



Tomasz Młynarski

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

Energetyka jądrowa wobec globalnych problemów bezpieczeństwa energetycznego i zmian klimatu w XXI wieku

Wprowadzenie

Zmiany klimatyczne są problemem globalnym, z poważnymi następstwami ekologicznymi, społecznymi, ekonomicznymi i politycznymi, dlatego przeciwdziałanie tym procesom staje się jednym z największych wyzwań ludzkości w XXI w. Rozwój międzynarodowego reżimu przeciwdziałania zmianom klimatu może być silnym bodźcem dla promocji urządzeń przemysłowych o niskiej emisji dwutlenku węgla. Stwarza to szanse dla energetyki jądrowej, którą charakteryzuje relatywnie niewielkie negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne, znacznie mniej obciążające atmosferę niż tradycyjne paliwa kopalne. Rodzi to pytanie, czy energetyka jądrowa może być uważana za możliwe rozwiązanie w walce z globalnym ociepleniem.

Produkcja energii a ochrona klimatu

Globalne ocieplenie jako efekt industrialnej działalności człowieka i związanej z nią emisji gazów cieplarnianych (*Greenhouse Gas Emission* – GHG) stało się jednym z najpoważniejszych globalnych zagrożeń bezpieczeństwa ekologicznego. Energia zaspokaja podstawowe potrzeby współczesnej cywilizacji, a wydobycie surowców i ich przetworzenie są bardzo inwazyjne dla środowiska naturalnego. Produkcja energii

odpowiada za ok. 80% antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych na świecie, gdzie tylko wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła oraz transport stanowią łącznie dwie trzecie światowej emisji CO₂¹. Zależność między wytwarzaniem energii (bezpieczeństwo energetyczne) a wpływem na środowisko (bezpieczeństwo ekologiczne) jest zatem bezpośrednio skorelowana. Emisję GHG (takich jak dwutlenek i tlenek węgla, dwutlenek siarki, freony) przez człowieka powszechnie uważa się za najbardziej prawdopodobną przyczynę zmian klimatycznych. Międzynarodowy reżim zmian klimatu ustanowiony Ramową Konwencją ONZ w sprawie Zmian Klimatu (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), z 1992 r. ma na celu ustabilizowanie emisji gazów cieplarnianych tak, by ekosystemy mogły się przystosować do negatywnych skutków efektu cieplarnianego.

Spalanie paliw kopalnych (przede wszystkim węgla) na skalę masową jest ogromnym zagrożeniem dla człowieka i środowiska. Elektrownie produkujące energię w oparciu o węgiel są największym źródłem emisji gazów cieplarnianych w procesie produkcji energii. Łagodzenie zmian klimatycznych wymaga współpracy na rzecz przekształcenia sposobów produkcji i wytwarzania energii na całej planecie. Groźba globalnego ocieplenia zmusza kraje do rozważenia szybkich zmian w sposobach produkcji i konsumpcji energii w celu zmniejszenia ich udziału w globalnej emisji gazów szklarniowych.

Zmiany klimatyczne pociągają za sobą transformację gospodarczo-energetyczno-ekologiczną, rozumianą jako głęboka i długofalowa zmiana struktury produkcji energii poprzez stopniowe odchodzenie od spalania paliw kopalnych na rzecz przyjaznych człowiekowi źródeł odnawialnych, czyli produkcji energii przy wykorzystaniu promieni słonecznych, wiatru, biomasy pozyskiwanej w sposób lokalny czy geotermii. Otwiera to także perspektywy dla upowszechniania energetyki jądrowej.

Transformacja energetyczna utożsamiana jest z przejściem od paliw kopalnych do nie- lub niskoemisyjnych źródeł energii. Oznacza to zmianę środków produkcji i wytwórstwa energii i wiąże się z programami oszczędzania energii i poprawy efektywności energetycznej poprzez określone działania, jak na przykład kogeneracja ciepła i energii. Zmniejszenie koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze wymaga fundamentalnej transformacji systemu zaopatrzenia w energię, w tym zastąpienia paliw kopalnych przez alternatywne źródła energii i technologie takie jak: odnawialne, energia atomowa, czy czyste technologie węglowe (CCT).

Elektrownie jądrowe są ważnym niskoemisyjnym źródłem energii elektrycznej. W połowie drugiej dekady XXI w. elektrownie jądrowe działały w 31 krajach świata, wytwarzając około 14% światowej produkcji energii elektrycznej (441 reaktorów). Kolejnych 65 jednostek znajdowało się w różnych stadiach budowy w 15 państwach, w tym niemal dwie trzecie w Chinach, Indiach i Rosji². W krajach OECD znajdowało się 80% reaktorów na świecie, zapewniających jedną czwartą energii elektrycznej produkowanej przez te kraje. Tylko Stany Zjednoczone, Francja, Rosja, Korea Południowa i Chiny wytworzyły ok. dwie trzecie światowej energii elektrycznej wygenerowanej

¹ CO₂ emissions from fuel combustion, OECD/IEA, 2015, s. 10.

² The Database on Nuclear Power Reactors, IAEA Power Reactor Information System, <https://www.iaea.org/PRIS/home.aspx> [dostęp: 5.09.2015]; Nuclear power reactors in the world, IAEA May 2015, s. 46.

z elektrowni atomowych (2015)³. W Unii Europejskiej elektrownie jądrowe dostarczyły więcej niż jedną czwartą (27%) zużywanej energii elektrycznej i ponad połowę (53%) „czystej” energii elektrycznej (2014)⁴.

