



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

e-ISSN 2353-9062
ISSN 0867-4752

BIULETYN

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE I OCHRONA RADIOLOGICZNA

1 (139) 2026

Biuletyn „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna” znajduje się w wykazie czasopism naukowych Ministerstwa Edukacji i Nauki. Kwartalnik wydawany przez PAA otrzymał 40 pkt. w następujących dyscyplinach naukowych:

- nauki o bezpieczeństwie,
- nauki fizyczne,
- nauki chemiczne,
- nauki prawne,
- nauki medyczne
- inżynieria bezpieczeństwa
- biologia medyczna.

WYDAWCA

Państwowa Agencja Atomistyki

ul. Nowy Świat 6/12, 00-400 Warszawa

REDAKCJA

Maciej JURKOWSKI – redaktor naczelny

Elżbieta ZALEWSKA – redaktor prowadzący

Marek WOŹNIAK – redaktor techniczny

Jarostaw CHILMON – członek redakcji

ul. Nowy Świat 6/12, 00-400 Warszawa

TEL. 22 628 94 39

FAX 22 621 37 86

E-MAIL biuletyn@paa.gov.pl

www. gov.pl/web/paa

RADA PROGRAMOWA

prof. dr hab. **Janusz JANECZEK** – przewodniczący Rady

prof. dr hab. inż. **Andrzej CHMIELEWSKI** – członek Rady

prof. dr hab. n. med. **Marek K. JANIAK** – członek Rady

prof. dr hab. n. med. **Eugeniusz DZIUK** – członek Rady

prof. dr hab. n. med. **Leszek KRÓLICKI** – członek Rady

dr hab. **Agnieszka KORGUL** – członek Rady

dr **Tomasz NOWACKI** – członek Rady

e-ISSN 2353-9062

ISSN 0867-4752

DRUK

PHU OLEJNIK Piotr Olejnik, 01-318 Warszawa, ul. E. Szwanowskiego 2/3

Zdjęcie na okładce: monitorowanie sytuacji radiacyjnej (fot. PAA).

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE I OCHRONA RADIOLOGICZNA

BIULETYN INFORMACYJNY PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

Nr 1 (139) 2026

Warszawa

Spis treści

- 5** Andrzej Głowacki
Wywiad z Andrzejem Głowackim, Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki
- 9** *Komunikat*
Do Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki wpłynął wniosek o wydanie zezwolenia na budowę elektrowni jądrowej w lokalizacji Lubiątko-Kopalino
- 10** Paweł Olko, Beata Brzozowska, Michał Gryziński, Paweł Krajewski, Bogusław Michalik, Jakub Ośko
Strategiczna Agenda Badawcza dla Ochrony Radiologicznej w Polsce
- 21** Patrycja Styka, Barbara Piotrowska, Krzysztof Isajenko
Promieniotwórczość naturalna ceramiki budowlanej badanej w Polsce w latach 2021–2024
- 26** Tomasz R. Nowacki
Definicja obiektu jądrowego i obiektu energetyki jądrowej w polskim prawie energii jądrowej. Ewolucja siatki pojęciowej oraz uwagi *de lege lata* i *de lege ferenda*. Cz. II (od 1986 r.)
- 41** Kacper Gargul, Marek Niemczyk
Katastrofa w Czarnobylu, a skutki psychologiczne w społeczeństwie
- 49** Yehoshua Socol, Moshe Yanovskiy
Negative Effects of Over-Reaction in the Aftermath of Radiological Emergencies

Szanowni Państwo

Pierwszy tegoroczny numer naszego kwartalnika otwiera wywiad z **Andrzejem Głowackim**, prezesem Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), przeprowadzony przez naszą redakcję w połowie lutego br. Wywiad w przeważającej części poświęcony był przygotowaniom do sprawowania przez Prezesa PAA, jako naczelnego organu dozoru jądrowego w Polsce, państwowego nadzoru i kontroli w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej (dozoru jądrowego) nad realizacją budowy elektrowni jądrowych na terenie naszego kraju. Po tekście wywiadu zamieściliśmy treść komunikatu z 31 marca br. o wpłynięciu w tym dniu do PAA wniosku spółki Polskie Elektrownie Jądrowe o wydanie przez Prezesa PAA zezwolenia na budowę elektrowni jądrowej w lokalizacji Lubiатовo-Kopalino. Złożenie tego wniosku stanowi formalne i faktyczne uruchomienie procesu dozoru jądrowego nad bezpieczeństwem realizacji pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce, o którym była mowa w przeprowadzonym sześć tygodni wcześniej wywiadzie.



