

DOROTA MICHALAK

Uniwersytet Łódzki, Polska
University of Lodz, Poland

PAULINA SZYJA

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Polska
Pedagogical University of Krakow, Poland

Szanse i bariery rozwoju energetyki jądrowej w Polsce w kontekście skutków emisji pyłów PM10 i PM2,5

Opportunities and barriers to the development of nuclear power in Poland in the context of the effects of PM10 and PM2.5 emissions

Streszczenie: Artykuł podejmuje zagadnienie uwarunkowań, korzyści i ograniczeń związanych z budową elektrowni jądrowej w Polsce. Rozważania w tym zakresie sporządzono na podstawie analizy SWOT. Zaprezentowano najważniejsze wyzwania towarzyszące temu przedsięwzięciu inwestycyjnemu w sektorze energetycznym. Przedstawione badania zostały poprzedzone wnioskami wpływającymi z analizy statystycznej danych dotyczących emisji pyłów PM10 i PM2,5. W jej efekcie ustalono, że spalanie węgla kamiennego przez gospodarstwa domowe jest główną przyczyną emisji, które negatywnie wpływają na zdrowie i życie ludzi. W sytuacji konieczności przeprowadzenia zmian w polskim systemie energetycznym, związanych m.in. z polityką klimatyczno-energetyczną Unii Europejskiej (UE), niezbędne jest znalezienie alternatywnych rozwiązań. Zadanie to nie jest jednak proste. Pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych wiąże się z licznymi ograniczeniami – mimo wielu niezaprzeczalnych zalet – oraz z zawodnością tych źródeł, zwłaszcza w niesprzyjających warunkach (np. niewielka liczba dni słonecznych w przypadku technologii fotowoltaicznej). Dlatego też niniejsza praca stawia sobie za cel nie tylko określenie zasadności budowy elektrowni atomowej w Polsce, lecz także zweryfikowanie postawionej hipotezy badawczej, zgodnie z którą brak stabilnej polityki energetycznej stanowi poważną barierę rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Jakikolwiek decyzje o zmianach w systemie energetycznym powinny uwzględniać rachunek ekonomiczny, czas potrzebny na ich przeprowadzenie, a także konsekwencje społeczne (niska jakość powietrza w przypadku spalania węgla) oraz środowiskowe.

Abstract: The article discusses the conditions, benefits and limitations of building a nuclear power plant in Poland. Considerations in this regard were based on the SWOT analysis. The most serious challenges accompanying this kind of investment project in the energy sector were presented in more detail. They have been preceded by from the performed statistical analysis of the data the sources of PM10 and PM2.5 dust emission, which has led to the conclusion that burning coal by households is the main cause of emissions. They have negative consequences for the health and life of the population. In the situation where changes in the Polish energy system, related among others to the EU climate and energy policy, are necessary, it is vital to find alternative solutions. It is not easy. Renewable energy has a number of limitations (despite its many advantages), especially under adverse conditions such as few days of sunshine for photovoltaic technology. Therefore, this study aims to determine the legitimacy of building a nuclear power plant in Poland and verifies

the research hypothesis that the lack of a stable energy policy is a serious barrier to the development of nuclear energy in Poland. Any decision on the changes in the energy system should be thoroughly analysed, taking into account not only the economic calculation, but also the time needed to make the necessary changes, social consequences (poor air quality in the case of coal burning) and environmental.

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa; emisja; lokalizacja; model biznesowy; PM10; PM2,5; polityka energetyczna; zeroemisyjność

Keywords: business model; energy policy; emission; location; nuclear energy; PM10; PM2.5; zero carbon

Otrzymano: 2 listopada 2021

Received: 2 November 2021

Zaakceptowano: 8 grudnia 2021

Accepted: 8 December 2021

Sugerowana cytacja / Suggested citation:

Michalak, D., Szyja, P. (2022). Szanse i bariery rozwoju energetyki jądrowej w Polsce w kontekście skutków emisji pyłów PM10 i PM2,5. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 36(1), 33–58. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.361.3>

WSTĘP

Światowy scenariusz energetyczny jest wynikiem różnych trendów społeczno-ekonomicznych, prowadzących do zwiększającego się zapotrzebowania na surowce oraz rosnącego zużycia energii przypadającego na jednego mieszkańca. W związku z tym konieczne jest przeprowadzenie globalnej restrukturyzacji energetycznej, która umożliwi wytwarzanie energii w sposób zrównoważony.

W ostatnich 70 latach obserwowaliśmy transformację polskiej ekonomii systemu energetycznego. Od etapu gospodarki socjalistycznej (dominacja własności państwowej, praktycznie brak ekonomiki), poprzez etap rynku energii elektrycznej wykreowany przez zasadę dostępu stron trzecich (wykorzystanie wskaźników ekonomicznych, takich jak prosty i zdyskontowany okres zwrotu nakładów, wartość bieżąca netto – NPV, wewnętrzna stopa zwrotu – IRR, ocena ekonomicznej efektywności inwestycji), etap rynku uwzględniający internalizację kosztów zewnętrznych (koszty środowiskowe), aż po etap ekonomiki prosumenckiej w energetyce (ekonomia wartości psychologicznej). Obecnie przygotowujemy się do wejścia w kolejny etap, jakim jest ekonomika energetyki jądrowej. Jednak czy Polska jest na to gotowa? Porównywanie energetyki jądrowej i energetyki alternatywnej w języku tradycyjnej ekonomiki może okazać się błędem systemowym. Tradycyjna ekonomika energetyki, która kształtowała się wraz z polityczną doktryną rozwoju energetyki wielkoskalowej korporacyjnej (WEK), nie może zostać wykorzystana do analizy przewag energetyki alternatywnej: prosumenckiej, odnawialnych źródeł energii oraz energetyki niezależnych inwestorów (energetyka pretendentów, dysponujących innowacjami przełomowymi, dążących do kreowania nowych rynków usług energetycznych).

Rynek energii w Polsce jest zdominowany przez niewielką liczbę oferentów, wobec czego konkurencja cenowa jest znikoma, a konsumenci nie mają dużej możliwości wyboru czy choćby szansy na zmianę dostawcy energii. Wielu oligopolistów przypomina monopolistów narzucających ceny innym uczestnikom rynku. Poszerzenie rynku energii o dostawcę z branży jądrowej z pewnością zwiększyłoby konkurencję na rynku. Docelowo technologie jądrowe mogą mieć silną pozycję konkurencyjną, biorąc pod

uwagę korzyści, jakie niosą ze sobą reaktory jądrowe IV generacji (np. reaktory HTGR; Mileszko, 2021).

Punktem wyjścia podjętych rozważań była mnogość problemów polskiej branży energetycznej (Czyżak, Hetmański, 2020), m.in.:

1. Uzależnienie polskiej gospodarki od węgla – przewiduje się, że w 2030 r. ponad połowa energii elektrycznej w Polsce będzie wytwarzana z węgla, a prawie 70% z paliw kopalnych, uznawanych za główną przyczynę globalnego ocieplenia.
2. Niewydolność polskiej energetyki węglowej – wzrost kosztów wydobycia, spadek konkurencyjności wydobywanego węgla w stosunku do tańszego surowca na rynkach światowych,
3. Problemy polskiej branży energetycznej, np. kopalnia Turów (awaria; mimo braku prawomocnej decyzji środowiskowej wydano koncesję na rozbudowę kopalni odkrywkowej Turów; spór polsko-czeski dotyczący wpływu odkrywki na poziom lokalnych wód gruntowych; Polska płaci UE 2 mln zł kary dziennie za niezaprzestanie wydobycia węgla brunatnego w tej kopalni), wyburzenie bliku C elektrowni w Ostrołęce (inwestycja o wartości 1,5 mld zł), awaria nowoczesnego bloku 910 MW Elektrowni Jaworzno III (jeszcze w fazie testów blok uległ awarii i wciąż nie został uruchomiony; inwestycja pochłonęła ok. 6,5 mld zł), utrudnienia w rozwoju energetyki wiatrowej (zasada 10H – elektrownia wiatrowa nie może być zbudowana w odległości mniejszej niż 10-krotna wysokość turbiny),
4. Do 2030 r. Polska będzie odpowiadać za ponad 40% całkowitej produkcji energii elektrycznej z węgla w UE. W konsekwencji do 2030 r. Polska będzie dysponować najbardziej zanieczyszczoną siecią elektryczną w UE,
5. Poważne, negatywne konsekwencje emisji CO₂, zanieczyszczenie powietrza pyłami zawieszonymi PM10 i PM2,5, tlenkami siarki oraz azotu,
6. Odejście od węgla na rzecz uzależnienia polskiej energetyki od rosyjskiego i katarskiego gazu oraz importu energii z Niemiec czy Skandynawii;
7. Polityka UE dążąca do neutralności klimatycznej (Dunal, Płaziak, 2014).

Przedstawione powyżej problemy, a także niedoskonałość odnawialnych źródeł energii zmuszają do poszukiwania innych rozwiązań niskoemisyjnych – nakreślają tym samym cel niniejszej pracy, jakim jest omówienie zasadności budowy elektrowni atomowej w Polsce. Weryfikacji poddano następującą hipotezę badawczą: brak stabilnej polityki energetycznej stanowi poważną barierę rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Z badań Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej wynika, że Polska nie będzie w stanie pokryć rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną bez budowy elektrowni jądrowych (ME, 2019: 25–27). Przeprowadzona analiza SWOT nie tylko wykazała szereg wyzwań i zagrożeń związanych z inwestycjami atomowymi, w tym dobór odpowiedniej lokalizacji, lecz także dostarczyła kompleksowej analizy niskoemisyjnego źródła energii, jakim jest energetyka jądrowa.

Jeśli Polska chce utrzymać stabilny rozwój gospodarczy i być gospodarką konkurencyjną w stosunku do innych gospodarek światowych, to musi w sposób rozważny i precyzyjny podejść do inwestycji w energetykę jądrową. Inwestycje sektora energetycznego nie mogą mieć charakteru jednorazowego, ale powinny zakładać jego stałą modernizację i rozbudowę. Oprócz wyboru technologii Polska powinna zabezpieczyć także dostawy paliwa. Decyzja o wyborze technologii powinna być połączona z gwarancjami dostaw wzbogaconego uranu.

