

Henryk Kowgier*

Uniwersytet Szczeciński

ENERGETYKA JĄDROWA WE WSPÓŁCZESNYM ŚWIECIE – SZANSE ROZWOJU I ZAGROŻENIA

STRESZCZENIE

W artykule ukazano w zarysie stan energetyki jądrowej we współczesnym świecie wraz z jej perspektywami dalszego rozwoju, a także przedstawiono, jakie zagrożenia niesie ze sobą energetyka jądrowa dla środowiska, w jakim żyjemy. Ponadto dane z 2011 roku dotyczące energetyki jądrowej zebrane z 30 krajów świata poddano obróbce statystycznej i wyciągnięto stosowne wnioski.

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa, alternatywne źródła energii.

Wprowadzenie

Podstawowym składnikiem reaktora jądrowego jest materiał rozszczepialny. Do najczęściej stosowanych izotopów rozszczepialnych należą uran ${}_{92}^{235}\text{U}$ występujący w postaci naturalnej oraz pluton ${}_{94}^{239}\text{P}$ wytwarzany sztucznie w reaktorach jądrowych. Reakcji rozszczepienia towarzyszy wydzielanie się energii w ilości ok. 200 MeV na jedno rozszczepienie, w tym na energię kinetyczną produktów rozszczepienia przypada około 160 MeV [*Encyklopedia fizyki*, 1974]. Olbrzymią ilość wyzwolanej ener-

* Adres e-mail: kowhenry@interia.eu.

gii podczas reakcji rozszczepienia można obliczyć, opierając się na wzorze Einsteina $E=mc^2$ [Bodanis, 2001]. Największym problemem przy budowie reaktorów jądrowych, a tym samym elektrowni jądrowych jest zatem odprowadzanie powstałego w nich ciepła. Spośród wielu chłodziw do najczęściej stosowanych należy woda.

Rodzi się naturalne pytanie: co skłoniło wiele krajów na świecie do inwestowania w energetykę jądrową? Do najważniejszych przyczyn rozwoju energetyki jądrowej zaliczamy:

- obawę przed uzależnieniem się od dostaw energii z zagranicy,
- stale wzrastający popyt na energię elektryczną,
- rosnące ceny ropy naftowej i gazu ziemnego,
- troska o środowisko naturalne przez między innymi brak emisji dwutlenku węgla do atmosfery,
- opanowanie technologii jądrowej,
- brak konkurencji ze strony odnawialnych źródeł energii,
- rozwój przez energetykę jądrową wielu gałęzi gospodarki i nauki,
- brak monopolizacji rynku dostaw paliwa jądrowego.

Głównym czynnikiem niesprzyjającym rozwojowi energetyki jądrowej są brzemienne w skutkach awarie elektrowni jądrowych. Do najbardziej znanych zaliczamy awarię w Czarnobylu na terenie Ukrainy (26 kwietnia 1986 roku), która spowodowała bezpośrednią śmierć 31 osób oraz ewakuację 300 tys. mieszkańców – koszt awarii wynosił 6,7 mld USD; awarię w Middletown na terenie Pensylwanii (USA – 28 marca 1979 roku) – koszt awarii – 2,4 mld USD; awarię w Athens (Alabama, USA – 9 marca 1985 roku) – koszt awarii to 1,83 mld USD. Innym, znanym miejscem awarii były również Jasłovske Bohunice na terenie dawnej Czechosłowacji (22 lutego 1977 roku). Koszt awarii wynosił 1,7 mld USD.

Pod wpływem trzęsienia ziemi, fal tsunami i awarii systemów chłodzenia w elektrowni jądrowej Fukushima I 11 marca 2011 roku ogłoszono w Japonii stan zagrożenia nuklearnego. Na skutek tego ewakuowano 140 tys. osób zamieszkałych w promieniu 20 km od elektrowni. Pod wpływem tej katastrofy reaktory jądrowe znajdujące się w krajach Unii Europejskiej poddane zostały testom bezpieczeństwa. Szacuje się, że na świecie w samych elektrowniach jądrowych pracuje około 250 tys. ludzi. Uwzględniając dodatkowo uczelnie wyższe, instytuty badawcze, organy państw powiązane z energetyką jądrową, liczba ta sięga 1 mln ludzi. Jednak gigantyczna katastrofa w Czarnobylu doprowadziła do znacznego zmniejszenia skali inwestycji w energetykę