Drugim z opublikowanych materiałów jest opracowany pod redakcją **Pawła Olko, Beaty Brzozowskiej, Michała Gryzińskiego, Pawła Krajewskiego, Bogusława Michalika i Jakuba Ośko** przez kilkadziesiąt autorów, kompleksowy plan rozwoju badań podstawowych, mający na celu wskazanie priorytetowych kierunków badań dla ochrony radiologicznej na najbliższą dekadę, pod nazwą Strategiczna Agenda Badawcza (SAB) dla Ochrony Radiologicznej (OR) w Polsce. Wytacza ona długoterminowe priorytety prac badawczych w kontekście rosnącego znaczenia energetyki jądrowej, medycznych zastosowań promieniowania oraz zagrożeń cywilnych i militarnych, pozwalając na koordynację wysiłków różnych ośrodków naukowych dla realizacji długofalowych celów polityki naukowej państwa, wzmocnienie roli Polski w międzynarodowych projektach badawczych oraz rozwój kompetencji w obliczu planowanego uruchomienia pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

W trzecim artykule **Patrycja Styka, Barbara Piotrowska i Krzysztof Isajenko** relacjonują wyniki badań promieniotwórczości naturalnej ceramiki budowlanej, obejmujących kilkadziesiąt próbek płytek, mozaiki, ceramiki sanitarnej, bloków i blatów ceramicznych, przeprowadzonych w latach 2021–2024 pod kątem dopuszczalności wprowadzania tego typu produktów na rynek w świetle obowiązujących w Polsce przepisów.

W czwartym artykule **Tomasz Nowacki** kontynuuje opis ewolucji pojęć obiektu jądrowego i obiektu energetyki jądrowej w polskim prawie energii jądrowej w szerokiej perspektywie czasowej, rozpoczęty w poprzednim numerze naszego kwartalnika. Bieżący artykuł obejmuje okres od wejścia w życie pierwszej ustawy Prawo atomowe w kwietniu 1986 r. do chwili obecnej. Tak jak poprzednio, autor poddał również analizie proces tworzenia analogicznych lub pokrewnych definicji w międzynarodowym prawie energii jądrowej, zwłaszcza w dokumentach *soft law* przyjmowanych pod auspicjami MAEA, jako potencjalnego punktu odniesienia i materiału referencyjnego dla polskiego prawodawcy.

W kwietniu br. minęło 40 lat od katastrofy w Czarnobylu, najpoważniejszej awarii w historii pokojowych zastosowań energii jądrowej. Jej skutkom psychospołecznym poświęcony jest kolejny artykuł. **Kasper Gargul i Marek Niemczyk** przypominają w nim, jak doszło do tej katastrofy i jak ograniczony był dostęp do rzetelnej informacji o jej zakresie, by opisać następnie przykłady jej psychologicznych implikacji na podstawie szerokiego przeglądu piśmiennictwa światowego. Artykuł uwidacznia m.in. skutki braku dozoru jądrowego o należytych i niepodważalnych uprawnieniach decyzyjnych, opartych na merytorycznych kompetencjach, prowadzące do zaniechania jakichkolwiek działań naprawczych mimo wiedzy o wielu brakach i uchybieniach po stronie policji politycznej.

Zagadnieniu strachu przed promieniowaniem (radiofobii) i nadmiernej reakcji na zdarzenia radiacyjne, niewspółmiernej do rzeczywistego zagrożenia, poświęcony jest ostatni artykuł. **Yehoshua Socol i Moshe Yanowski** rozważają w nim, jak należy chronić się przed skutkami działań terrorystycznych z użyciem materiałów jądrowych, by cel terrorystów, jakim jest wywołanie strachu w zaatakowanej społeczności i niepotrzebnej, nadmiernej reakcji służb państwowych, nie został osiągnięty.