PRZYCZYNY I SKUTKI EMISJI PYŁÓW PM10 I PM2,5 W POLSCE

Jak zaznaczyliśmy we wstępie, powodów poszukiwania rozwiązań niskoemisyjnych jest wiele, a istotność omawianego tematu potwierdzają liczne analizy. Jednak w fachowej literaturze nie poświęcono jak dotąd wystarczającej uwagi przyczynom i skutkom emisji pyłów PM10 i PM2,5. Niniejsze opracowanie stanowi uzupełnienie w tym zakresie. Przyjmuje się, że głównymi wskazywanymi źródłami emisji pyłów PM10 i PM2,5, które ze względu na osiadanie w pęcherzykach płucnych i oskrzelach są najbardziej szkodliwe dla zdrowia ludzi, są: spalanie węgla kamiennego, traktowanego jako źródło energii niskiej zabudowy, przemysł i transport drogowy. W prezentowanym badaniu założono, że konsekwencjami wysokiego stężenia emisji pyłów jest wyższa liczba zachorowań, znajdująca swoje odzwierciedlenie w wyższej liczbie udzielanych porad ambulatoryjnych. Układ oddechowy jest szczególnie narażony na negatywne oddziaływanie złej jakości powietrza, co może przekładać się na wyższą liczbę zachorowań na nowotwory oskrzeli i płuc. Prezentowana estymacja modeli miała na celu:

1. Weryfikację statystycznej zależności między wielkościami charakteryzującymi źródła a wielkością emisji pyłów PM10 i PM2,5. Jako potencjalne zmienne objaśniające wielkości stężeń pyłów w dwóch niezależnych równiach regresji liniowej przyjęto wielkość zużycia węgla kamiennego przez gospodarstwa domowe, przemysł i budownictwo oraz liczbę zarejestrowanych samochodów, zgodnie z podziałem na województwa,
2. Określenie istotności statystycznej zależności między wysokością temperatury powietrza a emisją pyłów. Założono, że spadki temperatury wpływają pośrednio nie tylko na wzrost zużycia węgla, lecz także, ze względu na współwystępujące warunki pogodowe (brak wiatru, opadów), na wzrost stężenia pyłów w powietrzu,
3. Wskazanie zależności między emisją ww. pyłów a liczbą zachorowań na nowotwory złośliwe oskrzeli i płuc oraz liczbę udzielanych porad ambulatoryjnych.

Do modelu wykorzystano następujące dane za lata 2008, 2010, 2015 i 2017 (w podziale na województwa Polski):

- średnioroczna temperatura powietrza, wyliczona na podstawie danych miesięcznych¹,
- średniomiesięczna i średnioroczna emisja pyłów PM2,5 i PM10 na podstawie pozyskanych danych dziennych [μm , 24g]²,
- średnioroczne zużycie węgla kamiennego przez gospodarstwa domowe [tys. ton]³,
- średnioroczne zużycie węgla kamiennego przez przemysł i budownictwo [tys. ton]⁴,
- miesięczna liczba zarejestrowanych samochodów⁵,
- roczna liczba zachorowań na nowotwory złośliwe oskrzeli i płuc (kod choroby C34, osoby w wieku od 0 do 85 lat, w podziale na płeć, ogółem)⁶,

¹ Dane pozyskane na podstawie wniosku skierowanego do IMGW.

² <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives?fbclid=IwAR0VxDaSMLaK0FnHT79yrTW-3lud1hZUMatiheNAEBZRutNltwNQb-7ume>

³ Bank Danych Lokalnych GUS: <http://stat.gov.pl/>

⁴ Bank Danych Lokalnych GUS: <http://stat.gov.pl/>

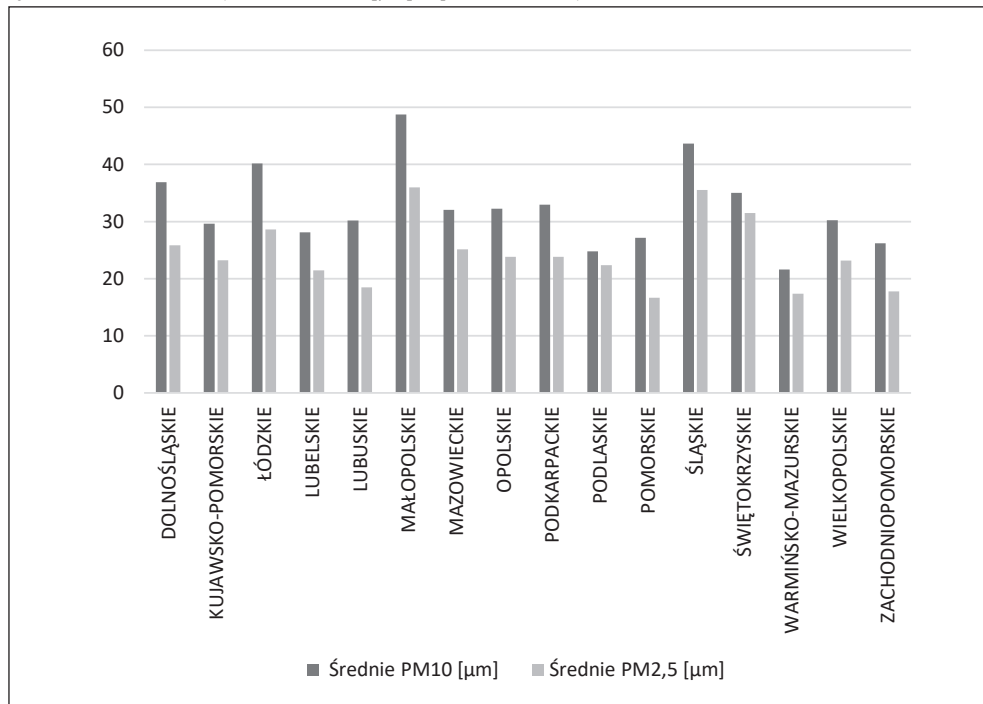
⁵ <http://www.cepik.gov.pl/statystyki>

⁶ http://onkologia.org.pl/raporty/#tabela_wojewodztwa

- roczna liczba udzielanych porad ambulatoryjnych – czyli podstawowej opieki zdrowotnej ogółem i per capita⁷.

Analiza zebranych danych wskazuje, że średnia immisja pyłów PM10 i PM2,5 w badanym okresie osiągnęła najwyższe poziomy w województwie małopolskim, a następnie – w województwie śląskim. Z kolei najniższe stężenie PM10 odnotowano w województwie warmińsko-mazurskim, a PM 2,5 – w pomorskim (rycyna 1, tabela 1). Rycyna 2 wskazuje natomiast, że w badanym okresie stężenie immisji omawianych pyłów było najwyższe w 2010 r.

Rycyna 1. Średnia immisja PM10, PM2,5 [μm] w podziale na województwa Polski



Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

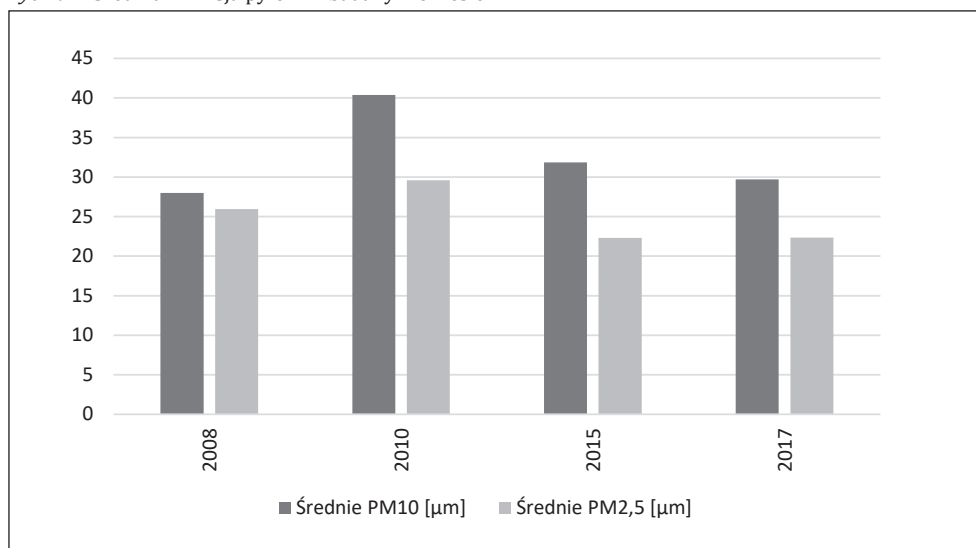
Tabela 1. Średnia immisja PM10, PM2,5 oraz średnie zużycie węgla kamiennego przez gospodarstwa domowe zgodnie z podziałem na województwa

Województwo	Średnie PM10	Średnie PM2,5	Średnie dla węgla kamiennego
DOLNOŚLĄSKIE	36,88	25,85	768,75
KUJAWSKO-POMORSKIE	29,65	23,23	564,75
ŁÓDZKIE	40,17	28,62	812,75
LUBELSKIE	28,09	21,47	634,75
LUBUSKIE	30,28	18,48	183,75
MAŁOPOLSKIE	48,74	35,97	880,50
MAZOWIECKIE	32,05	25,15	1305,75

⁷ Bank Danych Lokalnych GUS: <http://stat.gov.pl/>

OPOLSKIE	32,27	23,82	285,75
PODKARPACKIE	32,97	23,82	547,50
PODLASKIE	24,77	22,34	244,25
POMORSKIE	27,16	16,63	360,25
ŚLĄSKIE	43,65	35,51	1390,25
ŚWIĘTOKRZYSKIE	35,02	31,50	355,50
WARMIŃSKO-MAZURSKIE	21,59	17,39	260,25
WIELKOPOLSKIE	30,25	23,15	841,50
ZACHODNIOPOMORSKIE	26,18	17,79	244,00

Rycina 2. Średnia immisja pyłów w badanym okresie



Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

W tabeli 2 przedstawiono wartości minimalne i maksymalne zebranych danych. Najwyższe stężenie immisji pyłów PM10 w badanym okresie wstąpiło w 2010 r. w województwie małopolskim, a PM2,5 – w województwie świętokrzyskim. Najwięcej węgla zużyły gospodarstwa domowe na Śląsku. Najwięcej porad ambulatoryjnych na jednego mieszkańca udzielono w województwie łódzkim, natomiast największa liczba zachorowań na nowotwory złośliwe oskrzeli wystąpiła w województwie kujawsko-pomorskim.

W celu określenia korelacji między scharakteryzowanymi zmiennymi posłużono się współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona. Wyniki korelacji zostały zaprezentowane w tabelach 3 i 4. Na podstawie otrzymanych wyników można wskazać istotną statystycznie zależność między średniomiesięczną temperaturą a poziomem immisji pyłów PM10 i PM2,5. Odnotowane spadki temperatury w województwach w latach 2008, 2010, 2015 i 2017 wiązały się z wyższym poziomem immisji wskazanych pyłów. Współczynniki korelacji między zmiennymi wskazują na relatywnie niewielką zależność.

