



**Ekonomiczne aspekty
inwestycji jądrowych w Polsce
– wpływ na biznes, rynek pracy
i społeczności lokalne**

Cytowanie: Juszcak, A. (2022), *Ekonomiczne aspekty inwestycji jądrowych w Polsce – wpływ na biznes, rynek pracy i społeczności lokalne*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

Warszawa, sierpień 2022 r.

Autor: Adam Juszcak

Współpraca: Magdalena Maj

Redakcja merytoryczna: Piotr Arak

Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska

Projekt graficzny: Anna Olczak

Skład i łamanie: Tomasz Gałązka

Współpraca graficzna: Joanna Cisek

Polski Instytut Ekonomiczny

Al. Jerozolimskie 87

02-001 Warszawa

© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-66698-86-4

Spis treści

Kluczowe liczby	4
Kluczowe wnioski	5
Wstęp	7
Budowa elektrowni jądrowych na świecie	9
Energetyka jądrowa na świecie – sytuacja obecna i wykorzystywane technologie	9
Otoczenie biznesowe budowy i użytkowania elektrowni jądrowych	13
Wpływ energetyki jądrowej na rynek pracy	16
Wpływ elektrowni jądrowych na gospodarkę lokalną	19
Inwestycje w energetykę jądrową – dobre i złe praktyki	20
Stan realizacji inwestycji jądrowej w Polsce	23
Wpływ inwestycji w energetykę jądrową na polską gospodarkę.	28
Analiza scenariuszowa kosztów budowy elektrowni jądrowych w Polsce	28
Możliwości realizacji inwestycji w energetykę jądrową przez polskie przedsiębiorstwa	32
Korzyści dla gospodarki	36
Podsumowanie	39
Bibliografia	42
Aneks	46
Spis wykresów, tabel i ramek.	47

Kluczowe liczby

od 31 do 46 proc.

obecnego rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną Polski mogłyby przejąć planowane elektrownie jądrowe

od 26 do 38 proc.

prognozowanego zapotrzebowania na energię elektryczną Polski w 2043 r. przejmą elektrownie jądrowe

o ponad 1 proc.

wzrośnie PKB Polski przez realizację inwestycji w energetykę jądrową do 2043 r.

184 mld PLN

może wynieść koszt budowy dwóch elektrowni jądrowych w Polsce (uśredniony scenariusz PIE)

od 26,4 do 39,6 tys.

miejsc pracy powstanie w związku z budową i funkcjonowaniem elektrowni jądrowych w Polsce w ciągu 50 lat pracy reaktorów

do 70 proc.

wartości inwestycji w energetykę jądrową może zostać zrealizowane przez firmy zlokalizowane w Polsce

130 mld PLN

maksymalnie może wynieść wartość inwestycji w energetykę jądrową przeprowadzonych przez polskie przedsiębiorstwa

23 proc.

(78 z 338) przedsiębiorstw, które zgłosiły chęć udziału w programie polskiej energetyki jądrowej posiada wcześniejsze doświadczenia w zagranicznych inwestycjach tego typu

o 285 proc. i 33 proc.

wyższą wartość dodaną dla gospodarki generuje elektrownia jądrowa w porównaniu z elektrownią gazową i węglową o tej samej mocy

Kluczowe wnioski

- **Budowa elektrowni jądrowej w pozytywny sposób wpłynie na PKB Polski.** Wnioski z modeli EMPOWER i PL-ATOM wskazują, że budowa dwóch bloków elektrowni jądrowej o łącznej mocy 3 GW przekładałaby się na PKB wyższe nawet o 0,83 proc. w porównaniu ze scenariuszem bez energetyki jądrowej. W przypadku całego programu polskiej energetyki jądrowej można mówić o wzroście znacząco powyżej 1 proc. w porównaniu ze scenariuszem bazowym.
- **Inwestycje w energetykę jądrową przynoszą lepsze korzyści dla gospodarki niż inwestycje w gaz i węgiel.** Budowa elektrowni jądrowych generuje dla gospodarki o 33 proc. większą wartość dodaną niż elektrowni węglowych i o 285 proc. niż elektrowni gazowych o takiej samej mocy. Z analiz przeprowadzonych na przykładzie gospodarki Korei Południowej wynika, że zamiana bloków jądrowych na węglowe spowodowałaby spadek PKB o blisko 0,5 proc.
- **Według uśrednionego scenariusza PIE końcowy koszt budowy dwóch elektrowni jądrowych może wynieść ok. 184 mld PLN.** Jest on zbliżony do średniego kosztu inwestycji jądrowych na świecie w ostatnich latach (199 mld PLN). Ostateczny koszt inwestycji w energetykę jądrową zależy od licznych czynników w tym wyboru technologii, opóźnień przy budowie i wyborze sposobu finansowania.
- **Nawet 70 proc. inwestycji może zostać zrealizowane przez polskie przedsiębiorstwa.** Dużo będzie zależeć od stopnia przygotowania krajowych przedsiębiorstw, który znacząco różni się w zależności od branży. Najniższym wskaźnikiem oceny potencjału wśród krajowych przedsiębiorstw wyrażających zainteresowanie współpracą przy inwestycjach jądrowych odznacza się sektor logistyki (0,24) i przemysł maszynowy wraz z usługami towarzyszącymi (0,34). Gdyby polskie firmy z tych dwóch sektorów maksymalnie zaangażowały się w projekty budowy elektrowni jądrowych, wkład w ich inwestycje wynosiłby nawet 35 mld PLN.

- **Osiągnięcie maksymalnego udziału przedsiębiorstw zlokalizowanych w Polsce w inwestycjach w energetykę jądrową będzie wymagać dostosowania się firm do wysokich standardów bezpieczeństwa, pozyskania niezbędnych certyfikatów, a także wyszkolenia kadry we współpracy ze środowiskiem akademickim.** W szybkim osiągnięciu tego celu może być niezbędna współpraca przedsiębiorstw zainteresowanych inwestycjami z agencjami rządowymi już na wczesnym etapie przedsięwzięcia. Niezbędne jest zainteresowanie dodatkowych przedsiębiorstw, które dotychczas unikały zaangażowania ze względu na ryzyka związane z inwestycją.
- **Inwestycja w energetykę jądrową generuje tysiące miejsc pracy w gospodarce krajowej.** Według szacunków OECD na każdy 1 GW reaktora PWR przypada średnio 4 tys. miejsc pracy (bezpośrednich, pośrednich i indukowanych) na 50 lat budowy i działania reaktora wraz z jego późniejszą rozbiórką. Przekładając to na planowaną w Polskim Programie Energetyki Jądrowej budowę reaktorów o mocy od 6,6 do 9,9 GW, odpowiada to średnio 24,4–39,6 tys. miejsc pracy w całym cyklu życia reaktorów.

Wstęp

Energetyka jądrowa odpowiada za produkcję ok. 10 proc. energii elektrycznej na świecie. Wraz z energetyką wodną (15 proc. światowej produkcji) łącznie odpowiadają za 3/4 światowej niskoemisyjnej produkcji energii. Z tego powodu przez Międzynarodową Agencję Energetyczną zostały określone kręgosłupem niskoemisyjnej energetyki (IEA, 2019). Sama energetyka jądrowa od lat 70. XX w. pozwoliła zaoszczędzić 72 Gt emisji CO₂ (w porównaniu z emisjami, jakie wygenerowałyby jednostki węglowe) (WNA, 2021a), co przekłada się na niespełna 2 lata obecnego poziomu całościowych światowych emisji gazów cieplarnianych i 230 lat emisji samej Polski (obliczenia własne PIE). Obniżając poziom gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza energetyka jądrowa jednocześnie do 2009 r. zapobiegła 1,84 mln przedwczesnych zgonów, a według badaczy z Instytutu Godarda (NASA) do 2050 r. może uchronić nawet 7 mln więcej osób (Kharecha, Hansen, 2013).

Polskie doświadczenia z energetyką jądrową były zdecydowanie burzliwe. W 1971 r. rząd PRL podjął decyzję o budowie elektrowni jądrowej w Żarnowcu. Początkowo nawiązano umowę z ZSRR na 1 reaktor o mocy 440 MW, jednak ostatecznie zakładano budowę 4 reaktorów o łącznej mocy 1860 MW (4 razy 465 MW). Pierwszy z nich miał być oddany do użytku na koniec grudnia 1991 r., a ostatni 4 lata później – w grudniu 1995 r. Budowę pierwszych dwóch bloków rozpoczęto w 1985 r., jednak awaria w Czarnobylu przełożyła się na gwałtowny wzrost fali protestów wobec budowy elektrowni w Żarnowcu. Protesty te, wraz ze stopniowym wyhamowywaniem tempa budowy i problemami finansowymi, poskutkowały decyzją o zaniechaniu budowy w 1990 r., już przez rząd III RP. Koszty poniesione do momentu zaniechania budowy wyniosły ok. 500 mln USD (NCBJ, 2014). Temat energetyki jądrowej w Polsce po fiasku budowy elektrowni w Żarnowcu został odłożony na ponad 25 lat – dopiero w 2005 r. kwestia polskiej elektrowni jądrowej pojawiła się w *Polityce energetycznej Polski do 2025 roku*.

Mimo istotnej roli w ograniczaniu emisji szkodliwych substancji energetyka jądrowa budzi wiele emocji. Zarzuty można podzielić na dwie kategorie – dotyczące ekologii i bezpieczeństwa oraz ekonomicznej opłacalności inwestycji. W poniższym raporcie nie podejmujemy szerszej polemiki na temat bezpieczeństwa i wpływu na środowisko. Należy jednak dla porządku zaznaczyć, że według Międzynarodowego Panelu ds. Klimatu jest to technologia wytwarzania energii o najniższym śladzie węglowym obok energetyki wiatrowej (Bruckner i in., 2014). Jednocześnie szereg instytucji eksperckich

– m.in. Joint Research Center (nazywane „zapleczem naukowym komisji Europejskiej”) – wyraziło przychylną opinię dot. bezpieczeństwa nowoczesnych reaktorów i zarekomendowało uznanie energetyki jądrowej za zieloną technologię (JRC, 2021).

Drugim często podnoszonym argumentem w przypadku energetyki jądrowej jest teza o jej nieoptyczności. Wskazywane są wieloletnie opóźnienia w realizacji inwestycji, co skutkuje znacząco wyższymi kosztami końcowymi niż deklarowane i późniejszą realizacją celów klimatycznych. Za przykłady podawane są zwłaszcza niedawne europejskie inwestycje w elektrownie we Flamanville we Francji (czterokrotnie wyższy koszt i opóźnienie 10 lat) (Van Oversaeten, Mallet, 2022; [www1](#)) i Olkiluoto w Finlandii (trzykrotnie wyższe koszty i 12 lat opóźnienia, Edwardes-Evans, 2021). W odpowiedzi na te wątpliwości w poniższym raporcie skupiamy się na omówieniu ekonomicznych kosztów i korzyści z budowy elektrowni jądrowej. W pierwszym rozdziale poza omówieniem przeszłej i obecnej sytuacji energetyki jądrowej na świecie omawiamy także wpływ inwestycji w elektrownie jądrowe na polskie przedsiębiorstwa i poszczególne sektory gospodarki, rynek pracy i lokalną społeczność w miejscu budowy elektrowni. W drugim rozdziale podejmujemy próbę przybliżenia różnych scenariuszy kosztów (zarówno z dodatkowymi kosztami jak i bez nich) przy wyborze poszczególnych oferowanych Polsce technologii i wpływu inwestycji w elektrownie jądrowe na PKB kraju. Analizie poddajemy także polskie przedsiębiorstwa i ich możliwość uczestnictwa w realizacji budowy, która w najbardziej pozytywnym scenariuszu mogłaby sięgnąć nawet 70 proc. łącznej wartości inwestycji w całości okresu jej trwania.

Budowa elektrowni jądrowych na świecie

Energetyka jądrowa na świecie – sytuacja obecna i wykorzystywane technologie

Historia energetyki jądrowej ma swoje początki w badaniach nad fuzją jądrową (jej odkrycie miało miejsce w 1939 r.) i późniejszych pracach nad bombą jądrową i projekcie Manhattan. Po II wojnie światowej szybko jednak okazało się, że rozszczepienie atomu może być skutecznym sposobem pozyskiwania energii. Pierwszy eksperymentalny reaktor EBR-I, który wyprodukował energię z reakcji jądrowej, wystartował 20 grudnia 1951 r. w Idaho (USA) i działał do 1963 r. (www2). Początkowo produkowanej energii było niewiele – moc produkcyjna reaktora wystarczała jedynie do zasilenia 4 żarówek o mocy 200W (ONE, 2018). W szybkim tempie powstały jednak elektrownie dysponujące większą mocą – pierwsza została uruchomiona w 1954 r. w Obnińsku na terenie Związku Radzieckiego¹ i miała moc 5 MW, co wystarczało do zaspokojenia potrzeb energetycznych ok. 2 tys. gospodarstw domowych (www3).

Od tego czasu do połowy lat 80. XX w. można zauważyć szybki rozwój energetyki jądrowej, który wyhamował po katastrofie reaktora RBMK w Czarnobylu w 1986 r. Obecnie na świecie funkcjonuje 441 reaktorów jądrowych o łącznej mocy 394 GW. Najwięcej reaktorów do produkcji energii znajduje się w USA (93 reaktory o łącznej mocy 96 GW), Francji (56 reaktorów, 61 GW) i Chinach (55 reaktorów, 52 GW). Oprócz tego na świecie istnieje ok. 220 reaktorów badawczych używanych w celach naukowych, szkoleniowych i do produkcji izotopów wykorzystywanych w medycynie i przemyśle². Od 1974 r. funkcjonuje reaktor Maria³, który obecnie (po wyłączeniu reaktora Ewa w 1995 r.) pozostaje jedynym reaktorem w Polsce (www4).

¹ Elektrownia w Obnińsku była zwieńczeniem prac Instytut Fizyki i Energetyki założonego w maju 1946 r. Rozwijano tam także technologię reaktorów FBR (fast breeder reactors) i reaktorów ołowiu-bizmutowych dla marynarki wojennej (WNA, 2020).

² Dane MAEA PRIS. Reaktor Maria posiada obecnie pozwolenie na eksploatację do 31.03.2025 r. Używany jest m.in. do badań materiałowych i technologicznych, wykorzystywania wiązek neutronów do celów medycznych czy neutronowej modyfikacji materiałów.

³ Reaktor Maria posiada obecnie pozwolenie na eksploatację do 31.03.2025 r. Używany jest m.in. do badań materiałowych i technologicznych, wykorzystywania wiązek neutronów do celów medycznych czy neutronowej modyfikacji materiałów.

