

# ROZWÓJ ENERGETYKI JĄDROWEJ W WARUNKACH GLOBALIZACJI<sup>1</sup>

**Marek MICHALSKI**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania,  
Katedra Zarządzania Strategicznego

**Streszczenie:** Wymuszane przez międzynarodowe organizacje i prawodawstwo UE ograniczenie emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) może być osiągnięte przede wszystkim dzięki zmniejszeniu zużycia węgla kamiennego i brunatnego, gdyż te surowce energetyczne cechuje stosunkowo najwyższy poziom emisji CO<sub>2</sub>. Ze względu na ograniczenia i uwarunkowania wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, takich jak wiatr i promienie słoneczne, oraz stosunkowo wysoki koszt paliwa w elektrowniach gazowych głównym alternatywnym rozwiązaniem dla polskiej energetyki, opartej w większości na spalaniu węgla, jest budowa elektrowni jądrowych. Celem rozdziału jest określenie uwarunkowań i zasadności budowy elektrowni jądrowych.

**Słowa kluczowe:** UE, emisja dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), energetyka, elektroenergetyka, energia jądrowa, strategia

## 1. Wprowadzenie

Specyficzna dla energii elektrycznej jest konieczność bilansowania podaży z popytem w czasie rzeczywistym, przy stosunkowo niewielkich możliwościach magazynowania w skali kraju. Rosnący udział w ogólnym bilansie energetycznym niesterowalnych odnawialnych źródeł energii (OZE), w przypadku których wielkość produkcji zależy od chwilowej prędkości wiatru i nasłonecznienia, wymusza dostępność alternatywnych, sterowalnych źródeł energii elektrycznej. Wzrost kosztów emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) ogranicza możliwość wykorzystania elektrowni opalanych węglem brunatnym i kamiennym, które cechują się stosunkowo najwyższym poziomem emisji CO<sub>2</sub>. Z uwagi na ograniczone zasoby hydrogeologiczne główną alternatywną opcją dla Polski są elektrownie jądrowe. Wobec powyższego celem badań było określenie uwarunkowań i zasadności budowy elektrowni jądrowych.

---

<sup>1</sup> Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie (subwencja na utrzymanie i rozwój potencjału badawczego).

## 2. Uwarunkowania rozwoju energetyki jądrowej

Rozwój energetyki jądrowej jest uwarunkowany globalnie z uwagi na ograniczenia ekonomiczne i w zakresie dostępności technologii oraz paliwa, a także globalne dążenia do redukcji emisji gazów cieplarnianych (Poitras, 2021), szczególnie CO<sub>2</sub>. Ważną rolę odgrywają decyzje administracyjne na szczeblu lokalnych, krajowym i ponadnarodowym.

Uwarunkowania ekonomiczne wynikają z wysokich nakładów inwestycyjnych i długiego okresu zwrotu kapitału. Koszt budowy elektrowni jądrowych jest najwyższy ze wszystkich komercyjnych technologii wytwarzania energii elektrycznej w ilościach hurtowych. Ponadto często dochodzi do znacznego, czasem nawet kilkusetprocentowego, przekroczenia przyjętego budżetu oraz wieloletnich opóźnień w budowie.

Dostęp do technologii przetwarzania rud uranu w paliwo jądrowe oraz wytwarzania z niego energii elektrycznej jest ograniczony zarówno przez konkurencję i ochronę własności intelektualnej, jak i dążenie do powstrzymania proliferacji broni jądrowej, do której wytwarzania wykorzystuje się procesy związane z przetwarzaniem uranu i zużytego paliwa jądrowego. Wytwarzanie paliwa jądrowego wymaga dostępu do rudy uranu oraz zaawansowanej technologii przetwarzania uranu, którą opanowało niewiele podmiotów na świecie. Dostęp do tej technologii jest kontrolowany przez rządy państwowe z uwagi na możliwość jej zastosowania do wytwarzania broni jądrowej. Przy czym masa i objętość paliwa jądrowego są znacznie mniejsze niż w przypadku węglowodorów, co umożliwia łatwy transport z dowolnego miejsca na ziemi. Koszt paliwa jądrowego w przeliczeniu na jednostkę wytworzonej z niego energii elektrycznej jest stosunkowo niewielki.

