

---

# Mity o energetyce jądrowej

Adam Rajewski

Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska

---

**Streszczenie.** W ostatnich miesiącach, wskutek splotu szeregu okoliczności, w tym intensyfikacji dyskusji na temat zmian klimatu, prezentacji planów polskiego rządu dotyczących budowy elektrowni jądrowych oraz kampanii wyborczej, w której tematyka klimatyczna była obecna w dużo większym stopniu niż w latach poprzednich, a także emisji popularnego serialu dotyczącego katastrofy czarnobylskiej, energetyka jądrowa stała się w Polsce tematem ożywionej debaty publicznej, zarówno w mediach tradycyjnych, jak i społecznościowych. Niestety przy tej okazji w obiegu publicznym pojawił się cały szereg mitów dotyczących tej branży i technologii jądrowych w ogóle. Niniejszy artykuł przedstawia wybrane z nich, które na podstawie doświadczenia autora, pojawiają się w dyskusjach szczególnie często, wraz z informacjami na temat stanu faktycznego.

---

## Drugi Czarnobyl

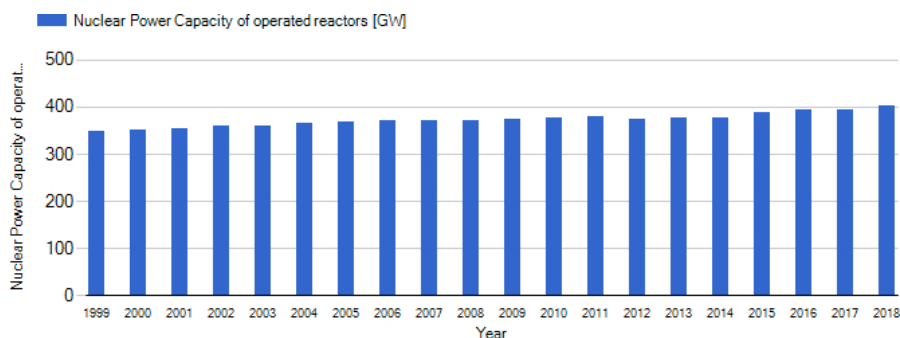
Jednym z najczęstszych a jednocześnie najbardziej pozbawionych podstaw faktycznych stwierdzeń dotyczących współczesnej energetyki jądrowej są różnego rodzaju ostrzeżenia przed „drugim Czarnobylem”. Niemal za każdym razem, kiedy pojawiają się informacje o jakiegokolwiek sytuacji awaryjnej w zagranicznej elektrowni jądrowej, w obiegu publicznym pojawia się fraza „drugi Czarnobyl”, na ogół w postaci pytania „Czy grozi nam...?” [I][II][III][IV]. Podobne odwołania pojawiają się także notorycznie w artykułach dotyczących niektórych nowych inwestycji, w tym szczególnie Elektrowni Jądrowej Ostrowiec, która budowana jest na Białorusi [V][VI][VII].

Z jednej strony oczywiście zrozumiałe jest publicystyczne używanie Czarnobyla jako symbolu katastrofy jądrowej – jest to symbol, który niezwykle silnie wrósł w kulturę. Jednocześnie jednak trzeba podkreślić z całą stanowczością: powtórka katastrofy czarnobylskiej nie jest możliwa w żadnym obecnie pracującym cywilnym reaktorze jądrowym; nie pozwalają na to prawa fizyki. W Czarnobylu doszło bowiem do szczególnego przypadku nagłego wzrostu mocy reaktora, możliwego tylko w konstrukcji o wysokim dodatnim współczynniku temperaturowym reaktywności (tj. takiej, dla której wzrost temperatury prowadzi do szybkiego samoczynnego wzrostu mocy), a sytuację dodatkowo skomplikowały błędy konstrukcyjne, w tym w szczególności dotyczące prętów służących do awaryjnego wyłączenia reaktora oraz błędne decyzje operatorów. Nagły niekontrolowany wzrost mocy doprowadził do wzrostu ciśnienia wewnątrz kanałów chłodziwa i ich rozerwania oraz całej konstrukcji reaktora w czasie jego pracy [1][2][3]. Charakterystyki umożliwiające taką sekwencję zdarzeń

