

Koszty i terminy budowy elektrowni jądrowych realizowanych przez potencjalnych dostawców technologii jądrowej dla Polski

W ostatnich miesiącach coraz częściej poruszonym tematem na polskiej scenie politycznej jest energetyka jądrowa. Ta zwiększona popularność koncepcji Polskiego Programu Jądrowego wprost wynika z potrzeby wdrożenia tego typu energii do polskiego miksu energetycznego w celu pełnej dekarbonizacji polskiej energetyki i tym samym osiągnięcia celów klimatycznych przyjętych w ramach Europejskiego Zielonego Ładu. Wzrost popularności „atomu” przejawia się przede wszystkim zwiększoną częstotliwością wypowiedzi polityków oraz ekspertów, jak również

„
W wyścigu o budowę pierwszej polskiej elektrowni jądrowej można już wyróżnić trzech głównych kandydatów – amerykańską firmę Westinghouse oferującą reaktor AP1000, koreańską firmę KEPCO oferującą reaktor APR1400 oraz francuską firmę EDF oferującą reaktor EPR.

działaniami promocyjnymi potencjalnych dostawców technologii jądrowej do Polski. Co oczywiste, wybór odpowiedniego dostawcy jest kluczowy dla terminowego i mieszczącego się w kosztach wdrożenia energetyki jądrowej w Polsce. W wyścigu o budowę pierwszej polskiej elektrowni jądrowej można już wyróżnić trzech głównych kandydatów – amerykańską firmę Westinghouse oferującą reaktor AP1000, koreańską firmę KEPCO oferującą reaktor APR1400 oraz francuską firmę EDF oferującą reaktor EPR.

Najważniejszym pytaniem związanym z wdrożeniem energetyki jądrowej w Polsce jest to dotyczące całkowitych kosztów oraz czasu budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Przewidywalność w obu wspomnianych obszarach jest uzależniona od szeregu zmiennych,

a koszty oraz terminy przedstawione w publikacji bazują na danych publicznie udostępnionych przez inwestorów oraz na doniesieniach medialnych. Pewne trendy mogą być jednak zidentyfikowane na podstawie dotychczasowych doświadczeń dostawców technologii, co również zostało ujęte w poniższej w publikacji.

Przedstawiona analiza ma na celu porównanie doświadczenia potencjalnych dostawców technologii jądrowej, w odniesieniu przede wszystkim do kosztów i terminu budowy elektrowni. Poniższa analiza, bazując na obu wymienionych kryteriach oceny, może posłużyć do wskazania optymalnej technologii dla polskiego programu jądrowego. Niemniej każdy projekt jądrowy jest skomplikowany i uzależniony od szeregu indywidualnych potrzeb zamawiającego. W związku z brakiem publicznie dostępnych informacji o dokładnych wymaganiach strony Polskiej oraz brakiem szczegółów przedstawionych Warszawie wstępnych ofert, poniższa analiza opiera się na ogólnie dostępnych danych i nie powinna być traktowana jako formalna ocena ofert poszczególnych producentów.

Koszty budowy

Szczegółowy kosztorys budowy elektrowni jądrowych jest objęty tajemnicą inwestora, zatem składowe koszty poszczególnych etapów jej budowy nie są znane. W związku z tym, w analizie zostały uwzględnione informacje ze źródeł otwartych: pierwotnie planowane koszty budowy elektrowni (podawane do opinii publicznej przed rozpoczęciem budowy), koszty obecnie przewidywane (zrewidowane w czasie koszty pierwotnie planowane dla elektrowni w trakcie budowy) oraz koszty rzeczywiste (koszty faktycznie poniesione na budowę elektrowni do czasu jej komercyjnego uruchomienia). W przypadku porzucenia budowy pokazano koszty poniesione do momentu jej przerwania. Warto zwrócić uwagę, że koszty budowy często dotyczą całości budowy elektrowni, a nie tylko budowy poszczególnych jej bloków. Dla ułatwienia interpretacji otrzymanych danych koszty zostały przeliczone na milion USD na MW_{el} mocy zainstalowanej netto. Dane dotyczące kosztów budowy bloków AP1000, APR1400 i EPR zostały przedstawione w Tabeli 1.