Życzymy Państwu owocnej lektury,

Redaktor naczelny
Maciej Jurkowski

Wywiad z Andrzejem Głowackim, Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki

13 lutego 2026

Maciej Jurkowski, redaktor naczelny biuletynu BJiOR: Już pewnego rodzaju tradycją jest, że przeprowadzamy wywiady z Prezesami Państwowej Agencji Atomistyki. Od wielu lat Państwowa Agencja Atomistyki intensywnie przygotowuje się do sprawowania dozoru jądrowego nad budową elektrowni jądrowej. Jako długoletni pracownik PAA uczestniczył Pan w tych działaniach. Co istotnego wg Pana oceny zostało z sukcesem zrealizowane w PAA w tym zakresie do czasu objęcia przez Pana urzędu Prezesa PAA?

Andrzej Głowacki: Dziękuję za zwrócenie uwagi na moje doświadczenie. Rzeczywiście w Państwowej Agencji Atomistyki pracuję już blisko 19 lat i przeszedłem w tej instytucji przez każdy szczebel kariery, aż do funkcji Prezesa, którą objąłem w marcu 2023 roku, czyli 3 lata temu. Gdy w 2009 roku zapadła rządowa decyzja o wznowieniu programu energetyki jądrowej, priorytetem dla PAA były dwa aspekty: utworzenie odpowiednich ram prawnych i zaplecza kadrowego. Zaczęliśmy intensywnie pracować w tych obszarach. Byłem bezpośrednio zaangażowany w ten proces rozwoju i patrząc na to, jaką organizacją jesteśmy dzisiaj – nowoczesną, budzącą zaufanie i coraz lepiej rozpoznawalną – myślę, że można postrzegać te przygotowania w kategorii sukcesu.

Zaczęliśmy od fundamentów, czyli prawa. W ciągu ostatniej dekady przeprowadziliśmy kompleksowe nowelizacje prawa atomowego i opracowaliśmy nowe rozporządzenia wykonawcze, w tym te dotyczące analiz bezpieczeństwa, rozruchu czy eksploatacji elektrowni jądrowej, ale także likwidacji elektrowni jądrowych. Wszystkie te wymagania bezpieczeństwa opracowaliśmy w Państwowej Agencji Atomistyki. Mamy zatem dziś solidne wymogi dotyczące oceny bezpieczeństwa, nadzoru nad budową, eksploatacji czy postępowania z odpadami promieniotwórczymi. To pozwala nam efektywnie sprawować nadzór oraz działać na poziomie porównywalnym z państwami o rozwiniętych programach jądrowych.

Równolegle wzmacnialiśmy kadry. Kiedy dołączałem do PAA było nas mniej niż 100 osób, ale już przed

objęciem przeze mnie funkcji Prezesa w marcu 2023 roku w Agencji zatrudnionych było blisko 130 osób.

Nie możemy też zapomnieć o infrastrukturze. Rozwiliśmy monitoring radiacyjny – w 2007 roku mieliśmy 13 stacji wczesnego wykrywania skażeń (PMS), a obecnie jest ich w całym kraju 65.

Wzmocniliśmy nasz potencjał analityczny poprzez nabycie kodów komputerowych do analiz bezpieczeństwa, zarówno neutronowych, ciepłno-przepływowych i wytrzymałościowych, ale także do wspomagania decyzji w razie wystąpienia zdarzenia radiacyjnego.



Andrzej Głowacki, Prezes Państwowej Agencji Atomistyki

Rozpoczęliśmy także proces poszukiwania i tworzenia systemu wsparcia techniczno-eksperymentalnego dla dozoru jądrowego, który moim zdaniem jest bardzo ważnym elementem naszego przygotowania do nadzoru nad elektrowniami jądrowymi.

Maciej Jurkowski: Czy mógłby Pan bardziej szczegółowo opisać ostatnie 3 lata? To czas, w którym Pan kieruje Agencją – jak je Pan podsumuje?