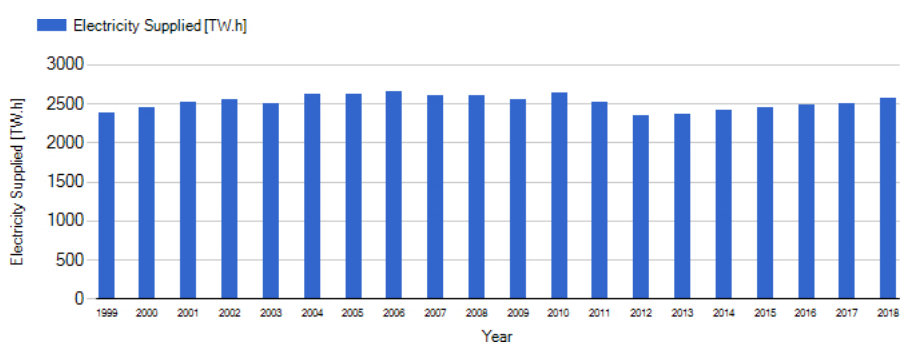
nie miał i nie ma żaden typ reaktora inny, niż zastosowany w Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej wodnografitowy reaktor RBMK-1000. Dodatkowo wszystkie pozostające w eksploatacji reaktory tego typu – jest ich 13, na terenie Federacji Rosyjskiej [4] – zostały zmodyfikowane tak, aby uniemożliwić ponowne zaistnienie warunków, w których mogłoby dojść do podobnego zdarzenia [1]. Olbrzymia większość pracujących obecnie na świecie reaktorów, w tym wszystkie jednostki budowane aktualnie w Europie (a więc także nowe rosyjskie reaktory budowane na Białorusi, w Finlandii i w Rosji, a także wszystkie reaktory radzieckiej i rosyjskiej konstrukcji pracujące obecnie poza Rosją), należą do zupełnie innej klasy reaktorów lekkowodnych, w których współczynnik temperaturowy reaktywności jest ujemny. Takie reaktory w wypadku wzrostu temperatury samoczynnie obniżają moc [4][5]. W tego typu jednostkach (przynajmniej niektórych), oczywiście w skrajnie niesprzyjających warunkach także może dojść do sytuacji awaryjnych (zob. awaria w Elektrowni Three Miles Island w roku 1979 oraz katastrofa w Fukushima w 2011), ale mają one w praktyce związek z odprowadzaniem ciepła powyłączeniowego, a nie ze zniszczeniem pracującego reaktora, a ich skutki są dużo mniej poważne. Warto też podkreślić, że energetyka jądrowa to statystycznie najbezpieczniejszy sposób wytwarzania energii elektrycznej [6][7][8], w związku z czym automatyczne postrzeganie jej przez pryzmat potencjalnych poważnych awarii jest słabo uzasadnione.

## Świat odchodzi od energetyki jądrowej

Stwierdzenie o odchodzeniu od energii jądrowej jest dość powszechne w dyskursie publicznym [VIII].



Ryc. 1. Zmiany łącznej mocy elektrowni jądrowych na całym świecie. Dane od roku 2011 uwzględniają także długoterminowo wyłączone instalacje japońskie, które są oficjalnie deklarowane jako czynne [4]



Ryc. 2. Zmiany łącznej produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych na całym świecie. Widoczny spadek w latach 2011-2012 wywołany skutkami katastrofy w Fukuszymie – czasowym odstawieniem wszystkich instalacji japońskich oraz, w mniejszym stopniu, nagłym wyłączeniem części instalacji niemieckich [4]

Trudno uznać tak postawioną kwestię za prawdę, choć sytuacja jest nieco bardziej zniuansowana. W rzeczywistości moc wytwarzana w sprawnych elektrowniach jądrowych powoli rośnie i dziś jest najwyższa w historii na poziomie niemal 400 000 MW (rys. 1), choć należy zauważyć, że wśród reaktorów oficjalnie deklarowanych jako „pracujące” jest też szereg instalacji japońskich, których wiele jest faktycznie długoterminowo wyłączonych z użytkowania, a część z nich zapewne już nie wróci do pracy. Produkcja energii elektrycznej w blokach jądrowych utrzymuje lekki trend wzrostowy od 2012 roku, jednak w 2018 roku była wciąż o niespełna 4% niższa, niż w rekordowym roku 2006 (rys. 2) [4]. Utrzymywanie się z grubsza stałego poziomu przy jednoczesnym istotnym wzroście wytwarzania energii elektrycznej w skali świata oznacza, że następuje stopniowy spadek udziału energetyki jądrowej w globalnym bilansie energetycznym. Jeśli chodzi o dalszą perspektywę, sytuacja jest zróżnicowana w zależności od regionu świata. W budowie znajdują się 53 nowe bloki jądrowe o łącznej mocy blisko 54 000 MW [4]. Duża część z tych jednostek budowana jest w krajach Azji, w których energetyka jądrowa dopiero powstaje, albo jest cały czas rozbudowywana (jak Chiny i Indie). Jednocześnie w świecie zachodnim obserwowany jest od lat 90. ubiegłego stulecia zastój – tam prawdziwy boom na nowe elektrownie miał miejsce w latach 70. i 80., od tego czasu

nowe inwestycje były rzadkie. Do chwili obecnej kilka państw zdecydowało się na niezastępowanie istniejących reaktorów nowymi, natomiast jedno – Niemcy – rezygnuje z elektrowni jądrowych, które z powodzeniem mogłyby być eksploatowane jeszcze przez wiele lat. Jednostkowe przypadki tego typu mają też miejsce w USA, tam jednak uwarunkowane są specyficzną sytuacją na lokalnych rynkach energii w poszczególnych stanach. Jednocześnie większość krajów zadawała się przedłużaniem eksploatacji posiadanych już bloków, odkładając bardziej kategoryczne decyzje na przyszłość [10][11]. Jedynymi krajami, które starają się programowo prowadzić wymianę starszych reaktorów na jednostki nowego pokolenia, są Wielka Brytania oraz Rosja, przy czym w Wielkiej Brytanii proces ten napotkał na znaczne trudności, wynikające w dużej mierze z likwidacji w latach 90. własnego przemysłu zdolnego do realizacji takich inwestycji.

