



MACIEJ SKUZA

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

ORCID: 0000-0003-3606-5466

maciej.skuza@mail.umcs.pl

Renesans energetyki jądrowej

Globalna rywalizacja technologiczna oraz perspektywy rozwoju sektora jądrowego w kontekście zmian geopolitycznych i kryzysu klimatycznego

The Renaissance of Nuclear Energy

Global Technological Competition and Development Prospects of the Nuclear Sector in the Context of Geopolitical Changes and Climate Crisis

Słowa kluczowe:

energetyka jądrowa,
renesans jądrowy, globalna
polityka energetyczna,
rywalizacja technologiczna,
kryzys energetyczny,
geopolityka energetyki

Keywords:

nuclear power, nuclear
renaissance, global energy
policy, technological
competition, energy
crisis, geopolitics of
energy

Renesans energetyki jądrowej. Globalna rywalizacja technologiczna oraz perspektywy rozwoju sektora jądrowego w kontekście zmian geopolitycznych i kryzysu klimatycznego

Kryzys energetyczny mający źródła w turbulencjach geopolitycznych – przede wszystkim inwazji Rosji na Ukrainę oraz postępujących zmianach klimatu – akceleroje rozwój globalnego sektora jądrowego. Kolejne państwa decydują się na rozbudowę dotychczas użytkowanych reaktorów lub budowę nowych. Zapowiadany renesans energetyki jądrowej staje się kolejnym polem do rywalizacji technologicznej i poszukiwania przewag konkurencyjnych między głównymi eksporterami technologii. Niniejszy artykuł ma na celu scharakteryzowanie globalnego renesansu energetyki jądrowej z uwzględnieniem historycznego kontekstu rozwoju sektora, międzynarodowych zobowiązań klimatycznych oraz wpływu wyłaniającego się właśnie nowego porządku geopolitycznego. Zawiera on najbardziej aktualną charakterystykę sektora jądrowego, koncentruje się na jego perspektywach oraz wskazaniu geopolitycznych, środowiskowych i technologicznych implikacji wzrostu zainteresowania energią jądrową oraz łagodzenia postaw antyatomowych, szczególnie przez państwa europejskie.

The Renaissance of Nuclear Energy: Global Technological Competition and Development Prospects of the Nuclear Sector in the Context of Geopolitical Changes and Climate Crisis

The energy crisis, rooted in geopolitical turbulence – primarily the invasion of Ukraine by Russia and ongoing climate change – has accelerated the development of the global nuclear sector. More countries are deciding to expand their fleets of reactors or to build them for the first time. The anticipated renaissance of nuclear energy is becoming another arena for technological competition and a quest for competitive advantage among major exporters of technology. This article presents the characteristics of the global nuclear energy renaissance, considering the historical context of nuclear sector development, international climate commitments, and the influence of the emerging new geopolitical order and shifting global power dynamics. The analysis presented includes the most up-to-date characteristics of the sector, focusing on its development prospects and highlighting the geopolitical, environmental, and technological implications of the growing interest in nuclear energy and the softening of anti-nuclear stances, particularly among European nations.

Wstęp

Kryzys to zjawisko, które obok poważnych zagrożeń przynosi szansę. Milton Friedman stwierdził niegdyś:

Tylko kryzys – rzeczywisty lub domniemany – wywołuje prawdziwe zmiany. Kiedy nadchodzi taki kryzys, podejmowane działania zależą od pomysłów, które są pod ręką. Uważam, że to jest nasza podstawowa funkcja: rozwijać alternatywy dla istniejących polityk, utrzymywać je przy życiu i udostępniać, dopóki to co politycznie niemożliwe nie stanie się politycznie nieuniknionym¹.

Szansa jest nieodłącznym elementem kryzysu, a sam kryzys – motorem każdej działalności społecznej. Dotyczy to zarówno relacji międzyludzkich, jak i polityki państwa, także energetycznej. Wysokie uzależnienie państw europejskich od rosyjskich surowców energetycznych stało się poważnym zagrożeniem dla bezpieczeństwa, gdyż niesie ryzyko *weaponizacji* tych zasobów, a więc wykorzystania ich jako broni lub narzędzia wpływu w polityce międzynarodowej. Państwa, które przed 2022 r. w znacznym stopniu zależały od rosyjskich dostaw surowców energetycznych, postrzegają energię jądrową jako skuteczny sposób na derusyfikację swojego systemu energetycznego². Jej specyfika powoduje, że działania w tym kierunku będą się wpisywać w międzynarodowe cele klimatyczne.

Kryzys energetyczny wywołany wojną Rosji na Ukrainie oraz postępujący kryzys klimatyczny przyspieszają globalny rozwój energetyki jądrowej. Kolejne państwa decydują się na rozbudowę własnych reaktorów lub zainicjowanie budowy pierwszego. Stolice tradycyjnie nieprzychylnie dotąd energetyce jądrowej łagodzą swoje stanowiska. Państwa eksportujące technologie w tym obszarze rywalizują natomiast między sobą i prześcigają się w innowacjach zarówno w zakresie zaawansowanych systemów bezpieczeństwa, jak i zamkniętych obiegów paliwowych oraz redukcji kosztów

- 1 *Milton Friedman on the Import of Crises*, „Economic Sociology & Political Economy” [online], 20 V 2023 [dostęp: 10 IX 2024]: <<https://economicsociology.org/2023/05/20/milton-friedman-on-the-import-of-crises/>>.
- 2 M. Skuza, *Nuclear Energy in the Countries of the Three Seas Initiative under the New Security Architecture and Climate Policy*, „Rocznik Instytutu Europy Środkowo-Wschodniej” 2024, R. 22, z. 1, s. 123–140.

budowy poprzez optymalizację elementów konstrukcyjnych (rozwiązania te obniżają koszty budowy i eksploatacji, a także poprawiają bezpieczeństwo, m.in. poprzez zmniejszenie liczby części składowych konstrukcji, stosowanie integrowanych układów bezpieczeństwa, w tym pasywnych systemów chłodzenia, prefabrykowanych modułów konstrukcyjnych, ograniczenie ilości betonu i stali oraz stosowanie nowoczesnych materiałów kompozytowych)³. Społeczność międzynarodowa, w tym elity Unii Europejskiej, prezentuje obecnie najbardziej przychylną postawę wobec sektora jądrowego od dziesięcioleci⁴. Decydenci polityczni z nadzieją patrzą na atom jako skuteczne narzędzie dekarbonizacji energetyki, gwarancję stabilnego i niezależnego od warunków atmosferycznych wytwarzania niskoemisyjnej energii oraz sposób na uwolnienie się od konieczności współpracy z politycznie zależnymi dostawcami surowców energetycznych.

W niniejszym tekście scharakteryzowano globalny sektor jądrowy w dobie jego renesansu, uwzględniając rys historyczny i stan obecny, ale także perspektywy rozwoju tego typu energetyki w świetle danych czółowych międzynarodowych organizacji energetycznych oraz oficjalnych dokumentów państw i organizacji międzynarodowych.

Renesans energetyki jądrowej

Energetyka jądrowa w XXI w.

Energetyka jądrowa i wodna to jedne z najstarszych niskoemisyjnych technologii energetycznych. Energię jądrową pozyskuje się w wyniku rozszczepienia jądra atomowego, rozpadu jądrowego lub syntezy termojądrowej. Obecnie na potrzeby elektroenergetyczne otrzymuje się ją w reaktorach jądrowych poprzez wymuszone rozszczepianie jądra atomowego uranu (przeważnie izotopu uranu-235) za pomocą bombardowania neutronami⁵.

3 W. Mauldin, J. Hiller, *Washington Heats Up Nuclear Energy Competition with Russia, China*, „The Wall Street Journal” [online], 6 I 2024 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.wsj.com/politics/national-security/washington-heats-up-nuclear-energy-competition-with-russia-china-f2f18e75>>.

4 *Alliance Calls for Support from Next European Commission*, „World Nuclear News” [online], 18 X 2024 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.world-nuclear-news.org/articles/alliance-calls-for-support-from-next-european-commission>>.

5 A. Galindo, *What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power*, International Atomic Energy Agency [online], 15 XI 2022 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>>.