Tablwa 2. Wartości minimalne i maksymalne danych modelu w podziale na województwa

Zmienna	Minimalne			Maksymalne		
Temperatura [°C]	6,733333	2010	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	11,10833	2015	DOLNOŚLĄSKIE
PM10 [24g]	18,81287	2010	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	61,33705	2010	MAŁOPOLSKIE
PM2,5 [24g]	13,9146	2017	POMORSKIE	42,34637	2010	ŚWIĘTOKRZYSKIE
Węgiel – przemysł	1	2010	LUBELSKIE	6370	2008	ŚLĄSKIE
Węgiel – gospodarstwa domowe [tys. ton]	171	2008	LUBUSKIE	1448	2010	ŚLĄSKIE
Porady	3786569	2010	LUBUSKIE	21437530	2017	MAZOWIECKIE
Porady per capita	3,420964	2008	MAZOWIECKIE	4,920365	2017	ŁÓDZKIE
Zachorowania – kobiety	91	2008	PODLASKIE	1012	2015	MAZOWIECKIE
Zachorowania ogółem per capita	2,862011	2008	PODLASKIE	7,964688	2017	KUJAWSKO-POMORSKIE
Zachorowania – mężczyźni	250	2008	PODLASKIE	1854	2015	ŚLĄSKIE
Zachorowania ogółem	341	2008	PODLASKIE	2831	2015	ŚLĄSKIE

Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

Istotną statystycznie determinantą immisji pyłów PM10 i PM2,5 był poziom zużycia węgla, zarówno w gospodarstwach domowych, jak i w przemyśle oraz budownictwie, jako nośnika energii, który relatywnie wysoko korelował z poziomem immisji wskazanych pyłów.

Na podstawie analizy korelacji pozytywnie zweryfikowano zależność między wielkością immisji pyłów a liczbą udzielanych porad ambulatoryjnych. Podobna korelacja występuje w przypadku zachorowań na nowotwory złośliwe oskrzeli i płuc. W podziale na płeć istotna zależność wstępuje między immisją pyłów PM10 i PM2,5 a liczbą zachorowań na nowotwory u mężczyzn. Można zatem przypuszczać, że mężczyźni są bardziej podatni na negatywne oddziaływanie immisji pyłów.

Korelacja między immisją a liczbą rejestrowanych samochodów jest bardzo mała, jednak istotna statystycznie. Podczas analizowania otrzymanych wyników należy wziąć pod uwagę zaludnienie regionów Polski. Większa liczba ludności wiąże się z wyższym zużyciem węgla, co przyczynia się do wyższego stężenia pyłów. Wśród większej liczby ludności częściej zdarzają się porady lekarskie, niekoniecznie związane z natężeniem immisji pyłów.

Kolejnym etapem było oszacowanie modeli jednorównaniowych. Wyniki estymacji dostarczają następujących wniosków (tabele 5 i 6):

- wraz ze wzrostem zużycia węgla przez gospodarstwa domowe o 1 tys. ton immisja pyłów PM10 wzrasta o 0,012 [24 g], zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność zużycia węgla w 21% opisywała zmiany immisji pyłów PM10,

wraz ze wzrostem zużycia węgla przez gospodarstwa domowe o 1 tys. ton immisja pyłów PM2,5 wzrasta o 0,011 [24 g], zależność ta jest istotna statystycznie.

Tabela 3. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona

Zmienna	Temperatura	PM10	PM2,5	Węgiel – gospodarstwa domowe	Węgiel – przemysł	Porady ambulatoryjne	Porady ambulatoryjne per capita	Zachorowania – kobiety	Zachorowania per capita	Zachorowania – mężczyźni	Zachorowania ogółem
Temperatura	1	-0,228*	-0,300**	0,101	-	0,174	0,178	0,222*	0,044	0,106	0,150
PM10	-0,228*	1	0,823***	0,472***	0,301***	0,349***	-0,186	0,225*	-0,157	0,354***	0,313**
PM2,5	-0,300**	0,823***	1	0,547***	-	0,393***	-0,263*	0,163	-0,319**	0,395***	0,317**
Węgiel – gospodarstwa domowe	0,101	0,472***	0,547***	1	-	0,964***	-0,061	0,832***	-0,091	0,925***	0,908***
Węgiel – przemysł	-	0,301***	0,399***	-	1	-	-	-	-	-	-
Porady	0,174	0,349***	0,393***	0,964***	-	1	-0,012	0,914***	0,007	0,966***	0,964***
Porady per capita	0,178	-0,186	-0,263**	-0,061	-	-0,012	1	0,082	0,397***	-0,095	-0,032
Zachorowania – kobiety	0,222*	0,225*	0,163	0,832***	-	0,914***	0,082	1	0,319**	0,924***	0,968***
Zachorowania per capita	0,044	-0,157	0,319***	-0,091	-	0,007	0,397***	0,319***	1	0,163	0,223**
Zachorowania – mężczyźni	0,106	0,354***	0,395**	0,925***	-	0,966***	-0,095	0,924***	0,163	1	0,990***
Zachorowania ogółem	0,150	0,313***	0,317***	0,908***	-	0,964***	-0,032	0,968***	0,223*	0,990***	1

* 0,1-0,05; ** 0,05-0,001; *** < 0,001

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem program R cran 3.5.2, na podstawie danych GUS (bank danych lokalnych)

Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność zużycia węgla w 28,6 % opisywała zmiany emisji pyłów PM_{2,5}:

- wraz ze wzrostem zużycia węgla w przemyśle o 1 tys. ton emisja pyłów PM₁₀ wzrasta o 0,002 [24 g], zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność zużycia węgla w 7,6% opisywała zmiany emisji pyłów PM₁₀,
- wraz ze wzrostem zużycia węgla w przemyśle o 1 tys. ton emisja pyłów PM_{2,5} wzrasta o 0,002 [24 g], zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność zużycia węgla w 14,3 % opisywała zmiany emisji pyłów PM_{2,5},
- wraz ze wzrostem temperatury o 1°C emisja pyłów PM₁₀ spada o 2,07 [24 g], zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność temperatury w 3,7% opisywała zmiany emisji pyłów PM₁₀,
- wraz ze wzrostem temperatury o 1°C emisja pyłów PM_{2,5} spada o 2,08 [24 g], zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność temperatury w 7,2% opisywała zmiany emisji pyłów PM_{2,5},
- według oszacowań modelu wzrost temperatury nie wpływa istotnie na zmiany zużycia węgla.

W tabeli 7 przedstawiono wyniki modeli oszacowanych dla liczby porad ambulatoryjnych i zachorowań ogółem. Można zauważyć, że:

- wraz ze wzrostem pyłów PM₁₀ o 1 jednostkę [24g] liczba porad wzrasta o 177, zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność pyłów PM₁₀ w 15% opisywała zmianę liczby porad.
- wraz ze wzrostem pyłów PM_{2,5} o 1 jednostkę [24g] liczba porad wzrasta 255, zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność pyłów PM_{2,5} w 10,8 % opisywała zmianę liczby porad;
- wraz ze wzrostem pyłów PM₁₀ o 1 jednostkę [24g] liczba zachorowań na nowotwory oskrzeli i płuc wzrasta o 21 osób, zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność pyłów PM₁₀ w 8,3% opisywała zmianę liczby porad,
- wraz ze wzrostem pyłów PM_{2,5} o 1 jednostkę [24g] liczba zachorowań na nowotwory oskrzeli i płuc wzrasta o 28, zależność ta jest istotna statystycznie. Skorygowany współczynnik determinacji wskazuje, że zmienność pyłów PM_{2,5} w 8,3% opisywała zmianę liczby porad.

Tabela 4. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona, pojazdy

Zmienna	PM _{2,5}	PM ₁₀	Pojazdy
PM _{2,5}	1	0,872***	0,088**
PM ₁₀	0,872***	1	0,029
Pojazdy	0,088**	0,029**	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

Tabela 5. Wyniki estymacji modeli wielkości emisji pyłów PM10 i PM2,5 (węgiel – gospodarstwa domowe, temperatura)

Zmienne zależne					
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	Węgiel – gospodarstwa domowe
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Węgiel	0,012***	0,011***			
	p = 0,0001	p = 0,00003			
Temperatura			-2,071*	-2,081**	35,423
			p = 0,070	p = 0,029	p = 0,427
Stała	25,084***	17,851***	51,242***	43,506***	284,115
	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,00001	p = 0,00001	p = 0,485
R ²	0,222	0,300	0,052	0,090	0,010
Skorygowany R ²	0,210	0,286	0,037	0,072	-0,006
Błąd standardowy reszt	8,456 (df = 62)	6,321 (df = 51)	9,337 (df = 62)	7,206 (df = 51)	367,994 (df = 62)
F Statystyka	17,733*** (df = 1; 62)	21,831*** (df = 1; 51)	3,400* (df = 1; 62)	5,050** (df = 1; 51)	0,640 (df = 1; 62)
Note	* p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01				

Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

Tabela 6. Wyniki estymacji modeli wielkości emisji pyłów PM10 i PM2,5 (węgiel – przemysł)

Zmienne zależne		
	PM10	PM2,5
	Model 6	Model 7
Węgiel – przemysł	0,002**	0,002***
	p = 0,016	p = 0,004
Stała	30,743***	22,927***
	p = 0,000	p = 0,000
Liczba obserwacji	64	53
R ²	0,091	0,160
Skorygowany R ²	0,076	0,143
Błąd standardowy reszt	9,143 (df = 62)	6,925 (df = 51)
F Statystyka	6,198** (df = 1; 62)	9,681*** (df = 1; 51)
Note	* p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01	

Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

Na podstawie wyników modelu regresji liniowej należy wskazać na brak istotnego statystycznie wpływu liczby zarejestrowanych pojazdów na wielkość stężenia immisji pyłów PM10 w powietrzu. Jedynie w przypadku immisji pyłów PM2,5 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem rejestrowania pojazdów o 1 immisja pyłów PM2,5 wzrasta o 0,0003 [24g], co jest istotne statystycznie. Zmiany liczby zarejestrowanych pojazdów jedynie w 6% opisywały zmiany immisji pyłów PM2,5.

Tabela 7. Wyniki estymacji modeli opisujących zależność między liczbą udzielonych porad ambulatoryjnych, liczbą zachorowań na nowotwory oskrzeli i płuc a immisją pyłów PM10 i PM 2,5

	Zmienne zależne							
	Porady ambulatoryjne				Zachorowania ogółem			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8
Węgiel	12,711,420*** p = 0,000				1,622** p = 0,000			
Temperatura		803,210400 p = 0,170				93,956 p = 0,237		
PM10			177,547,700*** p = 0,005				21,564** p = 0,012	
PM2,5				255,309,800*** p = 0,004				27,881** p = 0,021
Stała	2,273,664,000*** p = 0,000	2,687,938,000 p = 0,612	4,197,267,000** p = 0,045	3,967,377,000* p = 0,073	337,942*** p = 0,00001	468,226 p = 0,516	618,957** p = 0,032	675,340** p = 0,030
Liczba obserwacji	64	64	64	53	64	64	64	53
R ²	0,929	0,030	0,122	0,155	0,825	0,023	0,098	0,100
Skorygowany R ²	0,928	0,015	0,108	0,138	0,822	0,007	0,083	0,083
Błąd standardowy reszt	1,299,023,000 (df = 62)	4,803,695,000 (df = 62)	4,571,201,000 (df = 62)	4,509,096,000 (df = 51)	276,801 (df = 62)	653,303 (df = 62)	627,603 (df = 62)	630,559 (df = 51)
F Statystyka	812,251*** (df = 1; 62)	1,932 (df = 1; 62)	8,601*** (df = 1; 62)	9,330*** (df = 1; 51)	291,332*** (df = 1; 62)	1,429 (df = 1; 62)	6,730** (df = 1; 62)	5,690** (df = 1; 51)
Note	* p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01							

Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

Tabela 8. Wyniki estymacji modeli opisujących zależność między liczbą zarejestrowanych pojazdów a emisją pyłów PM10 i PM2,5

	Zmienne zależne	
	PM10	PM2,5
	Model 1	Model 2
Pojazdy	0,0001	0,0003**
	p = 0,424	p = 0,029
Stała	31,797***	22,592***
	p = 0,000	p = 0,000
Liczba obserwacji	768	628
R ²	0,001	0,008
Skorygowany R ²	-0,0005	0,006
Błąd standardowy reszt	17,830 (df = 766)	16,139 (df = 626)
F Statystyka	0,641 (df = 1; 766)	4,844** (df = 1; 626)
Note	* p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01	

Źródło: opracowanie własne na podstawie zebranych danych (źródła podane przy prezentacji danych modelu)

W Polsce najbardziej pozyskiwanymi i używanymi pierwotnymi nośnikami energii nieodnawialnej są węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny i ropa naftowa, których łączny udział w 2015 r. w pozyskaniu energii wynosił 85,3%, a w zużyciu – 89,9%. Po energetyce zawodowej sektor drobnych odbiorców jest drugim ważnym konsumentem węgla energetycznego w Polsce – w latach 2005–2015 zużywał on 10,3–14,3 mln ton węgla (15–22% w skali kraju). Statystycznie wyróżniane są w nim trzy grupy konsumentów: gospodarstwa domowe, rolnictwo oraz tzw. pozostali odbiorcy, z których najbardziej znaczącą rolę odgrywają gospodarstwa domowe (77–81% rocznego zużycia węgla przez cały sektor; GUS, 2016).