### Energia jądrowa sprzyja proliferacji broni jądrowej

W obiegu publicznym bywa podnoszony argument o tym, że rozwój energetyki jądrowej prowadzi do rozpowszechniania broni jądrowej [IX][X]. Twierdzenie to trudno jednak obronić zarówno na gruncie historyczno-empirycznym, jak i technicznym.

Z technicznego punktu widzenia cywilna energetyka jądrowa oraz programy zbrojeniowe mają bar-

dzo niewiele elementów wspólnych, albowiem wspólne w nich jest tylko fundamentalne zjawisko rozszczepiania na poziomie mikroskopowym. Zakładów cywilnej energetyki jądrowej nie można łatwo wykorzystać do produkcji materiałów rozszczepialnych dla broni jądrowej. Absolutną większość paliwa dla elektrowni jądrowych stanowi uran niskowz bogaczony w izotop rozszczepialny U-235 (do 4,5-5,0%) [9]. Tymczasem do produkcji uranowej głowicy jądrowej konieczne jest uzyskanie wzbogacenia na poziomie ok. 80% albo wyższego, co sprawia, że zakłady cywilne wzbogacające paliwo jądrowe nie mogą posłużyć do produkcji paliwa do broni jądrowej, a samo paliwo jest zupełnie nieprzydatne. Hipotetycznie możliwe jest wykorzystanie reaktora energetycznego do produkcji plutonu-239, będącego zresztą dużo wygodniejszym materiałem do budowy broni. Istotnie, w każdym reaktorze wykorzystującym paliwo zawierające nierozszczepialny uran-238 (a w standardowym paliwie większość uranu stanowi ten właśnie izotop) w wyniku bombardowania neutronami powstaje Pu-239. Jednak efektywne wykorzystanie go do celów zbrojeniowych wymagałoby to bardzo specyficznej (a zatem łatwej do zaobserwowania z perspektywy monitorujących energetykę jądrową instytucji międzynarodowych) gospodarki paliwem jądrowym. Jest tak dlatego, że przy zbyt długim wykorzystaniu paliwa w reaktorze, powstają w niewielkich ilościach także inne niemożliwe w praktyce do odseparowania izotopy plutonu (Pu-238, Pu-240), które czynią uzyskany materiał mało przydatnym do produkcji głowic jądrowych (możliwe byłoby uzyskanie wybuchu, ale o bardzo słabych parametrach). Aby pluton wytworzony w reaktorze (dowolnego rodzaju) nadawał się do celów zbrojeniowych, element paliwowy musi zostać usunięty z reaktora po relatywnie krótkim czasie – około jednego miesiąca [12][13]. W większości reaktorów energetycznych, które są reaktorami typu zbiornikowego, jest to skrajnie niepraktyczne, albowiem przeładunek paliwa wymaga co najmniej kilku czy kilkunastodniowego wyłączenia reaktora – zatem wykorzystanie go do produkcji zbrojeniowej silnie zakłócałoby realizację podstawowej funkcji elektrowni, jednocześnie prowadząc do marnowania paliwa jądrowego (typowe paliwo dla reaktorów lekkowodnych eksploatowane jest około trzech lat). Wyjątek mogą tu stanowić rzadkie typy reaktorów, w których przeładunek paliwa prowadzi się w trakcie pracy, aczkolwiek w chwili obecnej nowe tego typu jednostki powstają wyłącznie w Indiach (które broń jądrową i tak już mają). W praktyce większość plutonu przeznaczanego do głowic jądrowych powstała w prostszych reaktorach służących tylko temu celowi. Są to dość proste konstrukcje, których pierwsze egzemplarze powstały już w połowie lat 40. – realizacja takiej instalacji jest

łatwiejsza, tańsza i prostsza do ukrycia, niż wykorzystanie do produkcji zbrojeniowej cywilnych elektrowni jądrowych.

Oczywiście pewne ogólne synergie pomiędzy wojskowym i cywilnym programem jądrowym mogą się pojawić, na przykład możliwość wykorzystania do obu celów częściowo wspólnego zaplecza badawczego i edukacyjnego, jednak tylko na dość ogólnym poziomie. Braku istotnego związku energetyki z proliferacją broni jądrowej dowodzi zresztą historia. Na 8 lub 9 krajów posiadających obecnie broń jądrową (niepewność dotyczy Izraela, który oficjalnie nie przyznaje, że taką broń posiada, ale jest dość powszechnie o to podejrzewany):

- 1 lub 2 (Korea Północna i wspomniany Izrael) w ogóle nie dysponuje energetyką jądrową,
- 5 (Rosja – traktowana jako spadkobierca ZSRR, USA, Wielka Brytania oraz Chiny) uzyskało broń jądrową przed zbudowaniem elektrowni jądrowych,
- tylko 3 – Francja, Indie i Pakistan – uruchomiły pierwsze reaktory energetyczne przed przeprowadzeniem prób broni jądrowej, przy czym we Francji oba programy były prowadzone praktycznie równoległe, natomiast w Indiach i Pakistanie pierwsze reaktory powstały znacznie wcześniej.