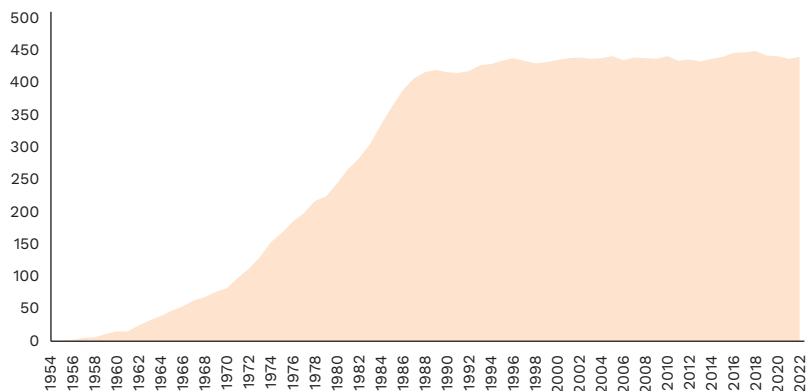
Ramka 1. Małe Reaktory Modułowe (SMR)

Obok rozwoju IV generacji dużych reaktorów jądrowych za przyszłość energetyki jądrowej uważa się małe reaktory modułowe (Small Modular Reactors, SMR). Międzynarodowa agencja energetyki atomowej (MAEA) definiuje małe reaktory jądrowe jako mające poniżej 300 MWe. Zaletą małych reaktorów modułowych ma być ich niższy koszt, seryjna produkcja w fabrykach (zamiast długotrwałej budowy od podstaw na miejscu, jak to jest w przypadku dużych reaktorów) i modułowość pozwalająca na łatwe dostosowanie wielkości elektrowni do lokalnych potrzeb (WNA, 2022). Dodatkowo jako plusy takiego rozwiązania wskazywane są także niższa częstotliwość wymiany paliwa (raz na 3-7 lat wobec 1-2 lat w dużych jednostkach) i większa akceptacja społeczna (MAEA, 2021b). W praktyce moc małych reaktorów jądrowych waha się od kilkunastu MWe na moduł (poniżej 15 MWe mowa już o mikro reaktorach) do takich, które przekraczają granicę 300 MWe. Obecnie firma Rolls-Royce opracowuje reaktory modułowe o mocy równej 470 MWe (www5) – blisko połowę tego co duże reaktory, takie jak np. AP1000. W 2020 r. na etapie budowy lub projektowania jest 70 rodzajów małych reaktorów jądrowych (www6), m.in. w Chinach, Kanadzie, Korei Południowej i USA. Reaktory SMR służą nie tylko do produkcji energii elektrycznej – część z nich ma zasilać hybrydowe systemy energetyczne, służyć do produkcji ciepła, uczestniczyć w odsalaniu wody lub wytwarzaniu pary do celów przemysłowych.

W Polsce pierwsze małe reaktory modułowe zostały zamówione przez KGHM od amerykańskiej spółki NuScale Power. W ramach współpracy planowane jest opracowanie i wybudowanie na potrzeby KGHM 4 reaktorów o mocy 77 MWe każdy, z opcją rozbudowy o dodatkowe 8 reaktorów (do łącznie niecałego 1 GWe) (www7). Zainteresowanie technologią SMR wykazał także PKN Orlen i Synthos Green Energy (reaktory BWRX 300 projektu GE Hitachi Nuclear Energy) (www8) i ZE PAK, który analizuje możliwość wybudowania w miejsce elektrowni Pątnów w Koninie czterech do sześciu reaktorów o łącznej mocy do 1,8 GWe (www9).

Małe reaktory modułowe mogą w przyszłości nadawać się do szerszego zastępowania bloków węglowych ze względu na podobną moc. Ponad 90 proc. z nich to jednostki poniżej 500 MWe – przykładowo w USA w latach 2010-2012 średnia wycofywana z użytku jednostka miała moc 97 MWe, a w latach 2015-2025 ma to być średnio 145 MWe. W Polsce obecnie w wyniku ograniczania użycia gazu w transformacji energetycznej prowadzone są prace nad przedłużeniem żywotności 50 bloków węglowych (o mocy 200 MWe każdy), postuluje się wydłużenie przez UE rynku mocy dla bloków tej klasy o 10 lat – do 2035 r. (Elźbieciak, 2022; Elźbieciak, Zasuń, 2022). Po 2030 r. jednostki te stopniowo mogłyby być zastępowane małymi reaktorami jądrowymi utrzymując stałą liczbę stabilnych i niezależnych od warunków pogodowych jednostek wytwórczych.

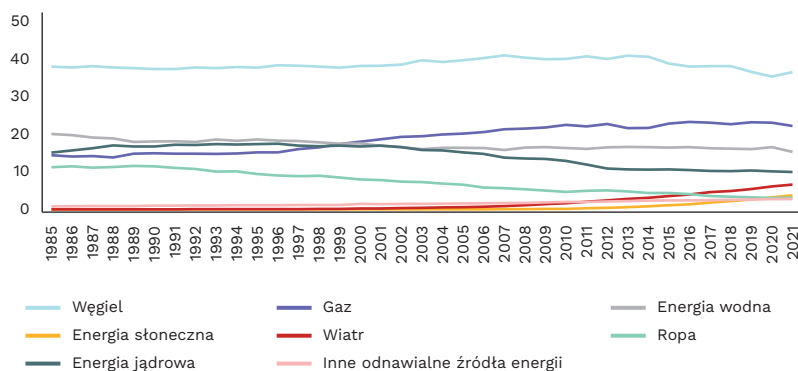
Wykres 1. Łączna liczba reaktorów jądrowych na świecie (z wyłączeniem reaktorów badawczych) w latach 1954-2022



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MAEA.

Energetyka jądrowa obecnie odpowiada za ok. 10 proc. produkcji energii elektrycznej (2553 TWh w 2020 r.) na świecie i pozostaje drugim największym źródłem niskoemisyjnym po energetyce wodnej (15 proc.). W przeszłości udział energetyki jądrowej był wyższy osiągając swoje maksimum w latach 90. XX w. (17 proc.). Największy udział energetyki jądrowej w produkcji energii elektrycznej w 2020 r. miały: Francja (71 proc.), Słowacja (53 proc.), Ukraina (51 proc.) i Węgry (48 proc.).

Wykres 2. Udział poszczególnych źródeł energii w strukturze światowej produkcji energii elektrycznej (w proc.)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych Our Word in Data.

Większość obecnie funkcjonujących reaktorów jądrowych na świecie ma powyżej 30 lat. W trakcie budowy⁴ na świecie są 53 reaktory, z czego najwięcej w Chinach (15) i Indiach (8). Wśród krajów UE jedynie w dwóch (Francja i Słowacja) powstają obecnie nowe moce jądrowe. Budowę nowych reaktorów rozpoczęła także Wielka Brytania i USA.

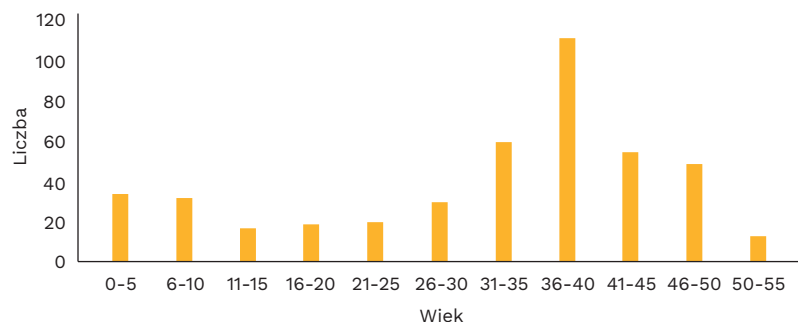
Tabela 1. Liczba bloków jądrowych budowanych na świecie i ich moc całkowita

Kraj	Liczba bloków	Moc całkowita [GW]
Chiny	15	15
Indie	8	6
Korea Południowa, Rosja	po 4, łącznie 8	9,1
Turcja	3	3,3
Bangladesz, Japonia, Słowacja, Ukraina, ZEA, Wielka Brytania, USA	po 2, łącznie 14	15,9
Argentyna, Białoruś, Brazylia, Francja, Iran	po 1, łącznie 5	5,1

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MAEA.

Od początku funkcjonowania energetyki jądrowej 200 reaktorów jądrowych o łącznej mocy 96 GW zostało do maja 2022 r. wyłączonych ze względu na wiek lub wycofywanie się danego państwa z energetyki jądrowej. Najwięcej reaktorów wyłączono w USA (40), Wielkiej Brytanii (34), Niemczech (30) i Japonii (27) (MAEA PRIS, 2022a).

Wykres 3. Wiek reaktorów jądrowych funkcjonujących na świecie (w latach) i ich liczba



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MAEA PRIS.

⁴ MAEA nie zalicza do fazy budowy zapowiedzi i planów wstępnych stąd w powyższej statystyce nie ma jeszcze np. polskich reaktorów.

Większość obecnie funkcjonujących reaktorów jądrowych to reaktory lek-kowodne – głównie wodne ciśnieniowe PWR⁵ (*Pressurized Water Reactor*) i wodne wrzące BWR (*Boiling Water Reactor*). Łącznie te dwa typy stano-wią ponad 83 proc. wszystkich funkcjonujących reaktorów jądrowych (PWR – 307 reaktorów, BWR – 61) i 90 proc. mocy (PWR – 292 GW, BWR – 62 GW) (MAEA PRIS, 2022b). Wśród nowo powstających dominacja reaktorów PWR jest jeszcze bardziej widoczna (45 z 53 w budowie) (MAEA PRIS, 2022c). Reaktory PWR charakteryzują się dwoma obiegami – pierwotnym (chłodzącym reaktor) i wtórnym (parowym turbiny), co w porównaniu z jednoobiegowym BWR pod-nosi koszt urządzeń. Takie rozwiązanie umożliwia uniknięcie skażenia obiegu wtórnego (www10). Reaktory PWR pierwotnie stosowano w obiektach wojsko-wych na czele z napędem do łodzi podwodnych – stąd wysoki poziom rozwoju reaktorów PWR finansowany przez liczne programy wojskowe (www11). Trzy typy reaktorów, które zaoferowano Polsce (amerykański AP-1000, francuski EPR i koreański APR-1400) to reaktory APWR (*Advanced Pressurized Water Reactor*), które należą do nowocześniejszej i bezpieczniejszej generacji reak-torów PWR.

Otoczenie biznesowe budowy i użytkowania elektrowni jądrowych

Budowa elektrowni jądrowych ma znaczący wpływ zarówno na gospodarkę krajową, jak i lokalną. W latach 2005-2009 Międzynarodowa Agencja Ener-gii Atomowej przeprowadziła szczegółowe badanie gospodarki koreańskiej i wpływu na nią energetyki jądrowej. Według wyników analizy wkład przemy-słu jądrowego w PKB Korei w 2005 r. mógł wynieść nawet 1,3 proc. Eksplo-atacja elektrowni jądrowych w Korei Południowej ma wpływ na ponad 80 proc. pozostałych działów gospodarki (MAEA, 2009).

W Korei Południowej budowa jednego bloku elektrowni jądrowej (o mocy 1000 MW) generowała łączną wartość produkcji w różnych gałęziach prze-mysłu na poziomie 3,67 mld EUR. Największy udział w budowie miał sektor produkcji maszyn i urządzeń (21 proc.), usług finansowych i ubezpiecze-nia (13,4 proc.), budownictwo energetyczne (12 proc.), obsługi działalności gospodarczej (11,4 proc.) i produkcji urządzeń elektrycznych i elektronicznych (10,9 proc.). Przekładając te założenia na polskie warunki można przewidy-wać, że inwestycje w program energetyki jądrowej wygenerują w przemyśle od 22 do 33 mld EUR (94,5-142 mld PLN⁶).

⁵ W tym rosyjski odpowiednik WWER.

⁶ Wartość siły nabywczej EUR2019 przeliczona na PLN według średniorocznego kursu NBP za 2019 r.

Tabela 2. Wartość produkcji i wartość dodana w poszczególnych działach gospodarki Korei Południowej wygenerowana przy budowie 1 bloku elektrowni jądrowej (w przeliczeniu na 1000 MW) w 2005 r. (w mld EUR2019)

Dział gospodarki	Wartość produkcji	Wartość dodana
Produkcja metali	0,26	0,05
Produkcja metalowych wyrobów gotowych	0,1	0,04
Produkcja maszyn i urządzeń	0,77	0,24
Produkcja urządzeń elektrycznych i elektronicznych	0,4	0,11
Budownictwo energetyczne	0,44	0,16
Transport i gospodarka magazynowa	0,08	0,04
Usługi finansowe i ubezpieczenia	0,49	0,35
Obsługa rynku nieruchomości	0,06	0,05
Obsługa działalności gospodarczej	0,42	0,24
Edukacja i nauka	0,05	0,04
Pozostałe działy	0,6	0,21
łącznie	3,67	1,53

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych Instytutu Sobieskiego (2020).

Wyniki te nie odbiegają znacząco od szacunków dla gospodarki brytyjskiej. Prognozowana wartość bezpośredniej produkcji sprzedanej przy budowie 10 GW mocy w Wielkiej Brytanii w latach 2012-2030 to 25,5 mld EUR brutto. Jeśli doliczyć do tego oddziaływanie pośrednie⁷ (20 mld EUR) i indukowane⁸ (14 mld EUR) – wynik ten wzrasta do blisko 60 mld EUR (ME, 2017b).

Według oceny Ministerstwa Klimatu i Środowiska, przy większości obszarów budowy elektrowni jądrowych możliwe jest zaangażowanie polskiego przemysłu. W części jednak, jak np. produkcja układów pomocniczych, systemów bezpieczeństwa reaktora czy zasilania zaangażowanie polskich firm będzie wymagało znacznych i kosztownych przygotowań, więc większy ich udział będzie możliwy dopiero przy budowie kolejnych reaktorów po zdobyciu doświadczenia we współpracy z zagranicznymi kontrahentami biorącymi udział w produkcji pierwszych jednostek (MKiŚ, 2021a).

⁷ Pośrednie miejsca pracy – miejsca powstające w łańcuchu dostaw niezbędne do dostarczenia wszystkich usług i towarów, których potrzeba do wytworzenia produktów końcowych. Np. do wyprodukowania zbiornika ciśnieniowego reaktora potrzebny jest wkład pracy w sektorze wydobywania rudy, hutnictwie, odlewnictwie, produkcji pras hydraulicznych itp.

⁸ Wpływ indukowany polega na zwiększeniu dochodów pracowników biorących udział w procesie inwestycyjnym (np. pracowników fabryk, robotników budowlanych) który przekłada się na zwiększenie ich wydatków konsumpcyjnych, a w efekcie – na generację nowych miejsc pracy.