Jak wynika z poszczególnych etapów przeprowadzonego badania, głównym źródłem emisji pyłów PM10 i PM2,5 jest spalanie węgla kamiennego przez gospodarstwa domowe. Analiza otrzymanego modelu regresji liniowej wskazuje na znikomy wpływ transportu drogowego na natężenie emisji pyłów, dlatego też działania antysmogowe powinny skupiać się na redukcji zużycia węgla kamiennego jako podstawowego nośnika energii. W tym celu należy uświadamiać konsumentów tego surowca o jego negatywnym wpływie na jakość powietrza, a także umożliwiać im wykorzystywanie nowych technologii (np. kotły niskoemisyjne) i alternatywnych źródeł energii. Ponadto ważne, by dostosować cenę surowca do jego wpływu na środowisko i do kosztu działań antysmogowych. Zasadne byłoby też wprowadzenie skutecznego systemu nakazów i zakazów regulujących wykorzystanie węgla przy uwzględnieniu ubóstwa energetycznego i innych problemów społeczno-ekonomicznych, a także wskazanie konkretnych konsekwencji jego nadmiernej eksploatacji. W niniejszym opracowaniu odnotowano negatywne skutki dla zdrowia człowieka w postaci wyższej liczby zachorowań na nowotwory oskrzeli i płuc oraz wyższej liczby udzielanych porad lekarskich.

Natężenie emisji szkodliwych pyłów zależy nie tylko od ilości spalanej węgla kamiennego, lecz także od parametrów trudnych do zmierzenia (takich jak jego jakość). Ponadto analizując jakość powietrza, nie należy zapominać o nierzadkich przypadkach spalania odpadów – w Polsce nie ogranicza się do pojedynczych incydentów, ale stanowi często przyczynę pożarów wielkich wysypisk śmieci (np. dwa pożary w województwie łódzkim w 2018 r.).

Otrzymane wyniki średniej miesięcznej temperatury i emisji pyłów wskazują, że spadek temperatury prowadzi do wzrostu emisji obu pyłów, co znajduje merytoryczne wytłumaczenie oraz potwierdza wyżej sformułowane wnioski, mianowicie: niższa temperatura prowadzi do wyższego zużycia węgla kamiennego.

Rekomendowanym rozwiązaniem opisanej sytuacji są akcje zwiększające świadomość społeczną na temat przyczyn i skutków powstawania smogu, a także stosowanie liczników pomiaru zużycia węgla kamiennego (wykorzystywane do ogrzewania danego pomieszczenia, wskazujące konkretne jego zużycie, koszt, a także szacowaną emisję pyłów). W ten sposób konsument może dokonać świadomej kalkulacji korzystania z tego źródła energii. Niestety, w Polsce mimo złej jakości powietrza oraz nagłośnienia sprawy przez media coraz częściej dochodzi do usuwania liczników pomiaru i płacenia za ciepło z góry ustalonej kwoty – a nie wynikającej z faktycznego zużycia – co może skutkować jeszcze większym zużyciem węgla.

ANALIZA SWOT DLA ENERGETYKI JĄDROWEJ W POLSCE

W tabeli 9 zaprezentowano wyniki podjętej analizy SWOT dla budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

Tabela 9. Budowa elektrowni jądrowej w Polsce – analiza SWOT

	Mocne strony	Słabe strony
Wewnętrzne	<ul style="list-style-type: none"> – Niska emisja gazów cieplarnianych. – Niezawodność w dostawie energii. – Wysoka efektywność wytwarzania energii elektrycznej. – Względnie niski i stabilny koszt energii (uran jako wysoce skoncentrowane i wydajne źródło energii, które można łatwo i tanio transportować). – Niski koszt dostawy energii do źródła poboru – minimalny koszt systemu i minimalizacja strat przesyłowych. – Porównując koszty kapitałowe i eksploatacyjne, a także koszty paliwa i emisji dwutlenku węgla, energia jądrowa stanowi najtańszą dostępną na rynku energię spośród możliwych metod wytwarzania energii dla potrzeb przemysłowych w długim okresie. – Konkurencyjne cenowo i stabilne źródło energii (umożliwia racjonalizowanie rachunku ekonomicznego). – Stabilność systemowa – długoletnie kontrakty, umożliwiające zrównoważony rozwój firm z różnych branż. – Korzystne wskaźniki NPV i IRR przy budowie seryjnej. – Możliwość ponownego przetworzenia (tzw. zamknięty cykl paliwowy, odzyskane pluton i uran mogą być wykorzystywane w paliwie z mieszanymi tlenkami – mixed oxide, MOX). 	<ul style="list-style-type: none"> – Wysoki koszt budowy – koszt całego polskiego programu jądrowego, czyli czterech bloków ze wspólną infrastrukturą, szacuje się na ok. 160 mld złotych. 45 mld zł alternatywnie można wymienić 240 mln tradycyjnych żarówek na źródła LED, zrewitalizować 250 tys. domów jednorodzinnych (ok. 4%), a ponadto zmodernizować ok. 16 tys. gospodarstw rolnych mało- i średniotowarowych, o powierzchni 10–50 ha (ok. 4%) oraz 800 gospodarstw rolnych wielkotowarowych, o powierzchni 50–100 ha (ok. 4%; Popczyk, 2015). – Długi okres zwrotu inwestycji. – Konieczność utylizacji odpadów radioaktywnych: <ul style="list-style-type: none"> ▪ brak optymalnego systemu utylizacji, ▪ przypadki nieoficjalnej utylizacji, np. w oceanie (Celiński, 1991: 270–272), ▪ w użytym paliwie reaktorowym występują nowo powstałe izotopy promieniotwórcze o bardzo długim okresie półrozpadu (Składzień, Ziębik, 2010: 175–194). – Ogromne zasięg i skala negatywnych skutków w wypadku awarii (mimo niewielkiego ryzyka jej wystąpienia). – Paliwo uranowo-plutonowe MOX może stanowić materiał do wytworzenia bomby atomowej (Składzień, Ziębik, 2010: 175–194).

Wewnętrzne	<ul style="list-style-type: none"> – Systemowe podejście zapewniające izolację odpadów od środowiska i ludności podczas eksploatacji oraz po jej zakończeniu. – Proekologiczny charakter elektrowni jądrowych (na budowę reaktorów jądrowych zużywa się mniej stali i betonu niż w przypadku farm wiatrowych, nie mają one również negatywnego wpływu na zwierzęta, tj. ptaki; Tulek, 2010: 17–18, 30–35). – Brak przeciwwskazań dla budowy blisko skupisk ludzi. 	
	Szanse	Zagrożenia
Zewnętrzne	<ul style="list-style-type: none"> – Wykwalifikowany kapitał ludzki. – Zaplecze B+R. – Dywersyfikacja źródeł energii w Polsce. – Uniezależnienie się polskiej gospodarki od nieefektywnych kopalni węglowych (a tym samym od dominacji własności państwa, nieustannych konfliktów zawodowych, nieefektywnego wykorzystania środków budżetu państwa). – Element napędowy rozwoju polskiej gospodarki. – Konkurencyjne źródło energii dla polskich podmiotów gospodarczych: niska cena, stabilność dostaw, źródło czystej energii. Uśrednione koszty całkowite wytwarzania energii w 2020 r. wynoszą 352 zł/MW h. W 2045 r. najniższe koszty przewiduje się w perspektywie realizacji scenariusza, w którym energia jądrowa powstawać będzie na drodze wolnej optymalizacji (334 zł/MW h), najwyższe zaś – w perspektywie bez energii jądrowej (358 zł/MW h). Wydłużona perspektywa modelu wskazuje na dalszy spadek kosztu całkowitego przy kontynuacji rozwoju energii jądrowej (317 zł/MW h w 2050 r.; Gajda, Gałosz, Kuczyńska, Przybyszewska, Rajewski, Sawicki, 2020: 15–59). – Zwieszenie bezpieczeństwa energetycznego kraju. – Zmniejszenie importu paliw gazowych i ciekłych. – Niska efektywność innych źródeł energii. – Wzrost współpracy międzynarodowej. – Rozwój stref ekonomicznych. Nowe miejsca pracy. – Korzyści dla lokalnych i krajowych przedsiębiorstw. – Budowa obiektu jądrowego wymusza modernizację i rozwój infrastruktury w regionie. 	<ul style="list-style-type: none"> – Brak stałego planu polskiego systemu jądrowego (ciągłe zmiany, brak identyfikacji zagrożeń i wynikających z nich rozwiązań). – Brak akceptacji społecznej (m.in. przez przekonanie o szkodliwości promieniowania nawet małych dawek; badania wskazują, że promieniowanie jest niebezpieczne dla zdrowia i życia ludzkiego po przekroczeniu znacznego poziomu, jednak nie określono tego progu, brak też badań potwierdzających w 100% nieszkodliwość tego promieniowania; Strupczewski, 2005: 719–724). – Wzrost konkurencyjności innych źródeł energii. – Subsydia dla innych źródeł energii. – Brak źródeł finansowania (brak inwestorów). – Niska świadomość społeczna na temat energetyki jądrowej (zarówno wśród konsumentów, jak i wśród przedsiębiorstw). – Brak stabilnej polityki energetycznej w kraju, tj. (Popczyk, 2015): <ul style="list-style-type: none"> ▪ brak kompetentnego rządowego centrum myśli strategicznej w energetyce, ▪ dominacja grup wytwórczych sprawujących zarząd właścicielski nad operatorami dystrybucyjnymi, handlem i sprzedażą z urzędu, ▪ słabość operatora przesyłowego i regulatora w stosunku do dominujących grup wytwórczych, ▪ brak systemu legislacji, ▪ przedkładanie interesu politycznego nad efektywność systemu energetycznego. – Rozproszenie regulacji prawnych mogących mieć zastosowanie w inwestycjach w energetykę jądrową (kilkanaście rodzajów aktów prawnych: prawo atomowe, prawo energetyczne, prawo budowlane, prawo ochrony środowiska).