Jednocześnie pozostałe 23 z 31 krajów posiadających obecnie energetykę jądrową (i 25 z 33 jakie kiedykolwiek ją posiadały – doliczając Włochy i NRD) broni jądrowej nie miało i nie ma, przy czym o starania w tym kierunku na poważnie podejrzewany jest tylko jeden (Iran, w przeszłości programy na różnym stopniu zaawansowania prowadziły także Argentyna, Brazylia, Korea Płd., RPA i Tajwan). Zatem większość krajów eksploatujących elektrownie jądrowe nie czyni z nich żadnego militarnego użytku, a większość krajów, które broń jądrową posiadają, uzyskała ją wcześniej, niż cywilną energetykę jądrową [4][14].

### Ocieplający się klimat uniemożliwi stosowanie atomu z uwagi na brak wody do chłodzenia

W ostatnim czasie często pojawia się argument o niedostosowaniu energetyki jądrowej do zmian klimatu z uwagi na zapotrzebowanie na wodę chłodzącą. Często popierany jest on doniesieniami, skądinąd prawdziwymi, o konieczności wyłączania bloków z uwagi na zbyt wysoką temperaturę wody rzecznej lub morskiej używanej do chłodzenia [XI]. Czasami przy okazji pojawia się zupełnie nieprawidłowe stwierdzenie, że chodzi o wodę służącą rzekomo do chłodzenia reaktorów [XII].

Rzeczywiście, w istniejących blokach jądrowych występują ograniczenia związane z temperaturą wody

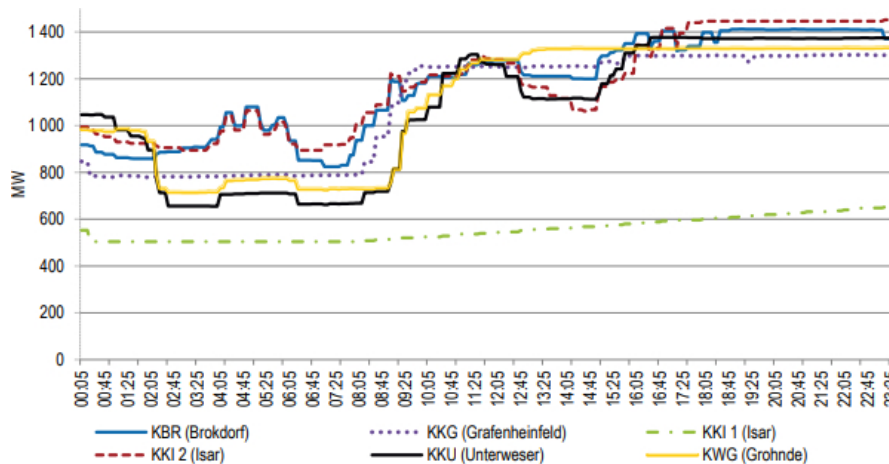
chłodzącej. Nie mają one jednak charakteru technicznego, a prawnego. Każda elektrownia chłodzona wodami powierzchniowymi ma określone warunki, na jakich z owych wód może korzystać. W przypadku elektrowni chłodzonych w obiegu otwartym (tj. pobierających do chłodzenia skraplacza wodę z rzeki, jeziora lub morza oraz zrzucających ją z powrotem do tego samego zbiornika po odebraniu ciepła), warunki te na ogół obejmują ograniczenie na temperaturę wody zrzucanej, czasami także na maksymalny pobór wody, określony jako udział w przepływie rzeki. To drugie ograniczenie może dotyczyć także bloków chłodzonych w obiegu zamkniętym z chłodnią kominową, które pobierają znacznie mniejszy strumień wody (dla skompensowania parowania w chłodni), ale za to nie zwracają go do zbiornika. Ograniczenia te podyktowane są względami ochrony środowiska – zbyt intensywne podgrzewanie wody w rzece, jeziorze czy lokalnie przy brzegu morskim, albo obniżenie przepływu rzeki w porze suchej mogłoby być szkodliwe dla lokalnych ekosystemów. Zdarza się zatem, że w warunkach wysokich temperatur, kiedy wody nagrzewają się naturalnie, nie jest możliwe dotrzymanie wymaganych parametrów, co najpierw prowadzi do konieczności ograniczenia poboru wody (a więc zmniejszenia mocy elektrowni), a ostatecznie zaprzestania pracy [15][16]. Podobne ograniczenia dotyczą zresztą i innych elektrowni wykorzystujących obieg parowy, na przykład polskiej elektrowni węglowej w Kozienicach. Oczywiście w miarę postępowania ocieplenia klimatu takie sytuacje, które występują na ogół w pojedynczych dobach roku, mogą się stawać częstsze, utrudniając pracę istniejących instalacji.

