



**Od wizji do realizacji: renesans
jądrowy w obliczu kosztów
opóźnień i zakłóconych
łańcuchów dostaw**

Cytowanie: Juszczak, A., Żelisko, W. (2025), *Od wizji do realizacji: renesans jądrowy w obliczu kosztów opóźnień i zakłóconych łańcuchów dostaw*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

Warszawa, grudzień 2025 r.

Autorzy: Adam Juszczak, Wojciech Żelisko

Współpraca: Michał Smoleń

Redakcja merytoryczna: Paweł Śliwowski

Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska

Projekt graficzny: Anna Olczak

Skład i łamanie: Tomasz Gałązka

Polski Instytut Ekonomiczny

Al. Jerozolimskie 87

02-001 Warszawa

© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-68256-18-5

Spis treści

Kluczowe liczby	4
Kluczowe wnioski	5
Wykaz skrótów	7
Wprowadzenie	8
Wybrane bariery budowy bloków jądrowych	11
Dostawa komponentów krytycznych	11
Kadry	15
Pozyskanie kapitału i model finansowania elektrowni ..	16
Poparcie społeczne i polityczne	17
Koszty opóźnień w projektach jądrowych	18
Podsumowanie	21
Aneks 1. Metodologia obliczeń	23
Aneks 2. Koszty i powody opóźnień wybranych inwestycji jądrowych	26
Bibliografia	30
Spis wykresów i tabel	34

Kluczowe liczby

99-231 mln PLN

wynosi dodatkowy koszt kapitału w przypadku opóźnienia budowy jednego bloku jądrowego o miesiąc na późnych etapach inwestycji (w zależności od oprocentowania)

281-378 mln PLN

stanowi utracona korzyść z tytułu niewyprodukowanej energii elektrycznej przez jeden blok jądrowy w przypadku miesięcznego opóźnienia w realizacji inwestycji

do 60 mln PLN miesięcznie

mogą sięgać pozostałe koszty opóźnień dla jednego bloku jądrowego (wynagrodzenia, utrzymanie budowy, amortyzacja sprowadzonych i niezainstalowanych urządzeń)

90 proc.

kosztu opóźnienia stanowią koszt pożyczonego kapitału i strata z powodu niewyprodukowanej energii elektrycznej

6 lat i 4 miesiące

wynosi mediana czasu między rozpoczęciem budowy a uruchomieniem bloku jądrowego dla 89 bloków wybudowanych na świecie w latach 2010-2025

9,5 roku

wynosi mediana czasu między rozpoczęciem budowy a uruchomieniem bloku jądrowego dla 41 bloków wybudowanych w latach 2010-2025 w krajach innych niż Chiny

417 reaktorów

o łącznej mocy **377 GW** funkcjonuje obecnie na świecie (z wyłączeniem reaktorów badawczych)

2-5 razy

przekroczyły szacunki z początku budowy końcowe koszty bloków jądrowych FOAK (*First of a Kind*) w technologiach zachodnich (EPR, AP1000)

Kluczowe wnioski

- **Renesans energetyki jądrowej, rozumiany jako zwiększenie liczby prowadzonych na świecie projektów jądrowych, będzie ograniczony przez szereg czynników.** Do najważniejszych z nich można zaliczyć zdolność producentów krytycznych komponentów do pokrycia zapotrzebowania na nie oraz otoczenie polityczno-społeczne, ekonomiczne i kadrowe. Czynniki te utrudnią realizację celu z konferencji klimatycznej COP28 w 2023 r. w Dubaju dot. potrojenia globalnych mocy jądrowych do 2050 r. (do 1200 GW) (www1).
- **Możliwości Polski w zakresie pozyskania najbardziej krytycznych komponentów do budowy elektrowni jądrowej są zmniejszone przez nałożenie się kilku warunków.** Liczba odpowiednio wyspecjalizowanych w ich produkcji przedsiębiorstw jest niewielka, a jeszcze mniej jest zdolnych do współpracy przy bloku jądrowym AP1000 technologii amerykańskiej, który ma powstać w Polsce. Chodzi tutaj zarówno o zdolność do wytwarzania komponentów na potrzeby tego bloku, jak i o pochodzenie dostawców, których lista jest limitowana przez kwestie geopolityczne. Dywersyfikacja łańcucha dostaw przez zwiększenie w nim udziału polskich przedsiębiorstw jest z kolei możliwa tylko częściowo. Z uwagi na brak odpowiednich kompetencji i zgodności z amerykańskim standardem zapewnienia jakości w branży jądrowej ASME NQA1 większość krajowych podmiotów może wziąć udział w zapewnieniu tych mniej krytycznych komponentów i usług (Juszczak, Lipiński, 2024).
- **Na harmonogram i koszty projektu polskiej elektrowni jądrowej wpłyną również bariery niezwiązane z dostawą fizycznych komponentów na jej plac budowy.** Wśród wskazywanych problemów wyróżnia się niedobór wykwalifikowanych kadr w postaci specjalistów jądrowych i przedstawicieli administracji publicznej (np. dozoru jądrowego, w Polsce: PAA), niepotwierdzony model finansowania elektrowni (warunki pozyskania brakujących środków finansowych i kształt kontraktu różnicowego na sprzedaż energii), a także ryzyko polityczne (ponad 40-letnia historia dążenia do powstania atomu w Polsce) (Baker McKenzie, Polityka Insight, 2025).

- **Projekt elektrowni jądrowej w Choczewie jest opóźniony już o 3 lata względem pierwotnego harmonogramu, dlatego uniknięcie błędów popełnionych przy budowie innych obiektów tego typu będzie kluczowe dla przeciwdziałania dalszym opóźnieniom.** Przykłady ostatnio powstałych (Olkiluoto 3, Flamanville 3, Vogtle 3 i 4) czy powstających (Hinkley Point C) elektrowni jądrowych w krajach zachodnich pozwalają sądzić, że tak ogromne projekty infrastrukturalne cierpią na różnego rodzaju zakłócenia harmonogramowe – niedopracowany projekt, konieczność wymiany wadliwie wykonanych komponentów, braki dokumentacyjne czy problematyczną współpracę z podwykonawcami i nadzór nad ich działaniami. Każdy dodatkowy miesiąc opóźnienia ponad wskazane w harmonogramie projektu graniczne terminy skutkuje zwiększonymi kosztami budowy elektrowni i naraża ją na zmniejszenie opłacalności ekonomicznej jeszcze przed jej uruchomieniem.
- **Każdy miesiąc opóźnienia w budowie bloku jądrowego może oznaczać wysokie dodatkowe koszty dla inwestycji – w jej końcowych etapach to kwota od 430 mln PLN do nawet 667 mln PLN.** Największy udział ma utracona korzyść z tytułu niewyprodukowanej energii elektrycznej, spowodowana opóźnieniem w podłączeniu bloku do sieci (nawet do blisko 400 mln PLN) oraz koszt pożyczonego kapitału (między 99 mln PLN a 231 mln PLN, w zależności od oprocentowania). Pozostałe obciążenia, w tym utrzymanie budowy i straty wynikające z przestojów w pracach personelu na budowie, odpowiadają tylko za ok. 10 proc. całości kosztów.

Wykaz skrótów

ASME NQA1 – amerykański standard zapewnienia jakości w przemyśle jądrowym.

AP1000 – technologia budowy elektrowni jądrowej projektu Westinghouse.

COP28 – konferencja klimatyczna ONZ zorganizowana w 2023 r. w Dubaju.

GW – gigawat.

KPEiK – Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu.

OZE – odnawialne źródła energii.

PEJ – Polskie Elektrownie Jądrowe.

PPEJ – Polski Program Energetyki Jądrowej.

PAA – Polska Agencja Atomistyki.

SMR – małe reaktory modułowe.

UE – Unia Europejska.

UDT – Urząd Dozoru Technicznego.

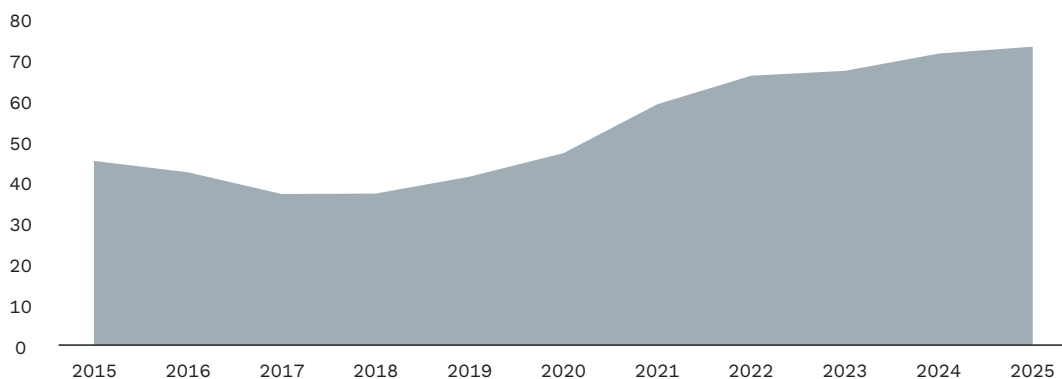
Wprowadzenie

Zainteresowanie energetyką jądrową wzrosło w ostatnich latach do tego stopnia, że mówi się wręcz o jej renesansie i istotnej roli w dążeniu do redukcji światowych emisji gazów cieplarnianych (IEA, 2025a).

Zmiana postrzegania atomu wynika m.in. z krótko- i długoterminowych ograniczeń rozwoju OZE, napięć geopolitycznych i obaw o bezpieczeństwo energetyczne czy samego ogromu wyzwania osiągnięcia neutralności klimatycznej. Dowodem na zwiększone globalne atomowe ambicje jest wspólna deklaracja 31 państw ze

szczytu klimatycznego COP28 w 2023 r. dotycząca potrojenia światowych mocy reaktorów jądrowych do 2050 r. (www1)¹. Duże nadzieje wiąże się również z małymi reaktorami modułowymi (SMR), które mogą umożliwić – szczególnie inwestorom prywatnym – większej skali inwestycje w atom. Polityki klimatyczno-energetyczne, w tym polski KPEiK, także przewidują większą rolę energetyki jądrowej, zwłaszcza w dekarbonizacji sektorów energochłonnych (np. przemysłu ciężkiego) (MKiŚ, 2025).