Zewnętrzne	<ul style="list-style-type: none"> – Możliwość finansowania z Export Credit Agency (ECA). – Wywiązanie się z realizacji ogólnoeuropejskiego celu osiągnięcia całkowitej neutralności klimatycznej w 2050 r. 	<ul style="list-style-type: none"> – Brak stabilnej polityki energetycznej UE. – Brak wsparcia dla sektora B+R. – Opodatkowanie energii jądrowej. – Brak odpowiedniej infrastruktury ciepłowniczej. – Brak firm podwykonawczych poszczególnych elementów. – Monopolizacja rynku energii jądrowej w Polsce, silnie uzależnionego od państwa. – Konflikty międzynarodowe.
------------	---	--

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Terlikowski P., Paska J. (2018), Analiza scenariuszowa rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce, *Polityka energetyczna - energy policy journal*, 21, 1, 37–50; Tulek T. (2010), *Perspektywy energetyki jądrowej w Polsce - raport Instytutu Globalizacji w ramach projektu „Atom dla Polski”*, Instytut Globalizacji, Warszawa: 17–18, 30–35; Dz.U. Uchwała nr 141, z dnia 2 października 2020 r. w sprawie aktualizacji programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej”; Frączek P. (2014), Energetyka jądrowa a modernizacja sektora energii w Polsce, *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy*, 37, 344–354; MDI Strategic Solutions (2009), *Energetyka jądrowa - perspektywy rozwoju w Polsce*, Warszawa: Polskie Towarzystwo Nukleoniczne (PTN), 9–27; Gajda P., Gałusz W., Kuczyńska U., Przybyszewska A., Rajewski A., Sawicki Ł. (2020), *Energetyka jądrowa dla Polski*, Warszawa: Instytut Sobieskiego, 15–59.

Wśród słabych stron budowy energetyki jądrowej w Polsce wymieniono m.in. wysoki koszt takiej inwestycji oraz długi okres zwrotu poniesionych wydatków. Natomiast główne zagrożenia przedsięwzięcia to brak stałego planu polskiego systemu jądrowego i brak akceptacji społecznej. Z kolei najważniejszą zaletą energetyki jądrowej jest niska emisja gazów cieplarnianych przy jednoczesnej wysokiej efektywności wytwarzania energii elektrycznej. Dodając do tego niezawodność wynikającą z wysokiego rozwoju technologii i innowacji, należy uznać, że jest to źródło warte poniesionych kosztów, zwłaszcza w obliczu problemów, z którymi boryka się sektor energetyki.

WYZWANIE I – FINANSOWANIE

Przeprowadzoną powyżej analizę SWOT należy uzupełnić o wskazanie wyzwań, jakie stoją przed rozwojem energetyki jądrowej w Polsce i w każdym innym kraju rozważającym jej wprowadzenie. Jednym z głównych wyzwań jest zapewnienie konkurencyjnego finansowania dla nowych elektrowni jądrowych. Inwestycja w elektrownię jądrową zasadniczo nie różni się od innych wydatków związanych z rozbudową infrastruktury: wysoki początkowy koszt kapitałowy i długi czas budowy, po którym następuje długi okres zwrotu środków. Istnieje jednak kilka cech charakterystycznych dla projektów jądrowych, m.in.: złożoność techniczna (stwarzająca wysokie ryzyko na etapie budowy, związane z opóźnieniami i przekroczeniem kosztów), ryzyko polityczne i regulacyjne (długie, kosztowne i zmienne systemy zezwoleń oraz licencji), a także zobowiązania związane z gospodarką odpadami i ich likwidacją (The World Nuclear Association).

W przypadku każdego projektu infrastrukturalnego – oprócz faktycznie wydatkowanego kapitału – kosztem, który należy wziąć pod uwagę, jest koszt pozyskania kapitału. Jest on tym wyższy, im dłuższy jest okres kredytowania. Czas wybudowania nowej elektrowni jądrowej wynosi ok. pięciu lat, dlatego też na rentowność inwestycji związanych z jej budową duży wpływ ma koszt kapitałowy (tj. odsetki), który stanowi co najmniej 60% jej LCOE. Jednak należy pamiętać, że po wybudowaniu elektrowni

jądrowej koszt produkcji energii elektrycznej jest niski i stabilny. Zmniejszenie poczucia ryzyka wśród inwestorów – a w konsekwencji również premii za ryzyko – może zmniejszyć całkowity koszt finansowania. Duże znaczenie może mieć tutaj zaangażowanie rządu, zarówno w postaci bezpośredniej (finansowanie z budżetu państwa – obiekt użyteczności publicznej jest własnością publiczną lub rząd ma większościowy pakiet udziałów), jak i pośredniej (pomoc finansowa w formie gwarancji – zapewnienie pożyczkodawcy pełnej spłaty wraz z odsetkami lub jego ochrona przed pewną częścią potencjalnych strat). Istotne jest również stabilne i przyjazne środowisko dla tego typu inwestycji (The World Nuclear Association).

Zapewnienie konkurencyjnego finansowania elektrowni jądrowych (a także innych technologii niskoemisyjnych) na zderegulowanych rynkach jest często uzależnione od zastosowania mechanizmów, które w efekcie zapewniają długoterminową stabilizację cen energii elektrycznej, tj. umowy na zakup energii (*power purchase agreements*, PPAs; taryfy gwarantowane, *feed-in tariffs*; FIT i kontrakty różnicowe, *contracts for difference*, CfDs; The World Nuclear Association).

Należy przy tym zaznaczyć, że konkurencyjność energii jądrowej ulegnie poprawie, gdy weźmiemy pod uwagę społeczne, zdrowotne i środowiskowe koszty paliw kopalnych.

Podstawowym miernikiem rentowności dla każdej elektrowni jest uśredniony koszt energii elektrycznej (LCOE) – pełny koszt budowy i eksploatacji elektrowni w całym okresie jej eksploatacji podzielony przez całkowitą produkcję energii elektrycznej wysłanej z elektrowni w tym okresie (koszt w przeliczeniu na megawatogodzinę). Zharmonizowany koszt energii (LCOE) to cena, jaką energia elektryczna musi osiągnąć, jeśli projekt ma się opłacić (po uwzględnieniu wszystkich kosztów w całym okresie użytkowania, inflacji i kosztu alternatywnego kapitału poprzez zastosowanie stopy dyskontowej).

Szacowanie kosztu energetyki jądrowej wymaga uwzględnienia następujących wydatków:

- koszty inwestycji, które obejmują: koszty projektowania, koszty licencji, koszty przygotowania terenu i budowy (w tym m.in. koszty pracy, koszty materiałów i wyspecjalizowanego sprzętu – system zaopatrzenia w parę jądrową, sprzęt elektryczny i prądotwórczy, wyposażenie mechaniczne, oprzyrządowanie i system sterowania, w tym oprogramowania, materiałów konstrukcyjnych, usług zarządzania projektami), koszty transportu, koszty testowania, koszty uruchomienia i finansowania elektrowni jądrowej (ważny element to odsetki i czas inwestycji, ponieważ koszt energii jądrowej rośnie wraz ze wzrostem stopy dyskontowej),
- koszty operacyjne, na które składają się koszty paliwa (m.in. przetworzone i wzbogacone koszty uranu), eksploatacji i utrzymania, a także rezerwa na sfinansowanie kosztów likwidacji zakładu oraz oczyszczania i unieszkodliwiania zużytego paliwa i odpadów,
- koszty zewnętrzne związane z eksploatacją obiektu, które w przypadku energetyki jądrowej zwykle przyjmują wartość zerową. Mogą one jednak uwzględniać koszty postępowania w sytuacji poważnego wypadku – przekraczają wówczas limit ubezpieczenia i w praktyce muszą zostać pokryte przez rząd. Przepisy regulujące energetykę jądrową zazwyczaj wymagają, aby operator elektrowni przewidywał usuwanie wszelkich odpadów, w związku z czym koszty te są internalizowane jako część kosztów operacyjnych (nie mają charakteru zewnętrznego),

- inne koszty, takie jak koszty systemowe (tj. dostarczenie energii do źródła poboru) i podatki związane z energią jądrową.

WYZWANIE II – POLITYKA WOBEC ENERGETYKI JĄDROWEJ

Rynki energetyczne charakteryzują się niskim poziomem konkurencyjności, dominacją dużych przedsiębiorstw i sporym udziałem państwa. Bardzo często wykorzystywane w tym sektorze centralne planowanie zawodzi nie za sprawą błędnych decyzji, ale z powodu niemożności stosowania tego typu planowania dla tak skomplikowanych procesów (Tulek, 2010: 30–35). Główne ryzyko ekonomiczne dla istniejących elektrowni polega na wroście konkurencyjności subsydiowanej energetyki odnawialnej, która jest wzmacniana czynnikami politycznymi (wyższe opodatkowanie energetyki jądrowej – podatek atomowy; The World Nuclear Association).

Relacja między energetyką jądrową a nowoczesnymi źródłami odnawialnymi i poprawą efektywności energetycznej jest teoretycznie komplementarna. Praktyka wygląda jednak zupełnie inaczej. Określone działania, takie jak spowalnianie i blokowanie najtańszych i najszybszych rozwiązań, czyli ograniczanie się do mniejszych rynków i stawianie ich sztucznie w niekorzystnej sytuacji przez graczy politycznych, na pewno nie służą racjonalizacji rynku energetycznego i celom klimatycznym.

Warto w tym miejscu postawić kilka pytań. Dlaczego jedno konkretne rozwiązanie niskoemisyjne miałyby otrzymywać uprzywilejowane miejsce na rynku za sprawą nowych dotacji, niedostępnych dla innych rozwiązań niskoemisyjnych? Dlaczego rządy niektórych państw subsydują OZE i dodatkowo opodatkowują energetykę jądrową? Czy jest to przejaw nieuczciwej konkurencji? A jeśli tak, to czy nie wpływa to negatywnie na rynek, a w efekcie także na poziom dobrobytu społecznego?