Pojęcie *renesans nuklearny* pojawiło się w międzynarodowym dyskursie publicznym na początku XX w. Zdążył już wówczas opaść kurz po katastrofie w Czarnobylu z 1986 r., a w polityce międzynarodowej panowała atmosfera końca historii po zakończeniu zimnej wojny i nastaniu ery domniemanej ostatecznej dominacji systemu demokratycznego⁶. Rozpoczęto wówczas projekty budowy reaktorów trzeciej generacji, które ożywiały pogrążony w stagnacji przemysł jądrowy. Przykładem jest zainicjowanie niemiecko-francuskiego projektu Europejskiego Reaktora Ciśnieniowego (*European Pressurized Reactor* – EPR). Działania takie dawały nadzieję na rzeczywiste wskrzeszenie globalnego przemysłu jądrowego⁷. W 2009 r. w corocznym raporcie *World Energy Outlook* Międzynarodowa Agencja Energetyczna przedstawiła następujące stanowisko:

Renesans nuklearny jest możliwy, ale nie może nastąpić z dnia na dzień. Projekty jądrowe napotykać poważne przeszkody, w tym długi czas budowy i związane z nim ryzyko, przewlekłe procesy wydawania licencji i niedobory siły roboczej, a także długofalowe problemy związane z usuwaniem odpadów, proliferacją i lokalnym sprzeciwem⁸.

Finansowanie nowych elektrowni jądrowych, zwłaszcza na zliberalizowanych rynkach, od wielu lat napotykało szereg wyzwań, a globalny kryzys finansowy z lat 2008–2009 najpewniej jeszcze bardziej to utrudnił⁹. Ogromne wydatki inwestycyjne przy ryzyku przekroczenia kosztów i niepewności regulacyjnej sprawiają, że inwestorzy i pożyczkodawcy są w tym obszarze bardzo ostrożni, nawet w obliczu znacznego wzrostu popytu¹⁰.

Nadzieje przemysłu jądrowego na renesans zostały negatywnie zweryfikowane 11 marca 2011 r., gdy w japońskiej elektrowni Fukushima-Daiichi (Fukushima I) w prefekturze Fukushima na wyspie Honsiu doszło do serii

6 F. Fukuyama, *Koniec historii*, Wydawnictwo „Znak”, Kraków 1996.

7 *European Pressurized Water Reactor: A Safe and Competitive Solution for Future Energy Needs*, Nuclear Society of Slovenia, Portorož 2004: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/086/37086871.pdf> [dostęp: 4 XII 2024].

8 *World Energy Outlook*, International Energy Agency, 2009: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2009>> [dostęp: 20 IV 2024].

9 *The Financial Crisis and Nuclear Power*, Public Services International Research Unit, Business School, University of Greenwich, 2009: <https://gala.gre.ac.uk/1744/1/COMPLETED_PSIRU_-_2009-02-E-nuclearfinance.pdf> [dostęp: 4 XII 2024].

10 *World Energy Outlook*...

awarii wskutek trzęsienia ziemi o magnitudzie 9. Wywołało ono potężne tsunami z falami o wysokości ponad 40 m. W wyniku tych katastrof zginęło ponad 15 tys. ludzi, a ponad 6 tys. zostało rannych¹¹. W elektrowni Fukushima I trzęsienie ziemi uszkodziło linie elektryczne, a tsunami spowodowało rozległe uszkodzenia infrastruktury operacyjnej i systemów bezpieczeństwa. Całkowicie utracono zasilanie, pomieszczenie ze sprzętem zasilającym liczne komponenty elektrowni zostało zalane, a system chłodzenia dla trzech z sześciu reaktorów jądrowych zawiódł. Systemy awaryjnego zasilania reaktora za pomocą generatorów również zostały zalane przez falę tsunami. Awaria systemu chłodzenia doprowadziła do przegrzania reaktorów, po czym stopił się rdzeń reaktora, co z kolei uwolniło wodór ze zbiorników i doprowadziło do serii eksplozji niszczących infrastrukturę. W wyniku uszkodzenia elektrowni izotopy promieniotwórcze zostały uwolnione do atmosfery i bezpośrednio do morza¹².

Według Światowej Organizacji Zdrowia w skali całej populacji Japonii wzrost zachorowań na nowotwory spowodowany awarią w Fukushima miał być niezauważalny¹³. Badania przesiewowe przeprowadzone w latach 2011–2020 na próbie ok. 300 tys. osób wskazują co prawda znacznie wyższą zachorowalność na nowotwory tarczycy wśród dzieci i młodzieży z prefektury Fukushima, ale nie ma dowodów jednoznacznego związku tych statystyk z ekspozycją na promieniowanie. Większa liczba odnotowanych przypadków może wynikać po prostu z efektu nadmiernej diagnostyki. Badacze wskazują jednak na konieczność prowadzenia w kolejnych dekadach dalszych badań celem monitorowania stanu osób z grupy ryzyka¹⁴. W momencie awarii przekroczenie dopuszczalnych limitów promieniowania odnotowano u co najmniej sześciu pracowników elektrowni, a w 2018 r.

11 Z. Shi i in., *Structural Resilience in Sewer Reconstruction. From Theory to Practice*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2017, s. 1–15.

12 *The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General*, International Atomic Energy Agency, Vienna 2015: <<http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>> [dostęp: 10 XII 2024].

13 *Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Based on a Preliminary Dose Estimation*, World Health Organization, Geneva 2013: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78218/1/9789241505130_eng.pdf> [dostęp: 20 IV 2024].

14 S. Yamashita i in., *Lessons from Fukushima: Latest Findings of Thyroid Cancer after the Fukushima Nuclear Power Plant Accident*, „Thyroid” 2018, vol. 28, No. 1, s. 11–22.

jeden z nich zmarł na raka płuc. Jest to jedyna ofiara, u której za przyczynę śmierci oficjalnie uznano działanie promieniowania uwolnionego w czasie awarii. Bezpośrednio w jej wyniku nikt jednak w Fukushima nie zginął¹⁵. Mimo to katastrofa doprowadziła do wzmożenia antyatomowych nastrojów w wielu krajach¹⁶. Niemcy zatwierdziły wówczas plan całkowitego odejścia od energetyki jądrowej do 2022 r. jako element szerszej strategii *Energiewende*.

Innymi skutkami awarii w Fukushima były zintensyfikowanie przeglądów oraz poprawa systemów bezpieczeństwa w reaktorach jądrowych, co podniosło standardy bezpieczeństwa obiektów jądrowych do skrajnie wysokiego poziomu. System prawa międzynarodowego i kontrola sprawowana przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) umożliwiającą współpracę ponad podziałami politycznymi i korzystanie z energii jądrowej na wysokim poziomie bezpieczeństwa i przy wzajemnej kontroli. Największe awarie i katastrofy w historii energetyki jądrowej zawsze niosły za sobą poprawę bezpieczeństwa i działania na rzecz zapobiegania nawet najmniej prawdopodobnym sytuacjom. Uwarunkowania te podnoszą poziom bezpieczeństwa jądrowego, ale stanowią również znaczne wyzwanie inżynierskie i finansowe dla państw rozwijających programy cywilne.

Diagnoza obecnego stanu sektora energetyki jądrowej

Energetyka jądrowa dostarcza obecnie ok. 10 proc. energii elektrycznej na świecie, 18 proc. w państwach OECD i 24 proc. w państwach UE. Na całym świecie działa obecnie 440 reaktorów energetycznych o łącznej mocy zainstalowanej 396 GW. 60 reaktorów o łącznej planowanej mocy zainstalowanej 62 GW jest w budowie, z czego 21 w Chinach i 8 w Indiach. Planuje się natomiast postawienie 110 kolejnych, a wyłączonych z użytkowania jest łącznie 214 (106 GW)¹⁷. Wszystkie reaktory pierwszej generacji

15 *Japan Admits that Fukushima Worker Died from Radiation*, „The Guardian” [online], 5 IX 2018 [dostęp: 20 IV 2024]: <<https://www.theguardian.com/world/2018/sep/05/japan-admits-that-fukushima-worker-died-from-radiation>>.

16 A. Januszewska, *Reakcja Unii Europejskiej na katastrofę w elektrowni jądrowej w Fukushima*, [w:] *Polityka Unii Europejskiej wobec partnerów azjatyckich*, red. T. Kamiński, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2019, s. 95–107.