Rozwój międzynarodowego reżimu przeciwdziałania zmianom klimatu daje silny impuls do spopularyzowania urządzeń przemysłowych o niskiej emisji dwutlenku węgla. Ewolucja zużycia energii postępuje w kierunku źródeł o większej efektywności mocy (takich, które dostarczają więcej energii z jednostki paliwa). Uwarunkowania te powodują, iż energia jądrowa staje się bardzo atrakcyjna jako źródło energii dużej mocy przy jednoczesnym niemal zupełnym braku emisji GHG. Dlatego może stanowić istotny wkład w ograniczanie emisji gazów cieplarnianych oraz w zrównoważony rozwój.

Wiek XXI będzie wiekiem transformacji sektora energetycznego w kierunku niskoemisyjnych źródeł energii. Ekoenergetyka będzie nie tylko alternatywą dla tradycyjnego sektora paliw kopalnych ze względu na brak emisji GHG, ale także perspektywą gospodarczą. Kraje, w których sektor energetyczny w dużym stopniu oparty jest na węglu, będą zmuszone do podjęcia kosztownych inwestycji w nowoczesne technologie ograniczające emisję szkodliwych gazów. W długoletniej perspektywie przejście do gospodarki niskoemisyjnej może okazać się jednak ekonomicznie korzystne nawet w krajach o dużej emisji polutantów, a polityka klimatyczna stać się środkiem do poprawy efektywności energetycznej oraz impulsem do zdywersyfikowania krajowej struktury bilansu energetycznego.

Energetyka jądrowa jako niskoemisyjne źródło energii

W XXI w. sektor energetyczny, a zwłaszcza sektor produkcji energii elektrycznej czekają zasadnicze zmiany. Wśród technologii, które mogłyby przyczynić się do przeciwdziałania zmianom klimatu, jest energia jądrowa, która może znacząco pomóc w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych w procesie produkcji energii. Naturalnie każde wydobycie i produkcja energii oddziałuje negatywnie na środowisko, niemniej jednym z najpoważniejszych zagrożeń jest emisja gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek i tlenek węgla, dwutlenek siarki, freony. Wzrost koncentracji zanieczyszczeń w atmosferze jako efekt spalania paliw oraz procesów technologicznych wielu gałęzi przemysłu i transportu narusza bilans wymiany energii między Ziemią i Słońcem, powodując podnoszenie się temperatury w skali globu, a w konsekwencji topnienie lodowców i wzrost poziomu mórz, redukcję warstwy ozonowej (dziura ozonowa), kwaśne deszcze, smog, susze i inne anomalie⁵.

³ *Nuclear share figures, 2004–2014*, World Nuclear Association, <http://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/nuclear-generation-by-country.aspx> [dostęp: 15.03.2015].

⁴ *Electricity production, consumption and market overview*, Eurostat Statistics Explained, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview [dostęp: 15.03.2015].

⁵ M. Pietraś, *Międzynarodowy reżim zmian klimatu*, Toruń 2011, s. 69–70; T. Młynarski, *Wymiar energetyczny bezpieczeństwa Polski*, [w:] *Polska w systemie bezpieczeństwa międzynarodowego*, red. M. Pietraś, K.A. Wojtaszczyk, Warszawa 2016, s. 118–121.

Większość emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją energii wynika ze spalania paliw kopalnych. Dlatego głównym atutem energetyki jądrowej w porównaniu z elektrowniami konwencjonalnymi jest praktyczny brak emisji dwutlenku węgla oraz SO_2 i NO_x . Energia jądrowa jest źródłem energii wolnym od spalania, przez co ma znaczący wpływ na ograniczenie antropogenicznej emisji GHG⁶. Dlatego energia elektryczna produkowana w elektrowniach jądrowych jest ekologicznie czysta pod względem emisji zanieczyszczeń oraz zużycia surowców naturalnych.

Katalizatorem rozwoju technologii jądrowych jako narzędzia przeciwdziałania zmianom klimatu byłoby zaliczenie energetyki jądrowej do tzw. czystych źródeł energii kwalifikujących się do kredytów w ramach Mechanizmu Czystego Rozwoju (*Clean Development Mechanism*, CDM)⁷. Dostawcy cywilnych technologii jądrowych wspierani przez kraje, z których się wywodzą, lobbują za uznaniem projektów energetyki jądrowej za kwalifikowane w ramach CDM, gdyż to nie tylko pozwalałoby uzyskać dodatkowe jednostki do emisji ułatwiające wywiązanie się ze zobowiązań redukcyjnych, ale także – a może przede wszystkim – napędzało eksport reaktorów, gwarantując określone zyski⁸. Elektrownie jądrowe stałyby się wówczas nie tylko towarem eksportowym, ale także narzędziem do walki z zanieczyszczeniem powietrza w ramach międzynarodowego reżimu przeciwdziałania zmianom klimatu. Dążeniem, by energetyka jądrowa stała się częścią globalnej polityki dywersyfikacji źródeł energii i długoterminowych działań ograniczających emisję gazów cieplarnianych, szczególnie zainteresowane są kraje uprzemysłowione wspierające dostawców cywilnych technologii jądrowych, takie jak Francja, Japonia, Stany Zjednoczone czy Australia. To one – dzięki stworzeniu uwarunkowań sprzyjających eksportowi cywilnych technologii jądrowych – najbardziej skorzystałby z nowych zamówień na elektrownie jądrowe. Główni emitenci CO_2 , tacy jak Chiny czy Indie, wiążą z energetyką jądrową nadzieje na wywiązanie się ze zobowiązań redukcji emisji. Jednak włączenie energetyki jądrowej do CDM byłoby formą subsydiowania przemysłu jądrowego i w ocenie przeciwników mogłoby spowodować marginalizację technologii odnawialnych źródeł energii. Dotychczas jednak energetyka jądrowa została wykluczona z mechanizmów czystego rozwoju, zaś w ocenie ekologów jedynym sposobem dla wspierania czystego rozwoju jest ograniczenie projektów CDM wyłącznie do odnawialnych źródeł energii⁹.