Wykres 1. Globalne wydatki na inwestycje w energetykę jądrową w latach 2015-2025 (w mld USD 2024)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: IEA (2025b).

¹ Do atomowego sojuszu nie przyłączyły się Chiny i Rosja – liderzy rozwoju energetyki jądrowej – co odzwierciedla geopolityczne podziały, które są przeszkodą w realizacji celu COP28.

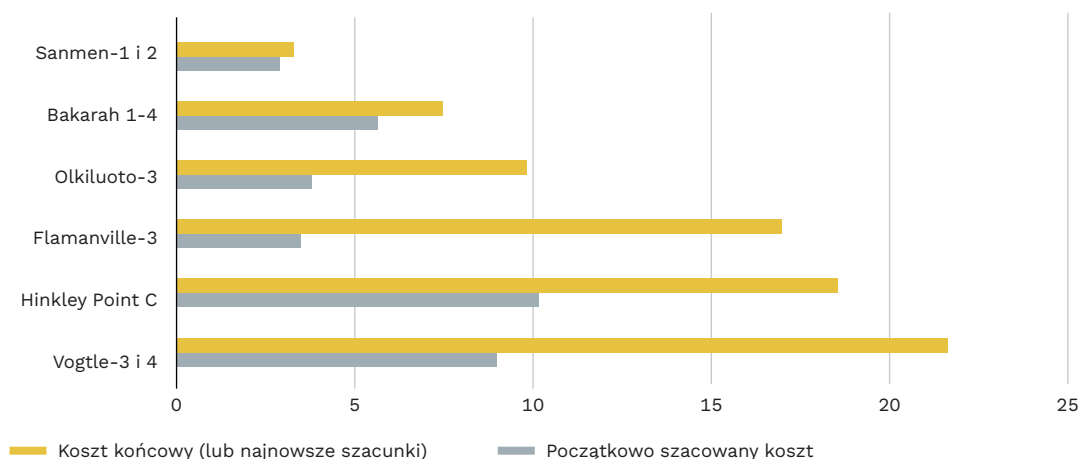
Tak znaczne przyspieszenie rozwoju energetyki jądrowej może być jednak trudne ze względu na tzw. wąskie gardła. Budowa elektrowni jądrowej jest bardzo złożonym przedsięwzięciem, które wymaga wielu rodzajów zasobów, m.in. kadr, środków finansowych czy komponentów specjalistycznych. Równoległe zapotrzebowanie na te zasoby w licznych projektach może skutkować ich niedostatkami i przełożyć się na opóźnienia w procesie budowy elektrowni jądrowej.

Problem czasu i kosztów opóźnień jest najbardziej widoczny na przykładach budowy projektów jądrowych europejskich (francuskiego Flamanville 3 i fińskiego Olkiluoto 3) **i amerykańskich** (Vogtle 3 i 4). Wszystkie z nich przekroczyły pierwotnie zakładany budżet znacznie bardziej niż inwestycje jądrowe prowadzone w innych krajach:

- Flamanville 3: 2,8-5-krotnie (zależnie od metody obliczeń ostatecznej kwoty),
- Olkiluoto 3: 2,5-krotnie,
- Vogtle 3 i 4: 2,2-krotnie.

Dla porównania, chińskie projekty Taishan i Sanmen zrealizowano za kwoty stanowiące kolejno 121 proc. i 125 proc. kosztów początkowych. Z kolei angielskie Hinkley Point C przekroczyło już prognozowany koszt o blisko 80 proc. (jego budowa wciąż trwa).

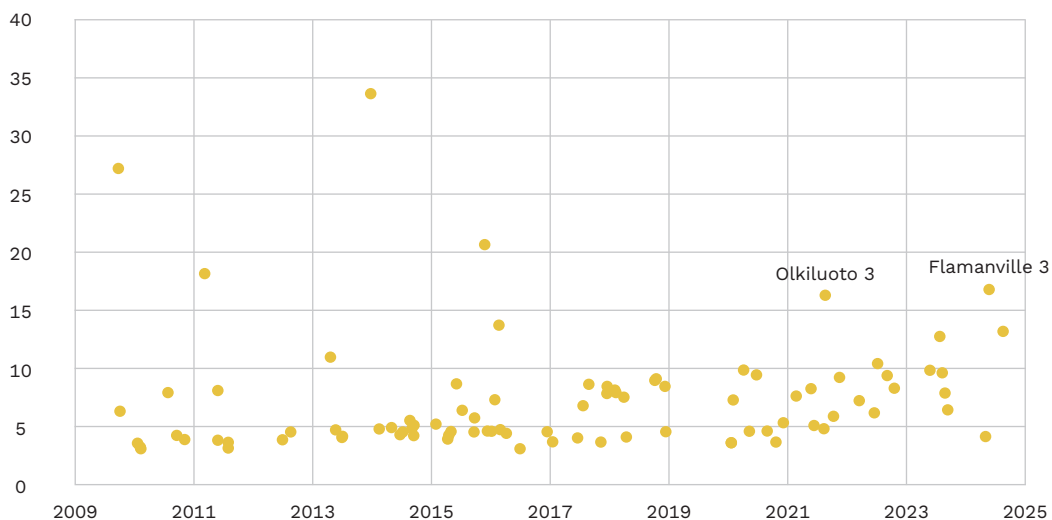
Wykres 2. Początkowo szacowany i końcowy (lub aktualny) koszt budowy wybranych elektrowni jądrowych (w mld USD 2025/GWe)



Uwaga: dane zaktualizowano w przypadku inwestycji, których data zakończenia jest późniejsza niż 2021 r. Koszty budowy elektrowni Hinkley Point C odnoszą się do tych szacowanych obecnie (zakończenie jej budowy planuje się na 2029 r.). Uwzględniono inflację w okresie między momentami szacowania kosztów na początku i na końcu budowy a 2025 r. Koszty w walutach innych niż USD przeliczono po średnim kursie z 2025 r.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie raportów i źródeł prasowych dot. prognozowanych kosztów.

Wykres 3. Czas budowy bloków jądrowych uruchomionych w okresie 2010-2025 (w latach)



Uwaga: czas budowy bloku jądrowego rozumie się jako okres aktywnej budowy w okresie od jej rozpoczęcia do przyłączenia bloku do sieci elektroenergetycznej. W przypadku 4 obiektów (Mochovce-3, Watts Bar-2, Bushehr-1 i Kalinin-4) nie wliczono okresu, w trakcie którego budowę zawieszono z powodów niezwiązanych z samym łańcuchem dostaw (odpowiednio: 25 lat, 22 lata, 18 lat i 16 lat).

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: IAEA PRIS (www2).

Mediana czasu budowy uruchomionych na świecie w latach 2010-2025 89 bloków jądrowych wynosi 76 miesięcy (blisko 6,5 roku). Większość naj-sprawniej przeprowadzonych inwestycji to te chińskie, które istotnie opierały się na dobrze rozwiniętym krajowym łańcuchu dostaw komponentów i usług. **W przypadku pominięcia inwestycji chińskich, mediana czasu budowy obejmuje 41 bloków i zwiększa się do 114 miesięcy (9,5 roku) – blisko dwukrotnie dłużej niż dla projektów chińskich o medianie 67 miesięcy (ponad 5,5 roku).**

Dodatkowym utrudnieniem osiągnięcia ambicji jądrowych jest utrata kompetencji w budowie bloków w krajach zachodnich, szczególnie europejskich. Obecny rozwój energetyki jądrowej opiera się głównie na technologiach rosyjskiej i chińskiej² – aż 48 z 52 bloków budowanych w okresie od początku 2017 r. do początku 2025 r. to projekty tych dwóch państw (23 rosyjskie, 25 chińskich) (www3). Wskazuje to na konieczność odbudowy potencjału jądrowego w UE, USA, Kanadzie i Korei Płd.

Niniejsza publikacja opisuje wąskie gardła rozwoju energetyki jądrowej, które mogą powodować opóźnienia w jej budowie oraz szacuje ich koszt z perspektywy inwestora. Raport zawiera również wnioski z innych projektów jądrowych w krajach europejskich i USA, które mogą być przydatne w kontekście przeciwdziałania opóźnieniom w harmonogramie realizacji polskiego projektu jądrowego w Choczewie.

² Technologia chińska jest adaptacją i rozwinięciem technologii amerykańskiej AP1000.

Wybrane bariery budowy bloków jądrowych

Proces budowy polskiej elektrowni jądrowej jest opóźniony już o 3 lata mimo jego wczesnego etapu. Pierwotny harmonogram z opublikowanego w 2020 r. PPEJ zakładał uruchomienie pierwszego bloku w 2033 r. (MKiŚ, 2020), natomiast zaktualizowany PPEJ z 2025 r. przesunął tę datę na 2036 r. (MP, 2025). Duże projekty infrastrukturalne charakteryzują się opóźnieniami na różnych etapach ich powstawania – od projektowania, poprzez prace budowlane, aż po oddanie do eksploatacji – które wynikają z różnych czynników (www4). W przypadku elektrowni jądrowych można wyróżnić wśród nich przeszkody w dostawie specjalistycznych komponentów na plac budowy i w politycznym, ekonomicznym i społecznym otoczeniu projektu. Polska dopiero zdobywa doświadczenie w zarządzaniu projektami jądrowymi, stąd mogą wystąpić dalsze opóźnienia spowodowane wymienionymi barierami. W tym rozdziale bliżej analizujemy wybrane przeszkody w kontekście ich wpływu na powstanie elektrowni jądrowej w Choczewie.

