy uruchamianiu budowy AP1000 w Vogtle, czy EPR w fińskim Olkilotto - są niemal całkowicie nieprzydatne dla każdej budowy, która ma ruszyć za kilka lat. Inwestycje takie muszą też ponosić duże koszty jednostkowe wyprodukowania pojedynczych, ciężkich elementów. Kompetencje w tym obszarze są jedynie w Japonii, Korei Południowej, Chinach, Rosji i możliwe że wciąż jeszcze we Francji.

Przewaga konkurencyjna lekkowodnych reaktorów małej mocy wynika zarówno z dużej wiższszego rynku wytwórców wszystkich elementów oraz dużej wiższych możliwości pozyskania rynku nabywców na kilkadziesiąt i wiżcej identycznych reaktorów. Najbliższe próby wdrożenia tej koncepcji pokażą, czy zdobędzie rynek.

Wydaje się, że w USA ewentualna porażka modularnej koncepcji zamknie drogę rozwoju energetyki jądrowej z reaktorami lekkowodnymi, co prowadziłoby do osłabienia USA. Dlatego też w USA równocześnie uruchomiono znaczne fundusze w dwóch dużych programach rozwoju zaawansowanych reaktorów jądrowych w innych technologiach niż lekkowodne. We wrześniu 2020 r. podjęto „Critical Decision 1” w sprawie budowy uniwersalnego testowego reaktora na neutrony prędkie (reaktora VTR). Uruchomiona w 2021 r. finansowanie projektu w wysokości niemal trzystu mln dolarów. Natomiast w październiku 2020 r. uruchomiono wieloletni program budowy reaktorów demonstracyjnych o wartości niemal czterech mld dolarów, wydając decyzje wspierające prace wstępne nad dwoma projektami



fot. unsplash.com

i każdy z nich uzyskał po osiemdziesiąt mln dolarów wsparcia. To wszystko dzieje się, gdy już w marcu 2020 regulator (czyli NRC) rozpoczął licencjonowanie reaktora Oklo. Mimo niewielkiej mocy jedynie kilku megawatów reaktor ten ma olbrzymi potencjał technologiczny, który tkwi w innowacyjnym wykorzystaniu rurek ciepła. Prace nad nowymi technologiami prowadzone są też w innych krajach, w tym w Wielkiej Brytanii, Kanadzie, Francji i gdy osiągną odpowiednią dojrzałość, to też warto będzie im się bliżej przyjrzeć.

W USA łączna wartość deklarowanego wieloletniego wsparcia dla budowy pierwszej elektrowni NuScale w Idaho, budowy reaktora testowego VTR, budowy reaktorów demonstracyjnych przekracza pięć pół mld dolarów. Realizacja zaplanowanych działań, zdywersyfikowanych w kilku programach, z zaangażowaniem wielu firm prowadzi do powstania masy krytycznej mogącej pokonać wiele dotychczas nierozwiązywalnych problemów. Jak widać, żadne z tych działań nie jest jednak zogniskowane na ulepszaniu i promowaniu reaktorów AP1000, a w naszych planach ostatni z serii reaktorów mamy uruchomić dopiero po 2040 r.

Podsumowując, dla obecnie podejmowanych decyzji inwestycyjnych rosyjskie reaktory WWER-1200 i chińskie Hualong One niosą ze sobą najmniejsze ryzyka techniczne i biznesowe. Oba projekty dynamicznie

rozwijają się. Rosyjski WWER-12000 ma duży portfel zamówień i sprawdzone łańcuchy dostaw, za chińskim Hualong One stoi doświadczenie Chin wynikające ze zbudowania w ostatnich latach kilkudziesięciu reaktorów. Oczywiście analizując użyteczność tych projektów w Polsce, należy wziąć pod uwagę zagrożenia geostrategiczne, a te są bardzo duże.

Utrzymanie w mocy naszych planów nuklearnych w niedawno znowelizowanym Programie Polskiej Energetyki Jądrowej jest możliwe z wykorzystaniem technologii francuskich lub amerykańskich, ale wymaga znacznego wysiłku w najbliższych kilku latach. Obecnie oferty z Francji i USA zniechęcają do podjęcia wiążących decyzji, choćby dlatego, że portfele zamówień na budowę nowych reaktorów EPR i AP1000 od lat są puste, a dotychczasowe doświadczenia z budowy tych reaktorów w Europie i USA są negatywne. Natomiast nowe projekty, jak NuScale są mało dojrzałe, ale rozwijają się dynamicznie i ich status może się dość szybko zmienić. Modularność budowy bloków energetycznych z reaktorami małej mocy zapewnia długą serię zamówień już dla programu takiego jak nasz, czyli o wymiarze kilku gigawatów, co daje szansę na odniesienie sukcesu biznesowego i obecnie warto rozważyć taką opcję realizacji naszych planów. □