⁶ W przypadku energii elektrycznej wytwarzanej z jądrowego cyklu paliwowego, tak jak w przypadku OZE (np. w czasie pracy paneli fotowoltaicznych czy wiatraków), praktycznie nie dochodzi do emisji gazów cieplarnianych.

⁷ CDM, ustanowiony w 1997 r. podczas trzeciej konferencji stron COP (*Conference of the Parties*), daje państwom zobowiązanym do ograniczenia emisji GHG możliwość uzyskania dodatkowych uprawnień do emisji (tzw. jednostek poświadczonych redukcji emisji – *Certified Emission Reduction*, CER), generowanych w zamian za finansowanie przez kraje wymienione w Załączniku I do Konwencji Klimatycznej projektów łagodzących emisje w krajach rozwijających się.

⁸ Dostawcy technologii jądrowych podejmują starania, by energetyka jądrowa stała się częścią globalnej polityki dywersyfikacji źródeł energii i długoterminowych działań ograniczających emisję gazów cieplarnianych.

⁹ *Analysis of possible means to reach emission reduction targets and of relevant methodological issues*, United Nations, UNFCCC Framework Convention on Climate Change, FCCC/TP/2008/2, 6 August 2008, s. 7, <http://unfccc.int/resource/docs/2008/tp/02.pdf> [dostęp: 15.03.2015]. Zakwalifikowanie energetyki jądrowej do CDM mogłoby także spowodować, iż kraje uprzemysłowione zgromadziłyby zbyt dużą liczbę kredytów CER, tak że mogłyby zwiększyć swoje własne emisje gazów cieplarnianych.

Zobowiązania w zakresie przeciwdziałania zmianom klimatycznym wpłynęły na reorientację założeń polityki energetycznej UE dotyczących sposobów wytwarzania energii. W Unii aspiracje do redukcji emisji gazów cieplarnianych zostały silnie powiązane z ograniczeniem zastosowania paliw kopalnych, rozwojem odnawialnych źródeł energii i zwiększeniem efektywności energetycznej¹⁰. Taki kierunek dywersyfikacji struktury paliw, oparty na źródłach niskoemisyjnych, wspierany był przez część państw członkowskich (m.in. Francję i Niemcy), które posiadały stosunkowo duży udział OZE lub energetyki jądrowej w bilansie energetycznym kraju. Z czasem problem wyboru źródeł energii jako elementu zwiększania bezpieczeństwa energetycznego został powiązany z celami polityki klimatycznej. W marcu 2011 r. KE przyjęła plan działań prowadzących do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r., a w połowie grudnia 2011 r. zaprezentowała nowy strategiczny dokument *Energy Roadmap 2050*, który zakłada do 2050 r. redukcję emisji gazów cieplarnianych o 80% w porównaniu z 1990 r.¹¹. Plany Komisji zakładają całkowitą dekarbonizację (odejście od węgla) w produkcji energii elektrycznej do 2050 r.¹². W 2050 r. emisja CO₂ z produkcji energii elektrycznej i ciepła ma spaść prawie o 70% w stosunku do 1990 r.¹³. Komisja Europejska wskazała pięć różnych kombinacji czterech wariantów scenariuszy dekarbonizacji, które będą przeanalizowane pod kątem zapewnienia bezpieczeństwa dostaw, kosztów i konkurencyjności sektora energii. Czwarty skupia się na rozwoju energetyki jądrowej. Dokument promuje budowę gospodarki o niskim poziomie wykorzystania węgla (*low-carbon economy*), zawężając cele polityki klimatycznej z redukcji emisji CO₂ (gospodarki niskoemisyjnej, *low-emission economy*) do ograniczenia konsumpcji węgla jako źródła energii. W produkcji energii elektrycznej źródła nieemitujące CO₂ mają stanowić aż 66% (w tym 40% generowane z OZE i 26% z elektrowni jądrowych).

Przemawiając 22 maja 2008 r. na europejskim forum energii nuklearnej w Pradze, ówczesny przewodniczący Komisji Europejskiej José Manuel Barroso powiedział ponadto, że „energia jądrowa może wnieść istotny wkład do walki przeciwko zmianom klimatycznym”¹⁴. Przewodniczący KE przypominał też, że energia pochodząca z reakcji rozszczepienia atomu stała się dziś jedną z najtańszych form produkcji energii i mogłaby uchronić rynek europejski przed zgubnymi skutkami wahań cen ropy. Dlatego przemysł jądrowy miał nadzieję, że energetyka jądrowa uzyska taki sam status jak technologie odnawialnych źródeł energii. Jednak spotkało się to z silnym sprzeciwem wielu krajów członkowskich, w efekcie czego KE oświadczyła, że energetyka jądrowa nie uzyska specjalnego statusu podobnego do OZE. Zostało to potwierdzone przez publikację wytycznych w sprawie pomocy państwa na ochronę środowiska

¹⁰ *Stern Review: The Economics of Climate Change*, 2006, http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm [dostęp: 15.03.2015].