Dostawa komponentów krytycznych

Pozyskanie komponentów od zagranicznych producentów

Elektrownia jądrowa składa się z tysięcy komponentów, jednak z perspektywy bezpieczeństwa jej eksploatacji niektóre z nich mają szczególnie krytyczne znaczenie. Muszą spełniać surowe wymagania techniczne i jakościowe, które skutkują wysokim kosztem i czasem realizacji produkcji. Liczba potencjalnych dostawców takich komponentów jest ograniczona przez konieczność posiadania odpowiednich kompetencji i zaplecza, w tym specyficznych dla produkcji podzespołów na potrzeby danej technologii bloku (w przypadku Polski AP1000). Budowa pierwszego bloku elektrowni jądrowej w Choczewie, której początek rozumie się jako wylanie tzw. pierwszego betonu jądrowego (*first nuclear concrete*, FNC), ruszy w 2028 r. (MP, 2025). Do tego momentu pozostają 3 lata, zatem już obecnie warto wskazać potencjalne wąskie gardła w łańcuchu dostaw komponentów krytycznych.

Komponenty elektrowni jądrowej można zakwalifikować do czterech głównych grup – wyspy jądrowej, wyspy turbinowej, infrastruktury pomocniczej i infrastruktury budowlanej. Głównym elementem wyspy jądrowej jest reaktor jądrowy, wyspy turbinowej – turbozespół (turbina parowa i generator elektryczny), infrastruktury pomocniczej – urządzenia niezbędne do niezawodnej pracy elektrowni (np. instalacje elektryczne), a infrastruktury budowlanej – konstrukcje, materiały i surowce używane na placu budowy (np. elementy metalowe).

W ramach wymienionych czterech grup wybraliśmy do analizy następujące komponenty:

- zbiornik ciśnieniowy reaktora (*reactor pressure vessel*),
- obudowa bezpieczeństwa (*containment vessel*),
- wytwornica pary (*steam generator*).

Kryteriami wyboru ww. komponentów do analizy były dla nas:

- czas produkcji,
- liczba i pochodzenie producentów,
- wpływ na bezpieczeństwo działania elektrowni jądrowej.

Dla każdego z wybranych komponentów zebraliśmy informacje o ich charakterystyce w drodze przeglądu literatury i stron internetowych właściwych przedsiębiorstw.

Tabela 1. Charakterystyka wybranych komponentów elektrowni jądrowej

Wyszczególnienie	Zbiornik ciśnieniowy reaktora	Obudowa bezpieczeństwa	Wytwornice pary
Opis	pierwsza fizyczna bariera między rdzeniem reaktora a środowiskiem zewnętrznym	druga fizyczna bariera między rdzeniem reaktora a środowiskiem zewnętrznym	wymiennik ciepła między pierwotnym i wtórnym obiegiem wody chłodzącej
Czas dostawy (w latach)	3,5-5	4-5	3,5-5
Główni producenci – kraje zachodnie	Korea Płd. - Doosan Enerbility, Japonia - Japan Steel Works, - Mitsubishi Heavy Industries, Włochy - Westinghouse Mangiarotti, Francja - Framatome, Hiszpania - ENSA	Japonia - IHI Corporation (płaszcz obudowy), USA - CB&I (USA, płaszcz obudowy), - Bechtel (USA, budynek obudowy), Francja i Wlk. Brytania - BYLOR JV (budynek obudowy)	Korea Płd. - Doosan Enerbility, Japonia - Mitsubishi Heavy Industries, USA - BWXT, Włochy - Westinghouse Mangiarotti, Francja - Framatome, Hiszpania - ENSA
Główni producenci – pozostali	Chiny - China First Heavy Industries, - Shanghai Electric, Rosja - AEM-Technologies	Chiny - China National Nuclear Corporation, - China Nuclear Energy Corporation (budynek obudowy), - Shandong Nuclear PEM (płaszcz obudowy)	Chiny - Shanghai Electric, Rosja - AEM-Technologies

Źródło: opracowanie własne PIE.

Nasz przegląd informacji o krytycznych komponentach pokazuje, że liczba przedsiębiorstw, które mogą być dostawcami tych kluczowych dla polskiego projektu jądrowego jest niewielka. Istotne ograniczenie stanowią uwarunkowania geopolityczne i wybrana technologia bloku – komponenty dla elektrowni jądrowej w Choczewie wyprodukują przedsiębiorstwa z krajów sojusznicznych, które posiadają takie zdolności wytwórcze wymagane dla bloku typu amerykańskiego (AP1000). Wraz ze wzrostem planowanych inwestycji jądrowych w tej technologii również w innych krajach, w latach 30. (www5) pojawi się ryzyko wzajemnej konkurencji o pozyskanie tych komponentów i innych zasobów niezbędnych do budowy elektrowni jądrowej (np. kadr). Może to skutkować kolejkami zamówień i wydłużeniem czasu oczekiwania na komponenty krytyczne, w przypadku których opóźnienia dostaw mogą wpłynąć na harmonogram projektu polskiej elektrowni jądrowej. Terminy dostaw komponentów zależą również od dostępności materiałów do ich wytworzenia czy kwestii logistycznych (możliwości transportu na plac budowy).

Pozyskanie komponentów od polskich producentów

Dywersyfikacja dostawców, w tym uczestnictwo polskich przedsiębiorstw, jest możliwa przy dostawie mniej krytycznych komponentów, gdyż te najbardziej krytyczne wymagałyby poniesienia wielomiliardowych nakładów.

W przypadku elektrowni jądrowej w Choczewie producentów komponentów krytycznych wybiera jej dostawca technologii, tj. amerykański Westinghouse, przy nadzorze ze strony PEJ. Zobowiązany jest prowadzić postępowania przetargowe w sposób konkurencyjny i wykazać, że oferta wyselekcjonowanych przez niego ostatecznie przedsiębiorstw jest korzystna dla inwestora, tj. PEJ, pod kątem jakości, czasu produkcji i kosztu komponentów. O ile najbardziej krytyczne komponenty – zbiornik ciśnieniowy reaktora, obudowa bezpieczeństwa i wytwornica pary – wyprodukują dla polskiej elektrowni jądrowej podmioty zagraniczne, o tyle wybrane polskie przedsiębiorstwa mogą uczestniczyć np. w produkcji modułów strukturalnych³. Stanowią one komponenty, których proces projektowania, produkcji i dostawy jest długi, a muszą zostać zainstalowane jako jedne z pierwszych elementów wyspy jądrowej.

Wśród polskich przedsiębiorstw z największymi szansami na zaangażowanie się w wytwarzanie istotnych komponentów jądrowych jest tzw. wielka szóstka. Zalicza się do niej firmy starannie wyselekcjonowane przez Westinghouse pod nadzorem PEJ spośród kilkudziesięciu firm regionalnych. Są to: Energomontaż Północ Gdynia, Famak, Mostostal Kielce, Mostostal Kraków, Mostostal Siedlce i ZKS Ferrum. Warunkiem zaangażowania do łańcucha dostaw Westinghouse jest uzyskanie zgodności przedsiębiorstwa z amerykańskim standardem ASME NQA1⁴. Wymienione podmioty są w trakcie takiego procesu, który obejmuje m.in. opracowanie i wdrożenie właściwych procedur, szkolenie personelu oraz wyprodukowanie modelu (*mock-up*) i poddanie się audytowi Westinghouse. Pozytywny wynik audytu pozwoli tym firmom na uczestnictwo przy produkcji komponentów na potrzeby budowy pierwszego

³ Moduły strukturalne to połączenie szalunku traconego i zbrojenia, które zabezpieczają komponenty zainstalowane na wyspie jądrowej.

⁴ ASME NQA1 to amerykański standard zapewnienia jakości w przemyśle jądrowym.

bloku elektrowni w Choczewie. W ramach wyspy jądrowej istnieją komponenty, które również można wytworzyć w Polsce, gdyż nie wymagają zgodności z ASME NQA1, tj. nie są związane z bezpieczeństwem jądrowym. Wielkość krajowej bazy przedsiębiorstw uczestniczących w budowie polskiej elektrowni jądrowej (tzw. *local content*) będzie zależeć od skali samego rozmiaru programu jądrowego – im większy i bardziej długofalowy, tym bardziej korzystny okaże się rozwój własnego łańcucha dostaw.

Wymogi jakościowe dotyczące komponentów i ich dostawców

Wąskie grono producentów komponentów, zwłaszcza tych ważnych dla bezpieczeństwa jądrowego, wynika z konieczności spełnienia surowych wymogów technicznych i jakościowych. Z tego powodu komponenty na potrzeby projektu polskiego atomu z grona kwalifikowanych przedsiębiorstw wybiera jego główny wykonawca – Westinghouse. Projektem referencyjnym dla polskiej elektrowni jądrowej jest amerykański Vogtle 3 i 4, za którego licencjonowanie odpowiadał amerykański regulator jądrowy *Nuclear Regulatory Commission* (NRC, odpowiednik polskiego PAA). W konsekwencji, wymagania techniczne i jakościowe dla komponentów w elektrowni w Choczewie, szczególnie tych krytycznych w ramach wyspy jądrowej, muszą być zgodne ze standardami amerykańskimi.

Różne kraje, w tym Polska, za pośrednictwem własnych regulatorów jądrowych mogą nakładać dodatkowe wymogi w stosunku do projektu referencyjnego, ale wiąże się to z konsekwencjami, m.in. z ryzykiem wydłużenia etapu przygotowania do budowy. Jednocześnie, istnienie dwóch poziomów standardów utrudnia standaryzację komponentów, które muszą być każdorazowo wytwarzane pod konkretny projekt i w konsekwencji podnoszą koszty ich produkcji. W przypadku komponentów o mniejszym znaczeniu dla bezpieczeństwa koszt ten można zoptymalizować przez wymianę komponentu o jakości jądrowej (*nuclear grade*) na ten o jakości komercyjnej (*commercial grade*), tj. jak dla innych zastosowań przemysłowych, jednak wykorzystanie tej procedury powinno być stosowane jedynie w wyjątkowych i uzasadnionych sytuacjach (www6).

