

KOSZT NOWEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ WE FRANCJI

The cost of new nuclear in France

Didier Beutier, Michel Berthelémy,
Jean-Guy Devezeaux de Lavergne, Jacques David,
Nicole Dello, Valérie Faudon i Boris Le Ngoc

Streszczenie: Francuskie Stowarzyszenie Energii Nuklearnej (SFEN) przedstawia wizję rozwoju programu energetyki jądrowej we Francji do 2050 r. w oparciu o reaktory III generacji. Zachodzące zmiany polegać będą na zastępowaniu istniejących bloków przez reaktory EPR. Przy jego realizacji będzie wykorzystane doświadczenie z obecnie budowanych i uruchamianych bloków EPR na świecie (Finlandia, Francja i Chiny) co pozwoli to na redukcję kosztów inwestycyjnych.

Abstract: The French Nuclear Society presents the main points of nuclear program in France until 2050 based on III generation reactors. The development will be based on replacement of existing reactors by new EPR reactors. During the implementation of the program the experience gained in the recent construction and putting into operation of such blocks in the world (e.g. in Finland, France and China) will be used, which would lead to reduction of investment cost.

Słowa kluczowe: SFEN, III generacja reaktorów jądrowych, EPR, Francja

Keywords: SFEN, III generation of nuclear reactors, EPR, France

Zagwarantowanie opcji jądrowej do roku 2050

Poprzez przyjęcie w czerwcu 2017 r. Planu Zmiany Klimatu (Plan Climat) Francja postawiła sobie za cel osiągnięcie neutralności emisji gazów cieplarnianych w 2050 r. Obecnie Francja opiera się na atomie i źródłach odnawialnych wytwarzających niskoemisyjną energię elektryczną, jako najbardziej konkurencyjnych źródeł w Europie.

Francja jest zdecydowana na dywersyfikację swego mixu energetycznego etapami, chociaż nie są one jeszcze dokładnie określone poprzez: charakterystykę zapotrzebowania, czynniki techniczne i ekonomiczne zależne od technologii (energia odnawialna, przechowywanie energii, inteligentne sieci), jak również strategię energetyczną jej europejskich sąsiadów oraz rozwijające się systemy połączeń energetycznych.

W krótkim okresie, utrzymanie w eksploatacji istniejących reaktorów jądrowych (program modernizacji) zapewni Francji niskoemisyjną produkcję energii elektrycznej, produkowanej lokalnie i/lub po konkurencyjnych cenach.

W dalszej perspektywie, w latach od 2030 do 2050, Francja oczekuje stopniowego zastępowania części istniejących elektrowni jądrowych przez nowe źródła energii. Mimo że oczekiwany jest postęp techniczny i ekonomiczny, pozostają określone niepewności dotyczące możliwości realizacji, niezawodności i kosztów, a także specyficznych ograniczeń systemu, który silnie, a może wyłącznie, polega na dostarczanej z przerwami odnawialnej energii połączonej z jej magazynowaniem, wykorzystaniem biogazu i paliw kopalnych w połączeniu z wychwytem i przechowywaniem dwutlenku węgla.

Biorąc pod uwagę niepewności i pilną potrzebę znacznej globalnej redukcji emisji dwutlenku węgla (CO₂) Międzynarodowa Agencja Energii (IEA)¹ stwierdziła, że energia jądrowa jest niezastąpiona, i uzupełniająca przy rozwoju odnawialnych źródeł energii dla zapewnienia mixu energetycznego wolnego od CO₂. Wszystko to, z wielkim prawdopodobieństwem dotyczy Francji, która stanowi światowy przykład wykorzystania doświadczeń przemysłowych w tej technologii.

W celu uniknięcia znaczącego ryzyka w odniesieniu do klimatu (dalsza eksploatacja lub budowa nowych elektrowni na paliwa kopalne powodująca zwiększoną emisję CO₂) i ekonomii (zwiększone koszty produkcji energii elektrycznej) Francja musi rozważyć opcję zastępowania w części jej elektrowni jądrowych starych reaktorów przez reaktory trzeciej generacji typu EPR.