¹¹ Impact Assessment. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, *Energy Roadmap 2050*, European Commission Staff Working Paper 2011, part 2/2, s. 36.

¹² *Ibidem*.

¹³ *Ibidem*, part 1/2, s. 82.

¹⁴ J.M. Barroso, *European Nuclear Energy Forum*, Prague, 22.05.2008, Press Release, http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-08-259_en.htm [dostęp: 13.03.2012].

i cele związane z energią w latach 2014–2020¹⁵. Mimo to w połowie grudnia 2015 r. Parlament Europejski uchwalił rezolucję wzywającą Komisję Europejską do stworzenia warunków do budowy w UE nowych cywilnych instalacji atomowych jako jednego z ważnych źródeł niskoemisyjnych (obok OZE, gazu i węgla z CCS)¹⁶. Rezolucja stwierdza, że w UE potrzebne są inwestycje w nowe elektrownie jądrowe (w tych państwach członkowskich, które sobie tego życzą) jako istotne źródło niskoemisyjnego obciążenia podstawowego oraz w elastyczne technologie wytwarzania energii w celu wzrostu udziału generacji energii ze źródeł odnawialnych i generacji rozproszonej¹⁷. Komisja Europejska uznała konieczność rozwoju energetyki jądrowej dla prowadzenia walki ze zmianami klimatu i opracowuje nowy program rozwoju energetyki jądrowej w Unii Europejskiej, który ma zostać opublikowany w 2016 r. Dokument ma przedstawiać ogólny zarys inwestycji planowanych przez państwa członkowskie do 2050 r. na wszystkich etapach cyklu paliwowego. Ponieważ połowa państw członkowskich UE wyraziła zamiar dalszego korzystania z tego źródła energii do wytwarzania części energii elektrycznej, inicjatywa ta powinna skutkować większą jasnością w odniesieniu do długoterminowych potrzeb w zakresie inwestycji jądrowych i zarządzania zobowiązaniami wynikającymi z działań w tej dziedzinie.

Także Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) ostrzegł, że osiągnięcie głębokich redukcji emisji GHG wymaga bardziej intensywnego wykorzystywania technologii o niskiej emisji gazów cieplarnianych, takich jak energia odnawialna, energia jądrowa i CCS¹⁸. IPCC wskazał pilną potrzebę wykorzystania wszystkich dostępnych technologii niskoemisyjnych, aby zapobiec zmianom klimatycznym. Na początku 2015 r. Międzynarodowa Agencja Energetyczna i Agencja Energii Jądrowej przy Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju uznały, że elektrownie jądrowe musiałyby podwoić moce do 2050 r., aby wypełnić cel ograniczenia długoterminowego wzrostu średniej globalnej temperatury do 2 stopni Celsjusza¹⁹. Zważywszy na średni wiek światowej floty reaktorów atomowych (ponad 30 lat) jest to nierealne, gdyż wymagałoby wymiany większości reaktorów na nowe. Ze względu na wiek reaktorów i skomplikowany proces inwestycyjny energia jądrowa przyczyni się zatem do walki ze zmianami klimatu tylko w ograniczonym stopniu.

Dzięki stabilnej pracy i wysokiej niezawodności elektrownie jądrowe stanowią w wielu krajach (Francja, Belgia, Szwecja, Węgry, Słowacja, Ukraina) podstawę energetyki, zapewniając ciągłość produkcji energii elektrycznej niezależnie od warunków pogodowych. Stabilność dostaw to podstawowa cecha energii jądrowej, zapewnia-

¹⁵ *Guidelines on State aid for environmental protection and energy 2014–2020*, European Commission, Official Journal of the EU, 28 June 2014, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2014.200.01.0001.01.ENG [dostęp: 25.10.2015].

¹⁶ European Parliament resolution of 15 December 2015 on Towards a European Energy Union (2015/2113(INI)), <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P8-TA-2015-0444+0+DOC+XML+V0//EN> [dostęp: 15.03.2016].

¹⁷ *Ibidem*.

¹⁸ *Fifth Assessment Report – Impacts, Adaptation and Vulnerability*, IPCC, 2014, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf [dostęp: 15.03.2016].

¹⁹ OECD Calls for Doubling of Global Nuclear Capacity by 2050, Nuclear Energy Institute, <http://www.nei.org/News-Media/News/News-Archives/OECD-Calls-for-Doubling-of-Global-Nuclear-Capacity> [dostęp: 15.03.2016].

jąca jej przewagę nad odnawialnymi źródłami energii, jak na przykład wiatr i słońce, które implikują nieprzewidywalność i niepewność co do ciągłej produkcji energii.