Nie tylko komponenty, lecz również dostawcy muszą spełniać określone wymogi (www6). Producenci komponentów związanych z bezpieczeństwem jądrowym, poza koniecznością posiadania systemu zapewnienia jakości zgodnego z ASME NQA1, są nadzorowani przez instytucje kontrolujące proces budowy elektrowni jądrowej – w Polsce to dostawca technologii Westinghouse, inwestor PEJ i polscy regulatorzy: UDT oraz jądrowy PAA. Zgodność ze standardami muszą wykazać nie tylko główni wytwórcy komponentów, lecz również ich poddostawcy, co utrudnia stworzenie kompletnego i odpornego na zakłócenia łańcucha dostaw. Ponadto, każdy z podmiotów zaangażowanych w produkcję komponentów dla projektu jądrowego powinien charakteryzować się stabilnością finansową i zastępowalnością. Szczególnie ta druga cecha jest istotna, gdyż podczas trwającej kilkadziesiąt lat eksploatacji elektrowni (zwykle ponad 60 lat) pojawiają się problemy z dostępnością części zapasowych, co sygnalizowano w już pracujących obiektach jądrowych (www7).

Kadry

Budowa i eksploatacja elektrowni jądrowej wymagają wyspecjalizowanych kadr o wysokich kwalifikacjach. Personel zajmuje się różnymi aspektami projektu jądrowego, m.in. projektowaniem, montażem, kontrolą jakości i bezpieczeństwem czy bieżącym zarządzaniem pracą elektrowni. Na poszczególnych etapach musi pracować od kilku do kilkunastu tysięcy osób (NEA, 2018; EDF, 2025) – zapewnienie tej liczby specjalistów w Polsce, gdzie atomowy łańcuch dostaw dopiero się kształtuje, może stanowić wyzwanie w perspektywie planu uruchomienia pierwszego bloku jądrowego już w 2036 r. (MP, 2025).

W Polsce zauważono konieczność kształcenia kadr na potrzeby energetyki jądrowej, lecz oferta edukacyjna pozostaje niewystarczająca (MKiŚ, 2023). Spośród wszystkich uczelni wyższych w Polsce, dwie proponują studia pierwszego stopnia, siedem drugiego stopnia, a pięć podyplomowe w zakresie energetyki jądrowej⁵. Niemniej, inwestor powstającej w Choczewie elektrowni jądrowej, Polskie Elektrownie Jądrowe, zawarł liczne porozumienia z uczelniami, które dotyczą kształcenia kadr na jej potrzeby, stąd w najbliższych latach możliwe jest uruchomienie większej liczby kierunków i doskonalenie już prowadzonych (www8). Jak najszybsze rozpoczęcie kształcenia personelu jest ważne z powodu czasochłonności tego procesu – oprócz samych studiów wskazane jest co najmniej kilka lat dalszego doskonalenia umiejętności w postaci dodatkowych szkoleń, praktyk i certyfikatów, które pozwalają zdobyć właściwe dla pracy w elektrowni jądrowej cenne doświadczenie (IAEA, 2022). Obecnie część niezbędnego doświadczenia można zdobyć w ramach krajowych szkoleń PAA (www9) lub międzynarodowych szkoleń i programów nauczania, m.in. IAEA (www10) i UE (www11).

Braki kadrowe mogą dotyczyć także wysokiej klasy pracowników budowy. Dla przykładu, tylko niewielka część spawaczy ma kwalifikacje pozwalające na prace przy inwestycjach krytycznych, m.in. budowie łodzi podwodnych, elektrowni jądrowych i innej krytycznej infrastruktury. Szacuje się, że np. w Australii jest to niespełna 5 tys. na blisko 70 tys. spawaczy wykonujących ten zawód (www12). Nawet dodatkowe szkolenie spawaczy, którzy nie mają właściwych kwalifikacji, może być jednak problemem ze względu na ich braki – aż 274 powiaty (www13) w Polsce zgłaszają problemy z zatrudnieniem tego rodzaju specjalistów. Brak spawaczy stanowi problem także w innych krajach – wg EURES są oni wśród czołówki zawodów, których niedobór występuje w krajach UE (www14). W USA luka jest z kolei szacowana na ponad 330 tys. (www15).

⁵ Liczby na podstawie analizy własnej autorów raportu wg stanu na październik 2025 r.

Problem wystarczalności kadr nie dotyczy tylko specjalistów zatrudnionych przy budowie i eksploatacji elektrowni jądrowej. Istnieje potrzeba rozwoju kompetencji i wielkości personelu również w administracji publicznej (Baker McKenzie, Polityka Insight, 2025). Jej rola jest szczególnie istotna podczas przygotowań do budowy elektrowni, ponieważ od jej sprawnego działania (m.in. w zakresie wydawania niezbędnych pozwoleń) zależy terminowość realizacji projektu budowy elektrowni na tym etapie (MKiŚ, 2023).

Pozyskanie kapitału i model finansowania elektrowni

Budowa elektrowni jądrowej wymaga zabezpieczenia dużego kapitału, którego znaczna część musi pochodzić ze środków publicznych. Na potrzeby elektrowni w Choczewie zagwarantowano 60,2 mld PLN w ramach dokapitalizowania na lata 2025–2030 spółki Polskie Elektrownie Jądrowe przez Skarb Państwa (www16). Kwota ta stanowi 31 proc. ze 192 mld PLN przewidzianych jako ostateczny koszt inwestycyjny tego źródła energii (www17). Uruchomienie tych środków i model finansowania (kontrakt różnicowy) uzyskały akceptację Komisji Europejskiej (www18). Brakującą część kapitału (około 70 proc.) planuje się pozyskać w formie finansowania dłużnego. PEJ posiada szereg listów intencyjnych podpisanych m.in. z:

- DFC U.S. International Development Finance Corporation (USA, 4 mld PLN) (www19),
- Bpifrance Assurance Export (BAE) i Sfil (Francja, 15 mld PLN) (www20),
- Agencja kredytów eksportowych EXIM Bank (USA, 70 mld PLN) (www21),
- Export Development Canada (Kanada, 6 mld PLN) (www22).

Według doniesień z czerwca 2025 r. spółka PEJ pozyskała listy intencyjne od 11 agencji kredytów eksportowych z Europy, Ameryki Północnej i Azji – łącznie ponad 70 proc. finansowania dłużnego. Pozostałe 30 proc. PEJ zamierza pozyskać na rynku komercyjnym (www23).

Dostępność niezbędnego kapitału i jego oprocentowanie będą szczególnie ważne w kontekście finansowania fazy prac konstrukcyjnych elektrowni i jej potencjalnych opóźnień, które mogą skutkować pogorszeniem opłacalności całego projektu.

Poparcie społeczne i polityczne

Skuteczna realizacja ambicji z KPEiK i PPEJ w zakresie energetyki jądrowej wymaga ciągłego zaangażowania i konsekwencji w działaniach administracji rządowej. Dotychczas były niewystarczające, ponieważ mimo uwzględnienia energetyki jądrowej w wielu dokumentach strategicznych (np. wcześniejszych wersjach Polityki Energetycznej Polski), plany jej rozwoju nie zmaterializowały się (MKiŚ, 2025). Budowę elektrowni jądrowej w Polsce regularnie opóźniano i przekładano (www24) z różnych powodów, w tym braku woli i aktywnego, ponadpartyjnego poparcia politycznego. Przykłady innych krajów, np. Austrii (www25), pokazują, że tak duży projekt jak budowa elektrowni jądrowej musi być traktowany jako priorytet aż do momentu ukończenia jego realizacji – w przeciwnym razie grozi to wstrzymaniem inwestycji i koniecznością poniesienia ogromnych kosztów.

Poparcie dla energetyki jądrowej w Polsce w 2025 r. jest na odpowiednio wysokim poziomie nie tylko wśród decydentów politycznych, lecz również społeczeństwa obywatelskiego. Z badania przeprowadzonego w listopadzie 2024 r. wynika, że 92,5 proc. Polaków popiera budowę elektrowni jądrowych w Polsce, a 79,6 proc. zgodziłoby się na powstanie takiego obiektu w pobliżu ich miejsca zamieszkania. Akceptacja atomu w ostatnich 5 latach zwiększyła się istotnie – w okresie 2012-2019 mieściła się w zakresie 46-61 proc., natomiast od pandemicznego 2020 r. systematycznie wzrastała do obecnego poziomu (www26). Pokazuje to, że czynniki społeczno-polityczne, przynajmniej obecnie, nie powinny być przeszkodą dla terminowej budowy elektrowni jądrowej w Choczewie, choć jednocześnie konieczne są ciągłe wysiłki w kierunku utrzymania takiego stanu.

Koszty opóźnień w projektach jądrowych

Uwaga: koszty szacowane w tym rozdziale dotyczą wyłącznie sytuacji, gdy opóźnienie realizacji projektu wynika z opóźnienia w dostawach komponentów. Nie uwzględniamy dodatkowych kosztów, które – jak miało to miejsce w przypadku Vogtle 3 i 4, Olkiluoto 3 czy Flamanville 3 – mogą wynikać z konieczności dokonania zmian w projekcie czy poprawy źle wykonanych prac.

Nawet w przypadku miesięcznego opóźnienia w budowie pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce należy liczyć się z wysokimi dodatkowymi kosztami inwestycji. Do istotnych składowych należą:

- koszt kapitału (zwłaszcza uzyskanego z kredytów),
- utracona korzyść z potencjalnie niewyprodukowanej energii elektrycznej,
- płace personelu (nie pracuje z powodu przestoju podczas budowy),
- płace personelu zarządzającego projektem (zwłaszcza przy opóźnieniu wpływającym na termin uruchomienia ostatniego bloku),
- amortyzacja komponentów (czekają na instalację),
- pozapłacowy koszt utrzymania budowy.