Największym źródłem kontrowersji dotyczących utrzymania lub zwiększenia zakresu wykorzystania energii jądrowej na świecie i w Polsce jest aspekt ochrony środowiska naturalnego. Zaletą elektrowni jądrowych jest brak emisji gazów cieplarnianych i możliwość zasilania bez przerw – 24 godziny na dobę. Jest to szczególnie ważne zwłaszcza wobec wzrostu wykorzystania elektrowni wiatrowych i słonecznych, których produkcja jest uzależniona od prędkości wiatru i nasłonecznienia, a jej zmienność w czasie zazwyczaj nie jest dodatnio skorelowana z popytem na energię elektryczną. To dodatkowo zwiększa potrzebę magazynowania energii elektrycznej lub zapewnienia alternatywnego źródła, takiego jak energia jądrowa. Głównym sposobem magazynowania hurtowych ilości energii elektrycznej są elektrownie wodne, w tym szczytowo-pompowe. Przy czym maksymalna ilość magazynowanej w ten sposób wody, z której przyływu można wytworzyć energię elektryczną, jest uwarunkowana hydrogeologicznie i z nielicznymi wyjątkami niewielka w skali zapotrzebowania całych krajów. Inne technologie magazynowania, takie jak akumulatory i sprężanie powietrza, charakteryzują się stosunkowo małą pojemnością oraz wysokim kosztem. Dlatego ich zastosowanie jest obecnie ograniczone do uzupełniania braków energii podczas lokalnych szczytów zapotrzebowania na energię elektryczną.

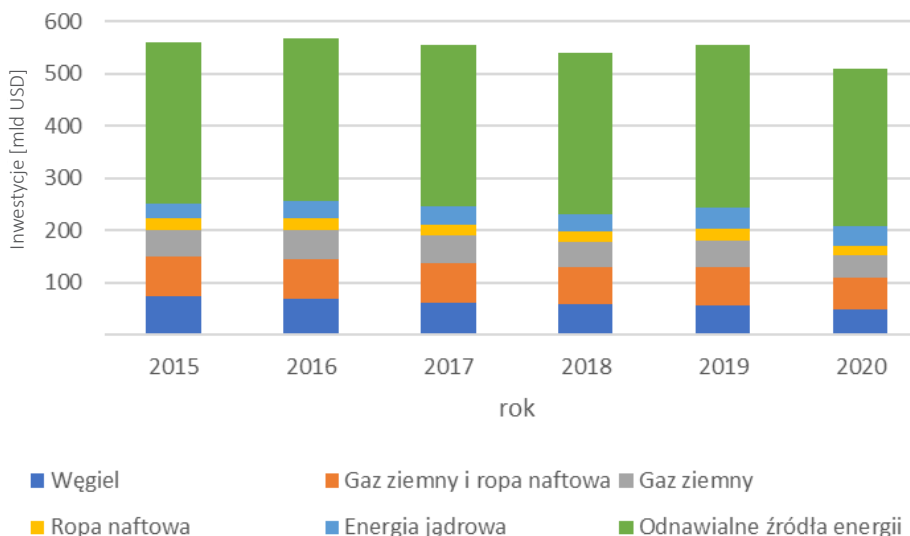
Elektrownie jądrowe zazwyczaj są postrzegane jako źródło energii o znacznie większym negatywnym wpływie na środowisko naturalne niż OZE. Po pierwsze, cykl paliwowy – zbiór procesów od wydobycia rudy uranu, poprzez wytwarzanie i wypalanie paliwa jądrowego, po przetwarzanie i składowanie odpadów – generuje duże ilości szkodliwych odpadów. Po drugie, odpady te są w różnym stopniu radioaktyw-

ne. Czas połowicznego rozkładu poszczególnych składników jest zróżnicowany, ale ogólnie rzecz biorąc, pozostają one w malejącym stopniu niebezpieczne przez tysiące lat, co znacząco utrudnia składowanie, szczególnie długookresowe. Po trzecie, istnieje ryzyko skażenia radioaktywnego w wyniku awarii lub ataku terrorystycznego. Współczesne reaktory są znacznie bezpieczniejsze na przykład od tych, które uległy awarii w Czarnobylu i Fukushima. Jednak nie można całkowicie wykluczyć możliwości skażenia środowiska naturalnego radioaktywnymi izotopami.