Energetyka jądrowa ma najniższy poziom emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia spośród wszystkich źródeł wytwarzania energii (od wydobywania rudy, przetworzenia, produkcji materiałów, przez samą budowę, wytwarzanie energii elektrycznej, aż do ostatecznego składowania odpadów), porównywalny do emisji z elektrowni wiatrowych²⁰. Według World Nuclear Association (WNA) emisje w cyklu życia z energetyki jądrowej i energii odnawialnej (wszystkie główne rodzaje odnawialnych źródeł energii: słoneczna, wiatrowa, biomasa, elektrownie wodne) są na porównywalnym poziomie. Według Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) zamiana elektrowni o mocy 1000 MW z węglowej na atomową pozwala zredukować emisję dwutlenku węgla rocznie trzykrotnie bardziej niż zamiana na elektrownię gazową. Ponadto, elektrownie jądrowe zużywają niewielkie ilości paliwa, toteż ingerencja w środowisko nie ma charakteru inwazyjnego jak przy wydobywaniu paliw kopalnych²¹. Znaczącym atutem energetyki jądrowej jest też to, że instalacje i obiekty elektrowni zajmują wielokrotnie mniejszą powierzchnię w stosunku do na przykład farm wiatrowych czy słonecznych, a dostarczają nieporównanie więcej generowanej mocy.

W analizie oddziaływania elektrowni jądrowej na środowisko uwzględnia się fazy budowy i eksploatacji. Energetyka jądrowa nie jest całkowicie wolna od wpływu na środowisko naturalne. Do głównych słabości należą problem utylizacji odpadów radioaktywnych oraz ryzyko skażenia radioaktywnego ludzi i środowiska w następstwie poważnej awarii elektrowni (np. systemu chłodzenia, co może prowadzić do stopienia reaktora). Awarie w elektrowniach jądrowych, choć zdarzają się często, są zwykle niewielkimi incydentami, a poważne zdarzają się niezwykle rzadko i są skutkiem błędu ludzkiego lub nieprzewidzianych zdarzeń wywołanych przez siły natury (np. trzęsienie ziemi, fala tsunami)²². Najpoważniejsze awarie wiązały się z uszkodzeniem rdzenia reaktora i ryzykiem uwolnienia do atmosfery i rozproszenia ogromnych ilości promieniotwórczych izotopów. Jednak prawdopodobieństwo skażenia radioaktywnego jest bardzo małe – z uwagi na bardzo rygorystyczne normy bezpieczeństwa – toteż wielu ekspertów uważa, iż elektrownie jądrowe są zdecydowanie bezpieczniejsze niż inne metody pozyskiwania energii²³. Wśród negatywnych skutków należy wskazać także duże zużycie wody oraz konieczność składowania i zagospodarowania odpadów powstałych w procesie wzbogacania paliwa jądrowego i w trakcie

²⁰ T. Młynarski, M. Tarnawski, *Źródła energii i ich znaczenie dla bezpieczeństwa energetycznego w XXI wieku*, Warszawa 2016, s. 211–212.

²¹ W analizie oddziaływania elektrowni jądrowej na środowisko należy także uwzględnić uwolnienie substancji promieniotwórczych do otoczenia oraz cieplne zanieczyszczenia środowiska wodnego w konsekwencji upustów podgrzanej wody używanej jako chłodziwo. Osobnym problemem jest zabezpieczenie środowiska przed skażeniem podczas transportu materiałów promieniotwórczych.

²² Główne zagrożenie związane z wykorzystywaniem reaktorów jądrowych to uwolnienie dużych ilości substancji promieniotwórczych do atmosfery, groźne dla ekosystemów, zdrowia i życia ludzi, a także pociągające za sobą poważne szkody społeczno-gospodarcze. Przykładem takich katastrof są te w Czarnobylu (1986) i Fukushima (2011). Sprawily one, że podjęto liczne działania na rzecz zaostrzenia norm bezpieczeństwa w elektrowniach jądrowych.

²³ Por. A. Strupczewski, *Nie bójmy się energetyki jądrowej*, Warszawa 2010.

wytwarzania energii²⁴. Jednakże dotychczas, w kilkudziesięcioletniej historii energetyki jądrowej, odpady jądrowe z cywilnych elektrowni nie spowodowały poważniejszej szkody dla środowiska.

Energetyka jądrowa a problem braku internalizacji „zewnętrznych kosztów” wytwarzania energii

Jeśli uwzględnić koszty energetyki jądrowej w całym cyklu życia (od wydobycia uranu aż po likwidację zużytego paliwa), energia jądrowa to obecnie najdroższe źródło prądu elektrycznego o dużej mocy. Wysokie koszty w porównaniu do elektrowni konwencjonalnych są czynnikiem, który najbardziej zniechęca do nowych inwestycji w tej dziedzinie. Jednak w erze zmian klimatu opłacalność określonego źródła produkcji energii powinna zależeć nie tylko od kosztów jej wytworzenia, ale uwzględniać wielkość tzw. zewnętrznych kosztów związanych m.in. z zanieczyszczeniem powietrza, emisją gazów cieplarnianych, zagospodarowaniem odpadów wynikłych z produkcji energii elektrycznej, które winny zostać zinternalizowane przez wytwórcę. Koszty zewnętrzne powstają przez działania na wszystkich etapach cyklu życia elektrowni, od jej budowy przez eksploatację do likwidacji i magazynowania odpadów²⁵. Ponosi je całe społeczeństwo na skutek strat zdrowotnych, szkód w środowisku naturalnym, przekształcenia krajobrazu, hałasu, a właściciel elektrowni powinien je wkalculować w oferowaną cenę. Pomijanie tych kosztów jest błędem, gdyż daje nieprawdziwy obraz kosztów ponoszonych przez społeczeństwo²⁶. Przemysł jądrowy dokonał internalizacji większości kosztów zewnętrznych poprzez regulacje prawne w zakresie bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Wprowadzenie regulacji (EU ETS, ograniczeń w emisji na poziomie globalnym) wymagających, by wszystkie koszty zewnętrzne były uwzględniane w cenie energii elektrycznej, spowodowałoby, że atuty ekologiczne energetyki jądrowej stałyby się jeszcze bardziej widoczne w wymiarze finansowym. Szczególnie po wprowadzeniu przez Unię Europejską systemu handlu uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla, za sprawą którego emisja CO₂ podlega opłacie, energia atomowa coraz częściej przedstawiana jest jako alternatywa dla konwencjonalnych źródeł energii.