Poziom kosztów jest wyraźnie uzależniony od fazy projektu – najniższe są jeszcze przed rozpoczęciem budowy projektu, dlatego najlepiej jest ograniczyć opóźnienia do fazy projektowej, która ją poprzedza. Faktyczną budowę można podzielić na etapy:

Faza 1. Przygotowanie miejsca budowy i praca nad fundamentami.

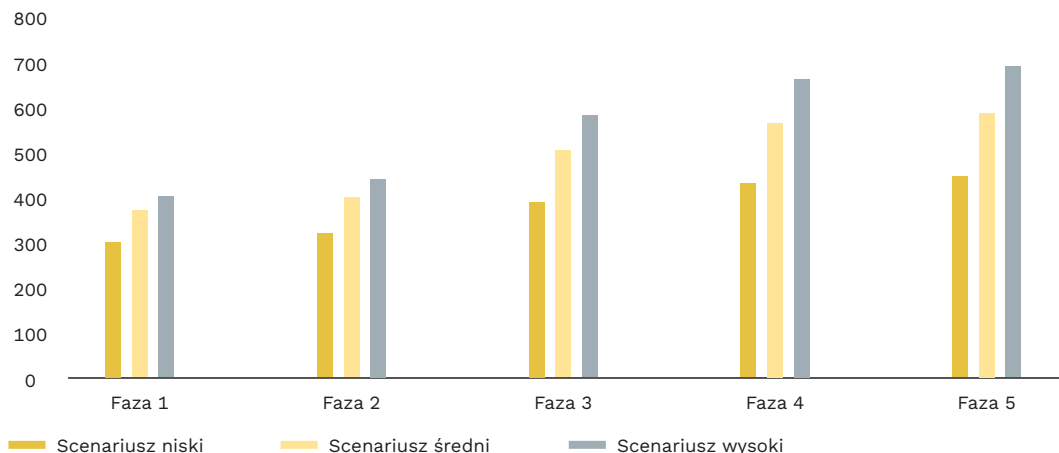
Faza 2. Budowa wyspy jądrowej.

Faza 3. Budowa wyspy turbinowej.

Faza 4. Instalacja pozostałego niezbędnego oprzyrządowania.

Faza 5. Testy i przygotowanie do uruchomienia.

Wykres 4. Koszt miesięcznego opóźnienia budowy jednego bloku jądrowego w poszczególnych fazach projektu w scenariuszu niskim, średnim i wysokim (w mln PLN)



Uwaga: scenariusz niski zakłada oprocentowanie kapitału na poziomie 3 proc. i odsetek pracowników narażonych na przestój na budowie na poziomie 10 proc.; scenariusz średni – odpowiednio 5 proc. i 20 proc., a scenariusz wysoki – 7 proc. i 30 proc. Szczegóły metodyki obliczeń zamieściliśmy w aneksie.

Źródło: opracowanie własne PIE.

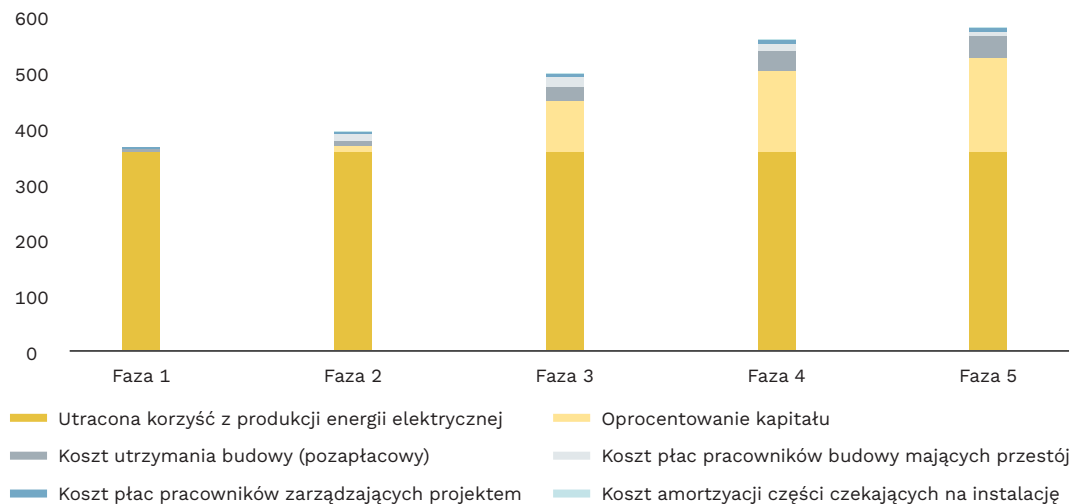
W fazie 1 łączne straty mogą wynosić między 290 mln PLN a 388 mln PLN.

Zaangażowanych jest wtedy stosunkowo niewiele środków i są to przede wszystkim środki z budżetu państwa⁶, dlatego głównym kosztem jest utracony zysk⁷ z tytułu niewyprodukowanej energii elektrycznej. **Koszty stopniowo rosną w kolejnych fazach – miesięczne opóźnienie w oddaniu bloku do eksploatacji w fazie 5 (testy i przygotowanie do uruchomienia), gdy zaangażowane jest ponad 90 proc. kapitału, powoduje stratę w wysokości od 430 mln PLN do nawet 667 mln PLN.** Dwie składowe, koszt kapitału i utracony zysk z niewyprodukowanej energii elektrycznej, stanowią aż do 90 proc. kosztu opóźnień w późniejszych fazach budowy.

⁶ Budowa elektrowni w Choczewie ma przyznane finansowanie z budżetu państwa w wysokości 60 mld PLN, wypłacane w latach 2025-2030.

⁷ Utracony zysk liczony z uwzględnieniem, że stracony miesiąc jest przełożony na koniec trwania kontraktu różnicowego (przy założeniu 60 lat) – więcej szczegółów w aneksie.

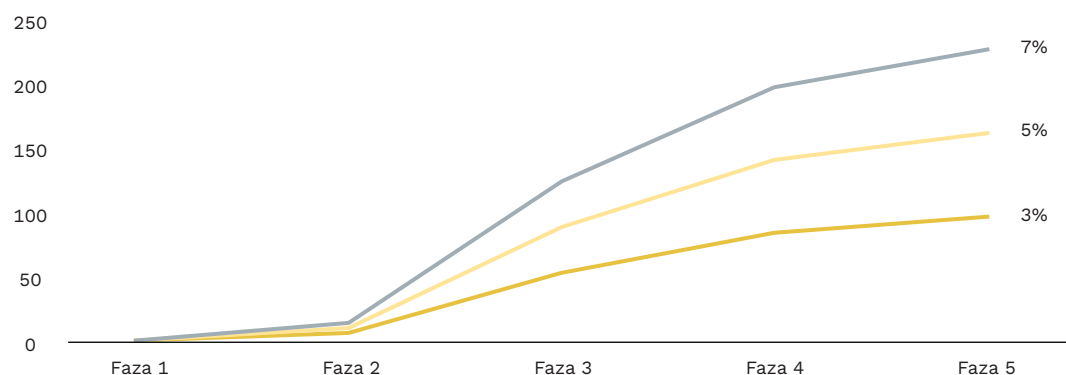
Wykres 5. Udział poszczególnych składowych kosztów miesięcznego opóźnienia budowy bloku jądrowego w scenariuszu średnim (w mln PLN)



Źródło: opracowanie własne PIE.

Koszt pożyczonego kapitału jest jednym z największych kosztów opóźnienia w procesie budowy elektrowni jądrowej. **W przypadku wysokiego oprocentowania (7 proc.) w późniejszych fazach budowy może być on dwukrotnie wyższy (231 mln PLN) niż przy niskim oprocentowaniu (3 proc.), gdy wynosi niespełna 99 mln PLN.**

Wykres 6. Miesięczny koszt kapitału w przypadku opóźnienia budowy bloku jądrowego na poszczególnych etapach budowy w zależności od średniego oprocentowania kapitału (w mln PLN)



Uwaga: pominęliśmy koszt wkładu własnego państwa. W przypadku uwzględnienia korzyści alternatywnych (np. uniknięcia kosztu, po jakim państwo zaciąga zobowiązania), dla kapitału publicznego będzie on wyższy o 82 mln PLN, jeśli za punkt odniesienia uznamy 3-letnie obligacje TOS o oprocentowaniu 4,9 proc. w skali roku.

Źródło: opracowanie własne PIE.

Podsumowanie

Pierwsza inwestycja jądrowa w Polsce od czasów nieudanej budowy elektrowni w Żarnowcu jest bardzo dużym wyzwaniem infrastrukturalnym. Jedną z istotnych barier stanowi odbudowa łańcuchów dostaw w energetyce jądrowej w UE w odpowiedzi na wyzwanie osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. Część przeszkód dotyczących inwestycji w elektrownię w Choczewie nie wiąże się z budową, np. kształcenie kadr i zabezpieczenie odpowiedniej liczby specjalistów czy pozyskanie jak najtańszego źródła finansowania. Kluczowym wyzwaniem dla opłacalności ekonomicznej polskiej elektrowni jądrowej jest negocjacja z Komisją Europejską odpowiedniego modelu finansowania. Od niego w dużym stopniu zależy rzeczywista cena energii elektrycznej produkowanej w choczewskiej elektrowni.

Poprzednie inwestycje w reaktory generacji III+ w USA i UE charakteryzowały się dużymi opóźnieniami i bardzo wysokim przekroczeniem kosztów budowy. Referencyjny dla budowy bloków AP1000 w Choczewie projekt Vogtle 3 i 4 doświadczył wydłużenia czasu budowy o 7 lat, co zwiększyło blisko 2,5-krotnie końcowy (realny) koszt inwestycji. Jeszcze większe opóźnienia i wzrosty kosztów były widoczne w inwestycjach we Francji i Finlandii przy budowie pierwszych bloków EPR.