### 3. Rozwój energetyki jądrowej na świecie

Energetyka jądrowa jest od kilkadziesiąt lat ważnym, a w niektórych krajach dominującym, źródłem energii elektrycznej. W wielu krajach, w tym w Polsce, z uwagi na nieprzewidywalny charakter wytwarzania energii elektrycznej z wiatru i energii słonecznej oraz brak korzystnych warunków hydrologicznych do budowy elektrowni wodnych na dużą skalę, elektrownie jądrowe są często preferowane jako źródło energii elektrycznej ze względu na dużą moc, wysoką niezawodność i brak emisji CO<sub>2</sub>.

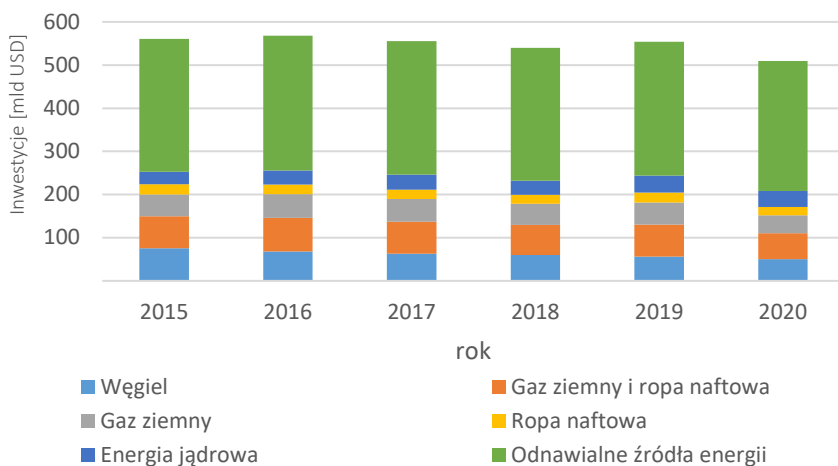
Od dłuższego czasu, w związku z obawami o ocieplenie klimatu, poziom światowych inwestycji w elektrownie wiatrowe, słoneczne i inne OZE wielokrotnie przewyższa energetykę jądrową. Dane dotyczące światowych inwestycji w moce wytwórcze w latach 2015–2020 przedstawiono na rysunku 1. W 2020 roku inwestycje w OZE, na poziomie 301 mld USD, były ośmiokrotnie większe niż w energetykę jądrową (37 mld USD), a w latach 2015–2020 średnio dziewięciokrotnie większe: łącznie 1849 mld USD w OZE, a zaledwie 205 mld USD w energetykę jądrową.



Rys. 1. Światowe inwestycje w wytwarzanie energii elektrycznej w latach 2015–2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mycle Schneider Consulting (2020), IEA (2002c)

W Europie sytuacja jest podobna jak na świecie. W latach 2015–2020 inwestycje w OZE na sumę 417 mld USD przewyższyły jedenastokrotnie inwestycje w energetykę jądrową – na poziomie 42 mld USD (rys. 2). Na uwagę zasługuje natomiast wzrost inwestycji w energetykę jądrową z 5 mld USD/rok w latach 2015–2017 do 6 mld USD w roku 2018 i 10 mld USD/rok w latach 2019–2020, czyli podwojenie inwestycji w ostatnich dwóch latach w porównaniu z inwestycjami sprzed 3–5 lat. Jest tak pomimo planu zamknięcia wszystkich elektrowni jądrowych w Niemczech – kraju z największym udziałem w PKB Unii Europejskiej.