Tabela 3. Obszary projektu jądrowego z możliwym zaangażowaniem polskiego przemysłu

Obszar	Projektowanie warsztatowe	Produkcja	Prace budowlano-montażowe	Remonty i modernizacje
Reaktorownia				
Układy pomocnicze	X	X	✓	✓
Rurociągi – układy wtórne	X	✓	✓	✓
Systemy bezpieczeństwa DCS reaktora, zabezpieczenia przeciwpożarowe	X	X	✓	✓
Zasilanie awaryjne, zasilanie potrzeb własnych	-	X	✓	✓
Maszynownia				
Turbina, generator	-	-	✓	✓
Skraplacz pary	X	✓	✓	✓
Układy pomocnicze	✓	✓	✓	✓
Wyspa konwencjonalna				
Komponenty elektryczne	X	✓	✓	✓
Aparatura Kontrolno-Pomiarowa i Automatyka (AKPIA)	✓	✓	✓	✓
Rurociągi niesklasyfikowane	✓	✓	✓	✓
HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)	✓	✓	✓	✓
Konstrukcje stalowe	✓	✓	✓	✓
Infrastruktura towarzysząca, prace ziemne, prace budowlane				
Wyprowadzanie mocy	✓	✓	✓	✓

Uwaga: ✓ – obszary, w których polskie przedsiębiorstwa posiadają doświadczenia z pracą przy zagranicznych projektach jądrowych, x – obszary, w których spodziewane zaangażowanie polskich przedsiębiorstw jest możliwe od budowy drugiego reaktora.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: MKIŚ (2021a).

Przed polskim przemysłem stoi szereg zagrożeń i słabości, które mogą utrudnić pełną realizację potencjału udziału przy projekcie jądrowym. Ministerstwo Klimatu i Środowiska wskazuje na ograniczone możliwości kapitałowe względem zagranicznej konkurencji, wynikające ze struktury, wielkości i kondycji finansowej polskich przedsiębiorstw przemysłowych. Z blisko 350 firm, które zgłosiły się do prowadzonego przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska katalogu *Polish Industry for Nuclear Energy* jedynie nieco ponad 1/3 to firmy zatrudniające powyżej 250 pracowników⁹.

⁹ Obliczenia własne PIE na podstawie: MKIŚ (2021a).

W przypadku mniejszych podmiotów może występować przede wszystkim:

- trudność dostosowania się firm do wysokich standardów bezpieczeństwa i jakości,
- brak odpowiednio wykwalifikowanej kadry do projektów jądrowych,
- słaba współpraca ze środowiskiem akademickim,
- trudność w sprostaniu skomplikowanemu procesowi certyfikacji,
- niska siła przetargowa wobec światowych dostawców technologii jądrowej.

Wynikiem tych ograniczeń może być niechęć wielu polskich przedsiębiorstw do zaangażowania się w projekt jądrowy i poszukiwanie mniej ryzykownych i kosztownych ścieżek rozwoju (MKiŚ, 2021a).

Wpływ energetyki jądrowej na rynek pracy

Energetyka jądrowa pozwala stworzyć i utrzymać znaczącą liczbę miejsc pracy. We Francji, gdzie przemysł ten jest jednym z najbardziej rozwiniętych, bezpośrednią liczbę miejsc stworzonych w 2009 r. przez przemysł jądrowy ocenia się na 125 tys. Dokładając do tego pośrednie (114 tys. osób) i indukowane miejsca pracy, OECD szacuje liczbę miejsc stworzonych dzięki energetyce jądrowej we Francji łącznie na 410 tys. osób. W Korei Południowej energetyka jądrowa stworzyła bezpośrednio blisko 30 tys. miejsc pracy (9 tys. przy budowie i ponad 20 tys. przy obsłudze). Doliczając miejsca pracy indukowane i pośrednie, OECD łączna liczba miejsc pracy w Korei wzrasta do 93,5 tys. osób.

Według modeli OECD na każde 1000 MW reaktorów APWR przypada 12 tys. osobołat¹⁰ podczas budowy, 30 tys. osobołat przy obsłudze reaktora, 5 tys. osobołat przy rozbiórce i 3 tys. osobołat przy zajmowaniu się odpadami radioaktywnymi. Doliczając do tego wytworzone pośrednie miejsca pracy (50 tys. osobołat) i indukowane (100 tys. osobołat) łączne zatrudnienie podczas cyklu życia elektrowni jądrowej wynosi 200 tys. osobołat na wybudowane 1000 MW (średnio 4 tys. miejsc pracy przez 50 lat działania elektrowni) (OECD, MAEA, 2018). Przekładając wyniki modelu na proponowane 6 reaktorów mocy zainstalowanej **łączna kreacja miejsc pracy w Polsce może wynieść 1,32 mln – 1,98 mln osobołat (lub też średnio 26,4 tys. – 39,6 tys. miejsc pracy w okresie 50 lat cyklu życia reaktorów)¹¹.**



Budowa 1000 MW reaktorów APWR



12 tys. osobołat



Budowa i obsługa reaktora



30 tys. osobołat



Rozbiórka reaktora



5 tys. osobołat



Zajmowanie się odpadami radioaktywnymi



3 tys. osobołat



wytworzone pośrednie miejsca pracy **50 tys. osobołat, indukowane 100 tys. osobołat**



6 reaktorów, 50 lat cyklu życia
= 1,32 mln – 1,98 mln osobołat

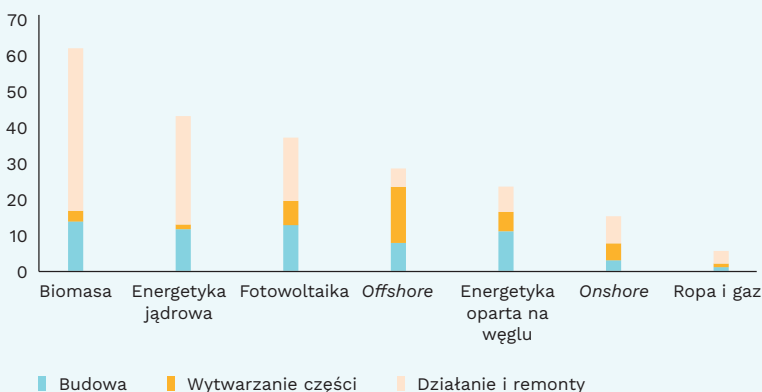
¹⁰ Jednostka generacji miejsca pracy dla 1 osoby przez 1 rok.

¹¹ Opracowanie własne PIE na podstawie: OECD, MAEA (2018).

Ramka 2. Miejsca pracy według źródeł energii

Energetyka jądrowa generuje więcej miejsc pracy niż większość innych technologii. Według danych OECD które biorą pod uwagę bezpośrednie miejsca pracy powstałe w procesie wytwarzania części, budowy elektrowni lub instalacji i jej późniejszego utrzymania i remontów najlepiej wypadają biogazownie (62 tys. osobo lat przy założeniu funkcjonowania jednostek przez średnio 30 lat). Drugą w kolejności są elektrownie jądrowe które po wyłączeniu miejsc pracy przy rozbiórce i usuwaniu odpadów radioaktywnych zapewniają 43 tys. osobo lat bezpośrednich miejsc pracy (przy założeniu funkcjonowania elektrowni przez 50 lat). Co istotne większość miejsc pracy przy budowie elektrowni jądrowych powiązanych jest z procesem budowy i późniejszej obsługi co powoduje, że większość tych miejsc pracy nie może być poddanych eksportowi.

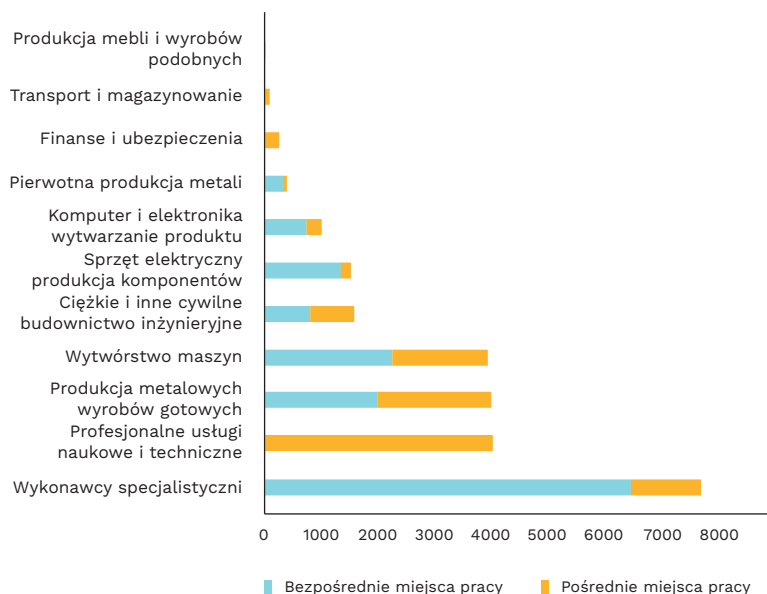
Wykres 4. Miejsca pracy przy wytwarzaniu części, budowy, funkcjonowaniu i remontów poszczególnych źródeł energii (w tys. osobo lat/1000 MW)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: Czako (2020).

W procesie budowy elektrowni jądrowej o mocy ok 1,1 GW najwięcej miejsc pracy byłoby zapewnione dla wykonawców usług specjalistycznych na budowie, w tym instalacji elektrycznych, hydrauliki, ogrzewania, kładzenia cementu (blisko 8 tys. miejsc pracy). Zapewnione miejsca pracy mieliby także pracownicy sektora profesjonalnych usług naukowych i technicznych (4 tys. miejsc pracy), produkcji metalowych wyrobów gotowych (4 tys. miejsc pracy) i produkcji maszyn (także 4 tys. miejsc pracy) (OECD, MAEA, 2018).

Wykres 5. Bezpośrednie i pośrednie (pierwszego rzędu) zatrudnienie przy budowie reaktora jądrowego PWR-12 (1147 MW) w podziale na sektory według NAICS



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: OECD, MAEA (2018).

Przeciętna elektrownia jednoreaktorowa w USA zatrudnia od 460 do 1040 osób (średnia 700 osób). Liczba ta rośnie do średnio 960 stałych pracowników w przypadku elektrowni wyposażonych w 2 reaktory i 1640 pracowników – w 3 reaktory.

Tabela 4. Zatrudnienie w elektrowniach jądrowych w USA podczas ich działania

Liczba pracowników	1-reaktorowa elektrownia	2-reaktorowa elektrownia	3-reaktorowa elektrownia
Średnio	700	960	1640
Min.	460	640	1130
Maks.	1040	1520	2260

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: OECD, MAEA (2018).

Wpływ elektrowni jądrowych na gospodarkę lokalną

Budowa elektrowni jądrowej ma wpływ także na gospodarkę lokalną. Według symulacji Ministerstwa Energii z 2017 r. łączne dochody podatkowe z funkcjonowania przykładowej elektrowni jądrowej wybudowanej w Żarnowcu (3 bloki po 1200 MW) mogłyby przynieść rocznie 660 mln PLN¹² (771 mln PLN według cen z 2021 r.)¹³. W szacunkach uwzględniono jedynie podatki od nieruchomości, CIT od elektrowni jądrowej i PIT pracowników zatrudnionych bezpośrednio przy budowie i eksploatacji. Jeżeli doliczyć dochody z dodatkowej działalności gospodarczej indukowanej budową i eksploatacją elektrowni jądrowej, wpływy do budżetu państwa i jednostek samorządu terytorialnego mogłyby wynieść znacząco powyżej 1 mld PLN (ME, 2017a).

Ponad 2/3 wpływów podatkowych generowanych bezpośrednio przez elektrownię jądrową trafia do jednostek samorządu terytorialnego (JST). Największy dochód – ok 1/3 wszystkich podatków płaconych z tytułu eksploatacji elektrowni przypadnie gminie, w której zostanie wybudowana elektrownia jądrowa – głównie w postaci podatku od nieruchomości. W analizowanym przez Departament Energetyki Jądrowej Ministerstwa Energii przykładzie Żarnowca oznacza to 4-krotne podniesienie dochodów gminy Krokowo i średnio o ok. 30-40 proc. podniesienie dochodów gmin z nią sąsiadujących.

Inwestycje towarzyszące budowie elektrowni jądrowej nie tylko przyczyniają się do powstawania wspomnianych pośrednich i indukowanych miejsc pracy. Podnoszą również komfort życia społeczności lokalnej i zwiększają możliwość powstania nowych działalności gospodarczych w regionie, niezwiązanych z samą elektrownią jądrową. Wśród inwestycji wymienianych w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej jako niezbędne wymieniane są nowe odcinki dróg, linie kolejowe, konstrukcje morskie do rozładunku elementów wielkogabarytowych i sieci wodno-kanalizacyjne (w tym oczyszczalnie ścieków) (MK, 2020).

Liczne korzyści energetyki jądrowej dla społeczności lokalnych potwierdzają przykłady krajów, w których takie elektrownie już istnieją. Według Instytutu Energii Jądrowej z USA w elektrowni Palo Verde w stanie Arizona w USA (łączna moc 3773 MW) w 2002 r. zatrudnionych było 2386 pracowników, z czego 2055 – na pełnym etacie. Zarobki pracowników elektrowni były jednocześnie o 13 proc. wyższe niż średnia dla hrabstwa. Większość zamówień elektrowni składano u lokalnych dostawców i specjalistów (23,5 mln USD₂₀₁₅), co pośrednio przyczyniło się według autorów raportu do dodatkowej generacji 1570 miejsc pracy na rynku lokalnym (NEI, 2004).

Pozytywny wpływ tych inwestycji widać także na przykładzie dopiero powstającej elektrowni jądrowej Hinkle Point C w hrabstwie Sommerset. Już na etapie przygotowania terenu pod budowę nowych bloków spółka EDF Energy zobowiązała się przeznaczyć 35 mld GBP₂₀₁₅ na potrzeby społeczności lokalnych. Na kolejnych etapach rozpoczęła inwestycje w rozbudowę obiektów

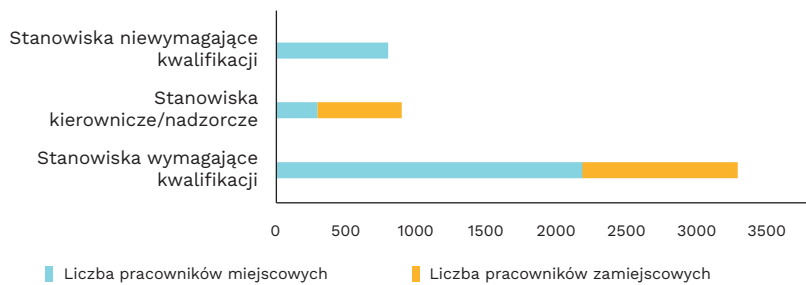
¹² Liczonych według siły nabywczej z 2015 r.

¹³ Obliczenia własne PIE.

użyteczności publicznej, w tym 116 mln GBP2015 na lokalną infrastrukturę i 231 mln GBP2015 na działania mające zminimalizować negatywny wpływ budowy na społeczność lokalną. Na etapie budowy inwestor przewiduje składowanie zamówień u lokalnych firm na kwotę 25 mln GBP2015 rocznie, a po jej zakończeniu – 46 mln GDP2015 rocznie (ME, 2017b).