Wprowadzenie energetyki jądrowej do miksu energetycznego zmniejsza ryzyko niekontrolowanego wzrostu cen elektryczności z powodu potencjalnego wzrostu cen uprawnień do emisji CO₂ w ramach światowego i regionalnych systemów handlu tymi uprawnieniami. Energetyka jądrowa ma obok odnawialnych źródeł energii jedno z najniższych szacunkowych średnich kosztów zewnętrznych na tle innych technologii

²⁴ Składowiska odpadów nisko- i średnioaktywnych znajdują się na powierzchni ziemi lub na małej głębokości. Odpady wysokoaktywne, w postaci zeszkłonych bloków dodatkowo pokrytych stalą nierdzewną, składowane są głęboko pod ziemią w stabilnych geologicznie regionach.

²⁵ W przypadku elektrowni jądrowej oznacza to uwzględnienie zanieczyszczenia środowiska przy wydobyciu uranu, jego wzbogacaniu, budowie elektrowni, podczas pracy i okresów remontowych w elektrowni oraz w procesie neutralizacji i magazynowania odpadów promieniotwórczych, aż po likwidację elektrowni.

²⁶ A. Strupczewski, *Koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej w Unii Europejskiej*, „Biuletyn Miesięczny PSE”, grudzień 2005, s. 11–27.

wytwarzania energii. Włączenie kosztów i korzyści zewnętrznych związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej mogłoby bardziej skłonić inwestorów do inwestycji w technologie przyjazne dla środowisku.

Dzięki dużej koncentracji energii w paliwie jądrowym (1 gram uranu może stanowić ekwiwalent 1,5 tony węgla kamiennego) wykorzystanie energii jądrowej pozwala uniknąć emisji do atmosfery olbrzymich ilości dwutlenku węgla²⁷. Troska o środowisko naturalne staje się zatem coraz silniejszym czynnikiem skłaniającym do inwestycji w energetykę jądrową. Dlatego w 2006 r. Patrick Moore, założyciel Greenpeace, który przez wiele lat sprzeciwiał się rozwojowi energetyki jądrowej, stwierdził, że elektrownie jądrowe są czystym źródłem energii elektrycznej wspierającym proces walki z globalnym ociepleniem²⁸. Rozwój międzynarodowego reżimu przeciwdziałania zmianom klimatu wzmacnia presję na wytwarzanie energii bez ubocznego negatywnego oddziaływania na atmosferę. Co więcej, dla wielu największych gospodarek świata (Chiny, Indie, Japonia, także USA) rozwój energetyki jądrowej to jedyny sposób na utrzymanie wzrostu gospodarczego i ograniczenie emisji CO₂. Te dodatkowe uwarunkowania powodują, że na wybór technologii wytwarzania energii powinny wpływać czynniki środowiskowe z uwzględnieniem zewnętrznych kosztów i preferencji społecznych. Bez nałożenia opłat ze emisję CO₂ (w ramach na przykład podatku za jego emisję albo w ramach systemu handlu emisjami) jest mało prawdopodobne, że energia jądrowa stanie się rynkowo konkurencyjna. Potencjalnie wszystkie instrumenty regulacyjne, tzn. zmuszające do redukcji emisji GHG podczas procesu wytwórczego (np. ETS czy podatek węglowy, od działalności generującej negatywny efekt zewnętrzny – degradację środowiska), ustalenie standardów technologicznych, wprowadzenie zbywalnych pozwoleń na emisje lub innych instrumentów polityki klimatycznej, powodują internalizację kosztów zewnętrznych (czyli ponoszenie wszelkich kosztów wynikłych z wytwarzania energii elektrycznej) przez producenta. W konsekwencji wybór technologii wytwarzania energii elektrycznej zyskuje walor społeczny (czyste powietrze) i w tym sensie poprawia ekonomiczną opłacalność energetyki jądrowej. Dotychczasowe próby internalizacji kosztów zewnętrznych produkcji energii elektrycznej kończyły się niepowodzeniem. W UE niskie ceny uprawnień EUA podważyły sensowność ekonomiczną podejmowania inwestycji w redukcję emisji. a tym samym całego systemu handlu uprawnieniami (EU ETS)²⁹. Niemniej jednak w przyszłości, wraz z rozwojem międzynarodowego reżimu przeciwdziałania zmianom klimatu, należy uwarunkowania te wziąć pod uwagę w procesie tworzenia założeń polityki energetycznej państwa i jej podstawowej bazy wytwórczej.