W kilku krajach UE nakładane są podatki związane z energią jądrową. W 2014 r. Belgia zebrała ok. 479 mln euro z 0,005 euro/kWh podatku. W lipcu 2015 r. Electrabel zgodził się zapłacić 130 mln euro podatku za rok 2016, wraz z opłatą za przedłużenie okresu eksploatacji reaktora Doel 1 i 2 (20 mln euro rocznie). Od 2017 r. obowiązuje formuła obliczania składek podatkowych przy minimalnej ich wysokości 150 mln euro rocznie (Popczyk, 2015). W 2000 r. Szwecja wprowadziła stopniowo wzrastający podatek jądrowy od zainstalowanej mocy – w 2015 r. przyniósł on ok. 435 mln euro przychodu. Jednak w czerwcu 2016 r. szwedzki rząd, w obliczu rosnących obaw o dalszą rentowność istniejących elektrowni, zgodził się znieść podatek z początkiem 2017 r. W Niemczech nałożono podatek na paliwo jądrowe, który wymagał od przedsiębiorstw płacenia za gram zużytego przez sześć lat paliwa. W wyniku orzeczeń sądowych w czerwcu 2017 r. Federalny Trybunał Konstytucyjny orzekł ostatecznie, że podatek od paliwa jądrowego był „formalnie niekonstytucyjny”, co oznaczało, że trzy główne przedsiębiorstwa użyteczności publicznej powinny otrzymać zwrot z podatku w wysokości ok. 6,3 mld euro (zapłaconych w latach 2011–2016; 2,8 mld euro od E.On, 1,7 mld euro od RWE i 1,44 mld euro od EnBW) plus odsetki (Popczyk 2015).

Polityka UE w zakresie energetyki jądrowej nie jest jednoznaczna. Po pierwsze jest to związane z rolą tego rodzaju energii w działaniach na rzecz osiągnięcia neutralności klimatycznej. W tym zakresie Unia stoi przed koniecznością jednoznacznego określenia, czy energetyka jądrowa będzie uznana za przyjazną dla środowiska naturalnego (dw.com, 2021). Państwa członkowskie są wyraźnie podzielone. Szefowa Komisji Europejskiej, Ursula von der Leyen, uważa, że Unia potrzebuje stabilnych źródeł energii

– wymienia wśród nich właśnie energetykę jądrową (Dalton, Kraev, 2021). Po drugie w dokumentach dotyczących energii *in generalis* przeważa kwestia bezpieczeństwa jądrowego (KE, 2014). W Europejskim Zielonym Ładzie zagadnienie to jest pomijane (KE, 2019), choć warto zaznaczyć, że jeszcze w 2010 r. w programie „Energia 2020. Strategia na rzecz konkurencyjnego, zrównoważonego i bezpiecznego sektora energetycznego” zwracano uwagę na konieczność realizacji działań rozwojowych w zakresie technologii jądrowej (KE, 2010).

WYZWANIE III – DOBÓR MODELU BIZNESOWEGO

Model biznesowy elektrowni jądrowych jest jednym z najważniejszych elementów inwestycji jądrowej, ponieważ nie tylko determinuje jej rentowność, lecz także określa, czy i w jakim stopniu niskie koszty produkcji energii w elektrowni jądrowej przełożą się na rachunki odbiorców. Źle dobrany model może spowodować, że niskie nakłady inwestycyjne i niskie koszty kapitału co prawda umożliwią uzyskanie niskich kosztów produkcji energii w porównaniu z innymi źródłami, ale nie wpłyną na obniżenie rachunków za prąd, a wręcz mogą doprowadzić do ich podwyższenia (Gajda, Gałosz, Kuczyńska, Przybyszewska, Rajewski, Sawicki, 2020).

Na świecie stosuje się różne modele realizacji inwestycji jądrowych, w zależności od polityki danego kraju, kształtu lokalnego rynku energii i rodzaju inwestora (Uchwała, 2020), tj.:

- umowy długoterminowe, np. w USA, Zjednoczonych Emiratach Arabskich, Turcji,
- kontakty różnicowe, np. w Wielkiej Brytanii, planowany w Rumunii i rozważany w Czechach,
- model taryfowy, np. w Wielkiej Brytanii,
- modele spółdzielcze, np. Mankala w Finlandii i Exeltium we Francji.

Modelem mogącym znaleźć zastosowanie w finansowaniu elektrowni jądrowej jest spółdzielcza forma finansowania, w której ryzyko dużych inwestycji energetycznych jest rozłożone na grupę firm. Firmy te, tworząc spółkę z ograniczoną odpowiedzialnością, wspólnie ponoszą koszty budowy i eksploatacji elektrowni poprzez finansowanie kapitałowe, a w zamian za dywidendy mają prawo do zakupu energii od firmy po cenie kosztu, proporcjonalnie do swojego udziału w kapitale. Zakupiona energia może zostać sprzedana lub wykorzystana przez nabywcę. Opisany sposób finansowania zależy od istnienia wystarczającej liczby energochłonnych gałęzi przemysłu, które chcą i mogą uczestniczyć w projekcie (model finansowania zastosowany w Finlandii – Mankala Sp. z o.o., we Francji – konsorcjum Exeltium; The World Nuclear Association).

Model biznesowy przewidziany przez rząd dla polskich elektrowni jądrowych zakłada (Dz.U., 2020 r. poz. 946):

- wybranie jednej wspólnej technologii reaktorowej dla wszystkich elektrowni jądrowych ze względu na niższe koszty budowy i eksploatacji dzięki efektom skali
 - w tym powtarzalność projektów (elektrownie jądrowe tego samego typu, ten sam generalny wykonawca, duży kontrakt z niską ceną jednostkową dla konkretnych projektów, efektywniejsze wykorzystanie doświadczeń, tzw. lesson learned), niższe ceny urządzeń, wyposażenia i części zamiennych, duże wieloletnie zamówienia, rabaty cenowe, niższe koszty szkolenia załóg i pracowników firm remontowych, wzrastający udział polskich przedsiębiorstw wraz z budową kolejnych bloków, stała i rosnąca współpraca z generalnym wykonawcą, większy

zakres transferu technologii do polskiej gospodarki i szybsza budowa elektrowni (zarówno dzięki efektowi uczenia się firm, jak i skupienia kompetencji oraz zaangażowania instytucji dozoru jądrowego i technicznego),

- wybranie jednego wspólninvestora strategicznego, powiązanego z dostawcą technologii, co ma ułatwić zapewnienie tańszego finansowania budowy elektrowni jądrowych i pozwoli wnieść zagranicznemu inwestorowi swoje doświadczenie, a także przełożyć się na wiarygodność projektu, co z kolei zwiększy szanse na pozyskanie tańszych kredytów eksportowych i innych źródeł kapitału,
- nabycie przez Skarb Państwa 100% udziałów w spółce celowej realizującej inwestycje w energetykę jądrową w Polsce (PGE EJ 1 sp. z o.o.) – ma to umożliwić bezpośrednią kontrolę nad procesem decyzyjnym oraz ograniczyć ryzyko wpływające na poziom kosztów finansowych w projekcie jądrowym, czego konsekwencją ma być niższy koszt kapitału inwestycyjnego, a docelowo niższa cena energii elektrycznej dla społeczeństwa,
- po wyborze jednego wspólninvestora strategicznego powiązanego z dostawcą technologii utrzymanie przez Skarb Państwa przynajmniej 51% udziałów w spółce.

W najnowszej wersji (2020 r.) Polskiego Planu Energetyki Jądrowej nie określono, jaki będzie pełny model biznesowy planowanych elektrowni jądrowych, choć wskazano jego pewne elementy, m.in. obecność wspólninvestora zagranicznego, który miałby kupić nie więcej niż 49% udziałów w spółce celowej. Nie sprecyzowano także charakteru inwestora – czy miałaby być to spółka energetyczna, fundusz inwestycyjny czy inny podmiot. Niezależnie od typu inwestora każdy będzie prawdopodobnie wymagał zabezpieczeń i gwarancji ze strony państwa, w szczególności w zakresie gwarancji sprzedaży energii w odniesieniu zarówno do jej ilości, jak i ceny. Pozostałe elementy docelowego modelu będą musiały to uwzględnić (Gajda, Gałosz, Kuczyńska, Przybyszewska, Rajewski, Sawicki, 2020: 15–59).

Model biznesowy dla rozwoju energetyki jądrowej w Polsce powinien zawierać elementy takie jak (Gajda, Gałosz, Kuczyńska, Przybyszewska, Rajewski, Sawicki, 2020: 15–59):

- pewność (stabilność) inwestycyjna i atrakcyjność dla inwestorów,
- gwarancja odbioru wyprodukowanej energii,
- gwarancja stałej ceny sprzedaży wyprodukowanej energii,
- niskie koszty energii dla odbiorców i pewność dostaw (realne obniżenie rachunków za prąd w stosunku do ich obecnych kosztów),
- zgodność z prawodawstwem i strategiami unijnymi oraz możliwie duża odporność na ewentualne działania obstrukcyjne ze strony KE,
- łatwość i szybkość wdrożenia,
- kompleksowość i powtarzalność – możliwość zastosowania do całego PPEJ, a nie tylko pierwszej elektrowni jądrowej czy jednego bloku (bardzo istotne z punktu widzenia negocjacji z dostawcami technologii),
- minimalizacja obciążenia budżetu państwa i finansów publicznych (istotne m.in. z uwagi na recesję wywołaną pandemią COVID-19),
- elastyczność,
- akceptacja społeczna.

Odpowiedni model biznesowy dla polskich elektrowni jądrowych będzie jedną z najważniejszych decyzji gospodarczych rządu lat dwudziestych obecnego wieku,

wpłyne on bowiem na większość sektorów polskiej gospodarki i zdeterminuje ich rozwój na najbliższe 100 lat. Może on umożliwić realizację największego programu przemysłowego w Polsce po 1990 r., a także uchronić kraj przed rozpoczynającym się kryzysem gospodarczo-społecznym i likwidacją dużej liczby miejsc pracy. Tym samym umożliwi szybki rozwój i sprostanie konkurencji przemysłowej (Gajda, Gałosz, Kuczyńska, Przybyszewska, Rajewski, Sawicki, 2020: 15–59).

WYZWANIE IV – AKCEPTACJA SPOŁECZNA

Wbrew opinii znacznej części ekologów energetyka jądrowa wpisuje się w cele polityki energetyczno-klimatycznej i może odegrać znaczącą rolę w łagodzeniu zmian klimatycznych i wywiązywaniu się z międzynarodowych zobowiązań dotyczących ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (Młynarski, 2016: 17–29).

Dotychczasowe awarie elektrowni jądrowych, zwłaszcza ta w Czarnobylu, podkreślają znaczenie wymiany informacji, współpracy międzynarodowej w analizach bezpieczeństwa i doskonaleniu elektrowni jądrowych (Strupczewski, 2005: 719–725). Elektrownie jądrowe są źródłem potencjalnych zagrożeń radiacyjnych, wynikających z eksploatacji reaktorów jądrowych w celu uzyskiwania energii, w których wykorzystywane jest paliwo jądrowe, a także z konieczności transportu i przechowywania paliwa jądrowego oraz z konieczności utylizacji i zabezpieczenia odpadów. Zagrożenia te dotyczą zarówno personelu elektrowni jądrowych, jak i innych osób mających styczność z paliwem jądrowym i odpadami, w tym także ludności, szczególnie mieszkającej w pobliżu elektrowni jądrowych, dla której awarie reaktorów jądrowych mogą stanowić śmiertelne zagrożenie. Zatem bezpieczeństwo radiacyjne ma charakter powszechny i nie ogranicza się do personelu elektrowni jądrowych, przez co zagrożenia radiacyjne są przedmiotem zainteresowania specjalistów zarządzania kryzysowego (Zaorski, 2017: 265–284).