Jednocześnie jednak zupełnie bezzasadny jest argument, iż globalne ocieplenie spowoduje brak możliwości stosowania technologii jądrowych jako takich. Z technicznego punktu widzenia kwestia temperatur wody nie jest żadnym problemem – skraplacz można chłodzić wodą o dowolnej temperaturze. Możliwe jest też wykorzystanie wody w obiegu całkowicie zamkniętym, albo też nawet chłodzenie skraplacza powietrzem [17]. Są to rozwiązania termodynamicznie nieco mniej efektywne, ale doskonale znane i sprawdzone. W wielu przypadkach jednak nie będzie konieczne ich stosowanie, wystarczy odpowiednie dostosowanie projektu układu otwartego. W przypadku elektrowni chłodzonych wodą morską sprowadzać się to będzie np. do poboru wody z większej odległości od brzegu (a więc mniej podatnej na nagrzewanie), albo też do zwiększenia przepływu wody (co zmniejszy przyrost temperatury). W żadnym wypadku jednak zbyt wysokie temperatury otoczenia nie doprowadzą do braku możliwości zastosowania technologii jądrowych.

### **Elektrownie jądrowe nie mogą elastycznie zmieniać mocy**

Większość elektrowni jądrowych pracuje jako instalacje podstawowe – pracując zasadniczo nieprzerwanie przez cały okres kampanii paliwowej (tj. pomiędzy przeładunkami paliwa, typowo realizowanymi co 12, 18 lub nawet 24 miesiące) z mocą bliską znamionowej. Nie wynika to jednak z braku technicznej możliwości innego trybu pracy. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest ekonomia: elektrownie jądrowe to instalacje o relatywnie wysokich kosztach stałych (wynikających z wysokiego kosztu inwestycyjnego) i bardzo niskich kosztach zmiennych (wynikających z taniego – w odniesieniu do jednostki energii – paliwa). W związku z tym najbardziej opłacalne jest ich maksymalne wykorzystanie. W większości krajów moc elektrowni jądrowych wpisuje się dobrze w zapotrzebowanie podstawowe na energię (tj. minimalną moc pobieraną z systemu niezależnie od pory dnia czy roku), stąd nie istnieje realna potrzeba częstych zmian mocy. Do tego w szczególnym przypadku Stanów Zjednoczonych, a więc kraju, w którym pracuje zdecydowanie najwięcej reaktorów, instalacje jądrowe nie mogą być sterowane zdalnie, a więc w szczególności nie mogą w sposób samoczynny reagować na zmiany obciążenia w systemie. Z tych faktów wypływa jednak często błędne przekonanie, że technologie jądrowe w ogóle nie są zdolne do pracy ze zmienną mocą, z czego miałyby wynikać ich niezdolność do efektywnej współpracy z odnawialnymi źródłami energii charakteryzującymi się szybkimi zmianami mocy w zależności od warunków otoczenia (siły wiatru czy zachmurzenia) [XIV].

Taki pogląd jest jednak błędny. Jest faktem, że obecnie stosowane technologie jądrowe, wykorzystujące parowy obieg roboczy, nie mają elastyczności tak wysokiej, jak instalacje gazowe oparte o silniki tłokowe wielkiej mocy albo turbiny gazowe. W szczególności elektrownie jądrowe nie są zdolne do bardzo szybkich rozruchów – rozruch typowego bloku ze stanu zimnego zajmuje około doby. Jednocześnie jednak pracujące elektrownie jądrowe jak najbardziej mogą dostosowywać swoją moc do bieżących potrzeb systemowych w szerokim zakresie, a także realizować automatyczną regulację częstotliwości w systemie elektroenergetycznym. W rzeczywistości taka eksploatacja ma miejsce w szeregu krajów świata, szczególnie we Francji (gdzie udział elektrowni jądrowych jest tak wysoki, że nie ma innej możliwości) i w Niemczech (gdzie duży udział źródeł odnawialnych wymusza pracę regulacyjną wszystkich innych źródeł – zob. rys. 3) [19][20]. Dodatkowo w nowszych konstrukcjach reaktorów specjalnie zaplanowano możliwości pracy regulacyjnej, obniżając



Ryc. 3. Przykład dobowego przebiegu zmienności mocy wybranych niemieckich bloków jądrowych [20]

minimum techniczne (czyli minimalną moc, przy której jednostka jest w stanie pracować w sposób ciągły) oraz podnosząc możliwą szybkość zmian mocy [20].

### Nierozwiązany problem odpadów

Zagadnienie odpadów promieniotwórczych jest jednym z najczęściej poruszanych w debacie o zasadności stosowania energetyki jądrowej. W tym przypadku trudno jednoznacznie powiedzieć, że kwestia „nierozwiązania problemu” jest „mitem”, gdyż to stwierdzenie jest dość nieprecyzyjne. Szczególnie dlatego warto doprecyzować jaki jest aktualny stan tego zagadnienia.