Ochrona klimatu i promocja nieemisyjnych źródeł energii stwarza dla jednych szansę korzyści ekonomicznych (eksportu technologii nie- lub niskoemisyjnych), dla innych zaś, w szczególności dostawców korzystających z tradycyjnych technologii węglowych, oznacza znaczące obniżenie ich konkurencyjności rynkowej. Największymi

²⁷ Czy energetyka jądrowa jest bezpieczna dla środowiska?, Ministerstwo Gospodarki, 26.04.2012, http://poznajatom.pl/poznaj_atom/czy_energetyka_jadrowa_jest_be,185 [dostęp: 25.08.2015].

²⁸ P. Moore, *Going nuclear*, April 16, 2006, <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/04/14/AR2006041401209.html> [dostęp: 25.11.2015].

²⁹ T. Młynarski, *Europejski system handlu uprawnieniami do emisji. Między ekologią a ekonomią*, „Kultura i Polityka” 2014, nr 15: *Unia Europejska*, red. W. Michnik, s. 102.

beneficjentami zintegrowania polityki energetyczno-klimatycznej są państwa i firmy, które utrzymują przewagę *know-how*, dysponując technologiami *low carbon emission* (m.in. Francja, Niemcy, Wielka Brytania, Hiszpania, Dania, Stany Zjednoczone, Japonia, Korea Południowa)³⁰. W tzw. krajach „węglowych” (na przykład Polska, Bułgaria, ale także Chiny czy nawet Australia), koszty zakupu uprawnień do emisji będą dodatkowym obciążeniem wpływającym na obniżenie konkurencyjności gospodarek ze względu na istotną utratę przewagi kosztowej³¹.

Transformacja energetyczna oznacza długofalowe przeobrażenie struktury produkcji energii poprzez stopniowe odchodzenie od spalania paliw kopalnych na rzecz nie- lub niskoemisyjnych technologii produkcji energii. Wprowadzenie elektrowni jądrowych do miksu energetycznego znacząco obniża średnie emisje przypadające na wytworzoną jednostkę energii elektrycznej. W długoterminowej perspektywie stopniowe zastępowanie tradycyjnych technologii wytwórstwa energii, opartych w szczególności na węglu, nie- lub niskoemisyjnymi źródłami energii i poprawą efektywności energetycznej jest najkorzystniejszym działaniem z ekonomicznego, społecznego i ekologicznego punktu widzenia.

Podsumowanie

Energia jądrowa stanowi niskoemisyjną alternatywę dla paliw kopalnych i jest zasadniczym składnikiem koszyka energetycznego wielu państw na świecie i w Unii Europejskiej. Jest nie tylko źródłem energii stabilnej i czystej, ale może także do pewnego stopnia stanowić wkład w realizację ambitnych celów ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w skali globalnej. 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 cieplarnianych³².

Podstawowym atutem energii jądrowej w porównaniu do paliw konwencjonalnych jest duża koncentracja energii zawartej w paliwie jądrowym. Dzięki temu energia jądrowa nie tylko stanowi ważny element światowego miksu energetycznego, ale jest także uważana za istotne narzędzie walki ze zmianami klimatu. Zaletą energetyki jądrowej jest wysoka efektywność wytwarzania energii elektrycznej, znacznie większa niż z jakiegokolwiek innego źródła naturalnego. Energia jądrowa zapewnia zatem stabilne dostawy energii o dużej mocy, a posiadanie energii jądrowej w koszyku energetycznym państwa wpływa na jego bezpieczeństwo energetyczne (ograniczenie

³⁰ T. Młynarski, *Francja w procesie uwspółnotowania bezpieczeństwa energetycznego i polityki klimatycznej Unii Europejskiej*, Kraków 2013, s. 263–264. Kraje te prezentują pragmatyczny stosunek do przeciwdziałania zmianom klimatu, ukierunkowany na przekonanie społeczności międzynarodowej o atutach ekologicznej modernizacji. Motywacją jest chęć wykorzystania swojego potencjału *know-how* w zakresie m.in. OZE, cywilnej energetyki jądrowej i efektywności energetycznej.

³¹ *Ibidem*.

³² *Protecting the Environment*, Nuclear Energy Institute, <http://www.nei.org/Issues-Policy/Protecting-the-Environment> [dostęp: 15.03.2016]; *Nuclear Energy: Combating Climate Change*, Nuclear Energy Agency, OECD 2015, <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2015/7208-climate-change-2015.pdf> [dostęp: 15.12.2015], s. 5–6.

zużycia i importu paliw kopalnych oraz dywersyfikacja źródeł energii). Energetyka jądrowa to najbardziej wydajne współcześnie źródło czystej energii, które chroni środowisko naturalne, niemal całkowicie eliminując emisję CO₂.

Rozwój międzynarodowego reżimu przeciwdziałania zmianom klimatu może być silnym bodźcem dla promocji urządzeń przemysłowych o niskiej emisji dwutlenku węgla. Toteż walka z globalnym ociepleniem otwiera przestrzeń szerszego wykorzystania energetyki odnawialnej i energetyki jądrowej, które charakteryzuje relatywnie niewielkie negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne, znacznie mniej obciążające atmosferę niż tradycyjne paliwa kopalne.

Proces transformacji energetycznej oparty na zastępowaniu paliw kopalnych źródłami energii nieemisyjnej wiąże się z realnymi korzyściami społeczno-ekonomicznymi, takimi jak łagodzenie skutków zmian klimatu, wpływ na zdrowie oraz zwiększenie niezależności energetycznej i elastyczności systemu energetycznego. Zmiana struktury rynku energetycznego oparta na poprawie efektywności energetycznej i stopniowe przechodzenie na produkcję energii ze źródeł niskoemisyjnych stają się coraz bardziej oczekiwane społecznie. Energetyka jądrowa może stać się istotnym ogniwem koniecznej zmiany globalnego systemu energetycznego, a jej szersze wykorzystanie wydaje się pośrednią drogą transformacji energetycznej.