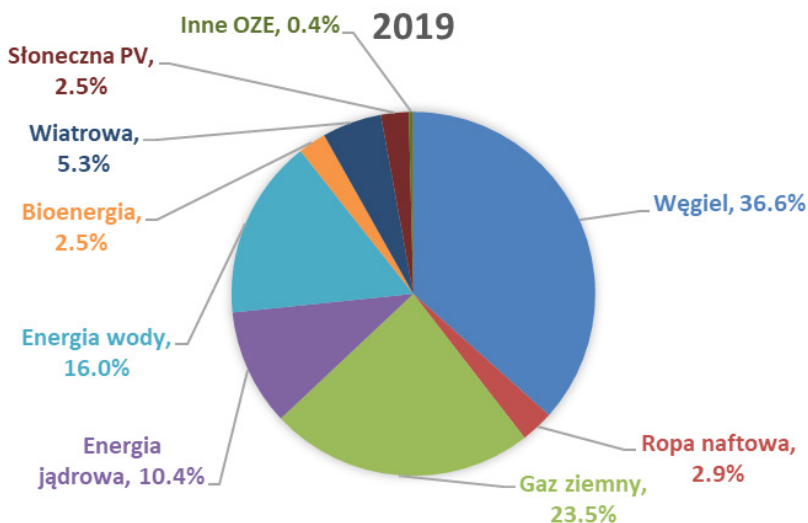
**Rys. 2.** Europejskie inwestycje w wytwarzanie energii elektrycznej w latach 2015–2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA (2020b)

Stany Zjednoczone mają obecnie największy udział (31%) w światowej produkcji energii elektrycznej, co stanowi 18,9% ich zapotrzebowania na energię elektryczną. Z kolei największy udział elektrowni jądrowych w produkcji energii ogółem danego państwa występuje we Francji, na Ukrainie i w Szwecji, gdzie jest to źródło odpowiednio 71%, 53% i 42% całkowitej produkcji energii elektrycznej (IEA, 2020a: 19). Ogólną strukturę wytwarzania energii elektrycznej na świecie w roku 2019 ukazuje rysunek 3. Energia jądrowa stanowi 10,4% produkcji, podczas gdy udział węglowodorów – węgla kamiennego i brunatnego, gazu ziemnego i ropy naftowej – jest sześć razy większy, na poziomie 63%. Więcej energii elektrycznej wytwarza się z przepływów wody – łącznie 16%. Warto jednak zwrócić uwagę, że udział węglowodorów w wytwarzaniu energii elektrycznej, których produkcja jest sterowalna, szczególnie węgla, maleje. Jednocześnie ilość energii wytwarzanej w elektrowniach słonecznych i wiatrowych cechuje się najszybszym tempem wzrostu, co wymusi budowę dodatkowych sterowalnych źródeł takich jak elektrownie jądrowe.

Prognoza Międzynarodowej Agencji Energetycznej (International Energy Agency, IEA) w scenariuszu zrównoważonego rozwoju (Danish i in., 2021) (*Sustainable Development Scenerio, SDS*) przewiduje znaczny spadek wykorzystania węglo-

wodorów, szczególnie węgla – z poziomu 36,6% w 2019 roku do zaledwie 5,0% w 2040 roku, a ogólnie węglowodorów ze wspomnianych 63% do 17,2% w tym samym okresie (rys. 4). Natomiast przewiduje się niewielki wzrost udziału energii jądrowej z 10,4% w 2019 roku do 11,2% w 2040 roku.



Rys. 3. Struktura wytwarzania energii elektrycznej na świecie w roku 2019

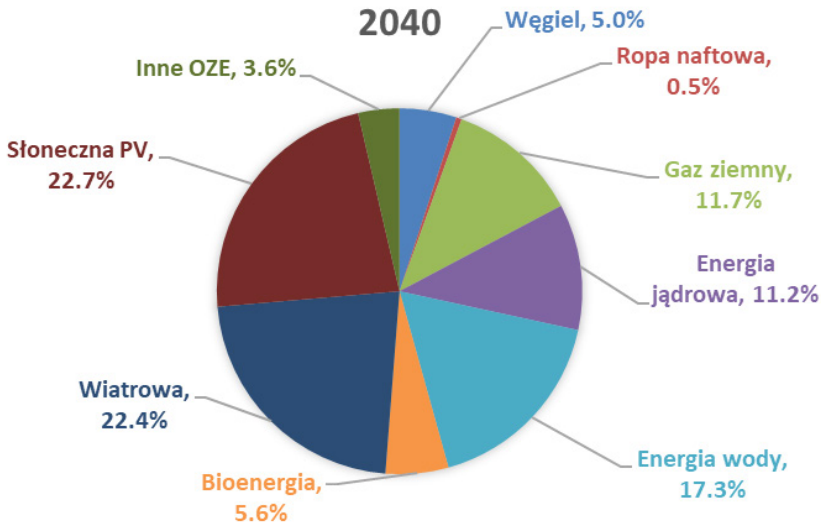
Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA (2020c: 345)

Warto jednak odnotować, że prognozowany wzrost światowej produkcji energii elektrycznej z obecnych 26 942 TWh do 38 774 TWh w 2040 roku oznacza, że pomimo stosunkowo niewielkiej różnicy procentowej ilość wytwarzanej w ten sposób energii elektrycznej wrośnie o ponad połowę.