Jest niezaprzeczalnym faktem, że energetyka jądrowa produkuje bardzo specyficzny typ odpadów w postaci odpadów promieniotwórczych. Jest także faktem, że jakkolwiek większość (pod względem masy/objętości) z odpadów klasyfikowanych jako promieniotwórcze nie odbiega istotnie od odpadów promieniotwórczych pochodzących z innych dziedzin działalności człowieka, istnieje szczególna kategoria długożyciowych odpadów wysokoaktywnych, czyli przede wszystkim wypalonego paliwa jądrowego. Tego rodzaju materiały, bez żadnych osłon, byłyby śmiertelnie niebezpieczne dla przebywających w pobliżu organizmów żywych, przede wszystkim z uwagi na wysoką emisję promieniowania. Drugim problemem jest czas, przez jaki odpady zachowują wysoką aktywność, ponieważ powrót do poziomu porównywalnego ze świeżym paliwem potrwa około 100 tysięcy lat. Z drugiej strony są pewne cechy pozytywne. Przede wszystkim takich odpadów jest, w porównaniu do odpadów generowanych przez inne technologie energetyczne, bardzo mało. Typowa instalacja o mocy elektrycznej 1000 MW z reaktorem chłodzonym wodą wytwarza 30-50 ton wypalonego paliwa rocznie. Według szacunków Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej do roku 2008 powstało między 230-250 tys. ton wypalonego paliwa [21].

Po drugie wpływ odpadów wytwarzanych w elektrowni jądrowej ogranicza się do emisji promieniowania, które bardzo łatwo zablokować warstwą materiału nieprzepuszczającego promieniowanie gamma, np. betonu. Pozostaje jednak kwestia fizycznego składowania takich odpadów przez bardzo długi czas.

Wypalone paliwo może być przedmiotem składowania w całości, może jednak zostać też poddane przeróbce. Przeróbka ma na celu odzyskanie użytecznych materiałów rozszczepialnych (nieużytego uranu oraz wytworzonego plutonu), a także separację izotopów wysokoaktywnych i długożyciowych od pozostałych. Taki proces pozwala na zmniejszenie objętości odpadów przeznaczonych do długoterminowego składowania. Przy zastosowaniu współczesnych technologii przeróbki, z tony wypalonego paliwa powstaje około 0,4 m<sup>3</sup> odpadu wysokoaktywnego w postaci zwitryfikowanej (czyli stopionej w blok ze specjalnym gatunkiem szkła) [21], co daje 12–20 m<sup>3</sup> rocznie dla instalacji o mocy 1000 MW.

Oprócz odpadów wysokoaktywnych, w elektrowni jądrowej powstają także odpady nisko- i średnioaktywne. Ich ilość silnie zależy od typu reaktora. Dla najpopularniejszych bloków z reaktorami wodnymi ciśnieniowymi (PWR) jest to łącznie ok. 250 m<sup>3</sup> rocznie dla instalacji o mocy 1000 MW [21].

Współcześnie panuje konsensus, iż ostatecznym sposobem składowania odpadów wysokoaktywnych (oraz długożyciowych odpadów średnioaktywnych) powinno być umieszczenie ich w głębokim (powyżej 250 m pod powierzchnią terenu) podziemnym składowisku geologicznym, położonym w stabilnych formacjach skalnych i w tym sensie kwestia jest rozwiązana [22]. Tu niestety pojawia się największy problem, który wykracza poza technologię – a mianowicie polityczna decyzja o lokalizacji i budowie składowiska. Większość krajów odkłada tę decyzję na przyszłość, co jest tym

łatwiejsze, że objętości składowanych odpadów nie przysparzają praktycznych problemów. Jedynie Finlandia jest krajem bliskim ukończenia swojego ostatecznego składowiska odpadów wysokoaktywnych z energetyki jądrowej. W pozostałych krajach, paliwo po okresie kilkuletniego przechowywania w przyreaktorowych basenach, transportowane jest do składowisk średnioterminowych lub składowane jest w suchych pojemnikach na terenie samych elektrowni (tak jest w przypadku USA). Pod tym względem można zatem uznawać zagadnienie za aktualnie nierozwiązane.

Krótkożyciowe odpady średnioaktywne oraz odpady niskoaktywne składa się w składowiskach naziemnych lub płytkich składowiskach podziemnych, na głębokościach rzędu kilkudziesięciu metrów, które istnieją już w wielu krajach - dla potrzeb energetyki jądrowej w Czechach, Finlandii, Francji, Hiszpanii, Holandii, Japonii, Szwecji, USA i Wielkiej Brytanii [22]. Takie same (albo te same) instalacje wykorzystywane są do składowania odpadów promieniotwórczych wytwarzanych przez inne branże.

Warto wspomnieć, że jakkolwiek procesu rozpadu promieniotwórczego produktów rozszczepienia i ich pochodnych zatrzymać się nie da, istnieją możliwości przyspieszenia go w odniesieniu do niektórych składników wypalonego paliwa. Niektóre rodzaje reaktorów IV generacji mogłyby być zdolne do prowadzenia takiego procesu. Prototypowe instalacje tego rodzaju zostały poddane próbom wiele lat temu, jednak do dziś nie zostały wdrożone do komercyjnej eksploatacji i nie jest to planowane w najbliższych latach. Obecnie ich wykorzystanie na istotną skalę pozostaje zagadnieniem hipotetycznym.