17 *Nuclear Power in the World Today*, „World Nuclear Association” [online, dostęp: 21 IV 2024]: <<https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>>.

zostały wygaszone, a większość z obecnie działających to reaktory generacji drugiej. Aktualnie budowane reprezentują zaś w większości trzecią lub trzecią plus (cechującą się wyższymi standardami bezpieczeństwa, w tym pasywnymi systemami zabezpieczeń z pasywnymi systemami chłodzenia, które umożliwiają bezpieczne chłodzenie po wyłączeniu reaktora bez konieczności dodatkowego zasilania i zewnętrznej ingerencji). Najwięcej, bo 310 reaktorów jądrowych na świecie reprezentuje typ wodny ciśnieniowy (PWR), 60 – wodny wrzący (BWR), 48 – ciężkowodny ciśnieniowy (PHWR), 10 – lekkowodny moderowany grafitem (LWGR), a pozostałe to reaktory chłodzone gazem (AGR), na neutrony prężne (FNR) lub wysokotemperaturowe chłodzone gazem (HTGR)¹⁸. Elektrownie jądrowe działają obecnie w 31 krajach. Ponad 50 państw, w tym Polska, wykorzystuje energię jądrową w ok. 220 reaktorach badawczych, które służą zarówno do celów naukowych i szkoleniowych, jak też do produkcji izotopów medycznych i przemysłowych¹⁹. Największy udział w produkcji energii elektrycznej z energii jądrowej mają Francja (63 proc.), Słowacja (59 proc.), Ukraina (55 proc.), Belgia (46 proc.) i Węgry (44 proc.). W liczbach bezwzględnych najwięcej tego typu energii produkują zaś Stany Zjednoczone, Chiny, Francja, Rosja, Korea Południowa i Kanada, a więc państwa będące głównymi eksporterami technologii jądrowych²⁰.

W ostatnich latach w polityce międzynarodowej widać złagodzenie antyatomowych nastrojów oraz intensyfikację działań na rzecz wsparcia energetyki jądrowej²¹. Znaczący wpływ na wzrost zainteresowania technologiami nuklearnymi w Europie ma wojna Rosji na Ukrainie, która na pełną skalę wybuchła w lutym 2022 r. Konflikt ten uwypuklił potrzebę niezależności i odporności energetycznej państw, a także możliwość używania surowców energetycznych jako broni we współczesnej wojnie, zarówno konwencjo-

18 R. Partanen, J. M. Korhonen, *Czarny koń. Energetyka jądrowa a zmiany klimatyczne*, Wydawnictwo „Dragon”, Bielsko-Biała 2022, s. 121.

19 *Nuclear Power in the World...*

20 Dane za 2022 r. *Nuclear Energy*, „Our World in Data” [online, dostęp: 1 V 2024]: <<https://ourworldindata.org/nuclear-energy>>.

21 R. M. Grossi, *Nuclear Must Be Part of the Solution. Reinforcing the Bargain that Strengthens Security while Expanding Peaceful Use*, „Foreign Affairs” [online], 18 IV 2024 [dostęp: 6 XII 2024]: <<https://www.foreignaffairs.com/united-states/nuclear-must-be-part-solution>>.

nalnej, jak i hybrydowej. Jest on jedną z przyczyn kryzysu energetycznego w Europie, który skutkuje wzrostem zainteresowania atomem jako stabilnym źródłem bezemisyjnej energii, będącym atrakcyjną alternatywą wobec niestabilnych OZE oraz niepewnych dostaw konwencjonalnych paliw kopalnych²². W obliczu niestabilności dostaw rosyjskich surowców energetycznych oraz wieloletniego nadmiernego uzależnienia w tym zakresie od Federacji Rosyjskiej mnogość oferentów technologii jądrowych oraz paliwa pozwala państwom zwiększyć bezpieczeństwo energetyczne poprzez związanie się ze stabilnym politycznie dostawcą technologii nuklearnych.

W grudniu 2023 r. na zorganizowanej w Dubaju corocznej konferencji ONZ w sprawie zmian klimatu (COP28) po raz pierwszy uznano energię jądrową za kluczową w ograniczaniu skutków zmian klimatu, co oznacza formalne włączenie jej do rozwiązań pozwalających realizować postanowienia porozumienia paryskiego z 2015 r.²³ Podczas COP28 22 państwa podpisały deklarację o podjęciu wysiłków na rzecz potrojenia mocy energetyki jądrowej do 2050 r. oraz stworzenia efektywnych mechanizmów finansowania inwestycji w atom. Sygnatariuszami dokumentu są: Bułgaria, Czechy, Finlandia, Francja, Ghana, Holandia, Japonia, Kanada, Korea Południowa, Maroko, Mołdawia, Mongolia, Polska, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Stany Zjednoczone, Szwecja, Ukraina, Węgry, Wielka Brytania i Zjednoczone Emiraty Arabskie²⁴. 21 marca 2024 r. w Brukseli odbył się pierwszy w historii Szczyt Energii Jądrowej organizowany przez IAEA. Podczas sesji otwarcia dyrektor generalny Agencji Rafael Mariano Grossi stwierdził:

To ciekawe, że trzeba było 70 lat komercyjnej eksploatacji bloków jądrowych, by doszło do pierwszego szczytu energetyki jądrowej, podczas którego spotykają się przedstawiciele najwyższego szczebla, światowi

22 M. Paszkowski, *Rok po inwazji: wpływ wojny rosyjsko-ukraińskiej na bezpieczeństwo energetyczne państw Europy Środkowej*, Instytut Europy Środkowej, Lublin 2023 (Komentarze IES, 47/2023).

23 *Paris Agreement*, „United Nations Climate Change” [online], 2015 [dostęp: 5 XII 2024]: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>.

24 *COP28 Recognises the Critical Role of Nuclear Energy for Reducing the Effects of Climate Change*, „Nuclear Energy Agency” [online], 21 XII 2023 [dostęp: 1 V 2024]:<https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_89153/cop28-recognises-the-critical-role-of-nuclear-energy-for-reducing-the-effects-of-climate-change>.

przywódcy. To logiczne, że nastąpiło to teraz, mogło do spotkania dojść wcześniej, ale teraz to nie jest kwestia chęci. To kwestia konieczności²⁵.

Unia Europejska wyraźnie zmieniała swoje podejście do energetyki jądrowej, o czym świadczą bezprecedensowe działania na rzecz wsparcia dyskryminowanego do tej pory sektora energetycznego. Jak dotąd Wspólnota opierała swoją wizję transformacji energetycznej wyłącznie na OZE. W 2022 r. Parlament Europejski i Rada przyjęły jednak rozporządzenie w sprawie ustanowienia ram ułatwiających zrównoważone inwestycje (tzw. taksonomię), w którym energię jądrową uznano za zrównoważoną, co otworzyło możliwość finansowania jej ze środków UE²⁶. W maju 2024 r. Komisja przyjęła rozporządzenie o neutralnym emisyjnie przemyśle – *Net-Zero Industry Act*. W ramach procedowania go Rada UE i Parlament Europejski uzgodniły wspólne stanowisko w sprawie uznania energii jądrowej za neutralną emisyjnie i traktowania jej formalnie na równi z OZE, co stanowi precedens w najnowszej polityce Wspólnoty²⁷. *Net-Zero Industry Act* ustala mechanizmy wspierania europejskiego rynku we wdrażaniu technologii niskoemisyjnych poprzez uproszczenie procedur administracyjnych dla realizacji założeń Europejskiego Zielonego Ładu, a więc osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r.²⁸, a także poprzez zwiększenie europejskiej produkcji technologii neutralnych emisyjnie do 40 proc. rocznego zapotrzebowania. Jest to odpowiedź na mechanizmy protekcyjnistyczne, za pomocą których USA i Chiny wzmacniają rozwój rodzimych technologii niskoemisyjnych i skutecznie konkurują na globalnym rynku. Nie jest to jednak przykład interwencjonizmu UE, a raczej krok

25 Atomowy szczyt w Brukseli. „Po 28 spotkaniach COP uznano atom za ważny dla transformacji”, „Energetyka 24” [online], 21 III 2024 [dostęp: 1 V 2024]: <<https://energetyka24.com/atom/wiadomosci/atomowy-szczyt-w-brukseli-po-28-spotkaniach-cop-uznано-atom-za-wazny-dla-transformacji>>.

26 Gaz i atom w taksonomii, „Komisja Europejska” [online], 2 II 2022 [dostęp: 1 V 2024]: <https://poland.representation.ec.europa.eu/news/gaz-i-atom-w-taksonomii-2022-02-02_pl>.

27 Nuclear Power Officially Labelled as „Strategic” for EU’s Decarbonisation, „Euractiv” [online], 7 II 2024 [dostęp: 1 V 2024]: <<https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/nuclear-power-officially-labelled-as-strategic-for-eus-decarbonisation/>>.