jądrową. Skutkiem tego nastąpiło starzenie się kadr i należy, aby nie było luki pokoleniowej, systematycznie uzupełniać i kształcić nowe kadry. W roku 1986 po tragedii w Czarnobylu wiele państw wstrzymało budowę nowych bloków jądrowych. W niektórych państwach pod wpływem nacisku partii ekologicznych wyłączono nawet pewną liczbę bloków jądrowych. Mimo dość niesprzyjających okoliczności, w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, dokonano postępu w zakresie wydajności produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, podniesiono poziom bezpieczeństwa i obniżono koszty eksploatacji. Przykładowo, w 2004 roku roczna produkcja energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych była wyższa w stosunku do 1990 roku o około 40%. Oprócz instalowania nowych bloków energetycznych, do końca 2009 roku, jak podaje Międzynarodowa Agencja Energetyki Atomowej, wycofano z użycia aż 123 bloki energetyczne. Niektóre z nich zostały całkowicie rozebrane, a tereny, które zajmowały – udostępnione do ponownego wykorzystania w innych celach. Ciekawie wygląda również na świecie udział poszczególnych paliw w wytwarzaniu energii elektrycznej. Dla porównania w 2008 roku energię elektryczną wytwarzano w 35,5% z węgla kamiennego, w 21,26% z gazu ziemnego, w 16,22% z hydroenergetyki, w 13,47% z energii jądrowej, w 5,48% z produktów ropopochodnych, w 4,24% z węgla brunatnego oraz w 3,5% z pozostałych źródeł energii.

1. Analiza danych

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane dotyczące energetyki jądrowej w 30 krajach świata. Wynika z niej, że największą na świecie liczbę reaktorów atomowych posiadają Stany Zjednoczone Ameryki – 104, na drugim miejscu z 58 reaktorami jest Francja, na trzecim miejscu z 50 reaktorami plasuje się Japonia. Ma to również odzwierciedlenie w łącznej mocy zainstalowanych reaktorów – tutaj znowu zdecydowanie górują nad pozostałymi państwami Stany Zjednoczone Ameryki. Ciekawie wygląda również porównanie procentowego udziału energetyki jądrowej w produkcji energii elektrycznej poszczególnych krajów. W krajach, które nie mają zbyt dużych innych zasobów naturalnych, ten procentowy udział jest bardzo duży. Na czoło wysuwa się tutaj zdecydowanie Francja – 77,71%, na drugim miejscu jest Słowacja – 54,02%, a na trzecim Belgia – 53,96%. Duży, ponad czterdziestoprocentowy udział mają też takie kraje, jak Ukraina, Węgry, Słowenia, Szwajcaria. W Stanach Zjednoczonych Ameryki i Japonii, mimo dużej liczby reaktorów, procentowy udział energetyki jądrowej

w wytworzeniu całkowitej energii elektrycznej jest stosunkowo niewielki. Wiąże się to z dywersyfikacją wytwarzania energii elektrycznej w tych krajach. Porównując całkowitą liczbę państw na kuli ziemskiej z liczbą państw posiadających elektrownie jądrowe (30 w 2011 roku), można zauważyć, że energetyka jądrowa nadal jest pewnym luksusem. W tabeli 1 pokazano, że ponad połowa krajów posiadających elektrownie jądrowe pochodzi z Europy, 6 z Azji, 2 z Ameryki Północnej, 1 z Ameryki Środkowej (Meksyk), 2 z Ameryki Południowej, 1 z Afryki (RPA). Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że na tak dużym kontynencie, jakim jest Afryka, tylko RPA ma elektrownię jądrową, co dobitnie pokazuje, że biedne kraje nie mogą sobie pozwolić na ich budowę. Jak powszechnie wiadomo, w Afryce jest wyjątkowo dużo krajów ubogich. Z tabeli 1 wynika, że w 2011 roku było zainstalowanych na świecie 430 reaktorów jądrowych, w sumie łączna moc wszystkich zainstalowanych reaktorów wynosiła 365481 MWe, a z energii jądrowej wytworzono 2 483,5 TWh energii elektrycznej. W kontekście omawianej tematyki nasuwa się problem budowy elektrowni jądrowej w Polsce. Powstaje pytanie: czy jest to rozwiązanie racjonalne? Zdania na ten temat są dość podzielone. Z punktu widzenia zasobów naturalnych Polski elektrownia jądrowa w zasadzie nie jest nam potrzebna, w odróżnieniu na przykład do Francji, która nie ma takich złóż. Należałoby zdecydowanie efektywniej podejść do eksploatacji węgla kamiennego, brunatnego, gazu łupkowego oraz złóż geotermalnych i rozpocząć długofalowe planowanie inwestycji, jak to czynią na przykład Niemcy.