Duży udział pracowników lokalnych potwierdzają wyniki analiz procesu budowy elektrowni Wisaginia na Litwie. Stosunkowo najwyższy ma być udział społeczności lokalnej w procesie rekrutacji personelu niewykwalifikowanego, którego 100 proc. będzie mogło pochodzić z okolic budowy. Łącznie na 5000 pracowników aż 3300, czyli 2/3, będzie pochodzenia miejscowego. Ostrożniej do zatrudniania ludności lokalnej podchodzą Brytyjczycy w szacunkach dotyczących Hinkle Point C – tu wynosi ono 1400 z 5600 miejsc pracy, czyli 25 proc.

Wykres 6. Zakładana wielkość zatrudnienia w szczycie robót na budowie EJ Wisaginia na Litwie i udział pracowników pochodzenia miejscowego



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: ME (2017).

Inwestycje w energetykę jądrową – dobre i złe praktyki

Inwestycje w energetykę jądrową w ostatnich dwóch dekadach miały opinię ryzykownych – zwłaszcza w zachodniej debacie publicznej. Liczne przykłady opóźnień i rosnących kosztów pierwszych inwestycji w reaktory nowych generacji (*first of a kind*, FOAK). Opóźnienia miały miejsce m.in. w realizacji Olkiiuto-3 (13 lat, wzrost kosztów o ponad 150 proc.) czy Flamanville (10 lat, koszt ponad 250 proc. wyższy). Skala i trudności napotymane podczas realizowania tych inwestycji powodują, że zarówno wśród inwestorów, jak i decydentów, pojawia się pytanie czy inwestycja w energetykę jądrową nie jest zbyt droga i zbyt podatna na opóźnienia w kontekście realizacji celów klimatycznych w porównaniu z alternatywnymi źródłami niskoemisyjnej energii.

Z tego powodu niezbędna jest identyfikacja ryzyk, jakie niesie ze sobą inwestycja w energetykę jądrową. Te mogą być podzielone na 3 szerokie kategorie:

- ryzyko technologiczne związane z konstrukcją reaktora, zwłaszcza pod kątem dojrzałości projektu i integracji nowych technologii;
- ryzyko organizacyjne związane z zarządzaniem projektem, zwłaszcza w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa i stabilności łańcucha dostaw kluczowych komponentów budowy;
- ryzyko finansowo-polityczne związane z ramami polityki, zwłaszcza związanymi z zapewnieniem płynności pieniężnej, stabilności i wsparcia politycznego dla projektu. W przypadku UE jednym z kluczowych ryzyk i niepewności była przez długi czas kwestia wpisania energii jądrowej do unijnej taksonomii i uznania za zieloną energię.

Po uruchomieniu elektrowni jądrowej następuje aktualizacja zagrożeń, pojawiają się m.in.:

- ryzyko związane z wahaniami cen na rynku energii w perspektywie długoterminowej i konkurencyjnością źródeł jądrowych;
- ryzyko związane z ciągłością dostaw paliw i ciągłością działania reaktora;
- ryzyko związane z odpadami jądrowymi;
- ryzyko wynikające z nieprzewidzianych okoliczności w postaci różnego rodzaju katastrof;
- koszty rozbiórki elektrowni na koniec jej funkcjonowania (OECD, 2020).

Oceniając priorytety w ograniczaniu ryzyka można stwierdzić, że ryzyko technologiczne i organizacyjne znacząco spadają, jeżeli inwestycja korzysta ze sprawdzonych standaryzowanych technologii i sprawdzonego przy innych inwestycjach łańcucha dostaw. W takim przypadku może też spadać ryzyko wynikające z potencjalnych zmian polityki publicznej, które jest niższe, jeżeli nie pojawią się znaczne opóźnienia w procesie realizacji inwestycji.

Istotnym elementem oceny ryzyka jest także sposób finansowania inwestycji. Można tu wyróżnić przede wszystkim podział na inwestycje sektora publicznego, czyli bezpośrednio finansowanie przez rząd (np. Quishan w Chinach) (WNA, 2020b) lub przez sektor prywatny, który zbiera fundusze poprzez instrumenty dłużne i pozyskiwanie funduszy od inwestorów (model wykorzystywany m.in. we Francji, Korei, USA czy Wielkiej Brytanii) (WNA, 2020b). Coraz częstszy jest także model współfinansowania elektrowni jądrowej w formie łączenia kapitału rządowego i prywatnego. Taki model jest przewidywany dla polskiej inwestycji. Obecnie 100 proc. udziałów realizującej inwestycję spółki Polskie Elektrownie Jądrowe (PEJ)¹⁴ posiada Skarb Państwa, przewiduje się jednak odstąpienie do 49 proc. jednemu wspólnemu inwestorowi strategicznemu powiązanemu z dostawcą technologii (MK, 2020).

¹⁴ Dawne PGE EJ 1. Zmiana nazwy nastąpiła w marcu 2021 r. i ma związek z podpisaną umową sprzedaży 100 proc. udziałów w PGE EJ 1 przez koncerny PGE, Enea, KGHM i Tauron na rzecz Skarbu Państwa. Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 4 maja 2021 roku prawa z udziałów wobec Spółki wykonuje w imieniu Skarbu Państwa Pełnomocnik Rządu do spraw Strategicznej Infrastruktury Energetycznej.

Ramka 3. Model Mankala

W Finlandii od 1970 r. prawie wszystkie duże elektrownie zostały sfinansowane za pomocą tzw. Modelu Mankala. Polega on na zebraniu przedsiębiorstw-udziałowców, którzy wspólnie finansują projekt, dzieląc się kosztami budowy i utrzymania elektrowni. Mają oni proporcjonalnie mniejszą odpowiedzialność finansową, ale nie mogą wypłacać dywidendy z zysków związanych z działalnością elektrowni. W zamian za to jednak adekwatnie do wielkości swoich udziałów w elektrowni firmy te mają możliwość (i obowiązek) kupienia energii elektrycznej od elektrowni po koszcie jej wytworzenia. Ta może być wykorzystana zarówno przez przedsiębiorcę, jak i odsprzedana dalej na warunkach rynkowych. Model ten obejmuje ok. 2/3 produkcji energii elektrycznej w Finlandii (WNA, 2020b).

Nawet jeśli rząd nie jest bezpośrednim sponsorem elektrowni jądrowej ani nie wspomaga jej nisko oprocentowanymi pożyczkami, może pozytywnie wpłynąć na zredukowanie ryzyka inwestycji za pomocą instrumentów gwarantowania cen energii, podobnie jak ma to miejsce w przypadku inwestycji w OZE. Wśród najpopularniejszych instrumentów tego typu znajdują się:

- umowa zakupu energii (Power Purchase Agreement, PPA) – długoterminowa gwarancja zakupu energii elektrycznej po określonej cenie, często zawierana przez dostawców energii powiązanych z sektorem publicznym;
- kontrakt na różnicę (Contract for Difference, CfD) – dzięki niemu zabezpieczona jest cena wykonania (koszt projektu plus marża operatora). Jeżeli hurtowa cena energii elektrycznej na rynku jest niższa, strona gwarantująca (którą może być np. państwowa spółka energetyczna) dopłaca różnicę. Jeśli cena rynkowa jest wyższa od ceny wykonania wtedy na różnicy zyskują końcowi odbiorcy. Instrument CfD w energetyce niskoemisyjnej zaproponowano np. przy elektrowni Hinkley Point C (WNA, 2020b).

Stan realizacji inwestycji jądrowej w Polsce

Trzy firmy wyraziły zainteresowanie realizacją polskiej inwestycji w energetykę jądrową: Korea Hydro&Nuclear Power (KHNP) (reaktor APR1400), amerykańska spółka Westinghouse (reaktor AP1000) i francuskie przedsiębiorstwo spółka Électricité de France (EDF) (reaktor EPR). Koreańska KHNP i francuska EDF złożyły już oferty polskiemu rządowi¹⁵.

Francuzi zaoferowali budowę od 4 do 6 reaktorów EPR o łącznej mocy od 6,6 do 9,9 GW. W zależności od wariantu koszt inwestycji będzie się wahać w przedziale 33-48,5 mld EUR, czyli 154-226 mld PLN¹⁶. Jednocześnie EDF zadeklarowało uruchomienie pierwszego reaktora w 2033 r., czwartego w 2038 r., a ostatniego, szóstego – w 2043 r., czyli według harmonogramu założonego w PPEJ. We wstępnej ofercie francuski rząd zaoferował także finansowe wsparcie projektu (w tym finansowanie dłużne¹⁷), które może sięgnąć nawet połowy wydatków na inwestycje (Oksińska, 2022). EDF podpisało memorandum z polskimi dostawcami (www12).

Koreańska firma KHNP w kwietniu 2022 r. złożyła ofertę na budowę 6 reaktorów o łącznej mocy 8,4 GW, z czego pierwszy mógłby zacząć pracę zgodnie z założonym w PPEJ harmonogramem (2033 r.). Oferta zawiera propozycję wsparcia budowy i współfinansowania projektu przez rząd koreański i wyspecjalizowane instytucje (agencje kredytów eksportowych i zagraniczne agencje rozwoju). Jednocześnie w ofercie zamieszczone są także propozycje transferu technologii (Jakubik, 2022) i budowy w Polsce fabryki przez firmę Doosan Enerbility, jednego z głównych wykonawców koreańskich bloków jądrowych, specjalizującego się m.in. w produkcji zbiorników reaktora, układów chłodzenia reaktora, generatorów pary, turbin i pomp wykorzystywanych do chłodzenia reaktora (Ciepela, 2022).

¹⁵ Informacje według stanu na 30.06.2022 r.

¹⁶ Kurs z dnia 16.05.2022 r.

¹⁷ Finansowanie dłużne polega na pożyczaniu pieniędzy od osób trzecich czy instytucji finansowych, ze źródeł prywatnych i publicznych.

Amerykańska firma Westinghouse nie złożyła jeszcze oferty na budowę 6 reaktorów AP1000 (łączna moc ok. 6,6 GW). Zostało jednak już podpisane memorandum o współpracy z jedenastoma polskimi dostawcami (www13). Memorandum z polskimi firmami podpisała także amerykańska firma Bechtel (www14)¹⁸, która jest partnerem Westinghouse¹⁹.

Znana jest lokalizacja pierwszej elektrowni jądrowej – pod koniec 2021 r. wybrana została nadmorska lokalizacja Lubiawo-Kopalino w gminie Choczewo (woj. pomorskie) (www15). Pod koniec marca 2022 r. spółka Polskie Elektrownie Jądrowe złożyła Generalnemu Dyrektorowi Ochrony Środowiska (www16) raport oddziaływania na środowisko w tej lokalizacji elektrowni jądrowej o mocy elektrycznej do 3750 MW. Lokalizacja drugiej elektrowni jądrowej nie jest jeszcze znana. Rozważa się są Bełchatów i Pątnów. Przed wyborem gminy Choczewo często w kontekście lokalizacji nadmorskiej władze wymieniały też Żarnowiec (www17) – lokalizacja ta leży jednak w dużej bliskości pierwszej elektrowni.



¹⁸ Podpisane memorandum obejmuje firmy: Rafako, Mostostal Kraków, ZKS Ferrum, KB Pomorze, OMIS, GP Baltic, Protea Group, Polimex Mostostal S.A., Fogo, Zarmen Group.

¹⁹ Z firmą Bechtel memorandum podpisały firmy BAKS, Budimex, Doraco, Energoprojekt, Hitachi Energy Poland, ILF, KB Pomorze, Mostostal Warszawa, Polimex Mostostal, Protea Group, Vistal Gdynia S.A., Zarmen.

Tabela 5. Harmonogram Budowy Elektrowni jądrowej według Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (wybór najważniejszych elementów)

Rok	Zakres prac
2021	wybór technologii (opóźnienie do przetomu 2022/2023)
2022	uzyskanie decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej dla pierwszej elektrowni jądrowej (EJ1 – w trakcie realizacji ²⁰ - decyzja środowiskowa czeka na rozpatrzenie) podpisanie umowy z dostawcą technologii i głównym wykonawcą (tzw. EPC – engineering, procurement, construction)
2023	rozpoczęcie prac wstępnych i przygotowawczych w lokalizacji EJ1 rozpoczęcie prac nad wyborem lokalizacji dla drugiej elektrowni jądrowej (EJ2)
2025	wydanie zezwolenia na budowę EJ1 przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki
2026	uzyskanie pozwolenia na budowę i rozpoczęcie budowy EJ1
2028	uzyskanie decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej dla EJ2
2029	rozpoczęcie prac wstępnych i przygotowawczych w lokalizacji EJ2
2032	uzyskanie pozwolenia na budowę i rozpoczęcie budowy EJ2
2033	oddanie do eksploatacji pierwszego bloku EJ1
2035	oddanie do eksploatacji drugiego bloku EJ1
2037	oddanie do eksploatacji trzeciego bloku EJ1
2039	oddanie do eksploatacji pierwszego bloku EJ2
2041	oddanie do eksploatacji drugiego bloku EJ2
2043	oddanie do eksploatacji trzeciego bloku EJ2

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: MK (2020).

W badaniach poparcia dla budowy elektrowni jądrowej w Polsce przeprowadzonych przez Ministerstwo Klimatu w listopadzie 2020 r. 62,5 proc. Polaków popierało budowę elektrowni jądrowej, a 31,5 proc. było przeciwnikami takiej inwestycji. Zwolennikami budowy elektrowni jądrowej są częściej osoby młodsze (najwyższe poparcie – blisko 80 proc., w grupie wiekowej 15-29 lat) i mieszkańcy dużych miast (blisko 70 proc. poparcia wśród mieszkańców miast powyżej 100 tys. vs 55,5 proc. poparcia na wsiach). Zdecydowanie częściej za budową elektrowni jądrowej opowiadają się także mężczyźni (76 proc.) niż kobiety (48 proc.) (MKiŚ, 2020).

Wyniki badań Ministerstwa Klimatu i Środowiska pokrywają się z badaniami PIE przeprowadzonymi na mieszkańcach Bełchatowa (jedna z potencjalnych lokalizacji drugiej elektrowni jądrowej). Blisko 60 proc. mieszkańców Bełchatowa popiera budowę elektrowni jądrowej. Jednak gdy pytanie dotyczy budowy elektrowni w ich okolicy – odsetek pozytywnych odpowiedzi spada do poniżej 50 proc (Juszczak, Kutwa, 2021). Jest to typowy przykład efektu „nie w moim ogródku” (*Not in My Backyard*).

²⁰ Stan na dzień 30.06.2022 r.