W porównaniu do elektrowni konwencjonalnych oddziaływanie elektrowni jądrowych na środowisko jest znacznie mniej szkodliwe, albowiem energia jądrowa ma najniższy poziom emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia spośród wszystkich konwencjonalnych źródeł wytwarzania energii. Jednak w sytuacji braku internalizacji kosztów zewnętrznych przez wytwórców energii, energetyka jądrowa narażona jest na utratę swojej konkurencyjności rynkowej. Rozwój międzynarodowego reżimu zmian klimatu będzie zmieniał uwarunkowania kosztowe na korzyść energetyki jądrowej. Inwestorzy, wobec rosnącej presji światowej opinii społecznej na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatu, będą coraz bardziej obciążeni koniecznością w kalkulowania kosztów emisji GHG w proces produkcji energii.

Energetyka jądrowa nie może być oczywiście traktowana jako jedyna recepta na postępujące zmiany klimatu. Jest wiele powodów uzasadniających sceptycyzm wobec zapowiedzi, że jej rozwój dostarczy takich ograniczeń emisji, jakich spodziewają się jej zwolennicy. Nawet jeśli wszystkie ogłoszone plany budowy elektrowni jądrowych zostaną zrealizowane do 2050 r., zapotrzebowanie na energię w połowie XXI w. będzie tak duże, że udział energetyki jądrowej będzie zbyt mały, by znacząco wpłynąć na ograniczenie emisji. W tym celu konieczne jest wdrożenie miks dostępnych technologii, obejmujących obok energetyki jądrowej źródła odnawialne, technologie czystego węgla, efektywność energetyczną, a także ograniczenie deforestacji. Energetyka jądrowa może jednak pełnić ważną funkcję pośrednią w przejściu od węglowodorów do zwiększenia dostaw energii ze źródeł nieemisyjnych.

Energetyka jądrowa wobec globalnych problemów bezpieczeństwa energetycznego i zmian klimatu w XXI wieku

Streszczenie

Zmiany klimatu są w tej chwili największym zagrożeniem i wyzwaniem, z którym zmagają się ludzkość, a energia jądrowa jako nieemisyjne źródło energii (brak emisji gazów cieplarnianych, w tym dwutlenku węgla) doskonale wpisuje się w podejmowane przez społeczność międzynarodową działania na rzecz przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Wzrost stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze jako efekt wytwarzania energii może doprowadzić do poważnych zmian w ekosystemach na świecie. Dlatego sektor energetyczny, a zwłaszcza sektor produkcji energii elektrycznej, czekają zasadnicze zmiany. Wśród technologii, które mogłyby przyczynić się do ograniczenia emisji GHG, jest energia jądrowa, która może odegrać kluczową rolę w transformacji energetycznej i upowszechnianiu źródeł nie- lub niskoemisyjnych w XXI w. Celem artykułu jest próba wyjaśnienia, czy, dlaczego i w jakim stopniu energetyka jądrowa może ograniczyć światową emisję GHG i wpłynąć na zahamowanie procesów negatywnych zmian klimatu.

Słowa kluczowe: energia jądrowa, nieemisyjność, zmiany klimatu, produkcja energii

The nuclear energy towards the global problems of the energy security and climate change in the 21th century

Abstract

Climate change is now the biggest threat and challenge for humanity and nuclear energy as non-emission source of energy (without greenhouse gases emissions including carbon dioxide) fits perfectly in efforts taken by the international community to tackle the global warming. The increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere as a result of energy production can lead to major changes in ecosystems in the world. Therefore, the energy sector and particularly the electricity production sector, needs to undergo major changes. Among technologies that could contribute to the reduction of GHG emissions nuclear power can play a key role in the transformation of energy sources and the popularization of low carbon energy sources in the twenty-first century. The article attempts to explain why and to what extent nuclear power can reduce global GHG emissions and impact on the negative climate change processes.

Key words: nuclear energy, non-emission, climate change, energy production

Ядерная энергетика перед лицом глобальных проблем энергетической безопасности и изменений климата в XXI веке

Резюме

На сегодняшний день изменение климата является самой большой угрозой и вызовом человечеству, а ядерная энергетика, как источник энергии, который не производит выбросов парниковых газов, углекислого газа, полностью вписывается в усилия международного сообщества по борьбе с глобальным потеплением.

Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере, как эффект производства энергии, может привести к серьезным изменениям в экосистемах мира. Таким образом, энергетический сектор, в частности сектор производства электроэнергии, ожидают серьезные изменения. Среди технологий, которые могли бы способствовать сокращению выбросов парниковых газов является атомная энергетика, имеющая возможность сыграть ключевую роль в трансформации энергетики и повышении значения источников с нулевым или низким выбросом парниковых газов в XXI веке. В статье предпринято попытку дать ответ на вопрос, является ли возможным (и в какой степени), чтобы ядерная энергетика привела к сокращению глобальных выбросов парниковых газов и повлияла на сдерживание негативных процессов изменения климата?

Ключевые слова: атомная энергетика, нулевой выброс, изменение климата, производство энергии