Głównym paliwem w elektrowniach jądrowych jest uran. Jego zasoby są duże i nie przewiduje się braku tego paliwa w przewidywalnej przyszłości (BGR, 2020: 59–63).

Pandemia COVID-19 ma dotychczas stosunkowo niewielki wpływ na rozwój OZE i energetyki jądrowej (IEA, 2020c: 30). Warto jednak zwrócić uwagę na średni wiek działających obecnie na świecie 408 reaktorów jądrowych wynoszący 31 lat, podczas gdy wiek dotychczas zamkniętych 189 reaktorów jądrowych to średnio zaledwie 27 lat. 84% z nich zostało zamkniętych po przepracowaniu nie więcej niż 40 lat (Mykle Schneider Consulting, 2020). Różni się to znacząco od założeń *Programu polskiej energetyki jądrowej*, który zakłada ponad 80-letni okres pracy instalacji (*Uchwała...*, 2020).

Podstawowymi wadami elektrowni jądrowych są: wysokie koszty budowy, generowanie radioaktywnych odpadów oraz ryzyko skażenia środowiska naturalnego w razie poważnej awarii lub ataku terrorystycznego. Przy czym wprowadzone od połowy lat 90. pasywne zabezpieczenia reaktorów III (potem III+ i IV) generacji oraz konstrukcje, które mają wytrzymać nawet uderzenie dużego samolotu, znacząco obniżają ryzyko skażenia środowiska naturalnego.



Rys. 4. Prognoza struktury wytwarzania energii elektrycznej na świecie w roku 2040 dla scenariusza zrównoważonego rozwoju

Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA (2020c: 345)

Trwają badania nad dalszym udoskonaleniem procesów wytwarzania w elektrowniach jądrowych (Zhan i in., 2021).

#### 4. Rozwój krajowej energetyki jądrowej

Kolejne rządy Polski od lat deklarują chęć budowy pierwszej elektrowni jądrowej i przedstawiają plany tej inwestycji, przy czym terminy rozpoczęcia budowy były wielokrotnie przekładane. Opublikowana przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska, przyjęta przez Radę Ministrów 2 lutego 2021 roku, *Polityka energetyczna Polski do 2040 roku* zakładała uruchomienie pierwszej polskiej elektrowni jądrowej do 2033 roku i kolejnych co 2–3 lata – łącznie budowę sześciu bloków (MKŚ, 2020). Jednak dotychczas nie podjęto nawet ostatecznej decyzji o miejscu budowy, która – jak można sądzić, bazując na międzynarodowych doświadczeniach – potrwa co najmniej kilka lat. W przypadku budowy tego typu obiektów często występuje opóźnienie i przekroczenie budżetu inwestycji z powodu niedoszacowania rzeczywistego kosztu. Przyczyną wzrostu kosztu budowy są często zmiany technologiczne wprowadzane w trakcie budowy mające na celu spełnienie nowych regulacji prawnych w zakresie bezpieczeństwa.

W tabeli 1 porównano koszt budowy elektrowni na świecie w ostatnich latach z wykorzystaniem różnych źródeł energii pierwotnej, w tym węgla, gazu, energii jądrowej oraz OZE. Elektrownie jądrowe wyróżnia najwyższa średnia, mediana i maksymalna wartość.