Bezpieczeństwo współczesnych elektrowni jądrowych opiera się na bardzo solidnych podstawach – obejmuje zaawansowane systemy bezpieczeństwa, które eliminują negatywne skutki awarii będących wynikiem błędu ludzkiego, uszkodzeń urządzeń czy czynników zewnętrznych (np. wstrząsów sejsmicznych). Kilkaście tysięcy naukowców w wielu ośrodkach na całym świecie nieustannie prowadzi analizy bezpieczeństwa istniejących i planowanych elektrowni jądrowych, starając się znaleźć ich wady, proponując ulepszenia i dostarczając rozwiązań dla każdego, nawet najpoważniejszego scenariusza awarii (Strupczewski, 2005: 719–724). Reaktory nowych generacji cechują się bezawaryjnością, brakiem ryzyka napromieniowania środowiska w przypadku zdarzeń losowych, długą żywotnością i standaryzacją budowy bloków energetycznych, co znacząco wpływa na koszt i szybkość realizacji inwestycji (Tulek, 2010: 17–18, 30–35). Badania Instytutu im. Scherrera wykazały, że zagrożenie skutków pracy elektrowni jądrowych w krajach OECD jest niższe niż dla jakiegokolwiek innego źródła energii. Badania przeprowadzone w USA pokazały natomiast, że praca elektrowni jądrowych nie powoduje wzrostu zachorowań na raka (Strupczewski, 2005: 719–724).

Polska opinia publiczna pozostaje wrażliwa na argumenty związane z ekonomią, bezpieczeństwem i niezależnością energetyczną. Nie bez znaczenia jest także argument prestiżowy, związany z potencjalnym wdrożeniem energetyki jądrowej. Wysiłek włożony w edukowanie i informowanie społeczeństwa na temat korzyści płynących

z energetyki jądrowej zapewni decyzji o budowie elektrowni jądrowej w Polsce stabilne i wysokie poparcie społeczne (Gajda, Gałosz, Kuczyńska, Przybyszewska, Rajewski, Sawicki, 2020: 15–59).

WYZWANIE V – LOKALIZACJA ELEKTROWNI JĄDROWYCH

Lokalizacja elektrowni jądrowych jest sprawą bardzo istotną, przede wszystkim z uwagi na kwestie bezpieczeństwa. Dlatego też Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) prezentuje zalecenia dotyczące lokalizacji elektrowni, które są zawarte w zbiorze standardów bezpieczeństwa (obszar tematyczny, ocena lokalizacji: *IAEA Safety Standards – Site evaluation*).

Zestaw dokumentów MAEA dotyczący lokalizacji obejmuje (IAEA, 2019):

- dokument podstawowy – wymagania bezpieczeństwa (*safety requirements*). Ocena lokalizacji dla instalacji jądrowych zaleca rozważenie następujących aspektów:
 - wpływ zdarzeń zewnętrznych – naturalnych lub spowodowanych przez człowieka – mogących wystąpić w regionie lokalizacji,
 - charakterystyka lokalizacji i jej środowiska, które mogą wpływać na przenoszenie materiałów radioaktywnych,
 - rozkład zaludnienia i inne charakterystyki strefy zewnętrznej, mogące mieć wpływ na działania ochronne (w razie awarii) i ocenę ryzyka dla ludności;
- zbiór wytycznych bezpieczeństwa (*safety guides*), tj.:
 - zdarzenia zewnętrzne wywołane działalnością ludzką w ocenie lokalizacji elektrowni jądrowych,
 - rozpraszanie materiałów radioaktywnych w powietrzu i wodzie oraz uwzględnianie rozkładu zaludnienia w ocenie lokalizacji elektrowni jądrowych,
 - ocena zagrożeń sejsmicznych elektrowni jądrowych,
 - zdarzenia meteorologiczne w ocenie lokalizacji elektrowni jądrowych,
 - zagrożenia powodziowe elektrowni jądrowych na lokalizacjach nadmorskich i nadrzecznych,
 - aspekty geotechniczne oceny lokalizacji i posadowienia elektrowni jądrowych.

Dokumenty MAEA określają metodologię badań i oceny lokalizacji elektrowni jądrowych jedynie w zakresie bezpieczeństwa (czyli potencjalnych zagrożeń). Nie obejmują one wszystkich aspektów optymalnego wyboru i oceny przydatności lokalizacji, w szczególności takich jak: dostępność i wystarczalność zasobów wód dla potrzeb chłodzenia oraz bytowych (warunki hydrologiczne – zasoby wód powierzchniowych, warunki hydrogeologiczne – zasoby wód podziemnych), wpływ na akweny, wystarczalność terenu, umiejscowienie w krajowym systemie elektroenergetycznym (KSE) oraz warunki niezawodnego wyprowadzenia mocy i rezerwowego zasilania potrzeb własnych, infrastruktura transportowa i transport ładunków ponadnormatywnych, wpływ na region (aspekty gospodarcze i społeczne), ograniczenia związane z ochroną przyrody. Wybór optymalnego miejsca budowy elektrowni jądrowej wymaga zatem analizy wielu czynników (Dz.U. z 2019 r. poz. 1792; Dz.U. z 2012 r., poz. 1025), tj.:

- czynników środowiskowych – w tym rozpoznania budowy geologicznej podłoża, gęstości zaludnienia i zagospodarowania terenu, warunków meteorologicznych i hydrologicznych, m.in. wystarczalności zasobów wodnych w celach chłodzenia, ograniczenia budowy i eksploatacji elektrowni ze względu na warunki otoczenia, m.in. wymagań prawnych z zakresu ochrony środowiska,

- czynników technologicznych – w tym możliwości wyprowadzenia mocy z elektrowni, czyli integracji z systemem elektroenergetycznym, dostępu do szlaków komunikacyjnych (uwzględniono transport drogowy, kolejowy, morski i lotniczy),
- czynników ekonomicznych – w tym deficytu mocy wytwórczych w danym regionie, możliwości wypełnienia luk po zamykanych kompleksach górniczo-energetycznych,
- czynników społecznych – lokalnej akceptacji dla budowy elektrowni jądrowej.

Obowiązujące w Polsce wymagania dotyczące lokalizacji obiektów jądrowych są zawarte w następujących dokumentach:

1. Ustawa z dnia 29.11.2000 r. Prawo atomowe, z późn. zm. (tekst jednolity: Dz.U. 2007, nr 42, poz. 276).
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30.12.2002 r. w sprawie szczególnych zasad tworzenia obszaru ograniczonego użytkowania wokół obiektu jądrowego ze wskazaniem ograniczeń w jego użytkowaniu (Dz.U. 2002, nr 241, poz. 2094) – jest to jeden z aktów wykonawczych prawa atomowego.

Przepisy art. 36 prawa atomowego (Dz.U. 2007, nr 42) wymagają pozytywnego zaopiniowania – przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki – decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu przeznaczanego pod budowę obiektu jądrowego lub uzgodnienia – także z Prezesem Agencji – projektu planu zagospodarowania przestrzennego, na którym umieszczony został obiekt jądrowy.

Do tej pory proces wyboru lokalizacji elektrowni jądrowej obejmował następujące kroki (Dz.U., 2020 r., poz. 946):

- 2009 r. – wskazanie 27 potencjalnych lokalizacji elektrowni jądrowych przez ministra właściwego ds. energii w porozumieniu z samorządami,
- 2019 r. – klasyfikacja 27 potencjalnych lokalizacji elektrowni jądrowych,
- lata 2010–2011 – konsultacje społeczne dla projektu „Programu Polskiej Energetyki Jądrowej” wraz z opisem potencjalnej lokalizacji,
- lata 2011–2013 – konsultacje transgraniczne projektu „Programu Polskiej Energetyki Jądrowej”,
- od 2016 r. – monitoring sejsmiczny,
- od 2017 r. – badania lokalizacyjne i środowiskowe.

Wśród najbardziej korzystnych i prawdopodobnych lokalizacji wymienia się tereny nadmorskie, Lubiatowo, Kopalino oraz Żarnowiec, dla których prace w zakresie badań środowiskowych i lokalizacyjnych są bardzo zaawansowane. Za wymienionymi lokalizacjami przemawiają m.in.: znaczne zapotrzebowanie na energię elektryczną i brak dużych, dostępnych źródeł wytwórczych w tym rejonie, dostęp do wody chłodzącej, możliwość transportu ładunków wielkogabarytowych drogą morską (Dz.U., 2020 r., poz. 946). Z uwagi na rozwinięte sieci przesyłową i transportową oraz inną infrastrukturę, a także ze względu na położenie w centrum Polski i fakt, że budowa elektrowni jądrowej na tych terenach, po wygaszeniu eksploatowanych elektrowni, pozwoli na utrzymanie miejsc pracy jako drugą grupę wskazuje się lokalizacje wykorzystywane obecnie przez elektrownie systemowe – m.in. Bełchatów oraz Pątnów (Dz.U., 2020 r., poz. 946). Pozostałe potencjalne lokalizacje to (w kolejności alfabetycznej): Chełmno, Choczewo, Chotcza, Dębogóra, Gościeradów, Karolewo, Kopań, Kozienice, Krzymów, Krzywiec, Lisowo, Małkinia, Nieszawa, Nowe Miasto, Pniewo, Pniewo-Krajnik, Połaniec, Stepnica1, Stepnica2, Tczew, Warta-Klempicz, Wiechowo, Wyszaków (Dz.U., 2020 r. poz. 946).

Wśród czynników determinujących lokalizację elektrowni jądrowej należy wskazać przede wszystkim:

- dostępność wystarczających zasobów wody do chłodzenia,
- właściwe umiejscowienie i odpowiednio silne powiązanie elektrowni z krajowym systemem elektroenergetycznym (KSE), gwarantujące niezawodne wyprowadzenie mocy oraz zasilanie rezerwowe jej potrzeb własnych.

Do chłodzenia jądrowych bloków energetycznych, których moce elektryczne przekraczają 1000 MW, potrzebne są duże zasoby wody, np. natężenie przepływu wody w obiegach chłodzenia bloków z reaktorami, tj. EPR, wynosi ok. 69 m³/s, a straty bezwrotne wody – z zamkniętego układu chłodzenia z mokrą chłodnią kominową o ciągu naturalnym – wynoszą ok. 1 m³/s (zmieniają się one zależnie od mocy oraz warunków atmosferycznych; Kang-Heon, Min-Gil, Jeong Ik, Phill-Seung, 2015: 11470–11492). Wystarczające zasoby wodne dostępne są jedynie w środkowym lub dolnym biegu największych polskich rzek, w północnych i wschodnich regionach kraju: Wisły, Odry, Warty, Bugu, Narwi i Wieprza, oraz dużych zbiornikach wodnych (Morze Bałtyckie, duże jeziora lub sztuczne zbiorniki wodne – istniejące lub planowane). W praktyce może się jednak okazać, że ograniczenia wynikające z aktualnych przepisów ochrony środowiska (Dz.U. 2021, nr 624) uniemożliwią zastosowanie otwartych obiegów chłodzenia, nie tylko z wykorzystaniem jezior, lecz także w dolnym biegu Wisły lub Odry.