W ostatnich latach konstrukcja pierwszego reaktora trzeciej generacji napotykała pewne trudności. Jednakowoż ważne jest, by nie pozwolić, by początkowe przekroczenia budżetu przesłoniły dwie ważne kwestie. Pierwsza, że trudności zostały przezwyciężone i pierwszy reaktor EPR zostanie podłączony do sieci w ciągu kilku następnych miesięcy. Druga ważniejsza, że projekty te spowodowały przywrócenie do życia francuskiego i europejskiego przemysłu dostaw jądrowych, który obecnie jest gotowy do budowy nowych jednostek. Sektor jądrowy, jako trzeci sektor przemysłowy we Francji liczy 2 500 przedsiębiorstw oraz 220 000 wysokokwalifikowanych pracowników i może cieszyć się z osiągniętego sukcesu.

1. Pierwszy reaktor trzeciej generacji napotkał wyzwania związane z nowym projektem. Francja je pokonała i obecnie odtworzyła łańcuch dostaw gotowych do budowy nowych reaktorów typu EPR

Dokonany przegląd pierwszego budowanego w serii (First-Of-A-Kind – FOAK) reaktora trzeciej generacji pokazał, że został przekroczony początkowy budżet.

Sytuacja ta jest powszechna w odniesieniu do dużych skomplikowanych systemów, a jako przykład można wskazać budowę tunelu pod kanałem La Manche, którego ostateczny budżet dwukrotnie przekroczył pierwotne przewidywania. Liczne studia wskazują na występowanie 'optymistycznych skłonności'² w przewidywaniu kosztów przed rozpoczęciem budowy. Studia te zwracają również uwagę na występowanie fazy 'szybkiego uczenia się' przy realizacji następnych projektów³.

Można wskazać zasadnicze różnice pomiędzy reaktorami trzeciej generacji w krajach, które:

- budują seryjnie reaktory, ponieważ rozwijają program jądrowy (Chiny) lub zastępują stare reaktory nowymi (Rosja). Naprawdę warto zauważyć, że pierwszy uruchomiony reaktor trzeciej generacji był w Rosji, a pierwszy EPR zostanie uruchomiony w EJ Taishan w Chinach.
- wstrzymały budowę reaktorów (Francja, Finlandia, Stany Zjednoczone). Kraje te obciążone są podwójną niekorzystną sytuacją, zarówno przez niepewność związaną z budową pierwszego reaktora w serii (FOAK), jak i koniecznością podniesienia wymagań w swoim łańcuchu dostaw związanym z wymaganiami przez reaktory III generacji.

Po pokonaniu tych problemów, pierwsze bloki są obecnie w fazie uruchamiania, i Francja po raz kolejny posiada łańcuch dostaw gotowy do budowy nowych reaktorów (duże elementy, doświadczenie, zdolności techniczne, wyposażenie przemysłu, możliwości badawcze). Istnieje ryzyko, że powrót do tych inwestycji zostanie utracony, jeśli Francja jeszcze raz wstrzyma budowę nowych reaktorów.

2. Koszty budowy stanowią główny składnik kosztów ogólnych. Koszty te mogą być kontrolowane, pod warunkiem, że Francja przystąpi do programu przemysłowego

Koszt reaktora jądrowego jest w znacznej mierze zdominowany przez koszty inwestycyjne w fazie budowy, która w zależności od stopy oprocentowania stanowi od 50 do 75% ogólnych kosztów produkcji energii elektrycznej w całym okresie eksploatacji obiektu.

Dokonany przegląd pierwszego programu francuskiego i w innych krajach jasno wskazuje, że koszt budowy może być obniżony. Wymaga to rozwoju programu przemysłowego, który generuje ekonomiczny efekt serii i uwzględnia doświadczenia z poprzednich konstrukcji, a także z ostatnio wprowadzonych innowacji.

Korzyść ekonomiczna przy budowie seryjnej

Ekonomiczny efekt serii odnosi się do faktu, że średnie koszty inwestycyjne dla serii standardowych

urządzeń są mniejsze niż pojedynczy element tego samego typu, zaprojektowany i wyprodukowany osobno.

Wymaga to na początku systemowej decyzji o budowie par reaktorów w tej samej lokalizacji, której korzyści wynikają z kombinacji kilku czynników:

- **czynnik 'programowy'**: przygotowania i kwalifikacje będą dotyczyły większej liczby obiektów.
- **czynnik 'produkcyjny'**: dostawca uzyskuje efekt, gdy wytwarza serię identycznych urządzeń, co znajduje odzwierciedlenie w cenie tych urządzeń.
- **czynnik 'kroku'**: zamówiona liczba urządzeń powinna zapewnić ciągłą dostawę minimalnej liczby urządzeń dla wszystkich uczestników procesu produkcyjnego, od przygotowania projektu do wytworzenia, co może być osiągnięte poprzez prawidłowe zarządzanie kosztami projektu, odpowiednim czasem złożenia zamówienia i samym wdrożeniem procesu produkcyjnego.