**Tabela 1**

Koszty budowy elektrowni w zależności od technologii wytwarzania energii elektrycznej  
[EUR/kWe]

Źródło energii	Koszt minimalny	Koszt średni	Mediana	Koszt maksymalny
Węgiel brunatny	1871	2541	2541	3210
Węgiel kamienny	684	1621	1525	3745
Gaz ziemny	217	703	816	948
Jądrowa	1844	3082	2881	5915
Wodna	1623	2837	2375	4974
Biomasa	712	2138	936	5594
Wiatrowa na lądzie	750	1189	1230	2583
Wiatrowa na morzu	1471	2458	2342	3452
Słoneczna PV	735	735	735	735

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IEA i NEA (2020)

Przedstawione koszty budowy elektrowni nie są jednak miarodajne dla porównania kosztów wytwarzania energii elektrycznej z uwagi na wysoki współczynnik wykorzystania mocy produkcyjnych, niski koszt paliwa i brak emisji gazów cieplarnianych w elektrowniach jądrowych. Dlatego większą wagę ma porównanie średnich zdyskontowanych kosztów wytwarzania energii elektrycznej (*Levelized Cost of Electricity*, LCOE) zaprezentowanych w tabeli 2. Porównanie to wskazuje na stosunkowo najniższy LCOE dla wszystkich wariantów budowy elektrowni jądrowych przy stopach dyskontowych od 3% do 7%. Przy czym różnice na korzyść elektrowni jądrowych są jeszcze większe w porównaniu z elektrowniami słonecznymi i wiatrowymi, z uwagi na sterowalność i możliwość zachowania ciągłości produkcji, niezależnie od czynników zewnętrznych takich jak nasłonecznienie i prędkość wiatru. Elektrownie wodne są w większej mierze sterowalne, a ich produkcja jest uzależniona od ilości wody, która zazwyczaj ogranicza wielkość i czas produkcji.

**Tabela 2**

Koszty paliwa, emisji CO<sub>2</sub>, utrzymania oraz długookresowy średni zdyskontowany koszt wytwarzania (LCOE) dla różnych technologii wytwarzania i magazynowania energii elektrycznej

Źródło energii	Koszt [EUR/MWh]			LCOE* [EUR/MWh]			Liczba**
	paliwo	CO <sub>2</sub>	utrzymanie	3%	5%	7%	
Węgiel brunatny	16	42	8	68	81	93	2
Węgiel kamienny	20	37	17	71	81	91	11
Gaz ziemny	38	22	9	65	69	73	24
Jądrowa	8	0	14	33	44	54	16
Wodne (>5 MW)	0	0	10	36	68	98	11

Tabela 2 cd.

Źródło energii	Koszt [EUR/MWh]			LCOE* [EUR/MWh]			Liczba**
	paliwo	CO <sub>2</sub>	utrzymanie	3%	5%	7%	
Wodne (<5 MW)	0	0	17	56	107	154	19
Biomasa	57	0	23	99	115	129	4
Geotermia	0	0	18	56	88	118	6
Wiatrowe na lądzie	0	0	26	65	83	99	44
Wiatrowe na morzu	0	0	21	56	73	87	23
Słoneczne PV	0	0	15	61	83	101	52
Słoneczne CSP	0	0	13	77	107	133	4
Szczytowo pompowe	0	0	6	49	96	134	3
Akumulatory Li-Ion	0	0	9	82	97	109	4
Sprężone powietrze	0	0	11	57	98	135	1

\* Średni zdyskontowany koszt wytwarzania dla stóp dyskontowych: 3%, 5% i 7%.

\*\* Liczba obiektów danego rodzaju objętych analizą.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IEA i NEA (2020)

Przedmiotem dalszej analizy jest emisja CO<sub>2</sub> do atmosfery w wyniku spalania paliw kopalnianych oraz koszty z tym związane. W ostatnim czasie nastąpił niekontrolowany wzrost cen uprawnień EU Allowances (EUA) do emisji CO<sub>2</sub> (rys. 5). W połowie marca 2021 roku cena ta wyniosła 42,39 EUR/t CO<sub>2</sub>, co stanowi niemal 100-procentowy wzrost względem wartości rok wcześniej i 70-procentowy względem średniej ceny w roku 2020.