Tabela 1. Dane z 2011 roku dotyczące energetyki jądrowej na świecie

Kraj	Liczba reaktorów	Łączna moc zainstalowana (MWe)	Stosunek ilości energii elektrycznej wyprodukowanej w elektrowniach jądrowych do całkowitej ilości energii elektrycznej wyprodukowanej w danym państwie (TWh) w 2011 roku	Udział w krajowej produkcji energii elektrycznej (%) w 2011 roku
1	2	3	4	5
Argentyna	2	935	5,9/118,6	4,97
Armenia	1	375	2,4/7,1	33,17
Belgia	7	5927	45,9/85,1	53,96
Brazylia	2	1884	15,6/493,8	3,17
Bułgaria	2	1906	16,3/50,1	32,58
Chiny	16	11816	87,4/4721,7	1,85
Czechy	6	3766	26,7/81,0	32,96

1	2	3	4	5
Finlandia	4	2736	22,3/70,6	31,58
Francja	58	63130	421,1/541,9	77,71
Hiszpania	8	7567	55,1/282,6	19,48
Holandia	1	482	3,9/108,9	3,6
Indie	20	4391	28,9/785,9	3,68
Iran	1	915	0,1/225,3	0,04
Japonia	50	44215	156,2/861,0	18,14
Kanada	18	12604	90,0/587,2	15,33
Korea Pd.	23	20671	147,7/426,4	34,64
Meksyk	2	1300	9,3/262,4	3,55
Niemcy	9	12068	102,3/575,0	17,79
Pakistan	3	725	3,8/101,5	3,77
RPA	2	1830	12,9/249,1	5,19
Rosja	33	23643	161,7/919,4	17,59
Rumunia	2	1300	11,7/61,9	18,98
Słowacja	4	1816	14,3/26,5	54,02
Słowenia	1	688	5,9/14,1	41,73
USA	104	101465	790,2/4105,7	19,25
Szwajcaria	5	3263	25,7/62,9	40,85
Szwecja	10	9331	58,0/146,4	39,62
Ukraina	15	13107	84,8/179,7	47,20
Węgry	4	1889	14,7/34,0	43,25
GBR	17	9736	62,7/351,8	17,82

Źródło: International Atomic Energy Agency, Power Reactor Information System.

Na podstawie informacji zawartych w tabeli 1 otrzymano oceny współczynników korelacji przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki korelacji

Oznaczone współczynniki korelacji są istotne z $p < 0,05000$					
zmienne	LR	ŁMZ	UPKE	WEJ	WEC
LR	1,00	0,99	0,15	0,96	0,62
ŁMZ	0,99	1,00	0,21	0,98	0,59
UPKE	0,15	0,21	1,00	0,20	-0,26
WEJ	0,96	0,98	0,20	1,00	0,62
WEC	0,62	0,59	-0,26	0,62	1,00

LR – liczba reaktorów, ŁMZ – łączna moc zainstalowana, UPKE – udział procentowy w krajowej energii elektrycznej, WEJ – wytworzona energia elektryczna z energii jądrowej, WEC – wytworzona całkowita energia elektryczna.

Źródło: obliczenie własne za pomocą pakietu STATISTICA 6.0.

Bazując na tabeli 2 widać, że istotne współczynniki korelacji (zaznaczone wytłuszczoną czcionką) występują między zmiennymi: LR – ŁMZ (0,99), LR – WEJ (0,96), ŁMZ – WEJ(0,98), ŁMZ – WEC (0,59), WEJ – WEC (0,62), LR – WEC (0,62). Szczególnie wysokie (bliskie 1) zależność korelacyjna występuje między zmiennymi LR – ŁMZ, LR – WEJ, ŁMZ – WEJ, co świadczy o bardzo dużym wpływie wzajemnym tych zmiennych na siebie [Kowgier, 2011].

Podstawowe statystyki opisowe dotyczące badanych zmiennych przedstawiono w tabeli 3.