28 Europejski zielony ład, „Rada Europejska. Rada Unii Europejskiej” [online, dostęp: 10 XII 2024]: <<https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/>>.

w stronę deregulacji. W lutym 2024 r. Komisja opublikowała rekomendację na temat wsparcia dla rozwoju małych reaktorów modułowych (*small modular reactors* – SMR), uznając tę technologię za ważną dla dekarbonizacji. Otwiera tym samym przemysłowy sojusz na rzecz SMR (*European Industrial Alliance on SMRs*), by ułatwić i przyspieszyć rozwój i wdrażanie małych reaktorów w Europie do lat trzydziestych XXI w.²⁹

Kluczowym aspektem w zmianie orientacji europejskiej polityki odnośnie do energii jądrowej jest zawiązanie pod przewodnictwem Francji nieformalnego sojuszu atomowego. W jego ramach spotykają się przedstawiciele od 12 do 15 państw UE, które zdecydowały się współpracować w unijnym procesie decyzyjnym i prawodawczym celem wsparcia rozwiązań korzystnych dla energetyki jądrowej. Francuska dyplomacja odgrywa kluczową rolę w przeorientowaniu europejskiej polityki na rzecz atomu. Rząd i administracja prezydenta Emmanuela Macrona obrały zdecydowanie proatomowy kurs, którego celami są maksymalizacja udziału energii jądrowej w krajowym miksie energetycznym, nawet kosztem spadku znaczenia OZE³⁰, a także ekspansja francuskiej technologii poprzez zagraniczne inwestycje potentata przemysłu jądrowego *Électricité de France* (EDF), którego w 2023 r. całkowicie znacjonalizowano w celu uzyskania pełnej kontroli państwa nad realizacją tej agendy³¹. Działania Paryża stanowią próbę reinkarnacji planu byłego premiera Pierre'a Messmera, który przedstawiono w 1974 r. jako odpowiedź na kryzys spowodowany globalnym wzrostem cen ropy naftowej w wyniku embarga nałożonego przez kraje OPEC po wsparciu udzielonym Izraelowi przez Zachód w wojnie Jom Kipur. Plan Messmera stanowił strategiczną podstawę francuskiej dominacji w europejskiej energetyce jądrowej, której podstawowym celem było zmniejszenie zależności od importu surowców energetycznych oraz uczynienie Francji *tout-nucléaire*, czyli państwem

29 *European Industrial Alliance on SMRs*, „European Commission” [online, dostęp: 1 V 2024]: <https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-industrial-alliance-small-modular-reactors_en>.

30 *Le projet de loi sur la souveraineté énergétique amputé*, „Les Echos” [online], 18 I 2024 [dostęp: 3 V 2024]: <<https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/le-projet-de-loi-sur-la-souverainete-energetique-ampute-2047033>>.

31 *EDF: la nationalisation redevient-elle un atout stratégique?*, „Radio France” [online], 8 VI 2023 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/le-temps-du-debat/edf-la-nationalisation-redevient-elle-un-atout-strategique-7373942>>.

w pełni znuklearyzowanym³². Kluczową rolę w realizacji tego planu odegrała wspomniana spółka EDF³³. Ówczesny prezydent Valéry Giscard d'Estaing podsumowywał tę strategię następująco: „Widzicie, we Francji nie mamy ropy naftowej, ale mamy pomysły!”³⁴.

Mimo że klimat dla atomu jest w Europie najlepszy od wielu lat, to w dalszym ciągu każda decyzja w sprawie wsparcia tego sektora na poziomie legislacji UE napotyka opór części środowisk decyzyjnych. Prym w energetyczno-klimatycznej agendzie Wspólnoty w dalszym ciągu wiodą OZE i zgodnie z najnowszymi celami do 2030 r. mają stanowić 42,5–45 proc. europejskiego miksu energii elektrycznej³⁵. Jest to przedmiotem sporu Brukseli i Berlina z Paryżem³⁶. Rozbieżność stanowisk oraz interesów Francji i Niemiec w tym zakresie jest kluczowym czynnikiem ograniczającym rozwój i finansowanie energetyki jądrowej w UE, co powoduje, że na poziomie politycznym ta bezemisyjna technologia w dalszym ciągu wspierana jest dużo słabiej niż OZE.

Renesans energetyki jądrowej i rywalizacja technologiczna

Prawdziwy renesans energetyki jądrowej rozpoczął się w latach 2022–2023, gdy wiele państw umieściło ją w centrum swoich programów rozwoju i dążenia do gospodarki niskoemisyjnej. Wzrost zainteresowania budową

32 6 mars 1974, *le choix du tout-nucléaire avec Pierre Messmer*, „L'INA éclaire l'actu” [online], 24 I 2023 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/nucleaire-pierre-messer-reacteurs-energie>>.

33 J.-M. Bezat, *Nucléaire: le „plan Messmer”, un programme Apollo à la française*, „Le Monde” [online], 17 II 2023 [dostęp: 3 XII 2024]: <https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/02/17/nucleaire-le-plan-messmer-un-programme-apollo-a-la-francaise_6162225_3234.html>.

34 Th. Snégaroff, *„On n'a pas de pétrole mais on a des idées”, en 1976, on passe à l'heure d'été*, „France Info” [online], 25 III 2016 [dostęp: 7 XII 2024]: <https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/histoires-d-info/on-n-a-pas-de-petrole-mais-on-a-des-idees-en-1976-on-passe-a-l-heure-d-ete_1774731.html>.

35 *Energia odnawialna: wyznaczanie ambitnych celów dla Europy*, „Parlament Europejski” [online], 12 IV 2024 [dostęp: 11 XII 2024]: <<https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20171124STO88813/energia-odnawialna-wyznaczanie-ambitnych-celow-dla-europy>>.

36 M. Szurowska, *Skutki dyskryminacji energetyki jądrowej w Unii Europejskiej bywają tragiczne*, „Biznes Alert” [online], 18 VII 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://biznes-alert.pl/dekarbonizacja-zamykanie-elektrowni-jadrowych-skutki-energetyka/>>.

nowych jednostek jądrowych i rozbudową istniejących skutkuje rywalizacją o przewagę konkurencyjną między głównymi eksporterami technologii, do których zaliczają się Stany Zjednoczone, Francja, Rosja, Chiny, Korea Południowa, Japonia i Kanada.

Jednym z głównych obszarów rywalizacji technologicznej jest rozwój reaktorów jądrowych czwartej generacji. Te zaawansowane projekty mają wyjść naprzeciw głównym wyzwaniom energetyki jądrowej, takim jak bezpieczeństwo, odporność na proliferację i zrównoważone zarządzanie odpadami jądrowymi. Innym obszarem konkurencji jest rozwój zaawansowanych cykli paliwowych, które optymalizują powtórne wykorzystanie paliwa, zmniejszają ilość odpadów i podnoszą odporność na proliferację (np. torowe cykle paliwowe, zaawansowane techniki ponownego przetwarzania i zamknięte cykle paliwowe)³⁷. Poprawa bezpieczeństwa jest priorytetem w nowych projektach. Państwa inwestują w zaawansowane systemy bezpieczeństwa, pasywne mechanizmy chłodzenia i odporne konstrukcje reaktorów, by zmniejszyć ryzyko wypadków i zwiększyć zaufanie obywateli do energii jądrowej.

Kolejnym elementem rywalizacji pomiędzy dostawcami technologii są projekty SMR, które mają się charakteryzować modułowością, niewielkim rozmiarem i względnie małą mocą, zwykle od ok. 50 do 500 MW³⁸. Modułowość reaktorów oznacza budowę opartą na seryjnej produkcji elementów, które mają być łatwe w transporcie i składane na miejscu instalacji reaktora. Pozwoli to zautomatyzować proces budowy reaktorów, a efekt skali (w tym przypadku korzyść skali) umożliwi zmniejszanie kosztów ich produkcji. W założeniu mają być one lokalizowane blisko miejsca zapotrzebowania (np. przy zakładach przemysłowych), któremu będą dostarczać energię elektryczną i ciepłą (w zakładach wykorzystujących ciepło przemysłowe lub w ciepłownictwie ogólnym)³⁹.

37 *Generation IV Nuclear Reactors*, „World Nuclear Association” [online], 30 IV 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/generation-iv-nuclear-reactors>>.

38 *Safely and Responsibly Expanding U.S. Nuclear Energy: Deployment Targets and a Framework for Action*, The White House, Washington, 12 XI 2024: <<https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2024/11/US-Nuclear-Energy-Deployment-Framework.pdf>> [dostęp: 10 XII 2024].

39 J. Liou, *What are Small Modular Reactors (SMRs)?*, „International Atomic Energy Agency” [online], 13 IX 2023 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>>.

Dużą nadzieję pokładają w przemyśle jądrowym przedsiębiorstwa zajmujące się rozwojem sztucznej inteligencji. Zapoczątkowały one liczne inwestycje w energetykę jądrową, co może być kolejnym akceleratorem jej globalnego renesansu. Prace nad rozwojem sztucznej inteligencji wymagają dostarczenia dużych ilości energii, a inwestorom zależy również na jej niskoemisyjności, dlatego główne globalne korporacje informatyczne rozpoczęły znaczące inwestycje w energetykę jądrową. Microsoft podpisał z Constellation Energy dwudziestoletnią umowę na zakup energii z elektrowni atomowej Three Mile Island w Pensylwanii. Oznacza to, że zakład obciążony złą sławą związaną z najpoważniejszym incydentem jądrowym w historii USA zostanie zmodernizowany i ponownie włączony do eksploatacji⁴⁰. Google zawarło umowę z Kairos Power na wykorzystanie małych reaktorów jądrowych do zasilania własnych centrów danych⁴¹. Dyrektor generalny Open AI Sam Altman inwestuje w start-upy tworzące innowacje w zakresie technologii jądrowych, w tym fuzji jądrowej⁴². Spółka Amazon podpisała szereg umów dotyczących budowy reaktorów SMR na własne potrzeby i sprzedaży energii, a poza tym inwestuje w innowacje w zakresie technologii jądrowych⁴³. Spółka Meta Platforms ogłosiła zapotrzebowanie na 1–4 GW nowych mocy wytwórczych w energetyce jądrowej, które pozwolą zaspokoić planowany wzrost zapotrzebowania na energię do obsługi zaawansowanych centrów danych⁴⁴. Według analiz banku inwestycyjnego Goldman Sachs do 2030 r. sztuczna inteligencja wygene-

40 N. Sherman, *Microsoft Chooses Infamous Nuclear Site for AI Power*, „BBC” [online], 20 IX 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.bbc.com/news/articles/cx25v2d7zexo>>.

41 J. da Silva, *Google Turns to Nuclear to Power AI Data Centres*, „BBC” [online], 15 IX 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.bbc.com/news/articles/c748gn94k95o>>.

42 B. Nguyen, *A Look at the Energy Companies OpenAI’s Sam Altman is Backing*, „Quartz” [online], 21 IX 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://qz.com/nuclear-energy-helion-exowatt-oklo-sam-altman-ai-1851676383>>.

43 *Amazon Signs Agreements for Innovative Nuclear Energy Projects to Address Growing Energy Demands*, „Amazon” [online], 16 X 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.aboutamazon.com/news/sustainability/amazon-nuclear-small-modular-reactor-net-carbon-zero>>.

44 *Accelerating the Next Wave of Nuclear to Power AI Innovation*, „Meta” [online], 3 XII 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://sustainability.atmeta.com/blog/2024/12/03/accelerating-the-next-wave-of-nuclear-to-power-ai-innovation/>>.

ruje wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w centrach danych aż o 160 proc. (o 200 TWh rocznie w latach 2023–2030; dla porównania w 2023 r. całkowite roczne zużycie energii elektrycznej odbiorców końcowych w Polsce wyniosło 145,9 TWh)⁴⁵.

Rozwój konkurencji w obszarze technologii jądrowych ma znaczące implikacje geopolityczne, kształtując sojusze, partnerstwa strategiczne oraz globalną dynamikę sektora energetycznego. W tym miejscu stawiam tezę, że państwa, które osiągną pozycję liderów innowacji w zakresie technologii jądrowych, mogą zyskać wpływy geopolityczne i przewagę gospodarczą na nowych rynkach zainteresowanych inwestowaniem w energetykę atomową. Obawy związane z bezpieczeństwem energetycznym i odpornością łańcucha dostaw skłaniają państwa do inwestowania we własny potencjał i maksymalizowania udziału lokalnego przemysłu (*local content*) w całym cyklu działania elektrowni atomowych⁴⁶ oraz zmniejszania zależności od dostawców zewnętrznych. Dostatecznie duży udział *local content* w budowie i eksploatacji elektrowni jądrowych staje się kluczowym elementem procesów przetargowych na dostawcę technologii dla państwa zainteresowanych taką inwestycją⁴⁷.

Renesans energetyki jądrowej napędza rywalizację państw w dążeniu do zapewnienia sobie bezpieczeństwa energetycznego, zrównowżenia środowiskowego i wpływów geopolitycznych. Wysiłki na rzecz przeciwdziałania ryzyku proliferacji, zrównoważonego zarządzania odpadami jądrowymi, społecznej akceptacji dla energetyki jądrowej oraz

45 *AI is Poised to Drive 160% Increase in Data Center Power Demand*, „Goldman Sachs” [online], 14 V 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand>>. Por. *Raport. Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2023*, Forum Energii, Warszawa 2024, s. 24: <<https://www.forum-energii.eu/download/pobierz/transformacja-edycja-2024>> [dostęp: 10 XII 2024].

46 *Łańcuch wartości energetyki jądrowej w Polsce. Streszczenie raportu*, Instytut Energetyki, 2023, s. 32–33: <<https://ien.com.pl/images/konferencje/%C5%81a%C5%84cuch-warto%C5%9Bci-energii-j%C4%85drowej-w-Polsce-raport.pdf>> [dostęp: 10 XII 2024].

47 *Projekty jądrowe w Europie Środkowej i Południowo-Wschodniej. Stan i perspektywy*, red. M. Gniazdowski, Ośrodek Studiów Wschodnich, Warszawa 2015 (Raport OSW); M. Karwowski, *Motyka: Local content jest sprawą krytycznie ważną w energetyce jądrowej*, „Biznes Alert” [online], 23 IV 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://biznesalert.pl/local-content-pep-polska-elektrownia-jadrowa-atom>>.

efektywnego finansowania są kluczowe dla pełnego wykorzystania potencjału energii jądrowej jako kluczowego elementu globalnej transformacji energetycznej. Aktualna dynamika wskazuje, że potencjał zdominowania globalnego sektora nuklearnego mają Chiny i Rosja, 70 proc. budowanych obecnie reaktorów to bowiem konstrukcje i technologie z tych dwóch państw⁴⁸. Chiny w grudniu 2023 r. rozpoczęły w EJ Shidaowan eksploatację pierwszego na świecie chłodzonego gazem reaktora czwartej generacji o mocy 200 MW⁴⁹.

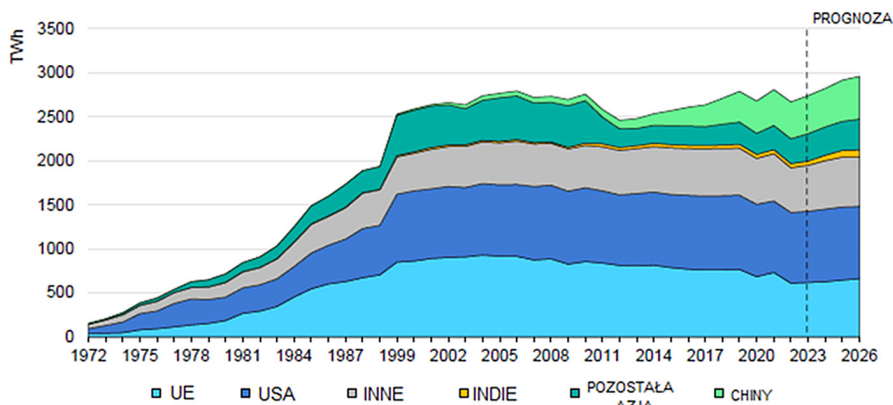
Perspektywy rozwoju energetyki jądrowej

Międzynarodowa Agencja Energetyczna (International Energy Agency – IEA) nakreśla perspektywy rozwoju globalnego sektora jądrowego w opublikowanym w 2024 r. raporcie *Electricity 2024 Analysis and Forecast to 2026*⁵⁰. Stwierdza tam, że do 2025 r. produkcja energii jądrowej osiągnie historyczny rekord. W latach 2024–2026 uruchomione zostanie 29 GW nowych mocy. Najistotniejszymi czynnikami wzrostu tego wskaźnika mają być nowo instalowane reaktory, głównie w Chinach i Indiach, odbudowa francuskich elektrowni jądrowych i nowy ambitny program realizowany przez administrację prezydenta Emmanuela Macrona, a także spodziewane ponowne uruchomienie elektrowni atomowych w Japonii. Ma się to przyczynić do aż 10-procentowego wzrostu produkcji energii jądrowej w latach 2023–2026. Głównym regionem rozwoju energetyki jądrowej ma pozostać Azja (przede wszystkim Chiny), która według przewidywań wyprzedzi Amerykę Północną pod względem mocy zainstalowanej. Na poniższym wykresie przedstawiono wielkość produkcji energii jądrowej z podziałem na regiony świata od początku lat siedemdziesiątych XX w. wraz z prognozą do roku 2026.

48 *Electricity 2024. Analysis and Forecast to 2026*, International Energy Agency, 2024, s. 46: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/18f3ed24-4b26-4c83-a3d2-8a1be51c8cc8/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>> [dostęp: 1 V 2024].

49 V. Bela, *Shidaowan: World's First Fourth-Generation Nuclear Reactor Begins Commercial Operation on China's East Coast*, „South China Morning Post” [online], 6 XII 2023 [dostęp: 5 XII 2024]: <<https://www.scmp.com/news/china/science/article/3244102/shidaowan-worlds-first-4th-generation-nuclear-reactor-begins-commercial-operation-chinas-east-coast>>.

50 *Electricity 2024...*



Wykres 1. Produkcja energii jądrowej od 1972 r. do chwili obecnej wraz z prognozą do roku 2026 na podstawie obecnie realizowanych projektów jądrowych.

Źródło: *Electricity 2024...*, s. 44

Zdecydowana większość prognoz głównych organizacji energetycznych na temat przyszłości globalnego sektora energetycznego sugeruje rosnącą rolę energii jądrowej w globalnej produkcji energii elektrycznej. IEA przewiduje ponad dwukrotny wzrost ich mocy do 2050 r. w porównaniu z 2022⁵¹. Aktualnie budowanych jest ok. 60 reaktorów w 16 państwach, a oprócz tego planuje się uruchomienie 90 kolejnych, w większości w ciągu najbliższych piętnastu lat. Docelowo rozważa się zatem wprowadzenie do użytku kolejnych 300 reaktorów. Programy energetyki jądrowej planuje lub rozpoczyna ok. 30 państw, wśród których zdecydowaną większość stanowią szybko rozwijające się kraje azjatyckie z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną⁵².

Realizowane obecnie projekty pokazują, że centrum renesansu nuklearnego najprawdopodobniej stanie się Azja. Chiny dążą do osiągnięcia 70 GW mocy zainstalowanej w energetyce jądrowej do 2025 r., a Indie

51 *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach*, International Energy Agency, 2023, s. 81: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8ad619b9-17aa-473d-8a2f-4b90846f5c19/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf> [dostęp: 1 v 2024].

52 *Plans for New Reactors Worldwide*, „World Nuclear Association” [online, dostęp: 5 v 2024]: <<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide>>.

chcą potroić swoją do 2032. Japonia ma w planach ponowne uruchomienie zamkniętych elektrowni atomowych i osiągnięcie do 2030 r. 20 proc. udziału tego sektora w krajowym miksie energetycznym. W państwach Europy i obu Ameryk rośnie zainteresowanie energetyką atomową, a większość państw aktualnie posiadających elektrownie jądrowe planuje ich rozbudowę lub już teraz prowadzi działania na rzecz zainstalowania nowych mocy. Nowe projekty jądrowe wymagają zmierzenia się z wieloma trudnościami: regulacyjnymi, organizacyjnymi, kadrowymi, kompetencyjnymi, rynkowymi i finansowymi. Największą przeszkodą w inwestycjach jest dobór efektywnego modelu finansowania oraz włączenie nowej elektrowni w istniejący rynek energii, w tym konkurencja z OZE⁵³. Właściwie dobrany do specyfiki danego przedsięwzięcia i uwarunkowań krajowych model finansowy powinien zmniejszać ryzyko zaangażowanych kapitałowo inwestorów, optymalizować koszty, a także stanowić akceptowalne rozwiązanie dla końcowych odbiorców energii elektrycznej⁵⁴. Projekty jądrowe borykają się często z wieloletnimi opóźnieniami i wielomiliardowymi, nie-rzadko wielokrotnymi przekroczeniami pierwotnie zakładanych budżetów. Największe opóźnienia odnotowuje się w Europie i Stanach Zjednoczonych (Flamanville 3, Olkiluoto 3, Hinkley Point C, Vogtle 3 i 4)⁵⁵, a stosunkowo najmniej jest ich w Chinach⁵⁶.

Częściowym rozwiązaniem problemów z finansowaniem energetyki jądrowej mogą być SMR. Obecnie trwają prace nad rozwojem tej technologii, ale nie jest ona jeszcze w powszechnym użyciu. Uruchomienie pierwszych reaktorów tego typu planowane jest na początek lat trzydzie-

53 *Łańcuch wartości...*, s. 21–23.

54 *Finansowanie budowy elektrowni jądrowych. Jak zmniejszyć ryzyko i zapewnić bankowalność projektu na konkurencyjnych warunkach*, „Bank” [online], 16 X 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://bank.pl/bankowosc-i-finanse-energetyka-edf-finansowanie-budowy-elektrowni-jadrowych-jak-zmniejszyc-ryzyko-i-zapewnic-bankowalnosc-projektu-na-konkurencyjnych-warunkach/>>.

55 *EDF Announces Hinkley Point C Delay and Rise in Project Cost*, „World Nuclear News” [online], 23 I 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/EDF-announces-Hinkley-Point-C-delay-and-big-rise-i>>; R. Vakarelska, *Flamanville-3 / Fuel Loading Begins at France's Delayed EPR Nuclear Power Plant*, „Nucnet” [online], 9 V 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://www.nucnet.org/news/fuel-loading-begins-at-flamanville-3-epr-nuclear-plant-in-normandy-5-4-2024>>.

56 *Electricity 2024...*, s. 49.

stych. IEA prognozuje, że istotna ekspansja tej technologii może nastąpić po 2040 r., jeżeli uda się osiągnąć do tego czasu wydajną produkcję o niskim ryzyku. W chwili obecnej na świecie z powodzeniem realizowanych jest ponad 85 projektów i koncepcji SMR. Największy potencjał w tym zakresie wykazują Stany Zjednoczone, Chiny i Rosja, prowadzące łącznie ponad połowę wszystkich projektów⁵⁷.

Podsumowanie

Sektor jądrowy przeszedł od lat pięćdziesiątych XX w. długą i trudną drogę. Bardzo intensywnie rozwijał się do czasu katastrofy w Czarnobylu w 1986 r., ale po niej nastąpiło spowolnienie i okres niepewności, strachu, zmniejszonego zainteresowania energią atomową oraz tworzenia restrykcyjnych ram prawnych i technicznych, które miały poprawić bezpieczeństwo instalacji. Dziś wiemy dokładnie, jakie były przyczyny tego jedyne go wypadku w cywilnej energetyce jądrowej, który bezpośrednio doprowadził do ofiar śmiertelnych w wyniku ekspozycji na promieniowanie jonizujące. To nieodpowiednie środki i standardy bezpieczeństwa, naruszenia ówczesnych procedur bezpieczeństwa, a przede wszystkim kwestie polityczne – charakter systemu rządów w Związku Radzieckim i rozbieżność między sowieckimi i zachodnimi standardami.

Dotychczasowe katastrofy i poważne awarie dowodzą, że mimo sporów w wielu kwestiach energetyka jądrowa wymaga międzynarodowego konsensusu, współpracy i wymiany doświadczeń oraz wzajemnej kontroli. Jak wskazano w artykule, może być ona źródłem niskoemisyjnej, wydajnej i bezpiecznej energii dla całej ludzkości, a odpowiedzialnie wykorzystywana do celów pokojowych pomoże rozwiązać wiele problemów współczesnego świata.

Największych modyfikacji norm prawa międzynarodowego oraz standardów technicznych cywilnego użycia energii jądrowej dokonywano po wielkich awariach. Z obecnej perspektywy widać, że do bezpiecznego korzystania z niej w celach pokojowych niezbędne jest tworzenie skutecznych międzynarodowych norm prawnych i technologicznych wraz z ich ścisłym egzekwowaniem i kontrolą. Statystyki i dane jednoznacznie wskazują,

57 Tamże, s. 53.

że atom jest jednym z najbezpieczniejszych i najmniej emisyjnych źródeł pozyskiwania energii⁵⁸.

Przez wiele lat sektor jądrowy był ofiarą polityki strachu. Jego przeciwnicy opierali swoją argumentację na manipulacjach i odwoływaniu się do emocji, co stało w sprzeczności z badaniami naukowymi⁵⁹. Brak woli politycznej do rozwoju energetyki jądrowej wynikał zaś często z konfliktu interesów i cynicznego wykorzystywania obaw o środowisko do realizacji politycznych i gospodarczych celów wąskiej grupy osób. Modelowym tego przykładem stała się *Energiewende*, która doprowadziła Niemcy do kryzysu sektora energetycznego i utraty odporności w tym zakresie, a w Unii Europejskiej miała istotny wpływ na polityki energetyczne państw członkowskich oraz polityczne blokowanie energetyki jądrowej na poziomie Brukseli⁶⁰. Po latach stagnacji i niedofinansowania w porównaniu z inwestycjami w inne technologie niskoemisyjne energetyka jądrowa potrzebuje wsparcia politycznego, by wzmocnić wysiłki społeczności międzynarodowej na rzecz dekarbonizacji. Zaniedbania z poprzednich dziesięcioleci skutkują kłopotami w realizacji wielkoskalowych projektów jądrowych w zakładanym czasie i budżecie, czego przykładami są elektrownie Flamanville 3, Olkiluoto 3, Hinkley Point C oraz Vogtle 3 i 4.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie stale rosło. ONZ szacuje, że globalna populacja wzrośnie z 7,8 mld w 2020 r. do ok. 8,5 mld w 2030 i 9,7 mld do 2050, a ok. dwie trzecie ludności będzie zamieszkiwać obszary miejskie⁶¹. Odnawialne źródła energii nie są w stanie samodzielnie zaspokoić potrzeb energetycznych dynamicznie zmieniającego się świata. Dalszy rozwój energetyki jądrowej i międzynarodowa współpraca w tym zakresie są więc niezbędne do realizacji globalnych celów klimatycznych oraz zapewnienia dostatecznie dużych ilości energii.

58 *Nuclear Energy...*

59 C. Shen, Y. Wang, *The Impact of Climate Change on Media Coverage of Sponge City Programs: A Text Mining and Machine Learning Analysis*, „Environmental Communication” 2023, vol. 17, issue 5, s. 518–535.

60 J. Wiech, *Energiewende. Nowe niemieckie imperium*, Wydawnictwo „Defence 24”, Warszawa 2019.

61 *Global Population is Growing*, „European Commission” [online], 21 XII 2022 [dostęp: 5 V 2024]: <https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/global-population-growing_en>.

Energetyka atomowa jest i powinna być odpowiedzią na problemy współczesnego świata: zmiany klimatyczne, globalne ocieplenie, nadmierne zanieczyszczenie powietrza, wyczerpywanie się surowców oraz inne zagrożenia polityczne, techniczne i środowiskowe związane z wydobywaniem paliw kopalnych.

Okres turbulencji geopolitycznych i wynikające z nich kryzysy przyspieszają globalny renesans energetyki jądrowej i rywalizację o przewagę technologiczną w tej dziedzinie. Światowa energetyka przeżywa niespotykane od dziesięcioleci zainteresowanie sektorem jądrowym, zarówno jeśli chodzi o tradycyjne wielkoskalowe elektrownie, jak i model bardziej rozproszonego systemu małych reaktorów modułowych, które zaspokajałyby lokalne potrzeby elektroenergetyczne lub ciepłownicze. Globalny renesans nuklearny to także wzrost zainteresowania innowacyjnymi i niekonwencjonalnymi metodami wykorzystania energii jądrowej poprzez nowe projekty zaawansowanych reaktorów o zamkniętym obiegu i wysokich standardach bezpieczeństwa, a także rozwój technologii syntezy termojądrowej jako sposobu pozyskiwania energii elektrycznej na dużą skalę.

Bibliografia

- Accelerating the Next Wave of Nuclear to Power AI Innovation*, „Meta” [online], 3 XII 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://sustainability.atmeta.com/blog/2024/12/03/accelerating-the-next-wave-of-nuclear-to-power-ai-innovation/>>.
- AI is Poised to Drive 160% Increase in Data Center Power Demand*, „Goldman Sachs” [online], 14 V 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand>>.
- Alliance Calls for Support from Next European Commission*, „World Nuclear News” [online], 18 X 2024 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.world-nuclear-news.org/articles/alliance-calls-for-support-from-next-european-commission>>.
- Amazon Signs Agreements for Innovative Nuclear Energy Projects to Address Growing Energy Demands*, „Amazon” [online], 16 X 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.aboutamazon.com/news/sustainability/amazon-nuclear-small-modular-reactor-net-carbon-zero>>.
- Atomowy szczyt w Brukseli. „Po 28 spotkaniach COP uznano atom za ważny dla transformacji”*, „Energetyka 24” [online], 21 III 2024 [dostęp: 1 V 2024]: <<https://energetyka24.com/atom/wiadomosci/atomowy-szczyt-w-brukseli-po-28-spotkaniach-cop-uznано-atom-za-wazny-dla-transformacji>>.
- Bela V., *Shidaowan: World’s First Fourth-Generation Nuclear Reactor Begins Commercial Operation on China’s East Coast*, „South China Morning Post” [online],

- 6 XII 2023 [dostęp: 5 XII 2024]: <<https://www.scmp.com/news/china/science/article/3244102/shidaowan-worlds-first-4th-generation-nuclear-reactor-begins-commercial-operation-chinas-east-coast>>.
- Bezat J.-M., *Nucléaire: le „plan Messmer”, un programme Apollo à la française*, „Le Monde” [online], 17 II 2023 [dostęp: 3 XII 2024]: <https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/02/17/nucleaire-le-plan-messmer-un-programme-apollo-a-la-francaise_6162225_3234.html>.
- COP28 Recognises the Critical Role of Nuclear Energy for Reducing the Effects of Climate Change*, „Nuclear Energy Agency” [online], 21 XII 2023 [dostęp: 1 V 2024]: <https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_89153/cop28-recognises-the-critical-role-of-nuclear-energy-for-reducing-the-effects-of-climate-change>.
- EDF Announces Hinkley Point C Delay and Rise in Project Cost*, „World Nuclear News” [online], 23 I 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/EDF-announces-Hinkley-Point-C-delay-and-big-rise-i>>.
- EDF: la nationalisation redevient-elle un atout stratégique?*, „Radio France” [online], 8 VI 2023 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/le-temps-du-debat/edf-la-nationalisation-redevient-elle-un-atout-strategique-7373942>>.
- Electricity 2024. Analysis and Forecast to 2026*, International Energy Agency, 2024: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/18f3ed24-4b26-4c83-a3d2-8a1be51c8cc8/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>> [dostęp: 1 V 2024].
- Energia odnawialna: wyznaczanie ambitnych celów dla Europy*, „Parlament Europejski” [online], 12 IV 2024 [dostęp: 11 XII 2024]: <<https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20171124STO88813/energia-odnawialna-wyznaczanie-ambitnych-celow-dla-europy>>.
- European Industrial Alliance on SMRs*, „European Commission” [online, dostęp: 1 V 2024]: <https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-industrial-alliance-small-modular-reactors_en>.
- European Pressurized Water Reactor: A Safe and Competitive Solution for Future Energy Needs*, Nuclear Society of Slovenia, Portorož 2004: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/086/37086871.pdf> [dostęp: 4 XII 2024].
- Europejski zielony ład*, „Rada Europejska. Rada Unii Europejskiej” [online, dostęp: 10 XII 2024]: <<https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/>>.
- The Financial Crisis and Nuclear Power*, Public Services International Research Unit, Business School, University of Greenwich, 2009: <https://gala.gre.ac.uk/1744/1/COMPLETED_PSIRU_-_2009-02-E-nuclearfinance.pdf> [dostęp: 4 XII 2024].
- Finansowanie budowy elektrowni jądrowych. Jak zmniejszyć ryzyko i zapewnić bankowalność projektu na konkurencyjnych warunkach*, „Bank” [online], 16 X 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://bank.pl/bankowosc-i-finanse-energetyka-edf-finansowanie-budowy-elektrowni-jadrowych-jak-zmniejszyc-ryzyko-i-zapewnic-bankowalnosc-projektu-na-konkurencyjnych-warunkach/>>.

- The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General*, International Atomic Energy Agency, Vienna 2015: <<http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>> [dostęp: 10 XII 2024].
- Fukuyama F., *Koniec historii*, Wydawnictwo „Znak”, Kraków 1996.
- Galindo A., *What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power*, International Atomic Energy Agency [online], 15 XI 2022 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>>.
- Gaz i atom w taksonomii*, „Komisja Europejska” [online], 2 II 2022 [dostęp: 1 V 2024]: <https://poland.representation.ec.europa.eu/news/gaz-i-atom-w-taksonomii-2022-02-02_pl>.
- Generation IV Nuclear Reactors*, „World Nuclear Association” [online], 30 IV 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/generation-iv-nuclear-reactors>>.
- Global Population is Growing*, „European Commission” [online], 21 XII 2022 [dostęp: 5 V 2024]: <https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/global-population-growing_en>.
- Grossi R. M., *Nuclear Must Be Part of the Solution. Reinforcing the Bargain that Strengthens Security while Expanding Peaceful Use*, „Foreign Affairs” [online], 18 IV 2024 [dostęp: 6 XII 2024]: <<https://www.foreignaffairs.com/united-states/nuclear-must-be-part-solution>>.
- Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Based on a Preliminary Dose Estimation*, World Health Organization, Geneva 2013: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78218/1/9789241505130_eng.pdf> [dostęp: 20 IV 2024].
- Januszczyńska A., *Reakcja Unii Europejskiej na katastrofę w elektrowni jądrowej w Fukushima*, [w:] *Polityka Unii Europejskiej wobec partnerów azjatyckich*, red. T. Kamiński, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2019.
- Japan Admits that Fukushima Worker Died from Radiation*, „The Guardian” [online], 5 IX 2018 [dostęp: 20 IV 2024]: <<https://www.theguardian.com/world/2018/sep/05/japan-admits-that-fukushima-worker-died-from-radiation>>.
- Karwowski M., *Motyka: Local content jest sprawą krytycznie ważną w energetyce jądrowej*, „Biznes Alert” [online], 23 IV 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://biznesalert.pl/local-content-pep-polska-elektrownia-jadrowa-atom>>.
- Liou J., *What are Small Modular Reactors (SMRs)?*, „International Atomic Energy Agency” [online], 13 IX 2023 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>>.
- Łańcuch wartości energetyki jądrowej w Polsce. Streszczenie raportu*, Instytut Energetyki, 2023: <<https://ien.com.pl/images/konferencje/%C5%81a%C5%84cuch-warto%C5%9Bci-energii-j%C4%85drowej-w-Polsce-raport.pdf>> [dostęp: 10 XII 2024].
- Mauldin W., Hiller J., *Washington Heats Up Nuclear Energy Competition with Russia, China*, „The Wall Street Journal” [online], 6 I 2024 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.wsj.com/politics/national-security/washington-heats-up-nuclear-energy-competition-with-russia-china-f2f18e75>>.

- Milton Friedman on the Import of Crises*, „Economic Sociology & Political Economy” [online], 20 V 2023 [dostęp: 10 IX 2024]: <<https://economicsociology.org/2023/05/20/milton-friedman-on-the-import-of-crises/>>.
- Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach*, International Energy Agency, 2023: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8ad619b9-17aa-473d-8a2f-4b90846f5c19/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalInReach-2023Update.pdf> [dostęp: 1 V 2024].
- Nguyen B., *A Look at the Energy Companies OpenAI’s Sam Altman is Backing, „Quartz”* [online], 21 IX 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://qz.com/nuclear-energy-helion-exowatt-oklo-sam-altman-ai-1851676383>>.
- Nuclear Energy*, „Our World in Data” [online, dostęp: 1 V 2024]: <<https://ourworldindata.org/nuclear-energy>>.
- Nuclear Power in the World Today*, „World Nuclear Association” [online, dostęp: 21 IV 2024]: <<https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>>.
- Nuclear Power Officially Labelled as „Strategic” for EU’s Decarbonisation*, „Euractiv” [online], 7 II 2024 [dostęp: 1 V 2024]: <<https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/nuclear-power-officially-labelled-as-strategic-for-eus-decarbonisation/>>.
- Paris Agreement*, „United Nations Climate Change” [online], 2015 [dostęp: 5 XII 2024]: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>.
- Partanen R., Korhonen J. M., *Czarny koń. Energetyka jądrowa a zmiany klimatyczne*, Wydawnictwo „Dragon”, Bielsko-Biała 2022.
- Paszkowski M., *Rok po inwazji: wpływ wojny rosyjsko-ukraińskiej na bezpieczeństwo energetyczne państw Europy Środkowej*, Instytut Europy Środkowej, Lublin 2023 (Komentarze IEŚ, 47/2023).
- Plans for New Reactors Worldwide*, „World Nuclear Association” [online, dostęp: 5 V 2024]: <<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide>>.
- Polityka Unii Europejskiej wobec partnerów azjatyckich*, red. T. Kamiński, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2019.
- Projekty jądrowe w Europie Środkowej i Południowo-Wschodniej. Stan i perspektywy*, red. M. Gniazdowski, Ośrodek Studiów Wschodnich, Warszawa 2015 (Raport OSW).
- Le projet de loi sur la souveraineté énergétique amputé*, „Les Echos” [online], 18 I 2024 [dostęp: 3 V 2024]: <<https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/le-projet-de-loi-sur-la-souverainete-energetique-ampute-2047033>>.
- Raport. Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2023*, Forum Energii, Warszawa 2024: <<https://www.forum-energii.eu/download/pobierz/transformacja-edycja-2024>> [dostęp: 10 XII 2024].
- Safely and Responsibly Expanding U.S. Nuclear Energy: Deployment Targets and a Framework for Action*, The White House, Washington, 12 XI 2024: <<https://>

- bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2024/11/US-Nuclear-Energy-Deployment-Framework.pdf> [dostęp: 10 XII 2024].
- Shen C., Wang Y., *The Impact of Climate Change on Media Coverage of Sponge City Programs: A Text Mining and Machine Learning Analysis*, „Environmental Communication” 2023, vol. 17, issue 5.
- Sherman N., *Microsoft Chooses Infamous Nuclear Site for AI Power*, „BBC” [online], 20 IX 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.bbc.com/news/articles/cx25v2d7zexo>>.
- Shi Z., Watanabe S., Ogawa K., Kubo H., *Structural Resilience in Sewer Reconstruction. From Theory to Practice*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2017.
- Silva J. da, *Google Turns to Nuclear to Power AI Data Centres*, „BBC” [online], 15 IX 2024 [dostęp: 7 XII 2024]: <<https://www.bbc.com/news/articles/c748gn94k95o>>.
- [Sixième] 6 mars 1974, le choix du tout-nucléaire avec Pierre Messmer, „L’INA éclaire l’actu” [online], 24 I 2023 [dostęp: 3 XII 2024]: <<https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/nucleaire-pierre-messer-reacteurs-energie>>.
- Skuzza M., *Nuclear Energy in the Countries of the Three Seas Initiative under the New Security Architecture and Climate Policy*, „Rocznik Instytutu Europy Środkowo-Wschodniej” 2024, R. 22, z. 1.
- Snégaroff Th., „On n’a pas de pétrole mais on a des idées”, en 1976, on passe à l’heure d’été, „France Info” [online], 25 III 2016 [dostęp: 7 XII 2024]: <https://www.france.tv/info/fr/replay-radio/histoires-d-info/on-n-a-pas-de-petrole-mais-on-a-des-idees-en-1976-on-passe-a-l-heure-d-ete_1774731.html>.
- Szurowska M., *Skutki dyskryminacji energetyki jądrowej w Unii Europejskiej bywają tragiczne*, „Biznes Alert” [online], 18 VII 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://biznesalert.pl/dekarbonizacja-zamykanie-elektrownii-jadrowych-skutki-energetyka/>>.
- Vakarelska R., *Flamanville-3 / Fuel Loading Begins at France’s Delayed EPR Nuclear Power Plant*, „Nucnet” [online], 9 V 2024 [dostęp: 10 XII 2024]: <<https://www.nucnet.org/news/fuel-loading-begins-at-flamanville-3-epr-nuclear-plant-in-normandy-5-4-2024>>.
- Wiech J., *Energiewende. Nowe niemieckie imperium*, Wydawnictwo „Defence 24”, Warszawa 2019.
- World Energy Outlook*, International Energy Agency, 2009: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2009>> [dostęp: 20 IV 2024].
- Yamashita S., Suzuki Sh., Suzuki S., Shimura H., Saenko V., *Lessons from Fukushima: Latest Findings of Thyroid Cancer after the Fukushima Nuclear Power Plant Accident*, „Thyroid” 2018, vol. 28, No. 1.