Rys. 5. Ceny uprawnień EUA do emisji CO<sub>2</sub> od stycznia 2020 do marca 2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Investing.com (2021)



Sprawność przemian energetycznych w krajowych elektrowniach ciepłych zawodowych wyniosła 37,65% w 2019 roku. Natomiast wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> (WE) w krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych wynosi średnio 93,54 kg CO<sub>2</sub>/GJ dla elektrowni opalanych węglem kamiennym, 105,95 kg CO<sub>2</sub>/GJ dla elektrowni opalanych węglem brunatnym i 55,42 kg CO<sub>2</sub>/GJ dla elektrowni gazowych. Na tej podstawie można policzyć, że według ceny uprawnień EUA do emisji CO<sub>2</sub> z dnia 15 marca 2021 roku wynoszącej 42,39 EUR/t CO<sub>2</sub> koszt emisji CO<sub>2</sub> wynosi 174 PLN/MWh dla elektrowni opalanych węglem kamiennym, 197 PLN/MWh dla elektrowni opalanych węglem brunatnym i 103 PLN/MWh dla elektrowni gazowych (tab. 3).

Porównując te wartości do średnich cen sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym wynoszących według najnowszych danych dostępnych w połowie marca 2021: 245,44 PLN/MWh w 2019 roku i 257,98 PLN/MWh w IV kwartale 2019 roku (URE, 2021), zwraca się uwagę na duży, a nawet dominujący udział kosztów emisji CO<sub>2</sub> w cenach energii elektrycznej.

**Tabela 3**

Wartości opałowe, wskaźniki i koszty emisji paliw kopalnych w krajowej elektroenergetyce zawodowej

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa (WO) [MJ/kg]	Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub> (WE) [kg/GJ]	Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub> na tonę paliwa [t CO <sub>2</sub> /t paliwa]	Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub> w wytwarzaniu energii elektrycznej [t CO <sub>2</sub> /MWh]	Koszt emisji CO <sub>2</sub> [PLN/MWh]
Węgiel kamienny	21,24	93,54	1,99	0,89	174
Węgiel brunatny	9,47	105,95	1,00	1,01	197
Gaz ziemny	48,00	55,42	2,66	0,53	103
Paliwo jądrowe	500000	0,00	0,00	0,00	0

Przyjęto średnią sprawność przemiany netto dla produkcji energii elektrycznej w krajowych elektrowniach ciepłych zawodowych w 2019 roku (wg najnowszych dostępnych danych) oraz cenę uprawnień EUA do emisji CO<sub>2</sub> w dniu 15 marca 2021 roku.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ARE (2020); KOBIZE (2020); Bankier.pl (2021); Cire.pl (2021); WNA (2021)

## 5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawiona analiza wykazała złożoność rozwoju energetyki jądrowej w warunkach globalizacji, szczególnie globalnego dążenia do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i możliwości wykorzystania energetyki jądrowej w krajach takich jak Polska.

Ocena możliwości rozwoju energetyki jądrowej prowadzi do poniższych wniosków:

1. Możliwości utrzymania, a tym bardziej zwiększenia poziomu wytwarzania energii elektrycznej z węgla kamiennego i brunatnego są ograniczone i malejące z uwagi na wysoki i rosnący koszt emisji CO<sub>2</sub>. Koszt ten jest mniejszy, lecz nadal istotny w przypadku gazu ziemnego, którego wykorzystanie jest ograniczone głównie wysokim kosztem paliwa.
2. Energia jądrowa stanowi obecnie 10,4% światowej produkcji energii elektrycznej, podczas gdy udział węglowodorów – węgla kamiennego i brunatnego, gazu ziemnego oraz ropy naftowej – jest sześć razy większy, na poziomie 63%.
3. Udział węglowodorów, których produkcja jest sterowalna, szczególnie węgla, w ogólnym bilansie energii elektrycznej maleje. Jednocześnie ilość energii wytwarzanej w elektrowniach słonecznych i wiatrowych cechuje się najszybszym tempem wzrostu, co wymusi budowę dodatkowych sterowalnych źródeł, takich jak elektrownie jądrowe.
4. 84% elektrowni jądrowych na świecie zostało zamkniętych po przepracowaniu nie więcej niż 40 lat. Różni się to znacząco od założeń *Programu polskiej energetyki jądrowej*, który zakłada nawet ponad 80-letni okres pracy instalacji.
5. Podstawowymi wadami elektrowni jądrowych są wysokie koszty budowy, generowanie radioaktywnych odpadów oraz ryzyko skażenia środowiska naturalnego w razie poważnej awarii lub ataku terrorystycznego. Przy czym wprowadzone od połowy lat 90. pasywne zabezpieczenia reaktorów III (potem III+ i IV) generacji znacząco obniżają ryzyko skażenia środowiska naturalnego.
6. Porównanie wskazuje na najniższy średni zdyskontowany koszt wytwarzania energii elektrycznej (LCOE) w elektrowniach jądrowych przy stopach dyskontowych od 3% do 7%. Przy czym różnice na korzyść elektrowni jądrowych są jeszcze większe w porównaniu z elektrowniami słonecznymi i wiatrowymi z uwagi na sterowalność i możliwość zachowania ciągłości produkcji, niezależnie od czynników zewnętrznych takich jak nasłonecznienie i prędkość wiatru.