Rozwój energetyki jądrowej wymaga kompleksowych działań, ogromnych nakładów pieniędzy i długofalowej polityki energetycznej. Dlatego też warto zwrócić uwagę na rekomendacje ekspertów w tym zakresie (Karim, Ershadul Karim, Muhammad-Sukki, Hawa Abu-Bakar, Aini Bani, Bakar Munir, Imran Kabir, Alfredo Ardila-Rey, Abubakar Mas'ud, 2018), którzy zalecają:

1. Stworzenie kompleksowego systemu prawnego i regulacyjnego;
2. Wzmacnianie rodzimej technologii rozwoju jądrowego z jednoczesną lokalizacją zagranicznych technologii.
3. Obniżenie kosztów produkcji energii jądrowej.
4. Przyspieszenie procedur efektywnego rozwoju technologii jądrowej.
5. Przyspieszenie procedur przechodzenia na bardziej efektywny reaktor i jądrowy cykl paliwowy.
6. Prowadzenie skutecznych działań profilaktycznych w celu zwiększenia świadomości i wzbudzania wśród ludzi powszechnej akceptacji dla elektrowni jądrowych. Budowa elektrowni atomowych w Polsce powinna być poprzedzona szeroką akcją edukacyjną na temat zalet i wad tego typu elektrowni oraz debatą publiczną. Społeczeństwo powinno znać motywy i okoliczności podejmowanych decyzji.
7. Brak wpływu polityki na polski rynek jądrowy – wyraźne oddzielenie interesów politycznych od interesów energetycznych (powołanie bezpartyjnego zespołu ekspertów).

WNIOSKI

Plany budowy elektrowni jądrowej w Polsce od lat budzą spore kontrowersje. Część tych obaw znajduje uzasadnienie m.in. w wysokich kosztach inwestycji oraz braku społecznego poparcia dla tego rodzaju przedsięwzięcia. Z tych względów sporym wyzwaniem są zarówno sfinansowanie budowy elektrowni, jak i stworzenie

warunków dla jej rentowności. Nie mniej istotne są kwestie dotyczące lokalizacji obiektu, a także zapewnienia odpowiedniego modelu biznesowego. Rozwiązaniem dla wymienionych wyzwań może być wyłącznie kompleksowe, systemowe podejście, które zostanie zbudowane na bazie skutecznej, jasnej i precyzyjnej polityki energetycznej państwa.

Obecnie polski rząd stoi przed koniecznością podjęcia ostatecznej decyzji dotyczącej powstania elektrowni jądrowej. Jest to tym ważniejsze, że zmiany dotychczasowego kursu są konieczne m.in. z uwagi na politykę klimatyczno-energetyczną UE czy rosnący popyt na energię, a także rosnące ceny energii elektrycznej. Jak udowodniłyśmy w niniejszym tekście, należy wziąć również pod uwagę krajowe uwarunkowania związane z zanieczyszczeniem powietrza na skutek emisji pyłów PM10 i PM2,5, powstających w efekcie spalania węgla kamiennego, szczególnie w gospodarstwach domowych. Liczne problemy sektora energetycznego przekładają się na wzrastające ceny energii, a przez to również na wzrost cen w innych sektorach, co z kolei jest przyczyną coraz większego niepokoju społecznego. Wprowadzane dotychczas rozwiązania mają charakter krótkoterminowy. Budowa elektrowni jądrowej w Polsce może stanowić bardzo ważny element budowy bezpieczeństwa energetycznego kraju. Jednak patrząc na tempo prac, jak też na ciągłe zmiany zachodzące w polskiej polityce energetycznej, można stwierdzić, że stanowi ona poważną barierę rozwoju branży energetycznej, w tym także energetyki jądrowej.

Literatura

References

- Czyżak, P., Hetmański, M. (2020), *Analiza dotycząca granicznego roku odejścia od węgla w energetyce w Europie i Polsce*, Warszawa: Instrat Policy Paper 01/2020.
- Bank Danych Lokalnych GUS (2022, 7 lutego). Pozyskano z: <http://stat.gov.pl/>
- Celiński, Z. (1991). *Energetyka jądrowa*. Warszawa: PWN.
- Dalton, D., Kraev, K. (2021). *Europe / Commission President Von Der Leyen Says EU Needs Nuclear Power*. Pozyskano z: <https://www.nucnet.org/news/commission-president-von-der-leyen-says-eu-needs-nuclear-power-10-2-2021>
- Departament Energetyki Jądrowej Ministerstwa Klimatu (2021, 29 września), Pozyskano z: <https://www.naturalearthdata.com/>
- Dunal, P., Płaziak, M. (2014). Wpływ kryzysu gospodarczego na politykę klimatyczną Unii Europejskiej i jej konsekwencje dla polskiego przemysłu energetycznego oraz zagospodarowania przestrzennego Polski. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 27, 236–255.
- EU states split on classifying nuclear energy as 'green'. Pozyskano z: <https://www.dw.com/en/eu-states-split-on-classifying-nuclear-energy-as-green/a-59792406>
- Frączek, P. (2014). Energetyka jądrowa a modernizacja sektora energii w Polsce. *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy*, 37(1), 344–354.
- Gajda, P., Gałosz, W., Kuczyńska, U., Przybyszewska, A., Rajewski, A., Sawicki, Ł. (2020). *Energetyka jądrowa dla Polski*. Warszawa: Instytut Sobieskiego.
- GUS (2016). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2005–2015. Informacje i opracowania statystyczne*.
- IAEA (2019). *Safety Standards for protecting people and the environment, Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Requirements International atomic energy agency* viennaisbn. No SSR-1, 7–9.
- Kang-Heon, L., Min-Gil, K., Jeong, Ik L., Phill-Seung, L. (2015). Recent Advances in Ocean Nuclear Power Plants, *Energies*, 8, 11470–11492.

- Karim, R., Ershadul Karim, M., Muhammad-Sukki, F., Hawa Abu-Bakar, S., Aini Bani, N., Bakar Munir, A., Imran Kabir, A., Alfredo Ardila-Rey, J., Abubakar Mas'ud, A. (2018). Nuclear Energy Development in Bangladesh: A Study of Opportunities and Challenges. *Energies*, 11, 1672: 2–15.
- KE (2014). Europejska strategia bezpieczeństwa energetycznego. Bruksela, dnia 28.5.2014 r., COM (2014) 330 final.
- KE (2019). Europejski Zielony Ład. Bruksela, dnia 11.12.2019 r., COM (2019) 640 final.
- MDI Strategic Solutions (2009). *Energetyka jądrowa – perspektywy rozwoju w Polsce*, Warszawa: Polskie Towarzystwo Nukleoniczne (PTN), 9–27.
- Mileszko, T. (2021). Jak działają reaktory HTGR i czym różnią się od pozostałych rozwiązań? Pozyskano z: <https://www.komputerswiat.pl/artykuly/redakcyjne/rewolucyjne-reaktory-jadrowe-htgr-coraz-blizej-prace-trwaja-tez-w-polsce/q3ke3tr>
- Ministerstwo Energetyki, Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030. Założenia i cele oraz polityki i działania, Projekt KPEiK, wersja 3.1 z 04.01.2019.
- Młynarski, T. (2016). Energetyka jądrowa wobec globalnych problemów bezpieczeństwa energetycznego i zmian klimatu w XXI wieku, *Bezpieczeństwo-teoria i praktyka*, 1, 17–29.
- Popczyk, J. (2015). Elektrownie jądrowe w Polsce i ich alternatywa. Pozyskano z: https://www.cire.pl/pliki/2/ekspertyza_ep_ni_vs_ejjan_popczyk.pdf
- Składzień J., Ziębik A.(2010). Perspektywy rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. *Studia BAS*, 1(21).
- Strupczewski, A. (2005). Bezpieczeństwo energetyki jądrowej. *Energia i Ekologia*, 10.
- The World Nuclear Association (2021, 22 marca). Economics of Nuclear Power. Pozyskano z: <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/financing-nuclear-energy.aspx>
- Terlikowski, P., Paska, J. (2018). Analiza scenariuszowa rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce, *Polityka energetyczna – Energy Policy Journal*, t. 21, 1, 37–50.
- Tulek, T. (2010) *Perspektywy energetyki jądrowej w Polsce – raport Instytutu Globalizacji w ramach projektu „Atom dla Polski”*. Warszawa: Instytut Globalizacji, 17–18, 30–35.
- Uchwała nr 141 Rady Ministrów z dnia 2 października 2020 r. w sprawie aktualizacji programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej”. *Monitor Polski, Dz.U.*, Warszawa, dnia 16 października 2020 r., poz. 946.

Dorota Michalak, adiunkt w Katedrze Ekonomii Rozwoju Uniwersytetu Łódzkiego. Jej zainteresowania naukowe koncentrują się głównie na ekonomicznym wymiarze zmian klimatu, m.in. analizie przyczyn i skutków zmian klimatu dla poszczególnych branż gospodarki wraz ze wskazaniem optymalnych rozwiązań zapobiegawczych i adaptacyjnych. Angażuje się w projekty podejmujące tematykę związane ze zrównoważonym i trwałym rozwojem oraz z poszukiwaniem Zielonego Ładu.

Dorota Michalak, is an assistant professor in the Department of Development Economics at the University of Lodz. Her research interests focus mainly on the economic dimension of climate change, i.e. analysis of the causes and effects of climate change for individual sectors of the economy with an indication of the optimal preventive and adaptive solutions. She is involved in projects related to sustainable development and the search for a Green Deal.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9456-2500>

adres/address:

Uniwersytet Łódzki
Instytut Ekonomii
Katedra Ekonomii Rozwoju
ul. Rewolucji 41/43
90-255 Łódź, Polska
e-mail: dorota.michalak@uni.lodz.pl

Paulina Szyja, dr, adiunkt w Katedrze Ekonomii i Polityki Gospodarczej Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Jej zainteresowania naukowe koncentrują się wokół następujących zagadnień: koncepcja rozwoju zrównoważonego i trwałego, gospodarka niskoemisyjna, zielona gospodarka, bezpieczeństwo środowiska naturalnego. Angażuje się w projekty związane z edukacją na rzecz zmian klimatu.

Paulina Szyja, PhD, is an assistant professor in the Department of Economics and Economic Policy at the Pedagogical University of Krakow. Her research interests focus on the following issues: the concept of sustainable development, low-carbon economy, green economy, environmental security. She engages in climate change education projects.

ORCID: [https:// orcid.org/0000-0002-9672-1341](https://orcid.org/0000-0002-9672-1341)

adres/address:

Uniwersytet Pedagogiczny
Instytut Prawa i Ekonomii
Katedra Ekonomii i Polityki Gospodarczej
ul. Podchorążych 2
30-084 Kraków, Polska
e-mail: paulina.szyja@up.krakow.pl