Jak pokazują zagraniczne przykłady, należy unikać zwłaszcza przyspieszania fazy rozpoczęcia budowy bloku jądrowego. Choć samo szybkie zakończenie fazy projektowania i terminowe rozpoczęcie budowy jest pożądane, to jego przyspieszenie, np. ze względów wizerunkowych, ma tragiczne skutki dla późniejszych etapów inwestycji. Niedopatrzenia w fazie projektowej skutkują zmianami w projekcie w fazie budowy i koniecznością licencjonowania uzupełniającego, wymiany urządzeń i prac naprawczych. Wraz z niedoszacowaniem liczby potrzebnych dostosowań do warunków lokalnych przy budowie oraz brakiem odpowiedniej koordynacji projektu (a także współpracy wykonawcy i regulatora jądrowego) są to cechy wspólne większości opóźnionych projektów.

Opóźnienie na wczesnych etapach, nawet po rozpoczęciu budowy, jest znacznie mniej kosztowne niż po starcie budowy wyspy jądrowej i wyspy turbinowej. We wczesnej fazie jest to głównie koszt w postaci niewyprodukowanej energii elektrycznej z powodu późniejszego oddania inwestycji do eksploatacji. Koszt ten jednak znacząco rośnie z czasem wraz z koniecznością zaangażowania pożyczonych środków finansowych i utrzymania budowy. W polskim przypadku między początkowymi a zaawansowanymi etapami budowy jest to różnica ponad dwukrotna.

Niezwykle istotne pozostaje także wczesne zabezpieczenie łańcuchów dostaw dla komponentów krytycznych. Liczba przedsiębiorstw, które mogą być dostawcami kluczowych komponentów dla polskiego projektu jądrowego jest niewielka. Uwarunkowania geopolityczne i wybrana technologia budowy bloku jądrowego przekładają się na ograniczony dostęp do przedsiębiorstw mogących produkować wybrane komponenty. To z kolei – przy zapowiadanych renesansie jądrowym i konkurencyjnych zamówieniach z innych inwestycji – może wydłużyć czas oczekiwania na komponenty, szczególnie te krytyczne.

Aneks 1. Metodologia obliczeń

Dla poszczególnych faz budowy elektrowni przyjęliśmy następujący odsetek zaangażowanego kapitału:

Faza 1. Przygotowanie miejsca budowy i praca nad fundamentami – 8 proc.

Faza 2. Budowa wyspy jądrowej – 35 proc.

Faza 3. Budowa wyspy turbinowej – 65 proc.

Faza 4. Instalacja pozostałego niezbędnego oprzyrządowania – 85 proc.

Faza 5. Testy i przygotowanie do uruchomienia – 93 proc.

Obliczone koszty opóźnień budowy bloku jądrowego składają się z sześciu składników:

Koszt kapitału

Wielkość kapitału potrzebnego do budowy elektrowni przyjęliśmy na poziomie 192 mld PLN z założeniem, że jako pierwsze wydane zostaną środki publiczne (60 mld PLN), które mają być przyznane w latach 2025-2030, a dopiero później nastąpi wydatkowanie środków pożyczonych. Miesięczny koszt kredytu obliczyliśmy jako:

$$MKK = \frac{\alpha Kr}{12},$$

gdzie:

α – odsetek zaangażowanego kapitału w danym momencie inwestycji,

K – koszt projektu po odjęciu 60 mld PLN ze środków publicznych,

r – oprocentowanie kredytu, przyjęte w trzech wariantach (3 proc., 5 proc. i 7 proc., oparte na wariantach średnioważonego kosztu kapitału rozważanego w literaturze).

MKK dodatkowo jest dzielony przez 3 w każdej fazie poza fazą 1 (obliczenia poza tą fazą są wykonane dla opóźnienia dotyczącego jednego bloku, nie całości inwestycji).

Utracony przychód z tytułu niewyprodukowanej energii elektrycznej

$$UP = (MW \times CF \times Hm \times \text{strike price}),$$

gdzie:

MW – moc bloku jądrowego netto (1170 MW),

CF – współczynnik wykorzystania mocy, przyjęty na poziomie 92,7 proc. (wg wniosku notyfikacyjnego PEJ do Komisji Europejskiej),

Hm – średnia liczba godzin w miesiącu,

strike price – cena sprzedaży energii elektrycznej, przyjęta na poziomie 550 PLN/MWh (wg wniosku notyfikacyjnego PEJ do Komisji Europejskiej).

Należy zaznaczyć, że każdy dodatkowy miesiąc, w którym blok jądrowy nie pracuje, nie skraca czasu jego eksploatacji – o tyle dłużej będzie działał w przyszłości. Przy założeniu 40-letniego kontraktu różnicowego końcowy koszt wynosi:

$$RUP \text{ (realny utracony przychód)} = UP - \frac{UP}{(1 + r)^{40}}.$$

Koszt pracowników budowy

Przykłady krajów, w których powstały elektrownie jądrowe wskazują, że pensje pracowników sektora jądrowego na świecie przewyższają średnie pensje w gospodarce. Ze względu na duże zróżnicowanie kwalifikacji personelu średnie wynagrodzenie pracownika na budowie przyjęliśmy na poziomie 10 tys. PLN brutto.

Jednocześnie w poszczególnych fazach przyjęliśmy zatrudnienie na budowie w wysokości:

Faza 1	Faza 2	Faza 3	Faza 4	Faza 5
500	5000	7000	5000	3000

Uwaga: dla faz 2-5 liczby te dotyczą jednego bloku.

Budowa dwóch bloków jądrowych EPR w Hinkley Point C w Anglii angażuje obecnie ok. 12 tys. pracowników *on-site* (EDF, 2025). Generalny wykonawca i dostawca technologii – francuski EDF – przewiduje, że w ciągu roku liczba ta może wzrosnąć nawet do 15 tys. Pozwala to zakładać, że w przypadku bloków AP1000, mających nieco niższą moc, liczba potrzebnych pracowników w szczycie prac może wynosić ok. 7 tys. na blok.

Przestój podczas budowy, na której jednocześnie mają powstawać trzy bloki, nie będzie dotyczyć wszystkich jej pracowników, a część z nich można skierować do innych prac. W związku z powyższym przyjęliśmy trzy warianty współczynnika bezczynności – 10 proc., 20 proc. i 30 proc. co oznacza, że taki procent pracowników nie będzie mógł efektywnie wykonywać swoich obowiązków z powodu zaburzenia łańcucha dostaw.

Koszt pracowników nadzorujących inwestycję

Obecnie w PEJ pracuje ok. 500 pracowników. Zakładamy, że na późniejszych etapach inwestycji zatrudnienie może zwiększyć się dwukrotnie.

Jednocześnie, średnią pensję pracowników nadzorujących budowę przyjęliśmy na poziomie 15 tys. PLN brutto na podstawie ofert pracy PEJ zamieszczanych na stronie spółki i portalu pracuj.pl.

Pozapłacowy koszt utrzymania budowy

Jest to koszt utrzymania działania budynków, laboratoriów i placówek, ubezpieczenie, ochrona i inne podobne wydatki. Oszacowaliśmy go na podstawie podobnych inwestycji zagranicznych na poziomie ok. 5 mln PLN na początku budowy do 40 mln PLN na końcowych etapach.

Koszt amortyzacji niezainstalowanych komponentów

Koszt ten może różnić się nawet w ramach jednej fazy budowy w zależności od powodu opóźnienia. Z tego względu w analizie przyjęliśmy przykładowy scenariusz, w którym na instalację czekają komponenty o łącznej wartości 500 mln PLN, a ich średnia amortyzacja wynosi 3,5 proc. rocznie.

Aneks 2. Koszty i powody opóźnień wybranych inwestycji jądrowych

Opóźnienia projektów jądrowych w krajach zachodnich wynikały m.in. z braku wcześniejszego doświadczenia inwestorów z prowadzeniem budowy bloków jądrowych w technologii EPR (francuskiej) i AP1000 (amerykańskiej), niestandardnie przygotowanej dokumentacji czy konieczności napraw wadliwie wykonanych komponentów. W tym aneksie prezentujemy podsumowanie informacji o czasie trwania, kosztach i przyczynach opóźnień w wybranych projektach europejskich i amerykańskich. Prezentowane przykłady mają służyć przeciwdziałaniu takim sytuacjom na budowie pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Flamanville 3 (Francja)

Opóźnienie

Budowa bloku nr 3 o mocy 1,6 GW w elektrowni jądrowej Flamanville we Francji rozpoczęła się w grudniu 2007 r. Jego uruchomienie planowano na 2012 r., ale opóźniło się o 12 lat (do grudnia 2024 r.), gdy blok przyłączono po raz pierwszy do sieci elektroenergetycznej ([www27](#)).

Koszt opóźnienia

Początkowy budżet zakładał, że koszt budowy bloku jądrowego wyniesie 3,3 mld EUR (5,6 mld USD₂₀₂₅, [www28](#)). Generalny wykonawca i dostawca technologii – francuski EDF – szacuje ostateczny koszt na około 14 mld EUR (16,1 mld USD₂₀₂₅, [www29](#)), natomiast francuski Trybunał Obrachunkowy podaje kwotę ponad 24 mld EUR (27 mld USD₂₀₂₅), która uwzględnia również koszty towarzyszące, m.in. finansowania (Cour des Comptes, 2025).

Przyczyny opóźnień

Francuski Trybunał Obrachunkowy wykazał w kontroli przeprowadzonej jeszcze przed zakończeniem budowy szereg komplikacji w projekcie. Wprowadzono w nim ok. 4,5 tys. modyfikacji, co zwiększyło liczbę roboczogodzin koniecznych do budowy bloku jądrowego Flamanville 3 z 5 do 22 milionów i spowodowało liczne przestoje prac. Co więcej, kwota kontraktów 11 z 12 głównych wykonawców projektu wzrosła między 2 a 8-krotnie.