Ramka 4. Efekt *Not in My Backyard*

Efekt „nie w moim ogródku” (*Not in My Backyard*, NIMBY) został po raz pierwszy opisany w połowie lat 70. XX w., właśnie w kontekście budowy elektrowni jądrowych w USA (www18). Jest on wyjaśnieniem rozdziewięku między poparciem dla projektów, które są potrzebne i zyskowe dla społeczeństwa, ale istnieje sprzeciw wobec ich budowy w najbliższej okolicy. Wynika to często z niechęci do potencjalnych negatywnych efektów inwestycji lub tymczasowych utrudnień podczas jej budowy. Ponieważ mieszkańcy innych okolic również mogą zajmować takie stanowisko, w rezultacie dane projekty mogą nie zostać zrealizowane nigdzie (Been, 2018). Do inwestycji spotykających się z problemem w postaci efektu NIMBY poza energetyką jądrową należą oczyszczalnie ścieków, elektrownie wiatrowe na lądzie czy obwodnice.

Przeciwieństwem efektu NIMBY może być efekt YIMBY (*Yes in My Backyard*, „tak, w moim ogródku”). Wyniki badań przeprowadzonych przez naukowców z Uniwersytetu w Kioto wskazują, że mimo awarii w Fukushima, która znacząco wpłynęła na obiekcje dotyczące energetyki jądrowej w Europie, w Japonii społeczność lokalna nie wyraża sprzeciwu wobec wznawiania działania reaktorów jądrowych lub budowy nowych. Co więcej, mniej zamożna część społeczności lokalnych aktywnie opowiada się za budową elektrowni jądrowej w ich najbliższym sąsiedztwie, mając nadzieję na skorzystanie z pozytywnych efektów inwestycji jak nowe dobrze płatne miejsca pracy, mniejsze zanieczyszczenie powietrza czy większe podatki odprowadzane na rzecz lokalnej społeczności (Uji, Prakash, Song, 2021).

W zależności od wybranego wariantu inwestycji moc zainstalowana dwóch elektrowni jądrowych wynosiłaby od 6600 MW (4 reaktory EPR) do 9900 MW (6 reaktorów EPR). W przypadku teoretycznego wykorzystania współczynnika mocy na poziomie 100 proc. przekładałoby się to na produkcję od 58 do 87 TWh rocznie. W praktyce jednak żadna elektrownia jądrowa nie pracuje nieprzerwanie przez cały czas z pełną wydajnością. W strategii *Polityka Energetyczna Polski 2040* współczynnik wykorzystania mocy przyjęto na poziomie 89,6 proc. (MKiŚ, 2021c), natomiast biorąc za przykład elektrownię jądrową Palo Verde współczynnik ten można przyjąć na średnim poziomie 93 proc. (EIA, 2021).

Zakładając budowę reaktorów o mocy 9900 MW i współczynnik wykorzystania mocy na poziomie 93 proc., roczna produkcja energii elektrycznej z energetyki jądrowej wynosiłaby 81 TWh, co przekłada się na 46,4 proc. obecnej rocznej produkcji energii elektrycznej (173,5 TWh w 2021 r.) i 46,2 proc. zapotrzebowania (174,4 TWh). W przyszłości zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie jednak wyższe i według prognoz Ministerstwa Klimatu i Środowiska przekroczy 204 TWh w 2040 r. (MKiŚ, 2021c) Zakładając stabilne tempo wzrostu w momencie wybudowania ostatniego reaktora krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną może przekroczyć 210 TWh. Oznacza to, że energe-

tyka jądrowa zaspokoiłaby od 25,6 proc. (6,6 GW mocy zainstalowanej) do 38,4 proc. (9,9 GW mocy zainstalowanej) rocznego zapotrzebowania w 2043 r.

Tabela 6. Roczna produkcja energii elektrycznej (w TWh) w zależności od wybranego wariantu budowy elektrowni jądrowych i współczynnika wykorzystania mocy (w TWh)

Scenariusz	Łączna moc (MW)	Produkcja energii przy współczynniku wykorzystania mocy 100 proc. (TWh)	Produkcja energii przy współczynniku wykorzystania mocy 93 proc. (TWh)	Produkcja energii przy współczynniku wykorzystania mocy 89,6 proc. (TWh)
EPR1	6600	57,8	53,8	51,8
EPR2	9900	86,7	80,7	77,7
AP1000	6700	58,7	54,6	52,6
APR1400	8400	73,6	68,4	65,9

Źródło: opracowanie własne PIE.



Wpływ inwestycji w energetykę jądrową na polską gospodarkę

Analiza scenariuszowa kosztów budowy elektrowni jądrowych w Polsce

Końcowe koszty budowy elektrowni jądrowej pozostają niewiadomą. Obecnie do publicznej wiadomości podano jedynie kwotę ofertową na dwa warianty, które polskiemu rządowi zaproponowała francuska firma EDF. W pierwszym pełnowymiarowym, EDF zaoferowała budowę 6 reaktorów o łącznej mocy 9,9 GW za kwotę 48,5 mld EUR (ok. 225 mld PLN²¹). W drugim – mniej ambitnym wariantcie – miałyby powstać 4 reaktory o łącznej mocy 6,6 GW i koszcie 33 mld EUR (ok. 153 mld PLN).

Brakuje informacji na temat kwot ofertowych Westinghouse i KHNP, ale można je oszacować bazując na danych historycznych. W przypadku reaktorów AP1000 środkowa cena ofertowa (przeliczona na 6 reaktorów o mocy 6,7 GW) wynosiła 31,3 mld USD (132 mld PLN), a dla APR1400 (6 reaktorów, 8,4 GW) 26,7 mld USD (112 mld PLN). Jest to jednak jedynie cena deklarowana – w praktyce ostateczna cena budowy elektrowni jądrowej jest wyższa²². Bazując na przelicznikach oszacowanych na podstawie danych historycznych i obecnych postępów w inwestycjach (patrz ramka 5) końcowa cena inwestycji w reaktory EPR może wynieść 330–480 mld PLN. Dla porównania szacowany koszt elektrowni opartych na reaktorach AP1000 to 246 mld PLN, a APR1400 – 131 mld PLN^{23,24}.

Należy zaznaczyć, że inwestycje w przypadku omawianych trzech technologii, zwłaszcza najnowszych reaktorów EPR, to tzw. FOAK (First of a Kind), czyli pierwsze inwestycje, które są obciążone największymi problemami wynikającymi z występowania dodatkowych trudności podczas wprowadzania w życie nowych technologii. Istnieje szansa, że kolejne inwestycje będą obciążone mniejszymi opóźnieniami, a w konsekwencji – także niższymi kosztami dodatkowymi. Wyraźnie niższy średni historyczny koszt inwestycji w koreańskie

²¹ Wszystkie kursy przeliczane według średnich wartości z 2021 r. podawanych przez NBP.

²² Elektrownia jądrowa jako wieloletnia skomplikowana inwestycja jest podatna na opóźnienia, które mogą wynikać m.in. w zmian w projekcie (zwłaszcza gdy mowa o pierwszych reaktorach nowego rodzaju, tj. FOAK), problemami logistycznymi czy dodatkowymi kosztami które wynikają z konieczności odpowiedniego zabezpieczenia prac.

²³ Koszty podawane z przeliczeniem na ceny z 2021 r. Ze względu na wysoki poziom inflacji w 2022 r. i prognozy podwyższonej inflacji w 2023 r. na świecie końcowe szacunki mogą być wyższe.

²⁴ Opracowanie własne PIE na podstawie informacji prasowych i Oettingen (2021).

reaktory może wynikać z faktu, że większość elektrowni opartych na tej technologii była budowana w samej Korei co zmniejszało m.in. koszty związane z logistyką. W przypadku 4 reaktorów APR1400 budowanych w Zjednoczonych Emiratach Arabskich (Barakah 1-4) koszt końcowy wyniósł ok. 25 mld USD (moc 5,4 GW), co w przeliczeniu na deklarowane dla Polski 8,4 GW dawałoby 39 mld USD (164 mld PLN). Reaktor oferowany przez Koreańczyków nie będzie pierwotną wersją APR-1400, ale jego modyfikacją ze zmianami w systemie awaryjnego chłodzenia zatwierdzoną przez Europejską Agencję Wymagań Użytkowych (*European Utility Requirements Organisation*). Zmiany w projekcie zwiększają jego bezpieczeństwo, ale z drugiej może przetożyć się na wyższe końcowe koszty inwestycji.(www19).

Mimo wysokich kosztów historycznych budowy pierwszych reaktorów generacji III+ obecnie technologia ta wkracza w nowy etap dojrzałości. Z tego względu można spodziewać się wyższych kosztów niż ofertowe i opóźnień w budowie, jednak nie powinny być one tak wysokie jak w przypadku pierwszych inwestycji (FOAK). **Biorąc to pod uwagę do dalszych analiz potencjału przedsiębiorstw wyznaczony przez nas uśredniony koszt budowy 2 elektrowni jądrowych w Polsce wynosi 184 mld PLN** i wyliczony jest jako średnia cen ofertowych i finalnych cen projektów FOAK 3 najbardziej prawdopodobnych scenariuszy budowy (6 reaktorów AP1000, 6 reaktorów APR1400 i 4 reaktory EPR).

Dla porównania średni „koszt budowy z dnia na dzień” (*overnight construction cost*²⁵) nowych elektrowni jądrowych na świecie (do 2017 r.), przy pominięciu różnic między reaktorami, wyniósł 3600-7200 EUR₂₀₁₇ za kWe (Gambao Palacios, Jansen, 2018). Po zaktualizowaniu o poziom inflacji do 2021 r. i przeliczeniu na hipotetyczne elektrownie o łącznej mocy 7,5 GW otrzymujemy koszt mieszczący się w przedziale 132-265 mld EUR (środek przedziału – 199 mld EUR)²⁶.

²⁵ Jest to koszt projektu budowlanego, jeśli podczas budowy nie nałożono odsetek, tak jakby projekt został ukończony „z dnia na dzień”.

²⁶ Obliczenia własne PIE.

Tabela 7. Analiza scenariuszowa kosztów budowy polskich elektrowni jądrowych wraz z wariantami udziału polskich przedsiębiorstw w realizacji inwestycji

Scenariusze	Moc elektryczna netto (GW)	Całość kosztów (mld PLN)	Wariant A (30 proc.)	Wariant B (50 proc.)	Wariant C (70 proc.)	Cena/GW (mld PLN)
Koszty deklарowane	X	X	X	X	X	X
AP1000	6,7	132	40	66	92	19,7
APR1400	8,4	112	34	56	79	13,4
EPR 2	9,9	225	67	112	157	22,7
EPR 1	6,6	153	46	76	107	23,2
Koszty deklарowane + szacowane koszty opóźnień	X	X	X	X	X	X
AP1000	7,2	246	74	123	173	34,2
APR1400	8,4	131	39	66	92	15,6
EPR 2	9,9	486	146	243	341	49,1
EPR 1	6,6	331	99	166	232	50,2
Hipotetyczna elektrownia (średnia z literatury)	7,5	199	60	99	139	26,5

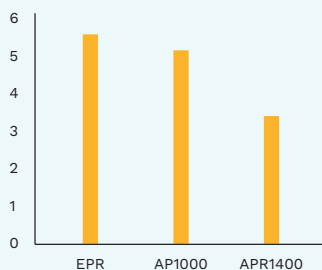
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie złożonych ofert, informacji prasowych, danych dotyczących opóźnień w realizacji inwestycji i dodatkowych kosztów, danych dotyczących kosztów energetyki jądrowej na świecie, szacunków dotyczących możliwego udziału lokalnych przedsiębiorstw w realizację inwestycji jądrowych.

Koszt ofertowy (podobnie jak szacowany koszt końcowy) nie jest jednak jedynym kryterium oceny dostawcy technologii. Przy wyborze dostawcy należy koniecznie uwzględnić jego poziom rozwoju przemysłu jądrowego, pozwalający na rozwijanie stosowanych technologii i wykorzystanie własnego wkładu intelektualnego we wspomaganie tego przemysłu. Istotne są także takie warunki inwestycji, jak m.in. forma finansowania projektu, zdolność dostawcy technologii do zapewnienia technicznego wsparcia operatorowi bloków jądrowych w długim terminie, oferowana technologia neutralizacji odpadów czy oferowanie szerokiego zakresu szkoleń dla personelu niezbędnego na każdym etapie powstawania i funkcjonowania elektrowni jądrowej.

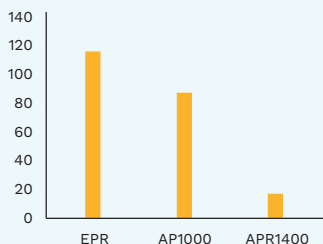
Ramka 5. Dodatkowe koszty i opóźnienia przy budowie reaktorów APR1400, AP1000 i EPR

Do końca 2021 r. wybudowanych lub w trakcie realizacji było 6 elektrowni opartych na reaktorach AP1000²⁷ (w Chinach, Korei Południowej, USA), 10 elektrowni z reaktorami APR1400 (Korea Południowa, Zjednoczone Emiraty Arabskie) i 6 elektrowni z technologią EPR (Finlandia, Francja, Chiny, Wielka Brytania). Najmniejszymi opóźnieniami w realizacji wykazywały się elektrownie oparte na technologii APR1400 – średnio niewiele powyżej 3 lat. W przypadku reaktorów AP1000 i EPR średnie opóźnienie w realizacji inwestycji wynosi już powyżej 5 lat. Także w przypadku dodatkowych kosztów najlepiej wypada koreańska spółka KHNP – średnio dla reaktorów APR1400 były one o 17 proc. wyższe od pierwotnie planowanych, podczas gdy dla AP1000 87 proc., a dla reaktorów EPR – 116 proc.

Wykres 7. Średnie opóźnienie budowy reaktora (w latach)



Wykres 8. Średni wzrost kosztów budowy reaktora w porównaniu do kosztów ofertowych (w proc.)



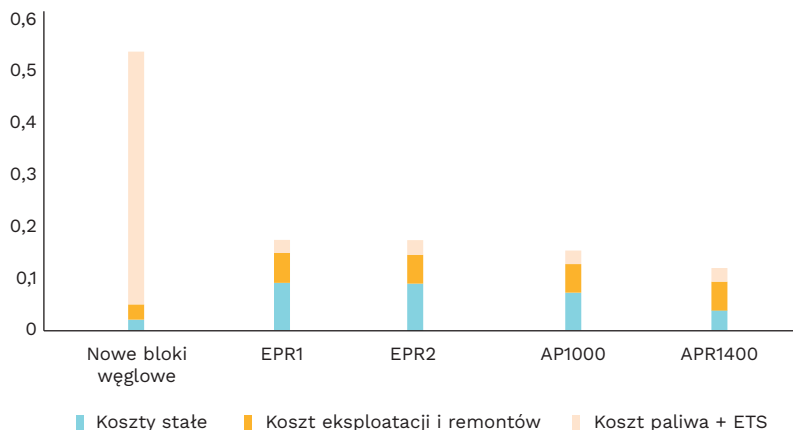
Uwaga: dane dotyczące kosztów i opóźnień w realizacji obecnie budowanych reaktorów zgodnie ze stanem na dzień 12.05.2022 r.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie Oettingen (2021).