### Podsumowanie

Zagadnienia związane z energetyką jądrową są skomplikowane pod względem naukowym i technicznym, a szczegółowa wiedza o nich nie jest powszechna. Jednocześnie energetyka jądrowa jest i będzie przedmiotem szerokiej debaty publicznej w krajach demokratycznych, szczególnie w czasie, gdy zmiany klimatyczne wymuszają szybką redukcję emisji gazów cieplarnianych wynikających ze spalania paliw kopalnych. Rzecz jasna technologie jądrowe – jak każdy wytwór techniki – nie są wolne od wad i ograniczeń, w tym wynikających bezpośrednio z praw fizyki i rozwiązań technicznych. Istotne jest jednak, by w dyskusji publicznej na ten temat posługiwać się sprawdzonymi informacjami mającymi oparcie w faktach – niestety, jak widać z przytoczonych tu przykładów, poziom merytoryczny debaty prowadzonej aktualnie w środkach masowego przekazu, w tym takich o ugruntowanej renomie, pozostawia nieco do życzenia.

### Bibliografia

Bibliografia niniejszego artykułu została podzielona na dwie części w celu wyraźnego oddzielenia publikacji zawierających informacje merytoryczne od pozycji zawierających kwestionowane stwierdzenia – mity, których nie należy traktować jako źródeł jakiegokolwiek wartościowej wiedzy, ale które dla porządku zostają wymienione dla potwierdzenia faktycznego występowania w debacie publicznej.

### Materiały źródłowe merytoryczne

- [1] *Chernobyl Accident 1986*. World Nuclear Association, Information Library, aktualizacja z czerwca 2019 [<https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>]
- [2] *Frequently Asked Chernobyl Questions*. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, b.d. [<https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs>]
- [3] *Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On*. Nuclear Energy Agency, OECD, Issy-les-Moulineaux 2002 [<https://www.oecd-neo.org/rp/chernobyl/>]
- [4] *Power Reactor Information System*. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, dostęp 21 listopada 2019 [<https://pris.iaea.org/PRIS/>]
- [5] M. Hyland, Risley, *Reactivity Coefficients in Nuclear Reactors*. Europhysics News vol. 18, nr 11/12, 1987, s. 133-137 [<https://www.europhysicsnews.org/articles/eprn/pdf/1987/11/eprn19871811p133.pdf>]
- [6] *Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources*. Nuclear Energy Agency, OECD, Issy-les-Moulineaux, 2010 [<https://www.oecd-neo.org/ndd/reports/2010/nea6861-comparing-risks.pdf>]
- [7] *Externalities of Electricity Generation*. World Nuclear Association, Information Library, aktualizacja z marca 2017 [<https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/externalities-of-electricity-generation.aspx>]
- [8] Barry W. Brook i in., *Why nuclear energy is sustainable and has to be part of the energy mix*. Sustainable Materials and Technologies, 1-2 (2014), s. 8-16, DOI 10.1016/j.susmat.2014.11.001
- [9] *The Nuclear Fuel Cycle*. Information Library, World Nuclear Association, aktualizacja z marca 2017 [<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx>]
- [10] *Nuclear Power in a Clean Energy System*. Międzynarodowa Agencja Energetyczna, Paryż 2019

- [11] *Almost all U.S. nuclear plants require life extension past 60 years to operate beyond 2050*. U.S. Energy Information Administration, 8 grudnia 2014 r. [<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=19091>]
- [12] *Nonproliferation and arms control assessment of weapons-usable fissile material storage and excess plutonium disposition alternatives*. U.S. Department of Energy, Waszyngton 1997 [<https://www.osti.gov/biblio/425259-nonproliferation-arms-control-assessment-weapons-usable-fissile-material-storage-excess-plutonium-disposition-alternatives>]
- [13] *Plutonium*. Information Library, World Nuclear Association, aktualizacja z grudnia 2018 [<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/plutonium.aspx>]
- [14] *Nuclear Weapons: Who Has What at a Glance*. Arms Control Association, aktualizacja z lipca 2019 [<https://www.armscontrol.org/factsheets/Nuclearweaponswhohaswhat>]
- [15] *Hot weather cuts French, German nuclear power output*. Reuters, 25 lipca 2019 [<https://www.reuters.com/article/us-france-electricity-heatwave/hot-weather-cuts-french-german-nuclear-power-output-idUSKCN1UK0HR>]
- [16] *Sweden's Ringhals-2 nuclear reactor offline due to high water temperature*. Reuters, 30 lipca 2018 [<https://www.reuters.com/article/sweden-nuclear-idAFL5NIUQ5X3>]
- [17] *Efficient Water Management in Water Cooled Reactors*. IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.6, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, Wiedeń 2012 [[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PI569\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PI569_web.pdf)]
- [18] Jason Deign, *Why More Flexible Operation Won't Save US Nuclear Power Plants*. Serwis Greentechmedia, 30 października 2017
- [19] [<https://www.greentechmedia.com/articles/read/why-more-flexible-operation-wont-save-u-s-nuclear-plants>]
- [20] A. Lokhov, *Load-following with nuclear power plants*. NEA updates, NEA News 2011 – No. 29.2 [<https://www.oecd-neo.org/nea-news/2011/29-2/nea-news-29-2-load-following-e.pdf>]
- [21] *Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants*. Nuclear Energy Agency, OECD [<http://www.oecd-neo.org/ndd/reports/2011/load-following-npp.pdf>]
- [22] *Estimation of Global Inventories of Radioactive Waste and Other Radioactive Materials*. IAEA-TECDOC-1591, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, Wiedeń 2007 [[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1591\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1591_web.pdf)]
- [23] *Storage and Disposal of Radioactive Waste*. Information Library, World Nuclear Association, aktualizacja z października 2018 [<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/storage-and-disposal-of-radioactive-wastes.aspx>]