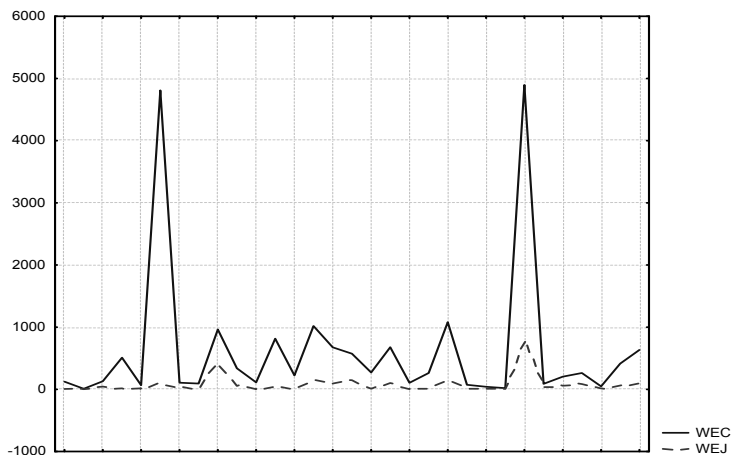
Tabela 3. Podstawowe statystyki opisowe

	Średnia	Mediana	Moda	Licz- ność	Mini- mum	Maksi- mum	Odchylenie standardo- we
LR	14,33	6,00	2,00	6	1,00	104,00	21,66
ŁMZ	12182,70	3766,00	1300	2	375,00	101 465,00	21 396,90
UPKE	24,58	19,25	wielokr.	1	0,04	77,70	19,15
WEJ	82,78	26,70	5,90	2	0,10	790,20	154,75
WEC	551,25	225,30	wielokr.	1	7,10	4721,70	1066,77

Źródło: opracowanie własne za pomocą pakietu STATISTICA 6.0.

Z tabeli 3 wynika, że w każdym rozpatrywanym kraju ujętym w tabeli 1 zainstalowano średnio około 14 reaktorów jądrowych (14,33). Porównując średnią wartość wytworzonej energii elektrycznej z energii jądrowej we wszystkich krajach ze średnią wartością wytworzonej całkowitej energii elektrycznej we wszystkich krajach ujętych w tabeli 1, otrzymano wartość $\frac{82,78}{551,25} = 0,15016$, co daje nieco ponad 15%.

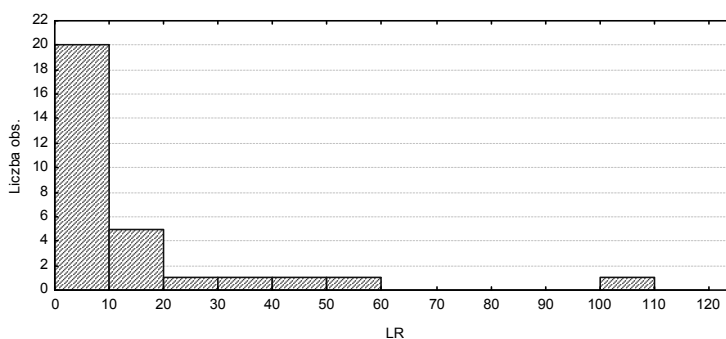
Rysunek 1. Porównanie udziału wytworzonej energii elektrycznej z energii jądrowej z całkowitą wytworzoną energią elektryczną w poszczególnych krajach



Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 1.

Na rysunku 1 widać dwie górujące nad pozostałą częścią wykresu WEC „szpi-ce”, które obrazują wytworzoną energię całkowitą w Chinach oraz USA. Biorąc pod uwagę fakt, że energia z reakcji jądrowych jest pozyskiwana stosunkowo od niedawna, należy uznać, patrząc na rysunek 1, że udział energetyki jądrowej jest już dzisiaj znaczący.