Wykorzystywanie doświadczeń i ostatnio wprowadzonych innowacji

- **Ulepszenia projektu**: wykorzystanie doświadczeń uzyskanych w EJ Olkiluoto 3 (Finlandia) i EJ Flamanville 3 (Francja) okazało się korzystne dla projektu Taishan 1 & 2 (Chiny). Proces optymalizacji projektowania reaktora EPR przyjęty w 2015 r. przyczynił się również do uproszczenia projektu, wprowadzenia ulepszeń w konstrukcji i produkcji urządzeń na skalę przemysłową.
- **Wykorzystanie najnowszych metod i technik**: szereg wprowadzonych innowacji polepszyło właściwości eksploatacyjne. Jako przykład można podać zastosowanie wzmocnionego betonu, modułowej konstrukcji wybranych elementów obiektu i wykorzystanie metod inżynierskich polepszenia przepływu informacji pomiędzy różnymi instytucjami zaangażowanymi w projekt.
- **Rewitalizacja europejskiego łańcucha dostaw**: przemysł jądrowy wymaga odpowiedniego poziomu jakości, czystości materiałów odporności na promieniowanie, długotrwałego użytkowania itp. Całościowy europejski łańcuch dostaw⁴ wymagał zakwalifikowania do poziomu „jądrowej jakości” przy dostawach dla reaktorów EPR w EJ Olkiluoto 3 i Flamanville 3. Przyszłe projekty skorzystają z odbudowy tego łańcucha dostaw, który przyczyni się do redukcji kosztów.

Połączenie tych działań będzie prowadzić do ulepszenia projektu i jego zarządzania, a to jest zasadniczym elementem wydajności ekonomicznej.

Oczekiwane jest uzyskanie wielu korzyści:

- Oszczędności czasowe dla projektanta
- Zredukowanie kosztów budowy
- Zredukowanie wydatków finansowych związanych z opodatkowaniem w całym czasie budowy (będzie krótszy)
- Wcześniejsze rozpoczęcie produkcji energii elektrycznej (co powoduje zasadniczy wzrost wartości projektu).

3. Projekt finansowania i oczekiwany zwrot kosztów inwestycyjnych mają zasadniczy wpływ na koszt projektu. Kluczową rolę do jej odegrania ma tu państwo. Francja może się uczyć na dyskusjach prowadzonych w Wielkiej Brytanii

Prywatni inwestorzy oczekują zwrotu kosztów inwestycji w projektach jądrowych na poziomie od 9 do 10% zgodnie z warunkami WACC. Ponadto, do ryzyka związanego z samym projektem, stopy procentowe odzwierciedlają ryzyko rynkowe (zmiany średnich kosztów energii elektrycznej), ryzyko polityczne (zakwestionowanie projektu przy zmianie rządu) i ryzyko odniesione do zmian w wymaganiach dozoru, które z dużym prawdopodobieństwem spowodują wzrost kosztów projektu i czas jego realizacji.

Zainteresowanie państwa projektem energetyki jądrowej wynika z dwóch czynników, musi zapewnić bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej i zredukować emisje CO₂. W świetle tych dwóch wymagań nowe elektrownie jądrowe zarówno z tymi już istniejącymi, reprezentują strategiczną strukturę, która pomoże w zapewnieniu dostaw energii elektrycznej i dostarczy niskoemisyjnej energii. Państwo może odegrać zasadniczą rolę w 'usuwaniu' ryzyka realizacji projektu lub w poszerzaniu kręgów interesariuszy ponoszących ryzyko.