#### Materiały zawierające kwestionowane stwierdzenia

- [I] Piotr Pałys, *Czy Polakom grozi drugi Czarnobyl? Sytuacja na Słowacji może być groźna...* Świat Rolnika, 9 lipca 2019 [<https://swiatrolnika.info/informacje/6016-czy-polakom-grozi-drugi-czarnobyl-sytuacja-na-slowacji-moze-byc-grozna>]
- [II] Jadwiga Hereta, *Drugi Czarnobyl?* Tygodnik Zamojski, 11 czerwca 2008 r. [<http://www.tygodnikzamojski.pl/artykul/8442/drugi-czarnobyl.html>]
- [III] *Czy grozi nam drugi Czarnobyl? Ukraina ostrzega!* Fronda.pl, b.d. [<https://www.fronda.pl/a/czy-grozi-nam-drugi-czarnobyl-ukraina-ostrzega,70292.html>]
- [IV] „Nowy Czarnobyl” jest tylko kwestią czasu. Interia Tech, b.d. [<https://nt.interia.pl/technauka/news-nowy-czarnobyl-jest-tylko-kwestia-czasu,nId,2279321>]
- [V] *Litwini boją się drugiego Czarnobyla*. Portal Niezależna, 1 października 2019 [<https://niezalezna.pl/290573-litwini-boja-sie-drugiego-czarnobyla>]
- [VI] *Jest obawa o „drugi Czarnobyl”*. Wykupionych będzie 4 mln tabletek z jodem. Portal Warszawa w pigułce, 29 czerwca 2019 [<https://warszawawpigulce.pl/jest-obawa-o-drugi-czarnobyl-wykupionych-będzie-4-mln-tabletek-z-jodem/>]
- [VII] Jakub Cęglarz, *Litwini kupują 4 mln tabletek jodu. Boją się „drugiego Czarnobyla”*. Portal Money.pl, 28 czerwca 2019 [<https://www.money.pl/gospodarka/litwini-kupuja-4-mln-tabletek-jodu-boja-sie-drugiego-czarnobyla-6396909505493121a.html>]
- [VIII] *Feministki i działaczki ekologiczne: świat odchodzi od energii jądrowej*. Portal Wirtualny Nowy Przemyśl, 18 czerwca 2011 [<https://www.wnp.pl/energetyka/feministki-i-dzialaczki-ekologiczne-swiat-odchodzi-od-energii-jadrowej,143338.html>]
- [IX] *Greenpeace: nie będziemy bronić niemieckich jądrowek*. Atom nie ma przyszłości [WYWIAD]. Portal Energetyka24, 26 września 2019 [<https://www.energetyka24.com/greenpeace-nie-będziemy-bronic-niemieckich-jadrowek-atom-nie-ma-przyszlosci-wywiad>]

- [X] Mark Z. Jacobson, *The 7 reasons why nuclear energy is not the answer to solve climate change*. Leonardo DiCaprio Foundation, 20 czerwca 2019 r. [<https://www.leonardodicaprio.org/the-7-reasons-why-nuclear-energy-is-not-the-answer-to-solve-climate-change/>]
- [XI] Christoph von Eichhorn, *Bill Gates is wrong. Nuclear power will not save the climate. Beyond Chernobyl and Fukushima there's too much speaking against it*. The German Times, październik 2019 [<https://www.money.pl/gospodarka/wiadomosci/artykul/elektrownia-jadrowa-lekiem-na-zmiany-klimatu,58,0,2423098.html>]
- [XII] Witold Ziomek, *Elektrownia jądrowa lekiem na zmiany klimatu? Eksperci: Nie ma energii obojętnej dla środowiska*". Portal Money.pl, 3 grudnia 2018 [<https://www.money.pl/gospodarka/wiadomosci/artykul/elektrownia-jadrowa-lekiem-na-zmiany-klimatu,58,0,2423098.html>]
- [XIII] *Nieelastyczne elektrownie jądrowe nie mają czego szukać w systemie elektroenergetycznym*. Portal Gram w zielone, 5 maja 2017 [<http://gramwzielone.pl/trendy/26482/nieelastyczne-elektrownie-nie-maja-czego-szukac-w-systemie-energetycznym>]
- [XIV] *Schneider: po co Polsce elektrownia atomowa? Rozmowa Ewy Dryjańskiej, Krytyka Polityczna*, 30 grudnia 2014 [<https://krytykapolityczna.pl/swiat/schneider-po-co-polsce-elektrownia-atomowa/>]