Uproszczone obliczenia kosztów stałych i zmiennych w przeliczeniu na kWh w cyklu życia elektrowni jądrowej są znacząco niższe niż w przypadku nowych bloków węglowych. Dla bloków jądrowych wynoszą od 12 do 17,5 groszy za kWh a dla bloków węglowych 50 groszy za kWh. Dominującą większość kosztów w przypadku energetyki węglowej stanowią koszty paliwa i uprawnień do emisji CO₂, które są narażone na wysoką zmienność cen. Dla porównania przy obecnych cenach paliwa jądrowego jego udział w finalnym koszcie energii elektrycznej to jedynie ok. 2,5 grosza.

²⁷ Nie braliśmy pod uwagę inwestycji w reaktory Summer 2 i 3, której zaniechano w 2017 r. (www19).

Wykres 9. Uprozczone obliczenia części kosztów stałych i zmiennych elektrowni jądrowych i węglowych (PLN/kWh)



Uwaga: wariant EPR1 zakłada budowę 6,6 GW, EPR2 9,9 GW, AP1000 6,7 GW a APR1400 8,4 GW. W badaniu przyjęto średnią cenę węgla na poziomie 248 PLN/tonę (średnia indeksu PCMSI za 2021 r.), cenę paliwa jądrowego przyjęto na poziomie 40 USD/lb, współczynnik wykorzystania mocy elektrowni jądrowej – 93 proc., współczynnik wykorzystania mocy dla nowych nadkrytycznych bloków węglowych – 85 proc., koszty budowy nowego bloku węglowego – 6,6 mld PLN/GW, koszt budowy nowych bloków jądrowych jako średnia między ceną ofertową a kosztami finalnymi FOAK (First of a Kind) odpowiednio EPR1 – 37 mld PLN/GW, EPR2 – 36 mld PLN/GW, AP1000 – 26 mld PLN/GW i APR1400 – 15 mld PLN/GW, koszt EU ETS na poziomie średniej z okresu 03.01.2022-26.07.2022 wyniósł 83,36 EUR/tonę, współczynnik intensywności emisji elektrowni węglowej na poziomie 835 g CO₂/kWh i spalanie węgla na poziomie 0,51 kg/kWh. We wszystkich przypadkach założono czas działania bloków równy 50 lat. Średni kurs EUR/PLN i USD/PLN według danych NBP za 2021 r. W analizie w obu przypadkach pomijamy obsługę kosztu finansowania inwestycji (koszt kapitału).

Źródło: opracowanie własne PIE.

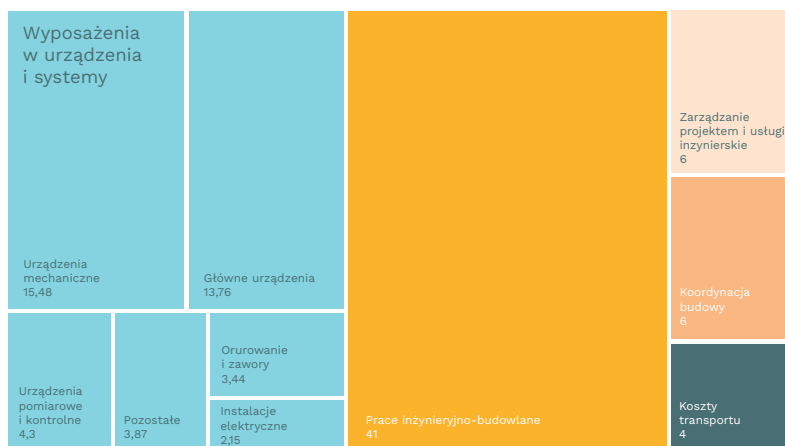
Możliwości realizacji inwestycji w energetykę jądrową przez polskie przedsiębiorstwa

Bardzo istotnym kryterium opłacalności inwestycji jest poziom udziału krajowych przedsiębiorstw w realizacji projektów. Według jednego z potencjalnych dostawców technologii – firmy Westinghouse – 50-70 proc. inwestycji w elektrownię jądrową może być realizowane siłami lokalnych dostawców (w zależności od zaawansowania technologicznego kraju) (www20). Podobne założenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska przedstawiło w *Polityce Energetycznej Polski do 2040 r.*, zakładając że budowa elektrowni jądrowej może być zrealizowana aż do 70 proc. wartości projektu przez polskie przedsiębiorstwa we współpracy z ośrodkami naukowo-badawczymi. Za dolną (pesymistyczną) wartość przyjęliśmy udział lokalnych przedsiębiorstw na poziomie 30 proc., jaki miał miejsce w przypadku Wisagińskiej Elektrowni Jądrowej na Litwie (www21). Jest to jednak scenariusz znacznie mniej prawdopodobny ze względu na znacznie niższy potencjał przemysłowy i inżynierski Litwy w porównaniu z Polską (ME, 2017c).

Udział lokalnego przemysłu w świadczeniu usług o wartości od 55 mld PLN (wariant 30 proc.) do nawet blisko 130 mld PLN (wariant 70 proc.)²⁸. **W przypadku niskiego zaangażowania polskich firm w inwestycje Polska może utracić aż blisko 75 mld PLN z planowanych inwestycji w energetykę jądrową.** Do maksymalizacji pozytywnego efektu konieczny jest optymalny dobór strategii wsparcia projektu ze strony podmiotów publicznych na czele z programami wsparcia krajowych przedsiębiorstw w rozwoju kadr, procesie zdobywania certyfikatów niezbędnych przy realizacji inwestycji i dostosowania firm do wysokich standardów bezpieczeństwa.

Według szacunków klastra Europolbudatom, 41 proc. kosztów projektu budowy elektrowni jądrowej to wyposażenie elektrowni w urządzenia i systemy, wśród których 36 proc. stanowi koszt urządzeń mechanicznych (filtry, pompy, wymienniki ciepła), a 32 proc. – główne urządzenia, których w dużej części nie da się wyprodukować w Polsce (reaktor, turbiny parowe czy generatory). Wśród pozostałych kosztów projektu najbardziej istotnym pozostają prace inżyniersko-budowlane, wyceniane na 41 proc. kosztów projektu, które w dominującej większości mogą być wykonane przez polskich podwykonawców (ME, 2017c).

Wykres 10. Udział kosztów poszczególnego rodzaju prac w budowie elektrowni jądrowej (w proc.)



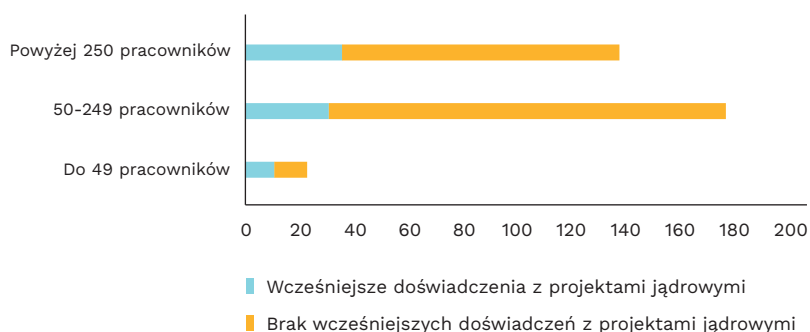
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie szacunków klastra Europolbudatom.

338 krajowych firm wyraziło zainteresowanie programem energetyki jądrowej i pojawiło się w najnowszej wersji katalogu stworzonego przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska na 2021 r. Dominują tu firmy średnie (od 50 do 249 pracowników) i duże (powyżej 250 pracowników) – odpowiednio 177 i 138. Najmniej zgłoszeń pochodziło od firm zatrudniających poniżej 50 pracowników,

²⁸ Przyjmując założenie końcowych kosztów elektrowni na poziomie 184 mld PLN (średnia z rozważanych 6 scenariuszy)

jednak blisko 50 proc. z nich posiadało wcześniejsze doświadczenia przy zagranicznych projektach jądrowych. Dla porównania w przypadku średnich firm odsetek ten wyniósł 18 proc., a dla dużych – 26 proc. (wykres 8).

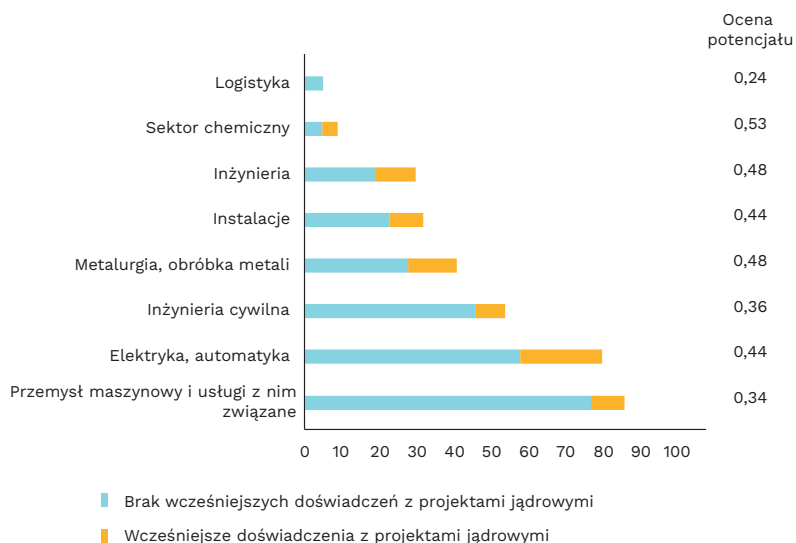
Wykres 11. Przedsiębiorstwa zainteresowane udziałem w projekcie polskiej elektrowni jądrowej zgłoszone do katalogu Ministerstwa Klimatu i Środowiska *Polish Industry for Nuclear Energy* w podziale na wielkość i doświadczenie



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: MKiŚ (2021b).

Struktura wielkości przedsiębiorstw krajowych zainteresowanych zaangażowaniem w projekty budowy elektrowni jądrowych nie odstaje znacząco od struktury, którą można zaobserwować na rynku brytyjskim i francuskim, gdzie wśród firm w sektorze przemysłu jądrowego ok. 70 proc. stanowią firmy małe i średnie, które mimo rozmiarów dysponują dużym potencjałem eksportowym usług (we Francji 33–70 proc. obrotów wobec kilkunastu proc. całości francuskiego przemysłu MSP) (PWC, 2011). Należy jednak zaznaczyć, że duża część małych i średnich przedsiębiorstw na rynku francuskim nie jest samodzielnymi twórcami, a filiami dużych przedsiębiorstw. Ogrom ich działań to także usługi oferowane już elektrowniom operacyjnym. W ocenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska w przypadku pierwszej budowy elektrowni na dopiero rozwijającym się rynku polskim, wielkość firmy na tym etapie ma duże znaczenie. W przypadku mniejszych podmiotów może występować trudność dostosowania się firm do wysokich standardów bezpieczeństwa i jakości, braki odpowiednio wykwalifikowanej kadry do projektów jądrowych, słaba współpraca ze środowiskiem akademickim czy niska siła przetargowa wobec światowych dostawców technologii jądrowej, co może przełożyć się na gorsze warunki podwykonawstwa. Dlatego też w ocenie potencjału sektora poza ilością przedsiębiorstw i ich doświadczeniami w inwestycjach jądrowych postanowiliśmy wziąć pod uwagę także średnią wielkość potencjalnych podwykonawców.

Wykres 12. Przedsiębiorstwa krajowe zainteresowane udziałem w projekcie polskiej elektrowni jądrowej zgłoszone do katalogu Ministerstwa Klimatu i Środowiska *Polish Industry for Nuclear Energy* w podziale na sektory i ocena ich potencjału <0,1>.



Uwaga: ocena potencjału jest liczona jako średnia ważona odsetka firm posiadających wcześniejsze doświadczenia przy inwestycjach w elektrownie jądrowe za granicą i udziału małych (do 49 pracowników), średnich (50-249 pracowników) i dużych (pow. 250 pracowników) przedsiębiorstw; wartości oceny potencjału jest w przedziale <0,1>. Podział branż na sektory według Ministerstwa Klimatu i Środowiska²⁹. Przykłady działalności w każdym z sektorów wypisane zostały w tabeli w aneksie. W analizie pominięto Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, który jako jednostka badawcza jest instytucją z uniwersytecką kategorią.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie MKiŚ (2021b).

Bazując na danych dot. wielkości firm i wcześniejszych doświadczeń przy inwestycjach jądrowych przedsiębiorstw umieszczonych w katalogu Ministerstwa Klimatu i Środowiska stworzyliśmy wskaźnik oceny potencjału udziału krajowych przedsiębiorstw w budowie elektrowni jądrowych. Stosunkowo dobrze na tle pozostałych sektorów wypada branża chemiczna (ocena potencjału 0,53), która mimo niskiej liczebności zgłoszonych firm posiada duży odsetek firm z doświadczeniami pracy w energetyce jądrowej przy zagranicznych inwestycjach. Na umiarkowanie zadowalającym poziomie można także ocenić potencjał sektora metalurgii i obróbki metali (41 przedsiębiorstw, ocena potencjału 0,48) i sektora inżynieryjnego (30 przedsiębiorstw, ocena potencjału także 0,48). Największą liczbą firm z doświad-

²⁹ Wiele firm prowadzi działalność na styku sektorów, dotyczy to zwłaszcza inżynierii cywilnej, elektryki i automatyki, inżynierii i usług instalacyjnych. Wiele usług przy skomplikowanych projektach wymaga udziału wielu firm zajmujących się różnymi etapami projektowania, konstrukcji, instalacji czy nadzoru bezpieczeństwa danego elementu.

zeniem charakteryzuje się natomiast sektor elektryki i automatyki – na 80 przedsiębiorstw 22 posiada wcześniejsze doświadczenia przy pracach nad elektrowniami jądrowymi.

Najgorzej prezentuje się sektor logistyczny. Mimo wielu firm od lat działających w tym sektorze w Polsce, jedynie 5 wyraziło zainteresowanie współpracą przy inwestycji w energetykę jądrową. Jest to wynik tym bardziej niski, że wartość kontraktów związanych z logistyką podczas procesu budowy może wynieść 7-8 mld PLN³⁰. Źle prezentuje się także stan sektora produkcji maszyn i usług powiązanych. Mimo dużej liczby polskich przedsiębiorstw z tego sektora zainteresowanych udziałem w realizacji wskazanych inwestycji (86 – najwięcej w całym zestawieniu), jedynie 9 posiada jakiegokolwiek doświadczenie w zakresie energetyki jądrowej. Może to dowodzić braku wystarczającego rozwoju sektora, którego udział w programie jądrowym w Polsce potencjalnie mógłby wynieść nawet ok. 15 proc. wartości inwestycji, co przekładałoby się przy naszym uśrednionym scenariuszu na ok. 28 mld PLN. Łączny udział obu wspomnianych sektorów w inwestycji może sięgnąć ok 19 proc. (35 mld PLN).