Jako dobitny przykład chaosu organizacyjnego francuski kontroler wskazał decyzję o zaprojektowaniu części elementów w tzw. procesie wykluczenia awarii, który polega na zaostrożeniu wymagań technicznych dotyczących projektowania, produkcji i eksploatacji tych urządzeń, tak aby ryzyko ich uszkodzenia było skrajnie małe. Podwykonawcy nie byli jednak w stanie wykonać wielu z komponentów, w tym spoin, zgodnie z nowymi, tak wysokimi wymaganiami. EDF zgodził się ostatecznie na odstępstwa od tych wymagań, nie informując jednak o tym organu bezpieczeństwa jądrowego przez 4 lata. Ostatecznie, sama naprawa spoin przelotowych kosztowała blisko 2 mld EUR⁸, a spór między EDF i organem bezpieczeństwa jądrowego spowodował opóźnienia w realizacji projektu w latach 2015-2019.

Wśród przyczyn opóźnień wymienia się także:

- niewłaściwy skład stali w pokrywie górnej i dolnej zbiornika ciśnieniowego reaktora (www30),
- wykrycie niezgodności jakościowych komponentów w dokumentacji kuźni Le Creusot, która wytwarzała je na potrzeby projektu (www31).

Olkiluoto 3 (Finlandia)

Opóźnienie

Budowa bloku jądrowego nr 3 o mocy 1,6 GW w elektrowni jądrowej Olkiluoto w Finlandii rozpoczęła się w sierpniu 2005 r. Jego uruchomienie planowano na 2009 r., ale opóźniło się o 13 lat, do marca 2022 r., gdy blok przyłączono po raz pierwszy do sieci elektroenergetycznej (www32).

Koszt opóźnienia

Początkowy budżet zakładał, że koszt budowy bloku jądrowego wyniesie 3 mld EUR (6,9 mld USD2025). Operator elektrowni – fiński TVO – szacuje ostateczny koszt na ok. 6 mld EUR, natomiast przy uwzględnieniu dodatkowych kosztów (m.in. strat francuskiego wykonawcy Areva) podaje się kwotę ponad 11 mld EUR (ponad 15 mld USD2025) (www33).

Przyczyny opóźnienia

Wśród przyczyn opóźnienia wymienia się:

- nieprawidłowości w betonowaniu płyty fundamentowej reaktora i w wykonaniu stalowej powłoki obudowy bezpieczeństwa (www34),
- problemy z koordynacją i zarządzaniem całym projektem przez niedostateczne doświadczenie inwestora TVO i głównego wykonawcy (Areva-Siemens) (www35) oraz ich spór o odpowiedzialność za opóźnienia (www36),
- problemy z podwykonawcami (w tym z nadzorem nad nimi i znalezieniem przedsiębiorstw o odpowiednich kompetencjach) (www35),
- usterki w fazie rozruchu reaktora (np. pomp wody chłodzącej, chłodzenia generatora elektrycznego) (www37).

⁸ 1,5 mld EUR w cenach z 2015 r.

Hinkley Point C (Anglia)

Opóźnienie

Budowa dwóch bloków jądrowych o łącznej mocy 3,2 GW w elektrowni jądrowej Hinkley Point w Anglii rozpoczęła się w grudniu 2018 r. Ich uruchomienie planowano na 2025 r., ale opóźni się co najmniej do 2029 r., a może nawet do 2031 r. (www38).

Koszt opóźnienia

Początkowy budżet zakładał, że koszt budowy dwóch bloków energetycznych wyniesie 18 mld GBP (33 mld USD²⁰²⁵, www39). Generalny wykonawca i dostawca technologii reaktora – francuski EDF – szacuje ostateczny koszt na ok. 41-45 mld GBP (ok. 60 mld USD²⁰²⁵, www38), który nie uwzględnia dodatkowych kosztów (m.in. finansowania).

Przyczyny opóźnienia

Wśród przyczyn opóźnienia wymienia się:

- wydłużenie realizacji prac na placu budowy i fazy elektromaszynowej (www38),
- zakłócenia związane z pandemią COVID-19 i Brexitem (np. ograniczenia sanitarne, braki kadr i surowców) (www40),
- konieczność dostosowania projektu budowy elektrowni z reaktorem EPR do brytyjskich wymagań regulacyjnych (www41),
- spór o zabezpieczenia środowiskowe dla ryb przy ujęciach wody chłodzącej (www42).

Vogtle 3 i 4 (USA)

Opóźnienie

Bloki jądrowe Vogtle 3 i 4 o łącznej mocy 2,2 GW to pierwsze i do tej pory jedyne bloki w technologii AP1000 wybudowane w USA. Oba bloki powstały obok istniejących bloków Vogtle 1 i 2, wybudowanych w starszej technologii (II generacja). Budowa bloków rozpoczęła się w 2009 r. Uruchomienie Vogtle 3 przewidywano w 2016 r., a Vogtle 4 – w 2017 r. Projekt uległ jednak 7-letniemu opóźnieniu i ostatecznie blok Vogtle 3 rozpoczął działanie w lipcu 2023 r., a Vogtle 4 – w marcu 2024 r. (www43).

Koszt opóźnienia

Pierwotnie szacowano koszt budowy Vogtle 3 i 4 na 14 mld USD (21,5 mld USD²⁰²⁵). Końcowy koszt w 2017 r. wyceniono na blisko 36 mld USD (48 mld USD²⁰²⁵)⁹ – obejmuje finansowanie projektu i związane z projektem koszty upadłości Westinghouse (4 mld USD).

⁹ Sam tzw. *overnight cost* (bez kosztów finansowania) oceniony został na 15 tys. USD/kW (15 mld USD/GW) (Shivran, 2024).

Przyczyny opóźnień

Vogtle 3 i 4, podobnie jak inne projekty FOAK (*First of a Kind*), zmagaly się z wieloma problemami wieku dziecięcego dla budowy bloku jądrowego w nowej technologii. Podczas budowy złożono do amerykańskiej Komisji Dozoru Jądrowego (NRC) ok. 200 wniosków o zmiany licencyjne, co skutkowało wstrzymywaniem prac budowlanych na czas przeglądów (www44). Jako że była to inwestycja jądrowa po dłuższej przerwie oraz pierwsza w tej technologii w USA (wraz z VC Summer), konieczność odbudowania i utworzenia łańcuchów dostaw przyczyniła się do opóźnień, zwłaszcza z powodu dużej liczby komponentów importowanych spoza granic kraju.

Na opóźnienie budowy wpłynęło również złożenie przez Westinghouse wniosku o ochronę przed wierzycielami na podstawie rozdziału 11 amerykańskiego prawa upadłościowego w 2017 r., co doprowadziło do wstrzymania prac do czasu przejęcia zarządzania projektem przez Southern Company i nowego generalnego wykonawcę Bechtel (www45).

Zalecenia Międzynarodowej Agencji Energetyki Jądrowej

Międzynarodowa Agencja Energetyki Jądrowej, na podstawie oceny dotychczasowych projektów budowy reaktorów generacji III+, określiła szereg czynników zwiększających ryzyko opóźnień (NEA, 2020). Należą do nich m.in.:

- zbytnie przyspieszanie rozpoczęcia budowy i niedostateczny czas na dopracowanie fazy projektowej, co skutkuje zmianami w projekcie w fazie budowy, koniecznością licencjonowania uzupełniającego, wymiany urzędów i podejmowania prac naprawczych,
- nieuwzględnienie konieczności integracji nowej technologii i rozwiązań wymagających dopasowania do warunków lokalnych na etapie planowania projektu,
- złe zarządzanie projektem, brak wystarczającej komunikacji między wykonawcą inwestycji a administracją, zwłaszcza z organem odpowiadającym za bezpieczeństwo jądrowe,
- niewystarczająco wcześnie włączenie łańcucha dostaw w proces planowania, w tym brak uzgodnienia możliwości spełniania standardów jakości jądrowej,
- brak stabilności politycznej i ponadpartyjnego konsensusu dotyczącego zarówno samego powstania inwestycji, jak i szczegółów jej realizacji,
- niespodziewane zmiany w warunkach finansowania.

Bibliografia

- Baker McKenzie, Polityka Insight (2025), *Energetyka jądrowa w Polsce. Ocena gotowości do budowy pierwszej elektrowni*, https://www.bakermckenzie.com/-/media/files/locations/poland/nuclear-energy-in-poland/baker-mckenzie-polityka-insight-raport-energetyka-jdrowa-w-polsce-2025_pl.pdf [dostęp: 30.10.2025].
- Cour des Comptes (2025), *La Filiere EPR: Une Dynamique Nouvelle des Risques Persistants*, <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2025-01/20250114-La-filiere-EPR%20-une-dynamique-nouvelle-des-risques-persistants.pdf> [dostęp: 30.10.2025].
- EDF (2025), *Driving Growth. Hinkley Point C Socio-economic Impact Report 2025*, <https://www.edfenergy.com/sites/default/files/2025-05/Socio%20Economic%20Brochure%202025.pdf> [dostęp: 30.10.2025].
- IAEA (2022), *Recruitment, Qualification and Training of Personnel for Nuclear Power Plants*, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB2029_web.pdf, International Atomic Energy Agency, Vienna [dostęp: 30.10.2025].
- IEA (2025a), *The Path to a New Era for Nuclear Energy*, International Energy Agency, Paris, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b6a6fc8c-c62e-411d-a15c-bf211ccc06f3/ThePathtoaNewEraforNuclearEnergy.pdf> [dostęp: 30.10.2025].
- IEA (2025b), *World Energy Investment 2025*, International Energy Agency, Paris, <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2025> [dostęp: 30.10.2025].
- Juszczak, A., Lipiński, K. (2024), *Ile Polski w atomie? Local content programu energetyki jądrowej*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa, https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2025/03/PIE-Raport_Ile-Polski-w-atomie_2024.pdf [dostęp: 30.10.2025].
- MKiŚ (2020), *Program Polskiej Energetyki Jądrowej*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa, <https://www.gov.pl/web/klimat/program-polskiej-energetyki-jadrowej1> [dostęp: 30.10.2025].
- MKiŚ (2023), *Plan rozwoju zasobów ludzkich na potrzeby energetyki jądrowej*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa, <https://www.gov.pl/web/polski-atom/krajowy-plan-rozwoju-zasobow-ludzkich-na-potrzeby-energetyki-jadrowej-zatwierdzony-przez-minister-klimatu-i-srodowiska> [dostęp: 30.10.2025].
- MKiŚ (2025), *Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r. z perspektywą do 2040 r.*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa, <https://www.gov.pl/web/klimat/projekt-krajowego-planu-w-dziedzinie-energii-i-klimatu-do-2030-r-z-perspektywa-do-2040-r-wersja-przekazana-do-dalszego-procedowania-na-poziomie-rady-ministrow> [dostęp: 30.10.2025]