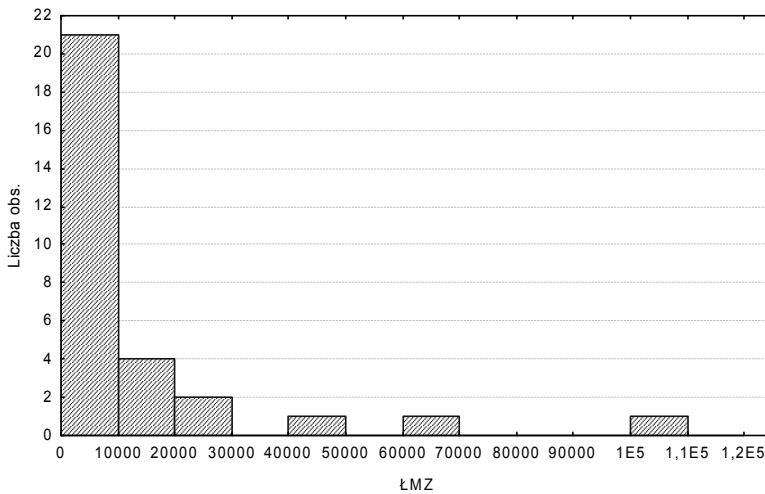
Rysunek 2. Histogram obrazujący liczbę reaktorów na świecie



Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 1.

Na rysunku 2 widać, że zdecydowanie najwięcej krajów na świecie ma do 10 reaktorów jądrowych, a łączna moc zainstalowana, nie przekracza 10 000 MWe – rysunek 3.

Rysunek 3. Histogram obrazujący łączną moc zainstalowaną



Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 1.

Podsumowanie

Energetyka jądrowa mimo wielu przedstawionych zalet, budzi sporo kontrowersji. Pierwszy zarzut dotyczy powstawania, transportu i składowania odpadów promieniotwórczych. Inny to koszty związane z zamknięciem elektrowni i utylizacją pozostałości po niej, lecz najważniejszym zarzutem jest bezpośrednio duże zagrożenie utraty życia przez ludzi pracujących przy obsłudze elektrowni i mieszkających w okolicy elektrowni w przypadku nieopanowania awarii. Są oczywiście miejsca bardziej i mniej predysponowane do budowy elektrowni jądrowych. Na terenach sejsmicznie aktywnych awarie elektrowni są bardziej prawdopodobne i budowanie ich w tych miejscach jest bardzo ryzykowne, co pokazała awaria elektrowni w Fukushima (Japonia). Ponadto charakter terenów na powierzchni ziemi również się

zmienia. Jest to widoczne nawet w Polsce, gdzie zdarzają się wstrząsy sejsmiczne dotychczas nienotowane.

Międzynarodowa Agencja Energetyki Atomowej przewiduje jednak, że w 2020 roku moc zainstalowana w elektrowniach jądrowych będzie kształtowała się w granicach od 437 GWe do 542 GWe. Według szacunków w 2030 roku ma wynosić od 510 GWe do 810 GWe. Największy wzrost przewiduje się w krajach już eksploatujących elektrownie jądrowe. Na pytanie, czy warto coraz więcej inwestować w energetykę jądrową, nie ma chyba jednoznacznej odpowiedzi. Jest bardzo prawdopodobne, że kraje, które już mają energetykę jądrową, nadal będą ją rozwijać. Wydaje się, że kraje mające inne możliwości energetyczne, zaspokajające ich bieżące potrzeby, powinny się jednak powstrzymać z budową elektrowni jądrowych. Należy też kontynuować prace nad pozyskiwaniem energii ze źródeł dotąd mało znanych.

Literatura

- Begg D., Fischer S., Dornbusch R. (1997), *Makroekonomia*, PWE, Warszawa.
- Bąk I., Markowicz I., Mojsiewicz M., Wawrzyniak K. (2002), *Statystyka opisowa*, WNT, Warszawa.
- Bodanis D. (2001), *Historia najśłynniejszego równania w dziejach świata*, Wydawnictwo Fakty, Warszawa.
- Encyklopedia fizyki* (1974), praca zbiorowa, PWN, Warszawa.
- Hozer J. (1993), *Mikroekonometria*, PWE, Warszawa.
- Kowgier H. (2011), *Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki na przykładach z ekonomii*, WNT, Warszawa.
- Stanisz A. (1998), *Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL*, Wydawnictwo StatSoft Polska, Kraków.

NUCLEAR ENERGETICS IN PRESENT WORLD – CHANCES OF DEVELOPMENT AND THREAT**Abstract**

Some remarks in article were introduced on present nuclear energetics. Its main theme is to show that the nuclear energetics is for present of world the threat. In article statistical analysis was showed relating of nuclear energetics.

Translated by Henryk Kowgier

Keywords: nuclear energetic, alternate source of energy.

JEL Classification: Q49.