Korzyści dla gospodarki

Poza korzyściami dla klimatu związanymi z zerową bezpośrednią emisją przy wytwarzaniu energii, budowa elektrowni jądrowej przekłada się na duże korzyści dla gospodarki narodowej. Wyniki międzynarodowego projektu przeprowadzonego przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) oparte na modelu EMPOWER i jego modyfikacjach wskazują na pozytywny wpływ na PKB, dochód rozporządzalny, wartość produkcji, eksport, import, konsumpcję prywatną i zatrudnienie. Jedynie wartość podatków netto wykazywała pewien spadek podczas okresu budowy, co było związane z wydatkami na jej realizację.

Wyniki wpływu inwestycji w energetykę jądrową na PKB zależą od wielkości inwestycji, czasu realizacji, procentu inwestycji realizowanego przez lokalnych przedsiębiorców i sposobu finansowania. W przypadku krajów mniej zamożnych – jak RPA – inwestycja w energetykę jądrową może zwiększyć PKB nawet o 2-3 proc. W przypadku Polski analiza oparta na modelu PL-ATOM zakładającym budowę 2 bloków jądrowych o łącznej mocy 3 GW i koszcie 15 mld USD wykazała możliwy wzrost PKB o 0,83 proc. (MAEA, 2021a)³¹.

Zakładając rozszerzenie analizy do 6 bloków pozytywny wpływ na wzrost gospodarczy mógłby więc znacząco przekroczyć 1 proc. PKB. Najwyższy możliwy wzrost PKB występuje w przypadku finansowania całości projektu z pieniędzy publicznych, najniższy zaś przy założeniu, że całość inwestycji powstałaby ze środków prywatnych.

³⁰ Ok. 4 proc. z inwestycji o wartości 184 mld PLN.

³¹ Biorąc pod uwagę efekty bezpośrednie, pośrednie i indukowane.

Tabela 8. Wpływ energetyki jądrowej na PKB wybranych krajów według modelu EMPOWER i jego modyfikacji

Kraj	Założona moc (MW)	Założony czas realizacji (lata)	Założony koszt (mld USD)	Procent realizacji inwestycji w kraju	Finansowanie	Maks. wpływ na PKB (proc.)
Chorwacja	1x1147	7	5,75	40	50 proc. zewn. 50 proc. przyszłe podatki	do 0,81
Indonezja	2x1000	10	11,5	26	75 proc. zewn. 25 proc. podatki	do 0,065
Malezja	2x1000	13	12,5 mld MYR	64	90 proc. zewn. 10 proc. podatki	do 0,31
Polska (model EMPOWER)	2x1500	13	15	50	100 proc. prywatne	do 0,15
Polska (model PL-ATOM 1)	2x1500	13	15	50	100 proc. prywatne	do 0,61
Polska (model PL-ATOM 2)	2x1500	13	15	50	50 proc. prywatne, 50 proc. publiczne	do 0,72
Polska (model PL-ATOM 3)	2x1500	13	15	50	100 proc. publiczne	do 0,83
RPA	2800	6	14,4	b.d	85 proc. zewn. 15 proc. podatki	do 3
Tunezja	1x1000	6	5	10	90 proc. zewn. 10 proc. podatki	do 0,12
Urugwaj	1x740	8	5,9	23	70 proc. zewn. 30 proc. obligacje i zyski	do 1,6
Wietnam	2x1000	b.d	8,4	7	b.d.	do 0,41

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: MAEA (2021a).

Pozytywny wpływ projektów energetyki jądrowej na PKB wskazują nie tylko modele, ale również empiryczne przykłady z inwestycji realizowanych w różnych obszarach świata. Jednym z najlepiej przeanalizowanych krajów w literaturze jest Korea Południowa. Według analizy przeprowadzonej przez MAEA tylko w 2005 r. sektor energetyki jądrowej stanowił 1,3 proc. południowokoreańskiego PKB³². Składały się na to zarówno pozytywne efekty wynikające z produkcji realizowanej na potrzeby budowy nowych jednostek (m.in. sektor produkcji maszyn i urządzeń, usług finansowych, produkcji metali i elektroniki), jak i korzyści z efektywnej eksploatacji bloków jądrowych (stabilny sektor elektroenergetyczny). **Z analizy MAEA wynika, że budowa elektrowni jądrowych generuje o 33 proc. większą wartość dodaną niż budowa elektrowni węglowej tej samej mocy, a w stosunku do elektrowni gazowej wskaźnik ten wynosi aż 285 proc.** Istotne są również korzyści wynikające ze stabilizacji cen energii. Wysoki udział energetyki jądrowej w strukturze produkcji energii elektrycznej pozwolił w latach 1981-2011 utrzymać wzrost cen energii w Korei Południowej na poziomie 28 proc. podczas gdy ceny

³² Dla porównania estymacje dla Słowenii wskazują, że elektrownia o mocy 1600 MWe przyczynia się do 2,2 proc. PKB podczas budowy i 0,5 proc. po uruchomieniu.

towarów i usług wykazały wzrost 10-krotnie wyższy – o 285 proc (ME, 2017b). **Według MAEA, gdyby wszystkie bloki jądrowe zastąpić blokami węglowymi, PKB Korei Południowej w ostatnim roku analizy byłoby o 0,39-0,49 proc. niższe (MAEA, 2009).**

W skali całej Unii Europejskiej sektor jądrowy w 2019 r. odpowiadał za 3-3,5 proc. PKB UE (507 mld EUR, z czego 102,5 mld EUR to efekty bezpośrednie) utrzymując 1,13 mln etatów (352 tys. bezpośrednio), z czego 47 proc. to etaty wymagające wysokich kwalifikacji. Przekładało się to na 383 mld EUR rozporządzalnego dochodu gospodarstw domowych i 124 mld EUR dochodów publicznych. W przeliczeniu na 1 GW zainstalowanej mocy przekładało się to na 4,3 mld EUR PKB i 9,5 tys. miejsc pracy (bezpośrednich, pośrednich i indukowanych) (Deloitte, 2019; Desbazeille, 2019).

Podsumowanie

Energia jądrowa według strategii rządowych, takich jak m.in. *Polityka Energetyczna Polski 2040*, ma stanowić w przyszłości istotny element polskiej struktury produkcji energii elektrycznej. **W zależności od wybranej oferty moc zainstalowana 6 planowanych reaktorów może wahać się od 6,6 do 9,9 GW, co przekładałoby się na roczną produkcję energii elektrycznej na poziomie 53-80 TWh. Odpowiada to 31-46 proc. obecnego rocznego zapotrzebowania i 26-38 proc. zapotrzebowania prognozowanego na 2043 r.**

Sama inwestycja w elektrownie jądrowe w Polsce będzie mieć pozytywne przełożenie na wzrost gospodarczy. **Według modeli analizujących potencjalne korzyści, realizując projekty zaplanowane w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej Polska gospodarka może zyskać nawet znacząco powyżej 1 proc. PKB.** Pokrywa się to z doświadczeniami krajów, w których energetyka jądrowa już funkcjonuje. W Korei Południowej udział sektora energetyki jądrowej w gospodarce wynosił 1,3 proc. PKB, a eksploatacja elektrowni jądrowych ma wpływ na ponad 80 proc. pozostałych działów gospodarki. **Na samym etapie budowy elektrownie jądrowe generowały o 33 proc. większą wartość dodaną dla gospodarki niż węglowe i aż o 285 proc. większą niż gazowe o tej samej mocy.**

Budowa elektrowni jądrowych to także tysiące nowych miejsc pracy. We Francji w 2009 r. całość wpływu przemysłu jądrowego na zatrudnienie (bezpośrednie, pośrednie i indukowane) szacowane było na 410 tys. osób. Według modeli OECD na każde 1000 MW wybudowanego reaktora przypada łącznie 50 tys. osobołat bezpośrednich miejsc pracy i dodatkowe 150 tys. osobołat pośrednich i indukowanych miejsc pracy. **Przekładając to na 6,6 do 9,9 GW mocy zainstalowanej energetyki jądrowej łączna kreacja miejsc pracy w Polsce można oszacować na od 1,32 do 1,98 mln osobołat lub też średnio od 26,4 do 39,6 tys. miejsc pracy przez 50 lat budowy i użytkowania reaktorów.**

Duża część nowych miejsc pracy przypada na środowisko lokalne – gminę, w której wybudowana jest elektrownia i gminy sąsiednie. **W przypadku brytyjskiej elektrowni Hinkley Point C szacuje się, że 25 proc. pracowników będzie zatrudnionych wśród społeczności lokalnej. Z kolei dla nieukończonych litewskiej elektrowni Wisagina szacunki te były znacznie bardziej optymistyczne i wynosiły aż 66 proc.** Po uruchomieniu 3-reaktorowa elektrownia może zatrudniać średnio nawet powyżej 2000 pracowników o średniej pensji wyższej niż w wielu innych sektorach gospodarki.

Poza lokalnym rynkiem pracy elektrownia jądrowa to także istotne korzyści z powodu wpływów podatkowych. **Z symulacji Ministerstwa Energii z 2017 r. wynika, że przykładowa 3-reaktorowa jednostka o mocy 3600 MW mogłaby przynieść 660 mln PLN (771 mln PLN w cenach z 2021 r.) dodatkowych bezpośrednich wpływów podatkowych rocznie, z których 2/3 to dochody jednostek samorządu terytorialnego.**

Elektrownie jądrowe, mimo wyższych niż w przypadku nowych bloków węglowych kosztów budowy, charakteryzują się znacznie niższymi kosztami paliwa. Przy obecnych cenach paliwa jądrowego jego udział w produkcji i kilowatogodziny wynosi 2,5 grosza, a jako źródło nie emitujące CO₂ nie jest ono obciążone opłatami za uprawnienia na emisję.

Budowa dwóch elektrowni jądrowych w Polsce będzie ogromną inwestycją. Według naszych analiz koszt budowy 6 jednostek może wahać się od 112 mld do nawet znacząco pow. 400 mld PLN w przypadku powtórzenia opóźnień w skali, jakie dotknęły inwestycje we Flamanville i Olkiluoto. **Średni koszt najbardziej prawdopodobnych z analizowanych przez nas scenariuszy wynosi 184 mld PLN.** Przy takim koszcie inwestycji należy dotożyć wszelkich starań, by jak najwięcej z prac nad inwestycją zostało wykonanych przez firmy działające w Polsce. **W przypadku optymistycznego scenariusza (70 proc. udziału firm krajowych) przy koszcie inwestycji wynoszącym 184 mld PLN blisko 130 mld PLN może trafić na krajowy rynek.**

Polski przemysł w obecnym stanie może jednak mieć problemy w osiągnięciu maksymalnego możliwego udziału w realizacji inwestycji. W prowadzonym przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska katalogu firm, które wyraziły zainteresowanie udziałem w inwestycji jedynie 23 proc. (78 z 338) posiada jakiegokolwiek wcześniejsze doświadczenia w pracach nad projektami jądrowymi za granicą. W stworzonym przez PIE wskaźniku oceny potencjału najgorzej wypada sektor logistyczny. Tylko 5 spośród wielu firm tego sektora w Polsce wyraziło zainteresowanie współpracą przy inwestycji w energetykę jądrową. Niską oceną potencjału charakteryzuje się sektor produkcji maszyn i usług powiązanych, w którym tylko 9 na 86 zgłoszonych przedsiębiorstwach posiada wcześniejsze doświadczenia z podobnych inwestycji.

Należy podjąć działania, które mogą wspomóc przedsiębiorstwa, zwłaszcza z sektora MSP w procesie zdobywania certyfikatów niezbędnych przy realizacji inwestycji i dostosowania firm do wysokich standardów bezpieczeństwa. Braki kadr mających doświadczenie w inwestycjach w energetykę jądrową sprawiają, że już dzisiaj należy rozpocząć współpracę między inwestorami (w tym wybranym głównym wykonawcą inwestycji), ośrodkami akademickimi i zainteresowanymi przedsiębiorstwami w celu uruchomienia programów szkoleń. Należy też rozważyć jak wspomóc (np. odpowiednimi programami niskoprocentowanych pożyczek) krajowe firmy tak, by dysponowały one wyższą siłą przetargową. Wszystkie te działania muszą być też koniecznie odpowiednio nagłośnione – obecnie wymagający i ryzykowny proces stojący za dostosowaniem firmy do udziału w inwestycjach jądrowych może powodować wybór innych ścieżek rozwoju, które wydają się mniej ryzykowne i skomplikowane.

Bibliografia

- Been, V. (2018), *City NIMBYS*, „Journal of Land Use & Environmental Law”, No. 2, Vol. 33.
- Bruckner, T., i in. (2014), 2014: *Energy Systems*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ciepiela, D. (2022), *Elektrownia jądrowa w Polsce. Koreańscy już się szykują*, <https://www.wnp.pl/energetyka/elektrownia-jadrowa-w-polsce-koreańscy-juz-sie-szykuja,597231.html> [dostęp: 27.05.2022].
- Czako, V. (2020), *Employment in the Energy Sector Status Report 2020*, Luxembourg.
- Deloitte (2019), *Executive Summary Impact Report Vision to 2050, Foratom – European Atomic Forum*, Bruksela.
- Desbazeille, Y. (2019), *Viewpoint: The climate and economic benefits of nuclear power*, <https://world-nuclear-news.org/Articles/Viewpoint-The-climate-and-economic-benefits-of-nuc> [dostęp: 04.06.2022].
- Edwardes-Evans, H. (2021), *First criticality reached at Finland's Olkiluoto-3 EPR nuclear plant*, <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/122121-first-criticality-reached-at-finlands-olkiluoto-3-epr-nuclear-plant> [dostęp: 18.06.2022].
- EIA (2021), *How much electricity does a nuclear power plant generate?*, <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=104&t=3> [dostęp: 26.05.2022].
- Elźbieciak, T. (2022), *Program „Blok 200+”. Sukces, który zostanie sierotą?*, <https://wysokienapiecie.pl/69411-program-bloki-200-sukces-ktory-zostanie-sierota/> [dostęp: 26.05.2022].
- Elźbieciak, T., Zasuń, R. (2022), *Polska już rozmawia z Brukselą o wydłużeniu życia starych węglowych elektrowni*, <https://wysokienapiecie.pl/68024-polska-juz-rozmawia-z-bruksela-o-wydłużeniu-zycia-starych-węglowych-elektrowni/> [dostęp: 26.05.2022].
- Gamboa Palacios, S., Jansen, J. (2018), *Nuclear energy economics: An update to Fact Finding Nuclear Energy*, TNO report.
- IEA (2019), *Nuclear Power in a Clean Energy System*, <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system> [dostęp: 15.05.2022].
- Instytut Sobieskiego (2020), *Energetyka jądrowa dla Polski*, <https://sobieski.pl>

- org.pl/energetyka-jadrowa-dla-polski/ [dostęp: 15.05.2022].
- Jakubik, W. (2022), *Koreańczycy chcą zbudować Polsce ponad 8 GW atomu i dorzucić pieniądze*, <https://biznesalert.pl/koreanczycy-chca-zbudowac-polsce-ponad-8-gw-atomu-i-dorzucic-pieniadze/> [dostęp: 20.05.2022].
- Juszczak, A., Kutwa, K. (2021), *Neutralność klimatyczna Bełchatowa. Przyszłość regionu po zamknięciu Kopalni Węgla Brunatnego i Elektrowni oczami lokalnej społeczności*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.
- JRC (2021), *Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')*, Petten.
- Kharecha, P.A., Hansen, J.E. (2013), *Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power*, „Environmental Science & Technology”, No. 47 Vol. 9.
- MAEA (2009), *Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea*, <https://www.iaea.org/publications/8210/nuclear-technology-and-economic-development-in-the-republic-of-korea> [dostęp: 15.05.2022].
- MAEA (2021a), *Assessing National Economic Effects of Nuclear Programmes*, <https://www.iaea.org/publications/14872/assessing-national-economic-effects-of-nuclear-programmes> [dostęp: 15.05.2022].
- MAEA (2021b), *What are Small Modular Reactors (SMRs)?*, <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs> [dostęp: 19.05.2022].
- MAEA PRIS (2022a), Dane dot. wyłączonych reaktorów jądrowych, <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx> [dostęp: 07.05.2022].
- MAEA PRIS (2022b), Dane dot. działających reaktorów jądrowych, <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx> [dostęp: 07.05.2022].
- MAEA PRIS (2022c), Dane dot. reaktorów jądrowych w budowie, <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByType.aspx> [dostęp: 07.05.2022].
- ME (2017a), *Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę – korzyści na poziomie lokalnym*, Warszawa.
- ME (2017b), *Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę – korzyści na poziomie gospodarki narodowej*, Warszawa.
- ME (2017c), *Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę – udział polskiego przemysłu*, Warszawa.
- MK (2020), *Program polskiej energetyki jądrowej*, <https://www.gov.pl/web/polski-atom/program-polskiej-energetyki-jadrowej-2020-r> [dostęp: 15.05.2022].
- MKiŚ (2020), *Poparcie społeczne dla budowy elektrowni jądrowej w Polsce – badania z listopada 2020 r.*, <https://www.gov.pl/web/klimat/poparcie-spooleczne-dla-budowy-elektrowni-jadrowej-w-polsce---badania-z-listopada-2020-r> [dostęp: 20.05.2022].
- MKiŚ (2021a), *Program wsparcia krajowego przemysłu do współpracy z energią jądrową jako dokument wykonawczy do Programu polskiej*

- energetyki jądrowej*, Warszawa.
- MKiŚ (2021b), *Polish Industry for Nuclear Energy edition 2021*, Warszawa.
- MKiŚ (2021c), *Polityka Energetyczna Polski, Załącznik 2: Wnioski z analiz prognostycznych dla sektora energetycznego*, Warszawa.
- NCBJ (2014), *Elektrownia Jądrowa Żarnowiec*, <http://atom.edu.pl/index.php/program-jadrowy-w-prl/ej-zarnowiec.html> [dostęp: 20.05.2022].
- NEI (2004), *Economic Benefits of Palo Verde Nuclear Generation Station*, Washington.
- OECD, MAEA (2018), *Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*, https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14912/measuring-employment-generated-by-the-nuclear-power-sector?details=true [dostęp: 22.05.2022].
- OECD (2020), *Unlocking Reductions in the Construction, Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders*, https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_30653/unlocking-reductions-in-the-construction-costs-of-nuclear?details=true [dostęp: 15.05.2022].
- Oettingen M. (2021), *Koszty i terminy budowy elektrowni jądrowych realizowanych przez potencjalnych dostawców technologii jądrowej dla Polski*, Pułaski Policy Paper, nr 6.
- ONE (2018), *9 Notable Facts About the World's First Nuclear Power Plant – EBR-I*, <https://www.energy.gov/ne/articles/9-notable-facts-about-worlds-first-nuclear-power-plant-ebr-i> [dostęp: 20.05.2022].
- Oksińska, B. (2022), *Poznaliśmy ofertę EDF. Wiemy, kiedy i za ile możemy mieć prąd z atomu*, <https://businessinsider.com.pl/firmy/poznalismy-oferte-edf-wiemy-kiedy-i-za-ile-mozemy-miec-prad-z-atomu/hk9hk1g> [dostęp: 24.05.2022].
- PWC (2011), *Le poids socio-économique de l'électronucléaire en France*, Paris.
- Uji, A., Prakash, A., Song, J. (2021), *Does the "NIMBY syndrome" undermine public support for nuclear power in Japan?*, „Energy Policy”, Vol. 148.
- WNA (2020a), *Outline History of Nuclear Energy*, <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx> [dostęp: 08.05.2022].
- WNA (2020b), *Financing Nuclear Energy*, <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/financing-nuclear-energy.aspx> [dostęp: 07.06.2022].
- WNA (2021), *World Nuclear Performance Report 2021 COP26 edition*, <https://world-nuclear.org/our-association/publications/global-trends-reports/world-nuclear-performance-report.aspx> [dostęp: 15.05.2022].
- WNA (2022), *Small Nuclear Power Reactors*, <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx> [dostęp: 01.06.2022].
- Van Oversraeten, B., Mallet, B. (2022), *EDF announces new delay and higher costs for Flamanville 3 reactor*, <https://www.reuters.com/business/energy/edf-announces-new-delay-higher-costs-flamanville-3-reactor-2022-01-12/> [dostęp: 16.05.2022].
- (www1) <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Fresh-delay-to-Flamanville-blamed-on-impact-of-pan> [dostęp: 07.06.2022].

- (www2) <https://inl.gov/experimental-breeder-reactor-i/>
[dostęp: 08.06.2022].
- (www3) <https://www.iaea.org/newscenter/news/obninsk-beyond-nuclear-power-conference-looks-future> [dostęp: 20.06.2022].
- (www4) <https://www.ncbj.gov.pl/badawczy-reaktor-jadrowy-maria>
[dostęp: 09.06.2022].
- (www5) <https://www.rolls-royce.com/innovation/small-modular-reactors.aspx#section-why-rolls-royce-smr> [dostęp: 09.06.2022].
- (www6) <https://media.kghm.com/pl/informacje-prasowe/kghm-wybuduje-pierwsze-w-polsce-male-reaktory-nuklearne-smr>
[dostęp: 15.06.2022].
- (www7) <https://www.orlden.pl/pl/o-firmie/media/komunikaty-prasowe/2021/grudzien/orlden-rozwija-technologie-malego-atomu-SMR>
[dostęp: 18.06.2022].
- (www8) <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/ze-pak-w-nioskujecie-o-wydanie-warunkow-przylaczenia-do-sieci-malych-reaktorow-jadrowych> [dostęp: 21.06.2022].
- (www9) <http://ncbj.edu.pl/lwr-reaktory-lekkowodne-pwr-bwr/porownanie-pwr-i-bwr> [dostęp: 07.05.2022].
- (www10) <http://ncbj.edu.pl/lwr-reaktory-lekkowodne-pwr-bwr/reaktory-lekkowodne-sa-najwazniejsze-dla-gospodarki> [dostęp: 07.05.2022].
- (www11) <https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/8305026,rafako-ma-memorandum-o-wspolpracy-z-edf-w-zakresie-energetyki-jadrowej.html> [dostęp: 10.05.2022].
- (www12) <https://info.westinghousenuclear.com/poland/news-and-insights/porozumienia-o-wspolpracy-wec> [dostęp: 10.05.2022].
- (www13) <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/bechtel-i-westinghouse-budowa-pierwszej-elektrowni-atomowej-w-polsce/9kjwdzp>
[dostęp: 10.05.2022].
- (www14) <https://www.gov.pl/web/polski-atom/inwestor-pierwszej-elektrowni-jadrowej-w-polsce-wskazal-jej-preferowana-lokalizacje>
[dostęp: 10.05.2022].
- (www15) <https://ppej.pl/srodowisko-i-spoleczenstwo/raport-o-oddziaływaniu-na-srodowisko> [dostęp: 10.05.2022].
- (www16) <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/185786-premier-morawiecki-patnow-jest-jedna-z-trzech-rozpatrywanych-lokalizacji-elektrowni-jadrowej> [dostęp: 15.05.2022].
- (www17) <https://www.britannica.com/topic/Not-in-My-Backyard-Phenomenon> [dostęp: 15.05.2022].
- (www18) <https://www.reuters.com/article/southkorea-nuclear-europe-idUKL4N1MK0JM> [dostęp: 15.05.2022].
- (www19) <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Agreement-on-ownership-of-Summer-equipment> [dostęp: 11.05.2022].
- (www20) <https://forsal.pl/artykuly/595287,westinghouse-50-70-proc-wartosci-silowni-jadrowej-od-lokalnych-dostawcow.html>
[dostęp: 30.05.2022].
- (www21) http://web.archive.org/web/20130526075209/http://www.vae.lt/files/VAE_information_publication.pdf [dostęp: 29.05.2022].

Tabela A1. Podział przedsiębiorstw zgłoszonych do katalogu Ministerstwa Klimatu i Środowiska według sektorów wraz z przykładowymi deklarowanymi działalnościami

Sektor	Przykładowe działalności
Chemiczny	Produkcja substancji chemicznych; uzdatnianie wody i ścieków; czyszczenie chemiczne; recykling wody; systemy dozowania.
Inżynieria cywilna	Konstrukcje stalowe; uzdatnianie wody i ścieków; inżynieria materiałów ogniotrwałych; usługi architektoniczne; silosy; usługi instalacyjne; naprawa i renowacja instalacji.
Elektryka i automatyka	Przygotowanie, instalacja i modernizacja linii 110 kV, 220 kV i 400 kV; sensory temperatury, urządzenia związane z zasilaniem prądem stałym i prądem zmiennym; automatyka energetyczna; zarządzanie siecią; naprawa i renowacja instalacji i urządzeń elektrycznych.
Inżynieria	Konsultacje i wdrażanie systemów IT związanych z infrastrukturą i bezpieczeństwem sieci; produkcja oprogramowania; systemy automatyki budynkowej; ciężka inżynieria mechaniczna; systemy zasilania.
Usługi instalacyjne	Produkcja i sprzedaż urządzeń instalacyjnych, naprawa i utrzymanie urządzeń mechanicznych; korytka i drabinki kablowe; systemy nośne kabli; izolacja termiczna i cieplna; elewacje; systemy pożarowe; usługi instalacyjne.
Logistyka	Usługi transportowe.
Przemysł maszynowy i usługi z nim związane	Instalacja i uruchamianie maszyn (turbiny, pompy, gazociągi); duże instalacje stalowe; zbiorniki ciśnieniowe i próżniowe; ciężki sprzęt ze stali nierdzewnej; systemy hydrauliczne.
Metalurgia i obróbka metali	Produkcja konstrukcji stalowych takich jak zbiorniki i silosy; rury spawane ze stali węglowej, powłoki i wykładziny antykorozyjne do rur stalowych; obróbka i powlekanie metali.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych Ministerstwa Klimatu i Środowiska.

Spis wykresów, tabel i ramek

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1.	Łączna liczba reaktorów jądrowych na świecie (z wyłączeniem reaktorów badawczych) w latach 1954-2022	11
Wykres 2.	Udział poszczególnych źródeł energii w strukturze światowej produkcji energii elektrycznej (w proc.)	11
Wykres 3.	Wiek reaktorów jądrowych funkcjonujących na świecie (w latach) i ich liczba	12
Wykres 4.	Miejsca pracy przy wytwarzaniu części, budowy, funkcjonowaniu i remontów poszczególnych źródeł energii (tys. osobolat/1000 MW).	17
Wykres 5.	Bezpośrednie i pośrednie (pierwszego rzędu) zatrudnienie przy budowie reaktora jądrowego PWR-12 (1147 MW) w podziale na sektory według NAICS.	18
Wykres 6.	Zakładana wielkość zatrudnienia w szczycie robót na budowie EJ Wisaginia na Litwie i udział pracowników pochodzenia miejscowego	20
Wykres 7.	Średnie opóźnienie budowy reaktora (w latach)	31
Wykres 8.	Średni wzrost kosztów budowy reaktora w porównaniu do kosztów ofertowych (w proc.)	31
Wykres 9.	Uproszczone obliczenia części kosztów stałych i zmiennych elektrowni jądrowych i węglowych (PLN/kWh)	32
Wykres 10.	Udział kosztów poszczególnego rodzaju prac w budowie elektrowni jądrowej (w proc.)	33
Wykres 11.	Przedsiębiorstwa zainteresowane udziałem w projekcie polskiej elektrowni jądrowej zgłoszone do katalogu Ministerstwa Klimatu i Środowiska <i>Polish Industry for Nuclear Energy</i> w podziale na wielkość i doświadczenie	34
Wykres 12.	Przedsiębiorstwa krajowe zainteresowane udziałem w projekcie polskiej elektrowni jądrowej zgłoszone do katalogu Ministerstwa Klimatu i Środowiska <i>Polish Industry for Nuclear Energy</i> w podziale na sektory i ocena ich potencjału <0,1>. . .	35

SPIS TABEL

Tabela 1. Liczba bloków jądrowych budowanych na świecie i ich moc całkowita	12
Tabela 2. Wartość produkcji i wartość dodana w poszczególnych działach gospodarki Korei Południowej wygenerowana przy budowie 1 bloku elektrowni jądrowej (w przeliczeniu na 1000 MW) w 2005 r. (w mld EUR2019)	14
Tabela 3. Obszary projektu jądrowego z możliwym zaangażowaniem polskiego przemysłu	15
Tabela 4. Zatrudnienie w elektrowniach jądrowych w USA podczas ich działania	18
Tabela 5. Harmonogram Budowy Elektrowni jądrowej według Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (wybór najważniejszych elementów)	25
Tabela 6. Roczna produkcja energii elektrycznej (w TWh) w zależności od wybranego wariantu budowy elektrowni jądrowych i współczynnika wykorzystania mocy (w TWh)	27
Tabela 7. Analiza scenariuszowa kosztów budowy polskich elektrowni jądrowych wraz z wariantami udziału polskich przedsiębiorstw w realizacji inwestycji	30
Tabela 8. Wpływ energetyki jądrowej na PKB wybranych krajów według modelu EMPOWER i jego modyfikacji	37
Tabela A1. Podział przedsiębiorstw zgłoszonych do katalogu Ministerstwa Klimatu i Środowiska według sektorów wraz z przykładowymi deklarowanymi działalnościami	46

SPIS RAMEK

Ramka 1. Małe Reaktory Modułowe (SMR)	10
Ramka 2. Miejsca pracy według źródeł energii	17
Ramka 3. Model Mankala	22
Ramka 4. Efekt <i>Not in My Backyard</i>	26
Ramka 5. Dodatkowe koszty i opóźnienia przy budowie reaktorów APR1400, AP1000 i EPR	31

Polski Instytut Ekonomiczny

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