- MP (2025), *Program Polskiej Energetyki Jądrowej*, Ministerstwo Przemysłu, Warszawa, <https://www.gov.pl/web/polski-atom/konsultacje-publiczne-zaktualizowanego-programu-polskiej-energetyki-jadrowej> [dostęp: 30.10.2025].
- NEA (2018), *Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*, Nuclear Energy Agency, Paris, https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_14912/measuring-employment-generated-by-the-nuclear-power-sector [dostęp: 30.10.2025].
- NEA (2020), *Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders*, Nuclear Energy Agency, Paris, <https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2020-07/7530-reducing-cost-nuclear-construction.pdf> [dostęp: 30.10.2025].
- Shivran K. (2024), *2024 Total Cost Projection of Next AP1000*, MIT, <https://web.mit.edu/kshivran/www/research/ANP201%20TR%20CANES.pdf> [dostęp: 5.11.2025].
- (www1) <https://world-nuclear.org/net-zero-nuclear/news/landmark-ministerial-declaration-puts-nuclear-energy-at-the-heart-of-action-on-climate-change> [dostęp: 30.10.2025].
- (www2) <https://pris.iaea.org/pris/home.aspx> [dostęp: 30.10.2025].
- (www3) <https://www.worldnuclearreport.org/reactors.html> [dostęp: 30.10.2025].
- (www4) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629625001380> [dostęp: 30.10.2025].
- (www5) <https://westinghousenuclear.com/energy-systems/ap1000-pwr/> [dostęp: 30.10.2025].
- (www6) <https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-energy/division-of-nuclear-power/nuclear-power-engineering-section/nuclear-supply-chain-webinar-series> [dostęp: 30.10.2025].
- (www7) <https://www.iaea.org/topics/management-systems/management-of-the-nuclear-supply-chain> [dostęp: 30.10.2025].
- (www8) <https://pej.pl/dla-mediow/aktualnosci/> [dostęp: 30.10.2025].
- (www9) <https://www.gov.pl/web/paa/uprawnienia-pracownicze> [dostęp: 30.10.2025].
- (www10) <https://www.iaea.org/services/education-and-training> [dostęp: 30.10.2025].
- (www11) <https://cordis.europa.eu/project/id/101061677> [dostęp: 30.10.2025].
- (www12) <https://www.worldnuclearreport.org/Worker-shortage-barrier-to-nuclear-ambitions> [dostęp: 30.10.2025].
- (www13) https://barometrzwodow.pl/modul/prognozy-na-mapach-wy-niki?province%5B%5D=%23polska&year%5B%5D=2026&forecast_type=relation&profession%5B%5D=8847&relation=1 [dostęp: 30.10.2025].
- (www14) https://eures.europa.eu/whats-latest-labour-shortages-and-surpluses-europe-2025-07-02_en [dostęp: 30.10.2025].

- (www15) <https://www.novarctech.com/resources/blog/welding/addressing-the-skilled-trade-shortage-a-focus-on-welders/> [dostęp: 30.10.2025].
- (www16) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20250000393/O/D20250393.pdf> [dostęp: 30.10.2025].
- (www17) https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/20258/SA_109707_92.pdf [dostęp: 30.10.2025].
- (www18) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_2963 [dostęp: 10.12.2025].
- (www19) <https://pej.pl/dla-mediow/aktualnosc/pej-z-kolejnym-partnerem-do-finansowania-pierwszej-polskiej-elektrowni-jadrowej/> [dostęp: 30.10.2025].
- (www20) <https://nuclear.pl/wiadomosci,news,24121202,0,0.html> [dostęp: 30.10.2025].
- (www21) <https://pej.pl/dla-mediow/aktualnosc/pej-z-kolejnym-partnerem-do-finansowania-pierwszej-polskiej-elektrowni-jadrowej/> [dostęp: 30.10.2025].
- (www22) <https://nuclear.pl/wiadomosci,news,24121002,0,0.html> [dostęp: 30.10.2025].
- (www23) <https://pej.pl/dla-mediow/aktualnosc/pej-organizuja-kolejne-fundusze-i-planuja-wejscie-na-finansowy-rynek-komercyjny/> [dostęp: 30.10.2025].
- (www24) <https://wysokienapiecie.pl/107013-po-16-latach-budowy-elektrowni-atomowej-mamy-16-lat-opoznienia/> [dostęp: 30.10.2025].
- (www25) <https://www.bmluk.gv.at/themen/klima-und-umwelt/nuklearpolitik/zwentendorf.html> [dostęp: 30.10.2025].
- (www26) <https://www.gov.pl/web/polski-atom/925-proc-polakow-za-budowa-elektrowni-jadrowych-w-polsce> [dostęp: 30.10.2025].
- (www27) <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/update-on-the-flamanville-epr-the-reactor-produces-its-first-electrons-on-the-national-electricity-grid> [dostęp: 30.10.2025].
- (www28) <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Construction-of-Flamanville-EPR-begins> [dostęp: 30.10.2025].
- (www29) <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/update-on-the-flamanville-epr-0> [dostęp: 30.10.2025].
- (www30) <https://regulation-oversight.asnr.fr/information/news-archives/flamanville-epr-reactor-pressure-vessel> [dostęp: 30.10.2025].
- (www31) <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/creusot-forge-manufacturing-records> [dostęp: 30.10.2025].
- (www32) <https://www.tvö.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangereleases/2022/theolkiluoto3eprplantunit8217selectricityproductionhasstarted.html> [dostęp: 30.10.2025].
- (www33) <https://www.worldnuclearreport.org/Europe-s-First-EPR-13-Years->

[Behind-Schedule-Olkiluoto-3-in-Finland-Starts-Up.html](#)

[dostęp: 30.10.2025].

(www34) [https://www.iaea.org/sites/default/files/23/07/20230719 - iaea - stuka_views_on_operating_experience_from_construction_phase.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/23/07/20230719_-_iaea_-_stuka_views_on_operating_experience_from_construction_phase.pdf)

[dostęp: 30.10.2025].

(www35) https://bravenewclimate.com/files/events/presentations/crgp_alto_2010/case_1/olkiluoto_3_case_workshop_1.pdf

[dostęp: 30.10.2025].

(www36) https://cdn.orano.group/arevasa/News/docs/CP_groupe/2018/PR_Global%20Settlement%20Agreement%20between%20TVO%20and%20AREVA%20Siemens.pdf [dostęp: 30.10.2025].

(www37) <https://www.world-nuclear-news.org/search?search=olkiluoto>

[dostęp: 30.10.2025].

(www38) <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/hinkley-point-c-update-1>

[dostęp: 30.10.2025].

(www39) <https://committees.parliament.uk/work/4061> [dostęp: 30.10.2025].

(www40) <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/hinkley-point-c-project-update-1>

[dostęp: 30.10.2025].

(www41) <https://www.onr.org.uk/news/all-news/2024/01/hinkley-point-c-project-update> [dostęp: 30.10.2025].

(www42) <https://www.edfenergy.com/energy/nuclear-new-build-projects/hinkley-point-c/news-views/fish-protection-measures-and-removal-acoustic-fish-deterrent> [dostęp: 30.10.2025].

(www43) <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61963>

[dostęp: 30.10.2025].

(www44) <https://www.reuters.com/business/energy/plans-restart-construction-vc-summer-reactors-gain-traction-2025-07-04/>

[dostęp: 30.10.2025].

(www45) https://sai.inl.gov/content/uploads/29/2025/06/M3_SAI-AP1000_Lessons_Rev6-nocomments-002.pdf [dostęp: 30.10.2025].

Spis wykresów i tabel

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Globalne wydatki na inwestycje w energetykę jądrową w latach 2015-2025 (w mld USD 2024)	8
Wykres 2. Początkowo szacowany i końcowy (lub aktualny) koszt budowy wybranych elektrowni jądrowych (w mld USD 2025/GWe)	9
Wykres 3. Czas budowy bloków jądrowych uruchomionych w okresie 2010-2025 (w latach)	10
Wykres 4. Koszt miesięcznego opóźnienia budowy jednego bloku jądrowego w poszczególnych fazach projektu w scenariuszu niskim, średnim i wysokim (w mln PLN)	19
Wykres 5. Udział poszczególnych składowych kosztów miesięcznego opóźnienia budowy bloku jądrowego w scenariuszu średnim (w mln PLN)	20
Wykres 6. Miesięczny koszt kapitału w przypadku opóźnienia budowy bloku jądrowego na poszczególnych etapach budowy w zależności od średniego oprocentowania kapitału (w mln PLN) ..	20

SPIS TABEL

Tabela 1. Charakterystyka wybranych komponentów elektrowni jądrowej	12
--	----

Polski Instytut Ekonomiczny

Polski Instytut Ekonomiczny to publiczny *think tank* ekonomiczny z historią sięgającą 1928 roku. Instytut przygotowuje raporty, analizy i rekomendacje dotyczące kluczowych obszarów gospodarki oraz życia społecznego w Polsce, z uwzględnieniem sytuacji międzynarodowej. Jego obszary badawcze to przede wszystkim makroekonomia, energia, gospodarka światowa, gospodarka cyfrowa, ekonomia behawioralna oraz procesy społeczne.