LP	Kraj	Typ reaktora	Elektrownia	Koszty pierwotnie planowane [mld USD]	Koszty rzeczywiste [mld USD]	Moc [MW _{el.net}]	Koszty pierwotnie planowane [mld USD / MW _{el.net}]	Koszty rzeczywiste [mld USD / MW _{el.net}]	Koszty rzeczywiste / Koszty pierwotnie planowane
1	Chiny	AP1000	Sanmen-1	5.84	7.30	2314	2.52	3.15	1.25
2	Chiny	AP1000	Sanmen-2						
3	Chiny	AP1000	Haiyang-1	Brak danych	Wzrost o 1.50	2340	Brak danych	Brak danych	Brak danych
4	Chiny	AP1000	Haiyang-2						
5	USA	AP1000	Vogtle-3	14.30	26.00*	2234	6.40	11.64*	1.82*
6	USA	AP1000	Vogtle-4						
7	USA	AP1000	Summer-2	9.80	25.00**	2234	4.39	ND	2.55*
8	USA	AP1000	Summer-3						
9	Korea	APR1400	Shin-Kori-3	4.89	6.46	2832	1.73	2.28	1.32
10	Korea	APR1400	Shin-Kori-4						
11	Korea	APR1400	Shin-Kori-5	7.58	8.80*	2680	2.83	3.28*	1.16*
12	Korea	APR1400	Shin-Kori-6						
13	Korea	APR1400	Shin-Hanul-1	6.26	7.60*	2680	2.34	2.84*	1.21*
14	Korea	APR1400	Shin-Hanul-2						
15	UAE	APR1400	Barakah-1	24.40	24.40*	5380	4.54	4.54*	1.00*
16	UAE	APR1400	Barakah-2						
17	UAE	APR1400	Barakah-3						
18	UAE	APR1400	Barakah-4						
19	Finlandia	EPR	Olkiluoto-3	3.55	9.40*	1600	2.22	5.88*	2.65*
20	Francja	EPR	Flamanville-3	3.60	13.60*	1650	2.18	8.24*	3.78*
21	Chiny	EPR	Taishan-1	7.50	9.10	3320	2.26	2.74	1.21
22	Chiny	EPR	Taishan-2						
23	UK	EPR	Hinkley Point C-1	30.60	31.30*	3260	9.39	9.60*	1.02*
24	UK	EPR	Hinkley Point C-2						

Tab 1. Koszty budowy reaktorów jądrowych danego typu (*Koszty obecnie przewidywane; **Koszty poniesione do czasu porzucenia budowy).

Terminarz budowy

Etapy budowy elektrowni jądrowej determinowane są przez szereg kamieni milowych. Jako datę rzeczywistego rozpoczęcia budowy uznaje się zwykle wylanie pierwszego betonu pod fundament budynku reaktora, a jako datę zakończenia – rozpoczęcie komercyjnej produkcji energii elektrycznej po uprzednim podłączeniu do systemu elektroenergetycznego. Obie te daty zostały uwzględnione w analizie jako początek i koniec budowy bloku jądrowego. Pośrednie kamienie milowe, nie uwzględnione w analizie dotyczą: montażu kluczowych

elementów elektrowni, fizycznego zakończenia budowy, zimnych i gorących testów rozruchowych, pierwszej krytyczności oraz pierwszego podłączenia do sieci. Dodatkowo analiza uwzględnia planowany pierwotny termin oddania do komercyjnej eksploatacji bloku jądrowego, na podstawie którego zostały obliczone opóźnienia w harmonogramie budowy. Jeśli został podany tylko planowany rok uruchomienia bloku jądrowego przyjmuje się, że realne uruchomienie nastąpi w jego połowie. Dane dotyczące terminarza budowy bloków AP1000, APR1400 i EPR zostały przedstawione w Tabeli 2.

LP	Kraj	Elektrownia	Typ reaktora	Rozpoczęcie budowy	Planowany termin komercyjnej eksploatacji	Rzeczywisty termin komercyjnej eksploatacji	Rzeczywisty czas budowy [lata]	Planowany czas budowy [lata]	Opóźnienie [lata]
1	Chiny	Sanmen-1	AP1000	19.04.2009	01.08.2013	21.09.2018	9.4	4.3	5.1
2	Chiny	Sanmen-2	AP1000	15.12.2009	01.06.2014	05.11.2018	8.9	4.5	4.4
3	Chiny	Haiyang-1	AP1000	24.09.2009	01.05.2014	22.10.2018	9.1	4.6	4.5
4	Chiny	Haiyang-2	AP1000	20.06.2010	01.03.2015	09.01.2019	8.6	4.7	3.9
5	USA	Vogtle-3	AP1000	12.03.2013	01.07.2016	01.07.2022*	9.3**	3.3	6.0
6	USA	Vogtle-4	AP1000	19.11.2013	01.07.2017	01.06.2023*	9.5**	3.6	5.9
7	USA	Summer-2	AP1000	11.03.2013	01.07.2017	31.07.2017***	4.4****	4.3	ND
8	USA	Summer-3	AP1000	06.11.2013	01.07.2018	31.07.2017***	3.7****	4.7	ND
9	Korea	Shin-Kori-3	APR1400	16.11.2008	01.12.2013	20.12.2016	8.1	5.0	3.1
10	Korea	Shin-Kori-4	APR1400	19.08.2009	01.09.2014	29.08.2019	10.0	5.0	5.0
11	Korea	Shin-Kori-5	APR1400	01.04.2017	01.03.2022	01.03.2023*	5.9**	4.9	1.0
12	Korea	Shin-Kori-6	APR1400	20.09.2018	01.03.2023	01.06.2024*	5.7**	4.4	1.3
13	Korea	Shin-Hanul-1	APR1400	10.07.2012	01.04.2017	01.12.2022*	10.4**	4.7	5.7
14	Korea	Shin-Hanul-2	APR1400	19.06.2013	01.02.2018	01.12.2023*	10.5**	4.6	5.8
15	UAE	Barakah-1	APR1400	19.07.2012	01.07.2018	06.02.2021	8.6	6.0	2.6
16	UAE	Barakah-2	APR1400	16.04.2013	01.07.2019	01.12.2021*	8.6**	6.2	2.4
17	UAE	Barakah-3	APR1400	24.09.2014	01.07.2019	01.07.2022*	7.8**	4.8	3.0
18	UAE	Barakah-4	APR1400	30.07.2015	01.07.2020	01.07.2022*	6.9**	4.9	2.0
19	Finlandia	Olkiluoto-3	EPR	12.08.2005	01.07.2009	01.02.2022*	16.5**	3.9	12.6
20	Francja	Flamanville-3	EPR	03.12.2007	01.07.2013	01.07.2023*	15.6**	5.6	10
21	Chiny	Taishan-1	EPR	18.11.2009	01.07.2013	13.12.2018	9.1	3.6	5.5
22	Chiny	Taishan-2	EPR	15.04.2010	01.07.2015	07.09.2019	9.4	5.2	4.2
23	UK	Hinkley Point C-1	EPR	11.12.2018	01.12.2025	01.06.2026*	7.5**	7.0	0.5
24	UK	Hinkley Point C-2	EPR	12.12.2019	01.07.2026	01.06.2027*	7.5**	6.6	0.9

Tab 2. Terminarz budowy reaktorów danego typu (*Przewidywany obecnie termin komercyjnej eksploatacji;

** Przewidywany obecnie czas budowy; ***Termin przerwania budowy; ****Czas budowy do jej przerwania).

Stany Zjednoczone Ameryki

Amerykańska firma Westinghouse, oferująca Polsce reaktor AP1000 o mocy netto między 1117-1170 MW_{el,net}, zakończyła pomyślnie budowę czterech bloków jądrowych w chińskich elektrowniach Sanmen (dwa bloki) oraz Haiyang (dwa bloki). W Stanach Zjednoczonych buduje ona dwa bloki elektrowni Vogtle, a budowa kolejnych dwóch bloków w elektrowni Summer została na chwilę obecną porzucona.

Średnie opóźnienie projektów Westinghouse w Chinach wyniosło około 4.5 roku, przy wzroście kosztów o około 25 proc., porównując z kosztami pierwotnie planowanymi. Koszty budowy elektrowni Haiyang nie są znane, ale można uznać, że są porównywalne z kosztami budowy elektrowni Sanmen ze względu na ich bliźniaczy charakter. Terminarz budowy reaktorów AP1000 w Chinach pokazuje, iż opóźnienia w oddaniu do komercyjnej eksploatacji poszczególnych bloków maleją proporcjonalnie do ilości kolejno podłączonych bloków. Świadczy to o wykorzystaniu doświadczenia z poprzednich budów w pracach prowadzonych przy kolejnych blokach jądrowych.

Budowa dwóch bloków jądrowych w amerykańskiej elektrowni Vogtle jest obecnie opóźniona o około 6 lat, a jej koszty wzrosły o około 82 procent. Co ciekawe, pierwotny czas budowy dla obu bloków zakładany był na poziomie 3.5 roku, co w poprzednich jak i obecnych warunkach rynkowych wydaje się wysoce optymistyczne. Tak krótki założony czas budowy mógł wynikać z opóźnień w oczekiwaniu na ostateczne pozwolenie na budowę, którego wydanie przeciągało się ze względu na nowe standardy bezpieczeństwa, zdefiniowane po awarii w japońskiej elektrowni Fukushima. Z drugiej strony, planowany czas budowy dla pozostałych reaktorów AP1000 wynosił niewiele więcej (około 4.5 roku), co również wydaje się nierealistycznym, nieosiągalnym terminem.

W tym miejscu warto również wspomnieć o budowie dwóch bloków jądrowych w elektrowni Summer w Karolinie Południowej. Budowa została porzucona przez inwestora po 4.5 roku oraz przewidywanym 2.5-krotnym wzroście kosztów całkowitych inwestycji. W 2017 r. elektrownia była ukończona w około 40 proc., a koszty budowy wyniosły około 9 mld dolarów i były bliskie całkowitym planowanym kosztom inwestycji. Fiasko projektu Summer doprowadziło Westinghouse do licznych problemów finansowych, ostatecznie skutkujących wymuszoną restrukturyzacją firmy.

Korea Południowa

Koreańska firma KEPCO jest dostawcą technologii reaktora APR1400 o mocy netto 1340-1418 MW_{el,net}. Obecnie oddane do eksploatacji zostały trzy bloki typu APR1400 – dwa w koreańskiej elektrowni Shin-Kori i jeden w elektrowni Barakah w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. W Korei Południowej trwa dodatkowo budowa kolejnych czterech bloków – dwóch we wspomnianej już elektrowni Shin-Kori i dwóch w elektrowni Shin-Hanul. W Zjednoczonych Emiratach Arabskich kontynuowana jest budowa pozostałych trzech bloków elektrowni Barakah.

Oddanie do eksploatacji dwóch pierwszych, komercyjnych reaktorów APR1400 w elektrowni Shin-Kori (bloki 3 i 4), było opóźnione odpowiednio 3 i 5 lat, a wzrost kosztów wyniósł ostatecznie około 30 procent. Dalsza rozbudowa elektrowni o jednostki 5 i 6 wykazuje około roczne opóźnienie i 16 proc. wzrost kosztów. W przypadku budowy dwóch nowych bloków w elektrowni Shin-Hanul to jest ona opóźniona o około 6 lat i wykazuje 20 proc. wzrost kosztów. Powód opóźnienia budowy jest związany z ogłoszonym w 2017 r. przez rząd Korei ograniczaniem mocy jądrowych a przez to fizycznym wstrzymaniem budowy elektrowni, której dokończenie w chwili obecnej nadal pozostaje niepewne. Należy jednak zaznaczyć, że budowa pierwszego komercyjnego reaktora APR1400 (Shin-Kori 3) charakteryzowała się najmniejszym opóźnieniem, ale za to największym wzrostem kosztów budowy. Warto również zauważyć, że budowa bloków Shin-Kori 5 i 6 wykazuje jak na razie najmniejszy wzrost kosztów i najmniejsze opóźnienia, jednak bloki te są nadal w budowie i ostatecznie liczby te mogą ulec zmianie.

Flagowym, a zarazem jedynym projektem eksportowym Koreańskiego KEPCO jest budowa czterech bloków jądrowych w elektrowni Barakah w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Pierwszy blok tejże elektrowni został oddany do komercyjnej eksploatacji w kwietniu 2021 roku. Jego budowa była opóźniona o około 2.5 roku, ale ostatecznie nie został wykazany żaden wzrost kosztów budowy elektrowni. Najprawdopodobniej wynika to z prawidłowego oszacowania kosztów budowy elektrowni jeszcze na wstępnym etapie projektowym. Warto zaznaczyć, że planowane koszty budowy w Zjednoczonych Emiratach Arabskich są około 2 razy większe niż planowane koszty budowy podobnych obiektów w Korei, co tłumaczyć może wykazany brak zmiany kosztów. Kolejne trzy bloki elektrowni Barakah mają być sukcesywnie oddawane do eksploatacji do końca 2022 roku. Jeśli kosztorys jak i terminarz

projektu pozostanie bez znaczących zmian, projekt Barakah będzie świadczył o pełnej dojrzałości przemysłu Koreańskiego do eksportu technologii jądrowych.

Francja

Francuska firma EDF jest oferentem technologii reaktora EPR o mocy netto 1600-1650 MW_{el,net}. Dwa bloki jądrowe z reaktorami EPR zostały już oddane do użytku w Chińskiej elektrowni Taishan. Kolejne bloki są w budowie w Finlandii – jeden blok w elektrowni Olkiluoto, we Francji – jeden blok w elektrowni Flamanville oraz w Wielkiej Brytanii – dwa bloki w elektrowni Hinkley Point C.

Budowa pierwszego bloku jądrowego z reaktorem EPR rozpoczęła się w 2006 roku w fińskiej elektrowni Olkiluoto. Blok ten, po trwającej już prawie 15 lat budowie, pierwotnie planowanej na jedynie 4 lata, dalej nie został ukończony, a jego koszty wzrosły już do około 250 procent. Jeśli przewidywany termin uruchomienia bloku zostanie dotrzymany (2022 r.), to opóźnienie w jego oddaniu do eksploatacji i tak wyniesie prawie 13 lat. Problemy konstrukcyjne związane z elektrownią wynikają głównie z braku doświadczenia francuskiej firmy Areva (wówczas odpowiedzialnej za budowę) w prowadzeniu tak dużych inwestycji infrastrukturalnych. Dodatkowo reaktor EPR w Olkiluoto był pierwszym reaktorem typu EPR, a tym samym technologia jego budowy nie była jeszcze w pełni opracowana i sprawdzona w praktyce. Kolejnym powodem opóźnienia była niewystarczająca jakość komponentów elektrowni wykonywanych przez różnych poddostawców. Należy zaznaczyć, że kluczową rolę w wykrywaniu nieścisłości w projekcie, jak i na budowie elektrowni wiedzie fiński urząd dozoru jądrowego STUK, uważny za jedną z najbardziej restrykcyjnych instytucji tego typu na świecie.

Budowa kolejnego reaktora EPR, tym razem we francuskiej elektrowni Flamanville rozpoczęła się w 2007 roku. Przy zachowaniu obecnie zakładanego terminu oddania jej do eksploatacji (2023 r.) będzie ona opóźniona o około 10 lat przy prawie 4-krotnym wzroście pierwotnie zakładanych kosztów budowy. Opóźnienia i wzrost kosztów są spowodowane podobnymi problemami jak w przypadku elektrowni Olkiluoto w Finlandii.

Kolejne dwa reaktory EPR budowane są obecnie w Wielkiej Brytanii w elektrowni Hinkley Point C. Budowa rozpoczęta w 2018 r., wykazuje obecnie niespełna roczne opóźnienie i 2 proc. wzrost kosztów, co tłumaczone jest dynamicznie zmieniającymi się wymogami sanitarnymi związanymi z pandemią COVID-19. Interesującym wydaje się fakt wskazania planowanego terminu zakończenia budowy elektrowni na około 7 lat od momentu

rozpoczęcia jej budowy, co jest terminem dłuższym o około 2 lata w porównaniu z planowanymi terminami ukończenia dla pierwszych realizowanych w tej technologii reaktorów EPR, ale również terminem bardziej realnym.

Francuski EDF oddał ponadto do komercyjnej eksploatacji dwa reaktory EPR w Chińskiej elektrowni Taishan. Wzrost kosztów chińskiej inwestycji ocenia się na około 20 proc., a opóźnienia wyniosły odpowiednio około 5.5 roku dla bloku pierwszego i 4.5 roku dla bloku drugiego.

Implikacje z polskim programem jądrowym

Zgodnie z zapowiedziami polityków, koszty polskiego programu jądrowego ocenia się na między 80-150 mld zł (ok. 21-40 mld USD). W jego ramach ma zostać wybudowanych sześć reaktorów jądrowych o mocy netto pomiędzy 6-9 $\text{GW}_{\text{el,net}}$. Zgodnie z polskim programem energetyki jądrowej optymalna moc zainstalowana netto ma wynosić 7.7 $\text{GW}_{\text{el,net}}$ w 2045 roku i 10 $\text{GW}_{\text{el,net}}$ w 2050 roku. Budowa pierwszego bloku elektrowni jądrowej ma rozpocząć się w 2026 roku, a jej oddanie do eksploatacji ma nastąpić w 2033 roku. Kolejne bloki mają być oddawane co 2-3 lata. Planowany czas budowy jednego bloku został oszacowany na 7 lat.

Rozpatrując zgodność kryteriów budowy sześciu bloków jądrowych, najbliższej osiągnięcia optymalnej mocy zainstalowanej 7.7 $\text{GW}_{\text{el,net}}$ w 2045 roku jest opcja budowy reaktorów AP1000 lub reaktorów APR1400. Pierwszy wariant związany jest z niedoborem mocy o około 680 $\text{MW}_{\text{el,net}}$, a drugi z nadmiarem o około 810 $\text{MW}_{\text{el,net}}$. Budowa sześciu bloków EPR związana byłaby z nadmiarem mocy na poziomie 2200 $\text{MW}_{\text{el,net}}$, choć to właśnie ta oferta jest zgodna z planowaną optymalną mocą zainstalowaną do 2050 roku, wynoszącą odpowiednio około 10 $\text{GW}_{\text{el,net}}$.

W analizie kosztów zostały uwzględnione minimalne jak i maksymalne planowane oraz rzeczywiste koszty budowy na $\text{MW}_{\text{el,net}}$, oszacowane dla dotychczasowych budów bloków jądrowych danego typu. Na podstawie tych kosztów został wyliczony całkowity koszt budowy sześciu bloków jądrowych o maksymalnej mocy netto, zgodnej ze specyfikacjami reaktorów, w mld USD, co zostało pokazane w Tabeli 3. Ogólna analiza pokazuje więc, że dotychczas najbardziej ekonomiczna była budowa reaktorów APR1400, a najdroższa reaktorów serii EPR. W przypadku reaktora APR1400 od KEPCO, planowana przez Polskę kwota jest wystarczająca na budowę wszystkich planowanych bloków jądrowych. W przypadku amerykańskiego reaktora AP1000 zakładana kwota może nie być wystarczająca

ze względu na prawdopodobny, znaczący wzrost kosztów rzeczywistych budowy. Rozpatrując minimalne planowane oraz minimalne rzeczywiste koszty budowy reaktorów, podana przez polskich polityków suma jest wystarczająca do wdrożenia wszystkich omawianych powyżej technologii. Rozpatrując maksymalne planowane oraz maksymalne rzeczywiste koszty budowy, jedynym dostawcą mieszczącym się w podanej kwocie jest koreański KEPCO. Należy przy tym zwrócić uwagę, że podane widełki kosztów dotyczą projektów w krajach skrajnie różniących się kosztami budowy np. Chiny i Wielka Brytania. Z powyższego można wywnioskować więc, że oferty budowy reaktorów w Polsce będą zawierać się pomiędzy przedstawionymi minimalnymi i maksymalnymi kosztami budowy.

Analizując terminy budowy oddanych już do użytku bloków jądrowych przez wszystkich rozpatrywanych dostawców, najmniejszym średnim opóźnieniem charakteryzuje się kolejno budowa reaktorów APR1400 (3.6 lat), AP1000 (4.5 lat) i EPR (4.8 lat). Co ciekawe, czas budowy jednego reaktora niezależnie od przyjętej technologii wynosi około 9 lat, co stanowi o dwa lata więcej niż założono w Polskim Programie Energetyki Jądrowej.

Typ reaktora	Całkowita moc zainstalowana [MW _{el,net}]	Jednostka	Koszty planowane		Koszty rzeczywiste	
			Minimalne	Maksymalne	Minimalne	Maksymalne
AP1000	7020	[mln USD/MW _{el,net}]	2.52	6.40	3.15	11.64*
		[mld USD]	17.69	44.93	22.11	81.71
APR1400	8508	[mln USD/MW _{el,net}]	1.73	4.54	2.28	4.54*
		[mld USD]	14.72	38.63	19.40	38.63
EPR	9900	[mln USD/MW _{el,net}]	2.21	9.39	2.74	9.60*
		[mld USD]	21.88	92.96	27.13	95.04

Tab 3. Oszacowane koszty budowy sześciu reaktorów danego typu (*koszty rzeczywiste przewidywane obecnie dla bloków w budowie).

Wnioski i rekomendacje

1. Wszystkie projekty jądrowe, zarówno te obecnie prowadzone lub te już ukończone charakteryzują się kilkuletnimi opóźnieniami w oddaniu do eksploatacji, co wskazuje, że planowane terminy zakończenia budowy elektrowni podawane przez dostawców technologii były zbyt krótkie.

2. Najmniejsze opóźnienie (2.6 roku) wśród uruchomionych do tej pory bloków jądrowych, zostało odnotowane dla bloku AP1400 wybudowanego przez koreańskie KEPCO w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, a największe (5.5 roku) dla bloku EPR wybudowanego przez francuski EDF w Chińskiej elektrowni Taishan-1.

3. Koszty wszystkich rozpatrywanych projektów jądrowych, z wyjątkiem inwestycji KEPCO w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, zostały przekroczone. Tym samym potencjalny inwestor powinien ująć w kosztorysie budowy elektrowni potencjalne ryzyko wzrostu kosztów.

4. Największy wzrost kosztów budowy nowych bloków jądrowych odnotowano dla budowy dwóch francuskich bloków EPR odpowiednio w elektrowni Olkiluoto w Finlandii (wzrost prawie trzykrotny) i Flamanville w Francji (wzrost prawie czterokrotny) oraz dwóch amerykańskich bloków AP1000 w elektrowni Vogtle w USA (wzrost prawie dwukrotny).

5. Dostawcy technologii z USA i Francji do tej pory nie ukończyli projektów budowy reaktorów jądrowych w swoich rodzimych krajach co wynika z serii problemów logistycznych, niedoszacowaniu kosztów budowy oraz poważnego zakłóceń łańcucha dostaw. Obaj dostawcy ukończyli budowę elektrowni jądrowych w Chinach, w których logistyka projektu jest ułatwiona. Koreański dostawca KEPCO jako jedyny uruchomił dwa nowe bloki w rodzimej elektrowni Shin-Kori.

6. Pod względem kosztów budowy, terminarza jak i optymalnej mocy zainstalowanej, oferta koreańskiego KEPCO wydaje się być najbardziej korzystna dla Polski. Należy również zauważyć, że budowa kolejnych reaktorów jądrowych w Korei została ograniczona decyzją tamtejszego rządu, co dodatkowo wpływa na chęć Koreańczyków do udziału w polskim programie jądrowym. Obecnie szukają oni nowych rynków zbytu dla swojej technologii, dlatego budowa sześciu bloków jądrowych w Polsce może zostać potraktowana przez KEPCO jak i rząd Korei Południowej priorytetowo.

7. Amerykański Westinghouse pod względem harmonogramu niewiele ustępuje Koreańczykom, choć rzeczywiste koszty budowy reaktorów mogą znacznie wykraczać poza planowane koszty polskiego programu jądrowego. Amerykanie również szukają nowych rynków zbytu dla swojej technologii, dlatego budowa reaktorów jądrowych przez amerykańską firmę w Europie może stanowić poważny argument dla administracji prezydenta Joe Bidena za odrodzeniem energetyki jądrowej jak i całego przemysłu jądrowego w USA. Zaangażowanie firmy Westinghouse jest również widoczne poprzez

otwarcie biura w Warszawie jako i nowego centrum usług w Krakowie, co świadczy o poważnym podejściu do potencjalnego projektu jądrowego w Polsce.

8. Francuski reaktor EPR jest najdroższym systemem jądrowym potencjalnie rozpatrywanym przez Polskę. Co więcej, podpisanie wstępnej umowy przez EDF z Indiami na budowę sześciu bloków EPR oraz ewentualna decyzja rządu francuskiego o budowie kolejnych sześciu bloków EPR we Francji, może negatywnie wpłynąć na potencjalną ich budowę w Polsce. W przypadku realizacji obu projektów istnieje ryzyko, że polskiej inwestycji nie zostanie nadany właściwy priorytet. Kolejną otwartą kwestią pozostaje to, czy firma EDF jest w stanie udźwignąć logistycznie tak dużą ilość projektów jądrowych w tym samym czasie.

9. Zalecane jest obserwowanie dotychczasowych budów kolejnych reaktorów z serii AP1000, APR1400 i EPR, szczególnie tych w elektrowniach Vogtle, Barakah oraz Hinkley Point C. Śledzenie postępów budowlanych w tych lokalizacjach pozwoli na lepsze oszacowanie wydajności dostawców technologii w krajach innych niż Chiny.

10. Zaleca się również porównanie technologii i procesów budowy reaktorów tego samego typu co te oferowane Polsce, z reaktorami dotychczas budowanymi w innych krajach w celu identyfikacji potencjalnych źródeł wzrostu kosztów i wydłużenia harmonogramu. Przykładem takich potencjalnych problemów mogą być np. inne standardy bezpieczeństwa, kontrola jakości procesu budowy oraz proces certyfikacji takiego obiektu przez odpowiednie organy. Ponadto dostawca rozpatrywanej technologii powinien zostać zobowiązany do wskazania przyczyny opóźnień i wzrostów kosztów dla innych realizowanych uprzednio projektów jądrowych. Wskazanie ewentualnych planowanych środków zaradczych również powinno zostać uwzględnione w końcowych ofertach poszczególnych producentów, celem uniknięcia omawianych w powyższej analizie przekroczeń kosztorysowych oraz opóźnień czasowych.

Autor: dr inż. Mikołaj Oettingen, Research Fellow w Programie Gospodarka i Energetyka Fundacji im. Kazimierza Pułaskiego.

Fundacja im. Kazimierza Pułaskiego jest niezależnym think tankiem specjalizującym się w polityce zagranicznej i bezpieczeństwie międzynarodowym. Głównym obszarem aktywności Fundacji Pułaskiego jest dostarczanie analiz opisujących i wyjaśniających wydarzenia międzynarodowe, identyfikujących trendy w środowisku międzynarodowym oraz zawierających implementowalne rekomendacje i rozwiązania dla decydentów rządowych i sektora prywatnego. Fundacja w swoich badaniach koncentruje się głównie na dwóch obszarach geograficznych: transatlantyckim oraz Rosji i przestrzeni postsowieckiej. Przedmiotem zainteresowania 10 Obrona strategiczna NATO w warunkach hybrydowej zimnej wojny www.pulaski.pl | facebook.com/FundacjaPulaskiego | twitter.com/FundPulaskiego Fundacji są przede wszystkim bezpieczeństwo, zarówno w rozumieniu tradycyjnym jak i w jego pozamilitarnych wymiarach, a także przemiany polityczne oraz procesy ekonomiczne i społeczne mogące mieć konsekwencje dla Polski i Unii Europejskiej. Fundacja Pułaskiego skupia ponad 60 ekspertów i jest wydawcą analiz w formatach: „Stanowiska Pułaskiego”, „Komentarza Międzynarodowego Pułaskiego” oraz „Raportu Pułaskiego”. Eksperti Fundacji regularnie współpracują z mediami. Fundacja przyznaje nagrodę „Rycerz Wolności” dla wybitnych postaci, które przyczyniają się do promocji wartości przyświecających generałowi Kazimierzowi Pułaskiemu tj. wolności, sprawiedliwości oraz demokracji. Do dziś nagrodą uhonorowani zostali m. in.: profesor Władysław Bartoszewski, profesor Norman Davies, Aleksander Milinkiewicz, prezydent Lech Wałęsa, prezydent Aleksander Kwaśniewski, prezydent Valdas Adamkus, Javier Solana, Bernard Kouchner, Richard Lugar, prezydent Vaira Vīķe-Freiberga, prezydent Mikheil Saakashvili, Radek Sikorski i Carl Bildt oraz prezydent Toomas Hendrik Ilves. Fundacja im. Kazimierza Pułaskiego jest także organizatorem dorocznej konferencji Warsaw Security Forum, będącej platformą dialogu o polityce bezpieczeństwa pomiędzy Unią Europejską, NATO i Rosją. Fundacja im. Kazimierza Pułaskiego jest laureatem nagrody “Think Tank Awards 2017” w kategorii „Best EU International Affairs think tank” przyznawaną przez brytyjski magazyn “Prospect”. Fundacja Pułaskiego posiada status organizacji partnerskiej Rady Europy.

www.pulaski.pl