W odniesieniu do tego ostatniego punktu możliwe są różne podejścia:

- **Redukcja ryzyka rynkowego:** średnia cena kilowatogodziny na hurtowym rynku europejskim hurtowym, została obniżona o połowę w ostatniej dekadzie. Wielu posiadaczy akcji jest niezadowolonych z obecnych warunków rynkowych, które nie faworyzują niskoemisyjnych źródeł energii i wzywają o większą przejrzystość inwestycji. Mechanizm kontraktu różnicowego zastosowany w Wielkiej Brytanii jest atrakcyjny dla inwestorów, gdyż gwarantuje zwrot poniesionych kosztów dla źródeł odnawialnych i energetyki jądrowej w oparciu o dostarczoną energię.
- **Rozłożenie ryzyka bardziej równomiernie wśród interesariuszy:** ostatnio opublikowany raport Narodowego Biura Rozrachunkowego Wielkiej Brytanii⁶ zwraca uwagę na silną zależność cen energii elektrycznej od stopy zwrotu kapitału dla projektu, który jest bezpośrednio powiązany z umowami kontraktowymi pomiędzy prywatnym inwestorem (wysoka stopa zwrotu), dostawcami (wysoki dochód) i państwem (niski zwrot spowodowany długim okresem i niskim ryzykiem zwrotu poprzez inwestycje w wielu dużych projektach). Na przykład koszt jednej kilowatogodziny z elektrowni Hinckley Point C (Wielka Brytania) wzrasta dwukrotnie, jeśli stopa oprocentowania zmienia się z 3 do 10% (wartości zbliżonej do kosztów kapitałowych EDF dla tego projektu).

REKOMENDACJE: dokonanie przeglądu łańcucha dostaw i mechanizmów finansowania w celu redukcji kosztów dla trzeciej generacji reaktorów

Koszt elektrowni z reaktorem trzeciej generacji oparty jest na dwóch czynnikach: kosztach inwestycyjnych i finansowaniu. Stowarzyszenie SFEN oszacowało, że istotne oszczędności w stosunku do pierwszego projektu są możliwe w wysokości 30% w kosztach inwestycyjnych przy budowie seryjnego obiektu i wykorzystaniu doświadczeń i do 50% w kosztach finansowania, szczególnie na etapie organizacji procesu budowy.

Istnieje szereg realizowanych projektów, dla których możliwa jest realizacja większości tych oszczędności i zapewnienie, że trzecia generacja reaktorów jądrowych jest jednym z najbardziej konkurencyjnych źródeł energii. To może oznaczać koszt na dolnej granicy kosztu dla elektrowni gazowo-parowych z opłatami za emisję CO₂ (w zakresie 20-30 EUR/tCO₂).

Państwo na tu swoje zadania do wykonania

Stowarzyszenie SFEN sugeruje zaangażowanie instytucji publicznych w dokonanie przeglądu łańcucha dostaw i mechanizmów finansowania w celu redukcji kosztów trzeciej generacji reaktorów jądrowych. Kluczowym czynnikiem jest optymalne ustalenie podziału ról między instytucjami publicznymi i firmami przemysłowymi zaangażowanymi w realizację projektu. Obowiązek ten spada na państwo, które gwarantuje narodowy strategiczny interes, by zapewnić podstawowe dostawy energii elektrycznej bez zanieczyszczania atmosfery dwutlenkiem węgla, dostawy które są elastyczne, konkurencyjne i przewidywalne aż do 2050 r.

Harmonogram czasowy

Taki przegląd powinien być dokonany niezwłocznie przed 2020 r., aby spełnić warunki budowy pierwszych dwóch reaktorów uruchamianych ok. 2030 r. Te pierwsze dwa reaktory będą częścią przemysłowego programu dla serii reaktorów typu EPR, dla których uzyskane doświadczenia będą wpływały na projektowane przynajmniej trzech elektrowni z dwoma reaktorami.

Oczekiwane korzyści

Wykorzystanie programu przemysłowego podejścia zapewni całość łańcucha dostaw od dużych, średnich i małych przedsiębiorstw, z perspektywą i harmonogramem wymaganym dla inwestycji w linie produkcyjne i zdobywanie kompetencji. A w konsekwencji zapewni również czerpania korzyści z serii produkcyjnej rozpoczętej przy pierwszej budowie.

Ten program przemysłowy pozwoli Francji na zachowanie opcji jądrowej jako otwartej, dokonanie redukcji emisji dwutlenku węgla w swojej ekonomii i odnowienia swego miksu energetycznego do 2050 r.

Konsekwencje nie podjęcia żadnych działań

Bez podjęcia tych działań, Francja utraci kontrolę nad strategicznymi urządzeniami w swoich reaktorach, dla których oparcie się na dostawach z zagranicy (z Chin lub Rosji) będzie stanowiło poważny ekonomiczny i geopolityczny problem i bez wątpienia trwałą utratę technologicznej i energetycznej suwerenności.

*tłumaczył z języka angielskiego
dr inż. Andrzej Mikulski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa*