

Radosław SZCZERBOWSKI

Politechnika Poznańska

 ORCID: 0000-0001-8262-683X

DOI 10.14746/ssp.2025.2.18

Natalia KASIŃSKA

Politechnika Poznańska

 ORCID: 0009-0004-8430-6476

Elektrownie jądrowe jako przyszły fundament bezpieczeństwa energetycznego – wybrane aspekty

Streszczenie: Projekt Europejskiego Zielonego Ładu, przyjęty został przez Unię w 2019 roku, jest to jedna z najbardziej kompleksowych strategii Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska oraz przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym. Europa do 2050 roku planuje zostać pierwszym kontynentem neutralnym dla klimatu. Zielony Ład jest w swoim założeniu odpowiedzią Unii na największy globalny kryzys naszych czasów, jakim są zmiany klimatyczne. Celem jest gospodarka niskoemisyjna, co oznacza fundamentalne zmiany nie tylko w sektorze energetyki, lecz we wszystkich obszarach życia gospodarczego na przestrzeni najbliższych trzydziestu lat. Problem rosnących cen energii elektrycznej dotknął większość krajów Unii Europejskiej. Ma to również ścisły związek z rosnącymi cenami uprawnień do emisji CO₂ w systemie ETS. Brak przemyślanego podejścia do transformacji energetycznej może spowodować, że koszty energii w najbliższym czasie mogą jeszcze mocniej obciążać portfele obywateli. W referacie przedstawiono stan obecny polskiego systemu energetycznego, plany związane z jego rozbudową i wykorzystaniem energetyki jądrowej. Przedstawiono także obecną sytuację energetyki jądrowej na świecie. W ostatnim rozdziale przedstawione zostały wyniki analiz energetycznych bloków jądrowych, dla których wyznaczono ich podstawowe parametry pracy.

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa, elektrownie jądrowe, polityka energetyczna, system energetyczny, środowisko

Wprowadzenie

Wytwarzanie energii w ciągu najbliższych kilku dekad będzie zdominowane przez potrzebę zaspokojenia wzrostu popytu, przy jed-



Artykuł udostępniany jest na licencji Creative Commons – CC-BY-SA 4.0 – uznanie autorstwa, użycie niekomercyjne, na tych samych warunkach.

noczesnym znacznym ograniczeniu emisji dwutlenku węgla i metanu. Zwiększone wsparcie polityczne, coraz większa presja związana z kwestiami ochrony środowiska (min. ESG, czyli kwestie obecności tematyki środowiskowej (*Environmental*), społecznej (*Social*) i związanej z łaodem korporacyjnym (*Governance*) w modelu biznesowym organizacji) i ogólnie niższe koszty budowy będą zasadniczo sprzyjać przede wszystkim rozwojowi energii odnawialnej. Wzrost liczby ludności i elektryfikacja globalnego systemu energetycznego spowodują również ogromne zmiany w sposobie produkcji energii elektrycznej i jej zapotrzebowaniu. Wraz z bardzo dynamicznym rozwojem źródeł OZE coraz trudniej jest prognozować ceny energii elektrycznej, ich godzinowy udział w produkcji energii elektrycznej, a co za tym idzie udział innych źródeł wytwórczych.

Globalny krajobraz energetyczny przechodzi głęboką transformację, ponieważ wszyscy starają się zrównoważyć rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną ze zrównoważeniem środowiskowym. Energia jądrowa, jeszcze kilka lat temu przeżywająca kryzys i odsunięta na bok na rzecz źródeł odnawialnych, jest obecnie ponownie oceniana pod kątem jej potencjału w zakresie zapewniania bezpiecznej i co ważne niskoemisyjnej energii. W ostatnich latach energia jądrowa doświadczyła znaczącego odrodzenia na całym świecie. To ożywienie charakteryzuje się innowacyjnymi strategiami, postępem technologicznym i reformami polityk energetycznych wielu krajów, które wspierają jej rozwój, a jednocześnie mają na celu sprostanie globalnym wyzwaniom energetycznym. Przemysł jądrowy stoi przed kilkoma wyzwaniami, w tym obawami dotyczącymi postrzegania opinii publicznej i wysokimi kosztami budowy obiektów jądrowych. Postępy w technologii reaktorów, takie jak rozwój małych reaktorów modułowych (SMR – *Small Modular Reactor*), oferują potencjalne rozwiązania tych problemów. SMR są zaprojektowane tak, aby były bardziej opłacalne, elastyczne i bezpieczniejsze, dzięki czemu energia jądrowa powinna być bardziej dostępna i atrakcyjna.

Odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna i wiatrowa rozwijają się bardzo dynamicznie i w przypadku wielu krajów ich rozwój znacznie wyprzedza rozbudowę koniecznej infrastruktury energetycznej, stąd wiele systemów energetycznych stoi przed wyzwaniami związanymi z magazynowaniem nadwyżek energii. Z drugiej strony, energetyka jądrowa zapewnia stabilne i ciągle dostawy energii, niezależnie od warunków atmosferycznych. Zatem renesans i dalszy rozwój energetyki jądrowej może być znakomitym uzupełnieniem odnawialnych źródeł energii i przyczynić się do zrównoważonego miksu energetycznego.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną rośnie bardzo szybko, nie tylko w przypadku konwencjonalnych zastosowań, takich jak przemysł, oświetlenie czy klimatyzacja, ale także w nowych obszarach, takich jak pojazdy elektryczne, centra danych i sztuczna inteligencja. Wykorzystanie energii elektrycznej jako nośnika energii wzrasta zdecydowanie szybciej niż całkowite zapotrzebowanie na energię w ciągu ostatniej dekady. Energetyka jądrowa jest czystym i dyspozycyjnym źródłem energii elektrycznej i ciepła, którą można wdrożyć na dużą skalę z całodobową dostępnością. Istotnym aspektem jest również jej udział w zakresie poprawy bezpieczeństwa energetycznego, a także redukcja emisji gazów cieplarnianych, co będzie doskonałym uzupełnieniem energetyki odnawialnej w tym zakresie.

Obecną strategię światowej transformacji energetycznej można podsumować trzema celami: ochrona środowiska poprzez ograniczanie emisji zanieczyszczeń, redukcja zużycia energii we wszystkich sektorach gospodarki oraz wykorzystanie energii odnawialnej wszędzie tam, gdzie ma to sens ekonomiczny i ekologiczny. Wraz z nowymi regulacjami na poziomie europejskim pojawiają się zmiany w polityce energetycznej krajów, które określają przyszłe kierunki działań. Europejskie regulacje prawne dotyczące zmian w energetyce mają swój początek w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, kiedy uchwalono dyrektywę 96/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 grudnia 1996 r. (Dyrektywa 96/92/WE, 1996). Zawarto w niej pierwsze zapisy dotyczące rozwoju sektora energetycznego na poziomie europejskim, kwestie bezpieczeństwa dostaw energii, ochrony środowiska oraz poprawy efektywności energetycznej.

W grudniu 2018 r. przyjęty został szereg zmian w prawodawstwie Unii Europejskiej dotyczący dalszych perspektyw rozwoju energii odnawialnej. W ramach pakietu „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków” (*Clean Energy for all Europeans*) zmieniona została dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii (Dyrektywa UE 2018/2001) (*Clean energy...*, 2018). Celem przyjętego pakietu jest utrzymanie pozycji Unii jako światowego lidera w dziedzinie odnawialnych źródeł energii oraz wywiązanie się ze zobowiązań w zakresie redukcji emisji wynikających z porozumienia paryskiego. W dyrektywie ustanowiono nowy cel, zgodnie z którym do 2030 r. zużywaną energię końcową w Unii powinno się pozyskiwać co najmniej w 32% ze źródeł odnawialnych.

Projekt Europejskiego Zielonego Ładu (*European Green Deal*), przyjęty został przez Unię w grudniu 2019 r. Europa do 2050 r. planuje zostać pierwszym kontynentem neutralnym dla klimatu. Europejski Zielony Ład to jedna z najbardziej kompleksowych strategii Unii Europejskiej w za-

kresie ochrony środowiska oraz przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym (*Europejski Zielony Ład – Komisja Europejska*, 2019).

Europejski Zielony Ład jest w założeniu całościową odpowiedzią Unii na największy globalny kryzys naszych czasów, jakim są zmiany klimatyczne. W stosunku do 1990 r., który został przyjęty jako rok bazowy, emisje gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej mają się zmniejszyć o 55% już w 2030 r. Efektem tych działań ma być wypracowanie całkowicie nowego modelu gospodarczego, który wzrost gospodarczy stawiać będzie na równi z neutralnością klimatyczną i dbaniem o zasoby naturalne (*Europejski Zielony Ład – Komisja Europejska*, 2019).

6 lipca 2022 r. Parlament Europejski w głosowaniu zdecydował o przyjęciu propozycji Komisji Europejskiej włączającej energetykę gazową i jądrową do taksonomii. Decyzja Parlamentu otwiera drogę do finansowania ze środków UE inwestycji w elektrownie gazowe i jądrowe. Taksonomia jest częścią planów UE w zakresie finansowania zrównoważonego wzrostu gospodarczego i rozwoju inwestycji w zielone źródła energii. Ma on polegać na unijnej klasyfikacji, która w jasny sposób będzie określać, co jest zrównoważoną gałęzią gospodarki. Przyjęcie przez Parlament Europejski propozycji Komisji Europejskiej, by uznać gaz i energetykę jądrową za niskoemisyjne źródła energii, to kluczowa decyzja dla budowania transformacji energetycznej Polski.

Celem badania na temat skutków zastąpienia elektrowni węglowych jednostkami jądrowymi jest ocena potencjalnych korzyści i kosztów związanych z taką transformacją w kontekście technicznym, ekonomicznym i środowiskowym. W referacie podjęto próbę określenia w jakim stopniu energetyka jądrowa może wesprzeć redukcję emisji gazów cieplarnianych w stosunku do elektrowni węglowych. Główną hipotezą postawioną w referacie, jest fakt, że zastąpienie elektrowni węglowych jądrowymi doprowadzi do znaczącej redukcji emisji gazów cieplarnianych i poprawy jakości powietrza, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów użytkowania środowiska. W badaniu zastosowano metody ilościowe i empiryczne w postaci analizy danych oraz symulacji.

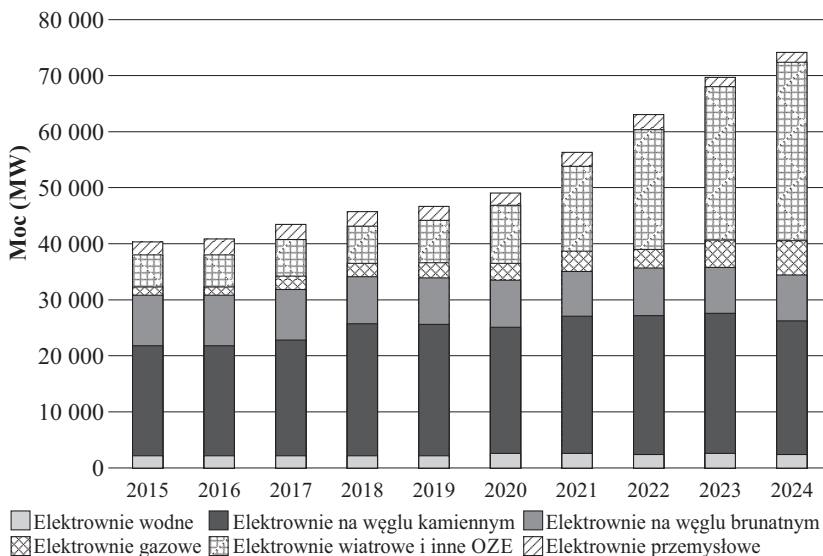
Stan obecny Krajowego Systemu Energetycznego

2 lutego 2021 r. Rada Ministrów zatwierdziła „Politykę energetyczną Polski do 2040 r.” (*Polityka energetyczna...*, 2021). Po 12 latach od ustanowienia poprzedniej polityki, przyjęto dokument strategiczny, któ-

ry wyznacza kierunki rozwoju sektora energetycznego. Celem Polityki Energetycznej Polski do 2040 r. jest bezpieczeństwo energetyczne, przy zapewnieniu konkurencyjności gospodarki, efektywności energetycznej i zmniejszeniu oddziaływania energetyki na środowisko. Z treści zapisanych w nowej polityce energetycznej do 2040 r. wynika, że rola węgla kamiennego w energetyce będzie powoli ulegać ograniczaniu, nie przewiduje się realizacji nowych odkrywek węgla brunatnego oraz budowy nowych kopalni węgla kamiennego. Zapisy te oznaczają, że energetyka węglowa będzie do 2040 r. redukowana do niezbędnego minimum, tak aby zapewnić bezpieczeństwo dostaw energii. Zakłada się, że udział węgla w produkcji energii elektrycznej z obecnych prawie 60% spadnie w 2040 r. do poziomu poniżej 30%, a przy znacznych cenach za uprawnienia do emisji CO₂ nawet do 11%.

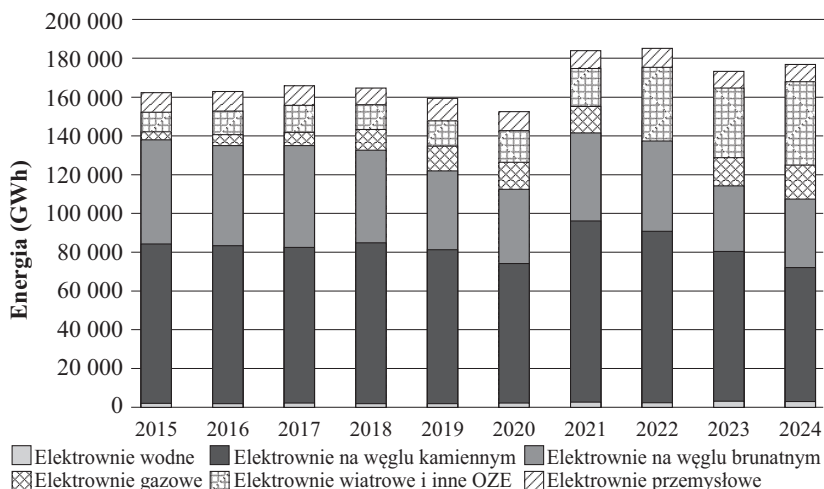
W Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE), który oparty jest głównie na elektrowniach opalanych węglem, moc zainstalowana przekroczyła już 72 GW. Na wykresie 1 i 2 przedstawiono podstawowe dane dotyczące zmian mocy zainstalowanych w KSE oraz dane dotyczące produkcji energii elektrycznej w ostatnich latach.

Wykres 1. Moc zainstalowana w KSE w źródłach wytwórczych w latach 2015–2024



Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Dane systemowe – PSE, 2025*.

Wykres 2. Produkcja energii elektrycznej [GWh] przez źródła wytwórcze w KSE w latach 2015–2024

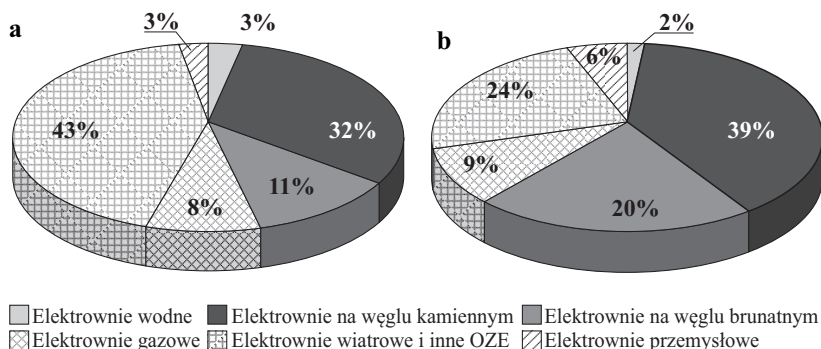


Źródło: opracowanie własne na podstawie *Dane systemowe – PSE, 2025.*)

Jak można zauważyć, obecnie łączna moc zainstalowana w elektrowniach węglowych to nadal ponad 31 GW, co stanowi ok. 43% mocy zainstalowanej (wykres 3a), natomiast produkcja energii elektrycznej w tych źródłach to prawie 60% (wykres 3b). Źródła odnawialne stanowią obecnie ponad 43% mocy zainstalowanej i odpowiadają za około 25% produkcji energii elektrycznej. Rozwój energetyki odnawialnej ma istotne znaczenie dla realizacji podstawowych celów polityki energetycznej. Zwiększenie wykorzystania tych źródeł niesie za sobą większy stopień uniezależnienia się od dostaw surowców energii z importu. Promowanie wykorzystania odnawialnych źródeł energii pozwala na zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie warunków do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnie dostępnych surowcach.

Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych cechuje się niewielką lub zerową emisją zanieczyszczeń, co zapewnia pozytywne efekty ekologiczne. W ostatnich kilku latach można zauważyć przede wszystkim dynamiczny rozwój sektora instalacji fotowoltaicznych (wykres 4), których moc zainstalowana przekroczyła 21 GW. Założenia polityki energetycznej zakładają zrównoważone wykorzystanie poszczególnych rodzajów energii ze źródeł odnawialnych. Istotne będzie wykorzystanie biogazu pochodzącego z wysypisk śmieci, oczyszczalni ścieków i innych odpadów. W zakresie

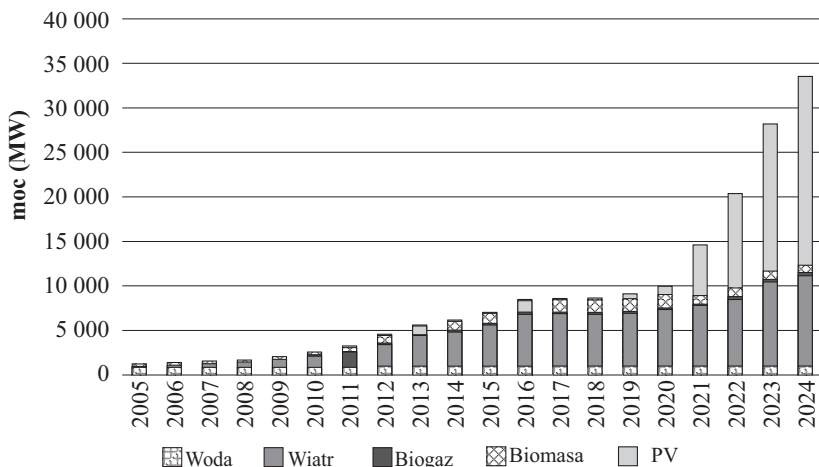
Wykres. 3. Struktura procentowa mocy zainstalowanej w KSE stan na 31.12.2024 r. (a) oraz procentowy udział w produkcji energii elektrycznej poszczególnych grup elektrowni według rodzajów paliw w 2024 r. (b)



Źródło: Opracowanie własne na podstawie (*Dane systemowe – PSE, 2025*)

energetyki wiatrowej, przewiduje się jej rozwój zarówno na lądzie, jak i na morzu. W znacznie większym stopniu niż dotychczas zakłada się wykorzystanie energii promieniowania słonecznego za pośrednictwem technologii fotowoltaicznych w produkcji energii elektrycznej.

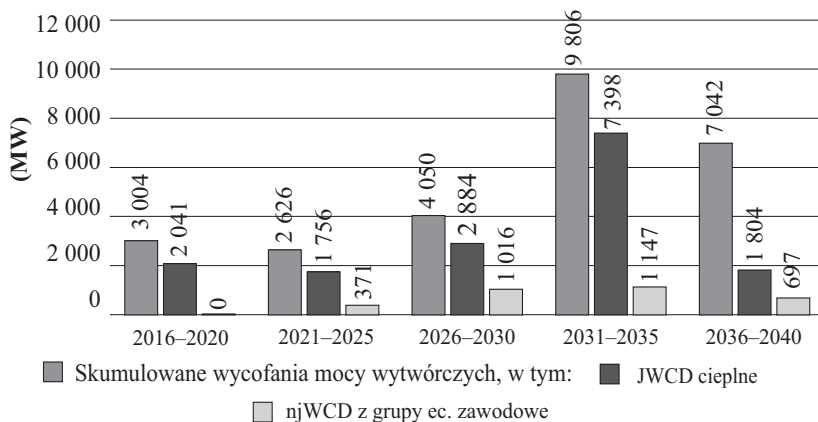
Wykres 4. Struktura zmian mocy zainstalowanej w źródłach odnawialnych w KSE w latach 2005–2024



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Kozińska, 2024; Urząd Regulacji Energetyki, 2025.

Struktura wiekowa zasobów wytwórczych w KSE sprawia, że już w latach 2016–2020 wycofano z eksploatacji bloki energetyczne o łącznej mocy ponad 3 GW. Według scenariusza skumulowanych wycofań istniejących jednostek wytwórczych przedstawionego przez PSE S.A. oraz zawartego w zapisach polityki energetycznej, zakłada się także wycofania ze względu na planowane wdrożenie konkluzji wprowadzających nowe standardy emisyjne. Do 2040 r. możliwe będzie wyłączenie ponad 24 GW źródeł wytwórczych (wykres 5). Perspektywa wycofania z eksploatacji znacznych wartości mocy wytwórczych oraz niepewność uruchomienia planowanych projektów inwestycyjnych w aktualnych warunkach może implikować ryzyko niestabilnej pracy KSE oraz możliwości zaspokojenia przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną w najbliższej perspektywie. Już obecnie nasze zdolności produkcji energii elektrycznej nie są w stanie pokryć zapotrzebowania na energię.

Wykres 5. Skumulowane wycofania jednostek wytwórczych planowane w latach 2016–2040



Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.* – Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2021.

W Polsce węgiel nadal odgrywa główną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego. Należy mieć na uwadze, że system energetyczny, który w ponad 60% oparty jest na tym paliwie trudno będzie w ciągu kilku lat przestawić na inne źródła energii. Stąd istniejące oraz perspektywiczne możliwości pozyskiwania energii pierwotnej z krajowych źródeł, powinny w okresie zmian zapewnić bezpieczeństwo energetyczne.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju, konieczna jest budowa nowych elektrowni systemowych, które umożliwią pokrycie przewidywanego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w sposób racjonalny z punktu widzenia:

- energetycznego, czyli przy wykorzystaniu dostępnych zasobów i zwiększeniu dywersyfikacji źródeł energii pierwotnej;
- ekonomicznego;
- ekologicznego, czyli przy spełnieniu obowiązujących wymagań prawnych dotyczących ochrony środowiska.

Polska powinna działać na rzecz osiągnięcia neutralności klimatycznej i adaptacji do zachodzących zmian regulacyjnych i wymogów środowiskowych. Udział energetyki jądrowej w transformacji energetycznej gwarantuje niższy koszt przejścia do energetyki zeroemisyjnej i zapewnia skokowy przyrost stabilnej i zeroemisyjnej mocy w systemie, zapewniając jego skuteczną i głęboką dekarbonizację. Aby spełnić cele neutralności klimatycznej konieczne jest dalsze wykorzystanie energii jądrowej oraz jej dynamiczny rozwój (Gajda i in., 2020). Od czasu opublikowania założeń do Polityki Energetycznej sytuacja w zakresie budowy bloków jądrowych znacząco uległa zmianie. Jeżeli dotrzymany zostanie harmonogram realizacji budowy tych elektrowni to faktycznie w 2035 r. możliwe będzie włączenie do systemu elektroenergetycznego pierwszego bloku jądrowego w Polsce.

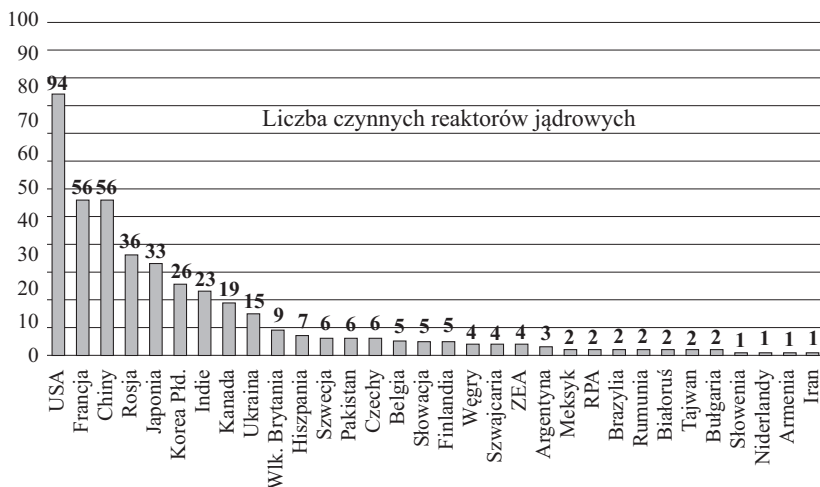
Energetyka jądrowa na świecie

Uruchomienie pierwszych elektrowni jądrowych w Obnińsku (ZSRR, 1954 r.) oraz Calder Hall (Wlk. Brytania, 1956 r.), zapoczątkowało nowy etap w energetyce zawodowej. Od tego momentu na świecie zaczęto projektować i budować elektrownie jądrowe. Na dzień dzisiejszy w niektórych państwach udział energetyki jądrowej w całkowitej produkcji energii elektrycznej sięga powyżej 40% (Węgry, Finlandia, Belgia, Bułgaria, Czechy), w przypadku Francji i Słowacji nawet powyżej 60%. Aktualna liczba pracujących reaktorów w 32 krajach na świecie wynosi 440, a ich całkowita moc wytwórcza przekracza 400 GW. W 2023 roku dostarczyły one 2602 TWh energii elektrycznej, co stanowi około 9% światowej produkcji energii elektrycznej (*Nuclear Power in the World Today...*, 2025). Na wykresie 6 przedstawiono zestawienie czynnych reaktorów jądrowych na świecie, natomiast na wykresie 7 zestawienie budowanych reaktorów jądrowych.

W 2023 r. energia jądrowa była drugim co do wielkości źródłem niskoemisyjnej energii elektrycznej po energii wodnej, produkując o 20% więcej energii elektrycznej niż wiatr i o 70% więcej niż fotowoltaika, a także zapewniając ciepło dla przemysłu, ciepłownictwa i odsalania wody morskiej w kilku krajach. Od 1971 r. energetyka jądrowa przyczyniła się do uniknięcia ponad 70 Gt emisji CO₂, zmniejszając jednocześnie konieczność budowy elektrowni opalanych węglem, gazem ziemnym lub ropą naftową, a także zwiększyła bezpieczeństwo energetyczne w wielu krajach, zmniejszając ich potrzebę importu paliw kopalnych.

Spśród prawie 60 reaktorów jądrowych, które są obecnie w budowie na całym świecie, ponad dwie trzecie znajduje się w Azji, a tylko Chiny odpowiadają za 25 reaktorów. Łączna moc budowanych bloków jądrowych wynosi ponad 70 GW, co jest jednym z najwyższych poziomów od 1990 r. Ponadto w ciągu ostatnich kilku lat podjęto decyzje o wydłużeniu okresu eksploatacji ponad 60 reaktorów na całym świecie, obejmujących prawie 15% całkowitej floty jądrowej. Wiele krajów podjęło nową inicjatywę, która ma na celu zwiększenie globalnych mocy jądrowych do 2050 r. Jednocześnie uznając rolę energii jądrowej w osiąganiu celów w zakresie bezpieczeństwa energetycznego i klimatu, uzupełniając wiodącą rolę odgrywaną przez odnawialne źródła energii. W związku z tymi

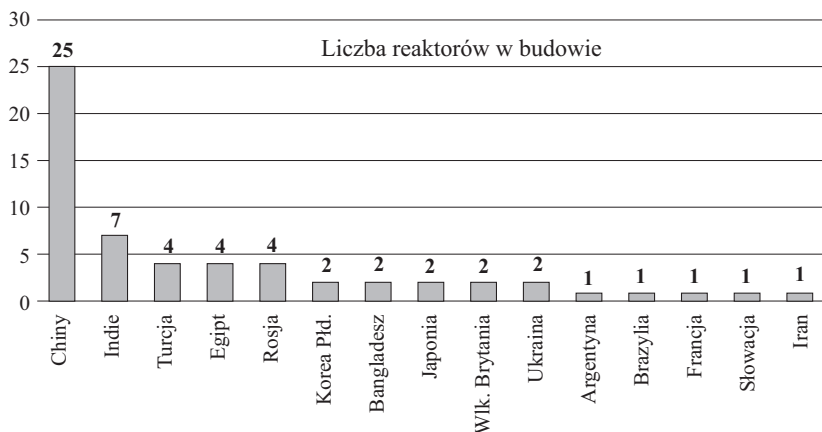
Wykres 6. Liczba czynnych bloków elektrowni jądrowych na świecie



Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Nuclear power plants in the world*, 2024.

działaniami planowana jest budowa dalszych 111 reaktorów o łącznej mocy ponad 100 GW. Do tego zestawienia można dołożyć proponowane w przyszłości kolejne bloki jądrowe, których realizacja ma być w odległej przyszłości. W tej liczbie jest 318 reaktorów o łącznej mocy ponad 350 GW.

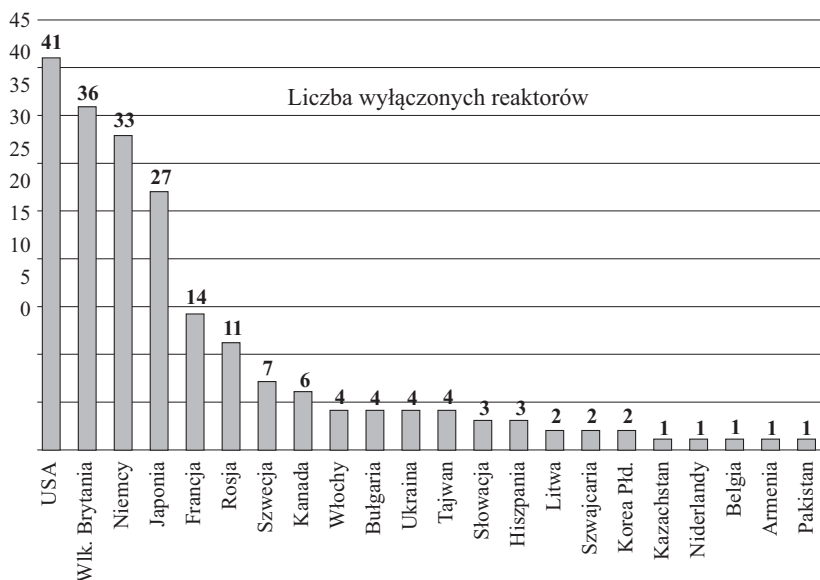
Wykres 7. Liczba budowanych obecnie reaktorów jądrowych na świecie



Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Plans For New Reactors Worldwide – World Nuclear Association*, 2025.

Jednym z powodów zahamowania pierwszego okresu dynamicznego rozwoju energetyki jądrowej były trzy awarie, z których pierwsza miała miejsce w elektrowni Three Mile Island (USA, 1979 r.), druga natomiast, o której skutkach dyskutuje się niemalże do dnia dzisiejszego, kilka lat później w Czarnobylu (ZSRR, 1986 r.), trzecia w 2011 w Fukushima (Japonia). W wielu państwach wstrzymano budowę nowych bloków jądrowych, a w niektórych doszło nawet do ich wyłączenia ze względów politycznych, głównie pod naciskiem partii ekologicznych, jak to miało miejsce w Niemczech. Niemniej jednak na przestrzeni tych wielu lat eksploatacji bloków jądrowych wiele z nich zostało już definitywnie wyłączonych. Przyczyn ich wyłączenia było wiele, od politycznych, przez ekonomiczne do technicznych związanych z wyeksploatowaniem. Na wykresie 8 przedstawiono zestawienie ponad 200 wyłączonych do chwili obecnej bloków elektrowni jądrowych na świecie, których sumaryczna moc wynosi ponad 100 GW.

Wykres 8. Wyłączone z eksploatacji bloki elektrowni jądrowych

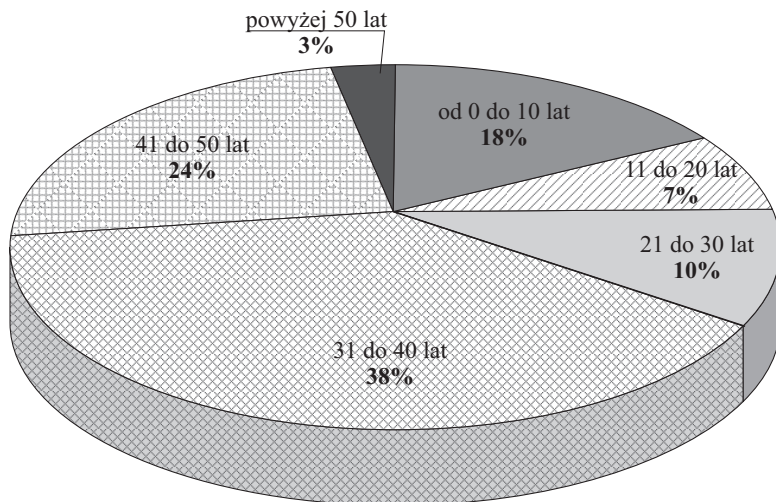


Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Nuclear reactor shutdowns by country*, 2024.

Pomimo awarii, które zdecydowanie wpłynęły na zahamowanie tempa rozwoju elektrowni jądrowych, energetyka jądrowa za każdym razem przeżywa okres wyraźnego renesansu. W ostatnich latach dokonano znacznego postępu w zakresie wydajności produkcji, podniesiono poziom bezpieczeństwa i obniżono koszty eksploatacji. Głównymi argumentami dla rozwoju energetyki jądrowej jest obecnie: wzrastający popyt na energię elektryczną, rosnące ceny ropy naftowej i gazu ziemnego oraz konieczność stabilizowania systemów energetycznych z dużym udziałem stochastycznych i zależnych od pogody źródeł odnawialnych. Średni wiek pracujących reaktorów energetycznych wynosi ok. 31 lat, ale co czwarty reaktor pracuje już ponad 40 lat (wykres 9).

Istotnym i ważnym elementem pracy bloków jądrowych w systemach energetycznych jest stopień wykorzystania ich mocy zainstalowanych. Od ponad 20 lat reaktory jądrowe konsekwentnie utrzymują współczynniki mocy powyżej 80%, co podkreśla ich niezawodność w dostarczaniu energii do sieci. Ten wieloletni rekord wydajności wzmacnia rolę energii jądrowej jako jednego z najbardziej niezawodnych źródeł czystej energii.

Wykres 9. Struktura procentowa wieku reaktorów jądrowych na świecie



Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Global nuclear reactors by age*, 2024.

Praca bloku jądrowego

Rosnące wymagania w zakresie ochrony środowiska naturalnego powodują, że coraz częściej wdrażane są technologie wytwarzania energii elektrycznej, które charakteryzują się bez- lub niskoemisyjnością. Rozwój tego sektora gospodarki – energetyki – wiąże się z wykonywaniem różnego rodzaju analiz, gdyż stanowią one istotny aspekt działań inwestycyjnych. Na etapie projektowania źródeł wytwórczych najczęściej wykorzystuje się modelowanie komputerowe obiegów termodynamicznych, które pozwala m.in. na optymalizację parametrów układów czy też wyznaczenie niemierzonych wielkości pomiarowych.

Analizę energetyczną obiegu wtórnego elektrowni jądrowej wykonano za pomocą programu EBSILON®*Professional* firmy Steag (Madejski, Żymełka, 2020; Kasińska, Szczerbowski, 2025). Jest to narzędzie, dzięki któremu możliwe jest zbadanie poszczególnych technologii wytwórczych (ich stanów pracy).

Do późniejszej oceny i porównania posłużyły następujące wskaźniki:

- ilość (natężenie) wody chłodzącej w skraplaczu (wyznaczona w programie EBSILON®*Professional*) – $\dot{D}_{wch}$;

- sprawność wewnętrzna obiegu:

$$\eta_{iob} = \frac{P_{el}}{\dot{D} \cdot (i_0 - i_{wz})} \quad (1)$$

gdzie:

P_{el} – wyjściowa moc elektryczna bloku [kW];

$\dot{D}$ – natężenie przepływu pary [kg/s];

i_0 – entalpia pary świeżej [kJ/kg];

i_{wz} – entalpia wody zasilającej [kJ/kg],

- jednostkowe zużycie ciepła:

$$q = \frac{1}{\eta} \quad (2)$$

- jednostkowe zużycie pary przez turbinę:

$$d = \frac{\dot{D}}{P_{el}} \quad (3)$$

- udział procentowy potrzeb własnych:

$$pw_{\%} = \frac{P_{el_brutto} - P_{el_netto}}{P_{el_brutto}} \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie:

P_{el_brutto} – wyjściowa moc elektryczna bloku brutto [kW];

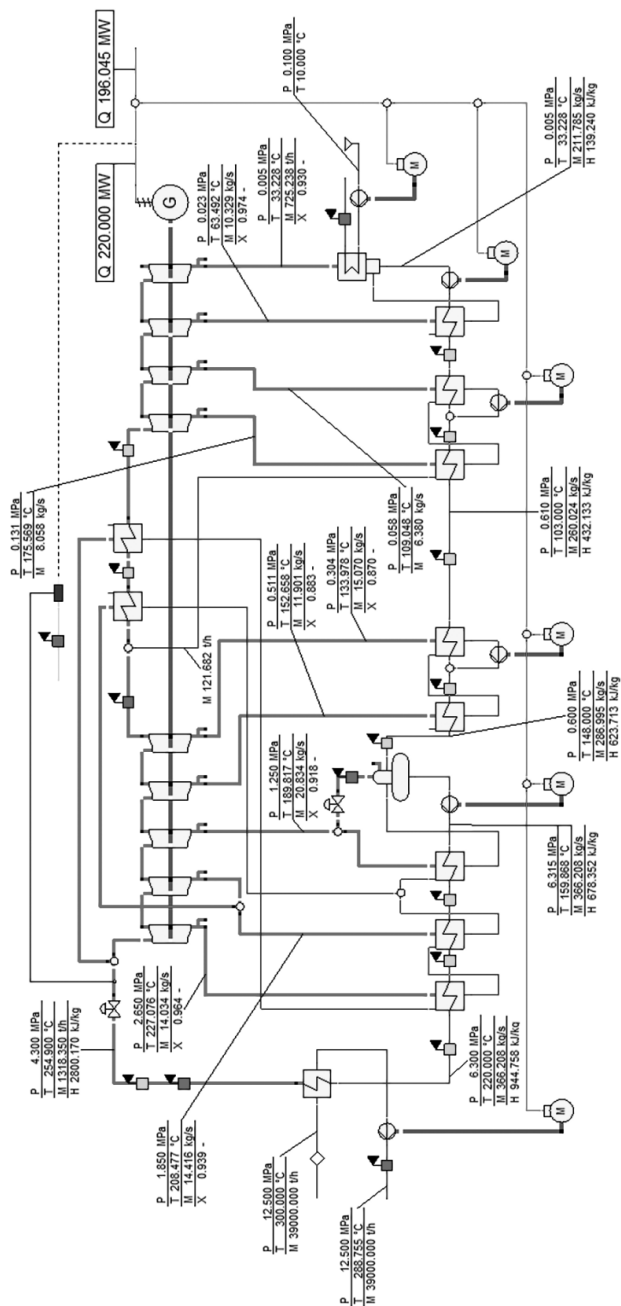
P_{el_netto} – wyjściowa moc elektryczna bloku netto [kW].

Na podstawie danych zawartych w (Ackermann, 1987) zamodelowano układy technologiczne elektrowni jądrowych eksploatujących reaktor wodny ciśnieniowy (na rys. 1 i 2 przedstawiono schematy wykonane w programie). Moce turbozespołów wynoszą 220 MW oraz 500 MW, co jest porównywalne z wartościami osiąganymi przez bloki węglowych jednostek wytwórczych, działających w KSE. Otrzymane wyniki zaprezentowano w tabeli 1.

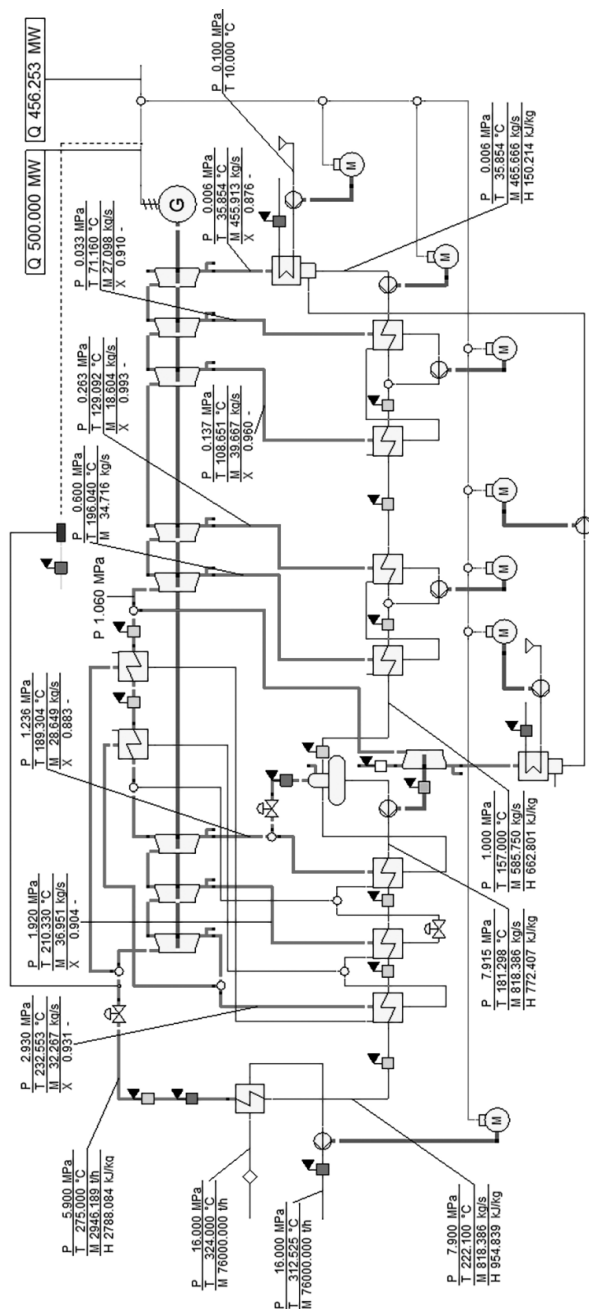
Tabela 1

Zestawienie otrzymanych wyników (Kasińska, Szcherbowski, 2025)

Lp.	Wskaźnik wraz z jednostką	Turbozespół 220 MW _e	Turbozespół 500 MW _e
1.	Natężenie wody chłodzącej w skraplaczu [kg/s]	21,762	46,136
2.	Sprawność wewnętrzna obiegu [%]	32.4	33.3
3.	Jednostkowe zużycie ciepła [-]	3,086	3,003
4.	Jednostkowe zużycie pary przez turbinę [kg/MWh]	5,991	5,892
5.	Udział procentowy potrzeb własnych [%]	10.9	8.7



Rys. 1. Schemat modelowanego obiegu wtórnego elektrowni jądrowej (moc elektryczna 220 MW) wraz z poszczególnymi parametrami; H – entalpia [kJ/kg]; M – strumień masy [t/h lub kg/s]; P – ciśnienie [MPa]; Q – strumień energii [MW]; T – temperatura [°C]; X – stopień suchości [-]; oznaczenie czynnika – linie: czerwona – para; niebieska – woda; zielona – moc na wale; różowa – energia elektryczna; przerywana (czarno-żółta) – aktualna wartość generowanej mocy brutto (Kasińska, Szczerbowski, 2025)



Rys. 2. Schemat modelowanego obiegu wtórnego elektrowni jądrowej (moc elektryczna 500 MW) wraz z poszczególnymi parametrami; H – entalpia [kJ/kg]; M – strumień masy [t/h lub kg/s]; P – ciśnienie [MPa]; Q – strumień energii [MW]; T – temperatura [°C]; X – stopień suchości [-]; oznaczenie czynnika – linie: czerwona – para; niebieska – woda; zielona – moc na wale; różowa – energia elektryczna; przerywana (czarno-żółta) – aktualna wartość generowanej mocy brutto (Kasińska, Szczerbowski, 2025)

Dzięki przeprowadzonemu badaniu potwierdzono aspekty ekologiczne związane ze zużyciem wody. Układ technologiczny elektrowni stanowi techniczną realizację obiegu termodynamicznego (Pawlik, Strzelczyk, 2016). W przypadku jądrowych jednostek wytwórczych jest nim obieg na parę nasyconą. Charakteryzuje go stosunkowo niska wartość entalpii czynnika roboczego, który dociera do początkowych stopni turbiny. Tym samym zapotrzebowanie na wodę chłodzącą (niezbędną do kondensacji pary) jest zdecydowanie większe niż w elektrowniach węglowych. Można również zaobserwować, że do produkcji 1 MWh energii elektrycznej potrzeba niemal 6 ton pary. Z tego względu podczas podejmowania decyzji o lokalizacji elektrowni jądrowej, kluczowym staje się wybór miejsca, które powinno znajdować się w pobliżu dużych zbiorników wodnych, takich jak rzeki, jeziora, morza czy oceany. Odnosząc się do krajowej sytuacji, po wieloletnich badaniach zdecydowano, że pierwsza elektrownia jądrowa zostanie wybudowana na Pomorzu (*Polskie Elektrownie Jądrowe*, 2025). Spełnione są wówczas następujące kryteria:

- odpowiednia odległość od skupisk ludzkich;
- zagospodarowanie terenu – brak dużych jednostek wytwórczych w tym rejonie;
- infrastruktura sieciowa, drogowa, kolejowa (perspektywa rozwoju/modernizacji) – możliwość przyłączenia i wyprowadzenia mocy z nowych źródeł (bloków elektrowni jądrowej) oraz ułatwiony transport zarówno surowca zasilającego obiekt, jak i elementów niezbędnych do budowy – również drogą morską w przypadku wielkogabarytowych ładunków;
- dostęp do wody chłodzącej (Morze Bałtyckie).

Kolejne rekomendowane miejsca do wybudowania elektrowni jądrowych to lokalizacje, w których eksploatowane są jednostki zasilane węglem brunatnym – Pątnów oraz Bełchatów (*Polskie Elektrownie Jądrowe*, 2025). Wymienione elektrownie systemowe (pracujące w podstawie obciążenia) stanowią część starzejącego się sektora wytwórczego. Zastąpienie wysokoemisyjnych obiektów przez technologię jądrową jest możliwe m.in. z uwagi na dobrze rozwiniętą sieć przesyłową w centrum Polski – zatem integracja z systemem elektroenergetycznym nie będzie utrudniona. Dodatkowo zostaną utrzymane miejsca pracy. Co więcej, wykorzystywanie okolicznych jezior konińskich (otwarty obieg chłodzenia w Elektrowni Pątnów) oraz możliwość zalania terenów poeksploatacyjnych największej polskiej kopalni odkrywkowej węgla brunatnego (źródło paliwa dla Elektrowni Bełchatów) w celu utworzenia zbiornika

z wodą pozwolą na spełnienie jednego z wcześniej wymienionych kryteriów (dostęp do czynnika chłodzącego).

Wyznaczone jednostkowe zużycia ciepła dla obu badanych turbozespołów są do siebie zbliżone. Jednak model o większej mocy elektrycznej wyróżnia mniejsza wartość tego wskaźnika. Oznacza to, że wytwarzanie energii elektrycznej charakteryzuje się niewielkim zapotrzebowaniem, które związane jest z pokrywaniem strat w turbozespolu i skraplaczu.

W przypadku potrzeb własnych, różnica w otrzymanych wynikach wynosi około 2 punkty procentowe. Rezultat ten może być spowodowany przez zastosowanie dodatkowej, oddzielnej turbiny parowej, która napędza pompę wody zasilającej w układzie technologicznym bloku jądrowego o większej mocy elektrycznej. Pompa wody zasilającej jest jednym z najbardziej energochłonnych urządzeń składających się na blok elektrowni parowej. Opisane rozwiązanie wykorzystuje się w jednostkach wytwórczych, w których występują znaczne natężenia przepływu czynnika roboczego (wówczas zużycie energii niezbędnej do wykonania pracy sprężania zmniejszy się).

Dalsze aspekty związane z ekologią przede wszystkim dotyczą celów określonych na poziomie europejskim – polityki Unii Europejskiej, która zakłada, że do 2050 roku Europa stanie się kontynentem neutralnym klimatycznie. Dlatego też dywersyfikacja oraz dekarbonizacja posiadanych jednostek wytwórczych w poszczególnych państwach członkowskich to kluczowe kwestie dotyczące transformacji energetyki. Co więcej, w warunkach normalnej pracy elektrownie jądrowe charakteryzują się znacznie mniejszym wpływem na środowisko naturalne niż elektrownie węglowe.

Źródło energii pierwotnej w postaci paliwa jądrowego ma kilka istotnych zalet – podczas jego eksploatacji nie uwalniają się dwutlenek węgla (CO_2), dwutlenek siarki (SO_2), tlenki azotu (NO_x), pył, żużel czy spaliny. Ponadto paliwo jądrowe posiada najwyższą gęstość energii wśród pozostałych surowców energetycznych (np. w porównaniu do węgla, gazu, wodoru czy biomasy). Taką samą jednostkę energii elektrycznej uzyskuje się przy wykorzystaniu 1 grama uranu oraz 3 ton węgla kamiennego. Jest to jeden z wielu pozytywnych aspektów omawianej technologii energetycznej (Sierchuła, 2016).

Energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach jądrowych (w porównaniu z energetyką opartą na węglu) charakteryzuje się mniejszym wydatkiem na rzecz zakupu paliwa. Związane z tym koszty stanowią niewielki procent produkcji 1 kWh. Wahające się ceny surowca energe-

tycznego oraz uprawnień do emisji CO₂ (kilka przykładowych wartości przedstawiono w tabeli 2) powodują, że jednostka energii elektrycznej pochodząca z elektrowni węglowych jest droższa.

Tabela 2

Rozliczeniowa cena uprawnień do emisji CO₂

Lp.	Data	Cena	
		zł/Mg CO ₂	EUR/Mg CO ₂
1.	01.01.2019 r.	106,75	24,83
2.	01.01.2020 r.	107,78	25,31
3.	01.01.2021 r.	148,16	32,11
4.	01.01.2022 r.	368,17	80,05
5.	01.01.2023 r.	389,38	83,03
6.	01.01.2024 r.	343,17	78,93
7.	01.01.2025 r.	301,70	70,61

Źródło: Rozliczeniowa cena uprawnień do emisji CO₂ – PSE, 2025.

Obecnie jednym z najważniejszych czynników transformacji energetycznej jest osiągnięcie neutralności klimatycznej w sektorze wytwarzania energii elektrycznej. Należałoby zatem przypuszczać, że elektrownie jądrowe odegrają kluczową rolę w dekarbonizacji tej części gospodarki. W tabeli 3 przedstawiono wady i zalety technologii wykorzystującej reakcje rozszczepiania jąder pierwiastków ciężkich. Dodatkowo, coraz większa liczba ludności stanowi argument przemawiający za włączeniem (czy zwiększaniem udziałów procentowych) tego rodzaju jednostek wytwórczych do miksów energetycznych poszczególnych państw.

W zakresie związanym z bezpieczeństwem energetycznym wprowadzenie elektrowni jądrowych do KSE przyniesie następujące korzyści (*Program polskiej energetyki jądrowej*, 2020):

- ubytki w mocy zainstalowanej spowodowane planowanymi wyłączeniami jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (w większości bazujących na węglu brunatnym bądź kamiennym) zostaną zbilansowane dzięki energetyce jądrowej;
- dywersyfikacja energetyki (różnorodność zdolności – technologii – wytwórczych);
- park wysokoemisyjnych i starzejących się bloków elektrowni, które pracują w podstawie dobowego obciążenia systemu (ponad 5500 godzin w ciągu roku), zostanie zastąpiony przez nowe źródła charakteryzujące się wysoką dyspozycyjnością i długim czasem eksploatacji (60 lat);

- pojawią się jednostki bezemisyjne, dzięki którym zostaną spełnione (obecne oraz przyszłe) rygorystyczne normy – wymogi klimatyczne;
- zwiększy się pewność zasilania – zapewnianie ciągłości dostaw energii – eksploatacja elektrowni jądrowych nie jest stochastyczna (tak jak w przypadku odnawialnych źródeł energii – OZE) oznacza to, że nie zależy od zmiennych warunków atmosferycznych.

Tabela 3

Wykorzystanie energetyki jądrowej – zalety i wady

Zalety	Wady
– stabilne źródło energii (praca w podstawie KSE), – dyspozycyjność, – zapewnia bezpieczeństwo energetyczne danego państwa, – najbezpieczniejsza technologia wytwarzania energii elektrycznej, – brak emisji CO₂, CO, NO_x, SO₂, – brak odpadów takich jak popiół, żużel, pył, – poprawa jakości powietrza, – długi okres eksploatacji (w porównaniu z OZE), – konkurencyjne ceny energii elektrycznej.	– skala realizacji inwestycji (w tym długi czas budowy), – znaczne zużycie wody – spełnianie określonych wymagań w kwestii lokalizacji elektrowni, – stosunkowo niska sprawność wytwarzania energii elektrycznej (ok. 30÷38%), – odpady radioaktywne (wytwarzanie oraz składowanie).

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Jezierski, 2014.

Podsumowanie

W obecnej sytuacji geopolitycznej na świecie bezpieczeństwo energetyczne nabiera coraz bardziej istotnego znaczenia. Wraz ze wzrostem udziału odnawialnych źródeł energii w systemach energetycznych, które cechują się stochastycznym charakterem pracy i dużą nieprzewidywalnością coraz częściej i wyraźniej rozróżnia się zapotrzebowanie na energię elektryczną i szczytowe zapotrzebowanie na energię elektryczną, co stało się jednym z kryteriów bezpieczeństwa energetycznego. Żadna pojedyncza technologia energetyczna nie jest w stanie zaspokoić rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, co wymaga zróżnicowanego miksu energetycznego na przyszłość. Można także zauważyć, że istnieją dwa podstawowe elementy bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej: potencjał do zapewnienia wystarczającej zdolności do zaspokojenia maksymalnego zapotrzebowania (adekwatności) oraz możliwość zarządzania wahaniami zarówno popytu, jak i podaży energii (elastyczność). W tym

kontekście energetyka jądrowa jawi się jako źródło stabilne, niezależne do warunków pogodowych, a jednocześnie coraz bardziej elastyczne.

Identyfikacja krajowego sektora energetycznego wskazuje, że perspektywie najbliższych kilku lat, konieczne będzie oparcie systemu elektroenergetycznego na wycofywanych z eksploatacji elektrowniach węglowych. Czas ten powinien pozwolić na budowę nowego miksu energetycznego, w którym stopniowo większy udział będą miały inne technologie energetyczne, przede wszystkim źródła odnawialne oraz technologie jądrowe. Istotną sprawą przy konstruowaniu scenariuszy rozwoju Krajowego Systemu Elektroenergetycznego jest konieczność wypełnienia krajowych i unijnych wymogów, do których można zaliczyć między innymi:

- zagwarantowanie wymaganego poziomu bezpieczeństwa dostaw energii;
- zapewnienie stosunkowo dużej samowystarczalności i niezależności energetycznej;
- spełnienie wymagań środowiskowych dotyczących redukcji emisji;
- odpowiedni udział źródeł odnawialnych w miksie energetycznym.

Podjmując decyzję o budowie nowych źródeł wytwórczych należy również uwzględnić ich wpływ na pracę Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Jednak, jak wskazuje przykład niemiecki, konieczne będzie przy opracowaniu kolejnej aktualizacji polityki energetycznej uwzględnienie aspektów dotyczących znacznych redukcji emisji. W przeciwnym wypadku koszty produkowanej energii elektrycznej będą jednymi z najwyższych w Europie i mogą nie być akceptowalne społecznie.

Zbyt duże uzależnienie naszego sektora energetycznego od paliw kopalnych jest przedmiotem wielu dyskusji i wciąż budzi obawy. Do tego należy dodać konieczność wypełnienia przez Polskę zobowiązań unijnych związanych z redukcją emisji gazów cieplarnianych oraz ograniczone możliwości wykorzystania OZE. Wszystkie te argumenty skłaniają do wprowadzenia koniecznych i znaczących zmian w polskiej strukturze paliwowej wytwarzania energii elektrycznej. Program polskiej energetyki jądrowej jednoznacznie wskazuje jako rozwiązanie technologię jądrową opartą na nowoczesnych, wysokosprawnych, nisko odpadowych oraz bezpiecznych obiektach, które gwarantują zerową emisję CO₂ do atmosfery.

Można zauważyć, że globalne dążenie do dekarbonizacji coraz bardziej się nasila, a jednocześnie, co ciekawe, od kilku lat rośnie rozpoznawanie energetyki jądrowej jako niezawodnego rozwiązania, aby zaspoko-

ić rosnące na świecie zapotrzebowanie na czystą, bezpieczną i przystępną cenowo energię. Ponieważ wiele krajów pracuje nad szybkim zwiększeniem zeroemisyjnego wytwarzania energii w celu osiągnięcia celów dekarbonizacji, energia jądrowa zyskuje coraz wyraźniejsze wsparcie. Zmiana ta odzwierciedla jej potencjał do zapewnienia stabilnego i niezawodnego źródła energii, a jednocześnie przyczynia się do zmniejszenia globalnych emisji dwutlenku węgla.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można zauważyć, że elektrownie jądrowe w sposób znaczący mogą przyczynić się do redukcji emisji gazów cieplarnianych, a co za tym idzie do obniżenia kosztów ponoszonych z tytułu emisji CO₂ i innych gazów do atmosfery. Jednocześnie elektrownie jądrowe powinny zapewnić stabilność dostaw energii, jednak będzie wiązało się to ze znacznymi kosztami początkowymi i problemami dotyczącymi utylizacji odpadów radioaktywnych. Chociaż koszty budowy i likwidacji elektrowni jądrowych są wysokie, niższy koszt paliwa i brak opłat za emisję CO₂ mogą sprawić, że w długiej perspektywie energetyka jądrowa będzie bardziej opłacalna niż węglowa.

Jednakże przeprowadzona analiza wskazuje jednoznacznie, że elektrownie jądrowe będą potrzebowały zdecydowanie większych ilości wody na cele chłodzenia reaktora oraz odebranie ciepła odpadowego ze skraplaczy przyturbiniowych. Ponadto energetyka jądrowa zwiększy bezpieczeństwo energetyczne kraju poprzez zastąpienie elektrowni węglowych, zmniejszenie zależności od paliw kopalnych oraz zapewnienie stabilnego źródła energii, niezależnego od warunków pogodowych.

Interesy konkurencyjne:

Autor oświadczył, że nie istnieje konflikt interesów.

Competing interests:

The author has declared that no competing interests exists.

Wkład autorów

Konceptualizacja: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Analiza formalna: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Metodologia: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Opracowanie artykułu – projekt, przegląd i redakcja: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Authors contributions

Conceptualization: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Formal analysis: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Methodology: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Writing – original draft, review and editing: Radosław Szczerbowski, Natalia Kasińska

Bibliografia

- Ackermann G. (1987), *Eksploracja elektrowni jądrowych*, WNT, Warszawa
- Clean energy for all Europeans package* (2018), https://wayback.archive-it.org/12090/20241209144917/https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en, 28.04.2025.
- Dane systemowe – PSE* (2025), <https://www.pse.pl/dane-systemowe>, 28.04.2025.
- Dyrektywa 96/92/WE (1996), <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/undefined>, 28.04.2025.
- Europejski Zielony Ład – Komisja Europejska* (2019), https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pl, 28.04.2025.
- Gajda P. i in. (2020), *Energetyka jądrowa dla Polski*, Instytut Sobieskiego, s. 1–80.
- Global nuclear reactors by age* (2024), <https://www.statista.com/statistics/517060/average-age-of-nuclear-reactors-worldwide/>, 28.04.2025.
- Jezierski G. (2014), *Energia jądrowa wczoraj i dziś*, WNT, Warszawa.
- Kasińska N., Szczerbowski R. (2025), *Rola elektrowni jądrowych w sektorze energetycznym – wybrane aspekty środowiskowe*, „Rynek Energii”, nr 1(176), s. 16–20.
- Kozińska M. (2024), *Moc zainstalowana OZE w Polsce, Grudzień 2024 r.*, <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-oze-w-polsce/>, 28.04.2025.
- Madejski P., Żymełka P. (2020), *Wprowadzenie do komputerowych obliczeń i symulacji pracy systemów energetycznych w programie STEAG Ebsilon®Professional*, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Nuclear Power in the World Today – World Nuclear Association* (2025), <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>, 28.04.2025.
- Nuclear power plants in the world* (2024), <https://www.statista.com/statistics/267158/number-of-nuclear-reactors-in-operation-by-country/>, 28.04.2025.
- Nuclear reactor shutdowns by country* (2024), <https://www.statista.com/statistics/513639/number-of-permanent-nuclear-reactor-shutdowns-worldwide/>, 28.04.2025.
- Pawlik M., Strzelczyk F. (2016), *Elektrownie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Plans For New Reactors Worldwide – World Nuclear Association* (2025), <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide>, 28.04.2025.

- Polityka energetyczna Polski do 2040 r. – Ministerstwo Klimatu i Środowiska* (2021) <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski>, 28.04.2025.
- Polskie Elektrownie Jądrowe* (2025), <https://pej.pl/>, 28.04.2025.
- Program polskiej energetyki jądrowej* (2020), <https://www.gov.pl/web/polski-atom/program-polskiej-energetyki-jadrowej>, 28.04.2025.
- Rozliczeniowa cena uprawnień do emisji CO₂ – PSE* (2025), <https://www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-rb/raporty-dobowe-z-funkcjonowania-rb/podstawowe-wskazniki-cenowe-i-kosztowe/rozliczeniowa-cena-uprawnien-do-emisji-co2-rcco2>, 28.04.2025.
- Sierchuła J. (2016), *Wielokryterialna analiza porównawcza jednostek wytwórczych w elektrowniach jądrowych i konwencjonalnych na wybranych przykładach*, https://www.researchgate.net/publication/309208808_Wielokryterialna_analiza_porownawcza_jednostek_wytworczych_w_elektrowniach_jadrowych_i_konwencjonalnych_na_wybranych_przykladach, 28.04.2025.
- Urząd Regulacji Energetyki (2025) *Potencjał krajowy OZE w liczbach*, <https://www.ure.gov.pl/pl/oze/potencjal-krajowy-oze>, 28.04.2025.

Nuclear Power Plants as the Future Foundation of Energy Security – Selected Aspects

Summary

The draft European Green Deal, adopted by the EU in 2019, is one of the European Union's most comprehensive strategies for protecting the environment and tackling climate change. Europe plans to become the first climate-neutral continent by 2050. At the core of the Green Deal is the Union's response to the biggest global crisis of our time - climate change. The goal is a low-carbon economy, which means fundamental changes not only in the energy sector, but in all areas of economic life over the next thirty years. The problem of rising electricity prices has affected most countries in the European Union. It is also closely linked to the rising price of CO₂ emission allowances in the ETS. The lack of a well-considered approach to energy transition may result in energy costs burdening citizens' wallets even more in the near future. The article presents the current state of the Polish energy system, its expansion plans and the use of nuclear energy. The current situation of nuclear power in the world is also presented. The last chapter presents the results of energy analyses of nuclear power plants, for which their basic operating parameters were determined.

Key words: nuclear energy, nuclear power plants, energy policy, energy system, environment