## Literatura

- ARE (Agencja Rynku Energii S.A.), 2020: *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2019*, Warszawa.
- Bankier.pl: <https://www.bankier.pl/waluty/kursy-walut/forex/EURPLN> [16.03.2021].
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), 2020: *BGR Energy Study 2019*, Hannover.
- Cire.pl, 2021: *Notowania uprawnień EUA do emisji CO<sub>2</sub>, węgla i paliw*, <https://www.cire.pl/item,213827,1,0,0,0,0,notowania-uprawnien-eua-do-emisji-co2-wegla-i-paliw.html> [16.03.2021].
- Danish, Khan S.U.-D., Ahmad A., 2021: *Testing the pollution haven hypothesis on the pathway of sustainable development: Accounting the role of nuclear energy consumption*, Nuclear Engineering and Technology, <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.02.008>.

- IEA (International Energy Agency), 2020a: *Key World Energy Statistics 2020*, Paris.
- IEA (International Energy Agency), 2020b: *World Energy Investment 2020 Data Update*, Paris.
- IEA (International Energy Agency), 2020c: *World Energy Outlook 2020*, Paris.
- IEA (International Energy Agency), NEA (Nuclear Energy Agency), 2020: *Projected Costs of Generating Electricity – 2020 Edition*, Paris.
- Investing.com: <https://pl.investing.com/> [16.03.2021].
- KOBIZE (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami), 2020: *Wartości opalowe (WO) i wskaźniki emisji CO<sub>2</sub> (WE) w roku 2018 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2021*, Warszawa.
- MKŚ (Ministerstwo Klimatu i Środowiska), 2020: *Polityka energetyczna Polski do 2040 roku*, Warszawa.
- Mycle Schneider Consulting, 2020: *The World Nuclear Industry Status Report 2020*, Paris.
- Poitras G., 2021: *Rhetoric, epistemology and climate change economics*, Ecological Economics, No. 184, 106985, s. 2–6, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106985>.
- Uchwała nr 141 Rady Ministrów z dnia 2 października 2020 r. w sprawie aktualizacji programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej”, M.P. 2020 poz. 946.
- URE (Urząd regulacji Energetyki), 2021: *Średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym (roczna i kwartalna)*, <https://www.ure.gov.pl/pl/energia-elektryczna/ceny-wskazniki/7852,Srednia-cena-sprzedazy-energii-elektrycznej-na-rynku-konkurencyjnym-roczna-i-kwa.html> [16.03.2021].
- WNA (World Nuclear Association): *Heat Values of Various Fuels*, <https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx> [16.03.2021].
- Zhan L., Bo Y., Lin T., Fan Z., 2021: *Development and outlook of advanced nuclear energy technology*, Energy Strategy Reviews, Vol. 34, 100630, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100630>.

## NUCLEAR POWER DEVELOPMENT UNDER GLOBALISATION

**Summary:** The reduction of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions forced by international organizations and EU legislation can be achieved primarily by reducing the consumption of hard coal and lignite since these energy sources are characterized by the relatively highest level of CO<sub>2</sub> emissions. Considering the limitations and conditions of electricity generation from renewable energy sources such as wind and solar as well as the relatively high cost of fuel in gas-fired power plants, the main alternative for Poland's electricity sector, based mostly on coal combustion, is the construction of nuclear power plants. The goal of this chapter is to define the conditions and justification for the construction of nuclear power plants.

**Keywords:** EU, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission, energy industry, electric power industry, nuclear energy, strategy