Andrzej Głowacki: Jeżeli chodzi o ostatnie 3 lata, to był to czas wytężonej pracy i skupienia się na dalszym rozwoju Agencji. Bazujemy na bogatej historii instytucji, kompetencjach, które już posiadamy, ale rozwijamy się dalej. Przede wszystkim szykujemy się do oceny wniosku o wydanie zezwolenia na budowę elektrowni jądrowej.

Przez te 3 lata cały czas prowadziliśmy nabory. Agencja liczy obecnie ponad 180 pracowników, co w porównaniu z 2007 rokiem stanowi wzrost o ponad 100%. Pamiętajmy, że PAA dalej prowadzi intensywnie rekrutacje, gdyż aktualny stan osobowy to zupełne minimum do realizacji obecnych zadań Agencji.

Dbamy o to, aby kadra była odpowiednio przygotowana i żeby sprawnie wykonywać powierzone zadania, potrzebna jest fachowa wiedza, a także pracownicy różnych specjalizacji. Ze względu na specyfikę pracy dozoru jądrowego, ważne jest również systematyczne podnoszenie kwalifikacji personelu.

Tylko w ostatnich 3 latach (czyli w latach 2023–2025) nasi pracownicy odbyli ponad 5300 osobodni szkoleń. To jest ogromna liczba. Mowa tu tylko o szkoleniach na potrzeby Programu polskiej energetyki jądrowej (PPEJ). Nasi eksperci szkolą się na całym świecie, odbywają staże stanowiskowe (*On the Job Training – OJT*) w zagranicznych urzędach dozoru jądrowego.

Wzmacniamy również naszą pozycję na arenie międzynarodowej. Ważne dla naszego kraju było przystąpienie w 2023 roku w roli członka do Zachodnioeuropejskiego Stowarzyszenia Regulatorów Jądrowych WENRA. Wcześniej mieliśmy status obserwatora. Pełnoprawne członkostwo daje realny wpływ na decyzje podejmowane w strukturach Stowarzyszenia. Wspomnę w tym miejscu o tym, że nasze krajowe przepisy wymagają branie pod uwagę międzynarodowych zaleceń i wytycznych w kwestiach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, w tym właśnie tworzonych w ramach WENRA.

Wzmacniamy nasz dialog z partnerami zagranicznymi. Przede wszystkim warto wspomnieć amerykańską komisję dozoru jądrowego (US NRC), czyli naszego odpowiednika w Stanach Zjednoczonych. To istotne dlatego, że technologia AP1000 wybrana przez rząd dla pierwszej polskiej EJ pochodzi właśnie z USA – chcemy zatem jak najwięcej czerpać z doświadczeń Amerykanów w zakresie nadzoru nad tą technologią.

Cały czas rozwijamy monitoring radiacyjny kraju. Dla przykładu na koniec 2022 roku mieliśmy 52 stacje wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych. Teraz, jak już wspominałem, jest ich w całym kraju 65, a do 2033 roku będzie ich ponad 140.

Dodatkowo w ubiegłym roku zakupiliśmy mobilne laboratorium, tj. specjalnie wyposażone auto, które służy do wykonywania pomiarów radiometrycznych w terenie. Jest to jedyne w Polsce i jedno z niewielu w Europie tak wyposażonych i skonfigurowanych laboratoriów do tego typu zadań.

Maciej Jurkowski: Wspomniał Pan o stażach stanowiskowych. Czy mógłby Pan powiedzieć w jakich krajach i z jakimi technologiami zapoznawali się stażyści z Państwowej Agencji Atomistyki?

Andrzej Głowacki: PAA organizuje szeroki zakres staży stanowiskowych dla pracowników. W tym zakresie głównie współpracujemy z amerykańską komisją dozoru jądrowego. Nasi pracownicy byli także na stażach stanowiskowych w Kanadzie, Wielkiej Brytanii, Francji, Korei Południowej, w Czechach, na Słowacji i Republice Południowej Afryki. Podczas tych staży pracownicy zapoznają się z pracą dozoru jądrowego w odniesieniu do różnych technologii jądrowych. Na przykład ostatnio dwóch przedstawicieli PAA odbyło staże w kanadyjskiej komisji dozoru jądrowego (CNSC), poświęcone przeglądowi dozorowemu technologii reaktora BWRX-300. A przypomnę, że PAA także przygotowuje się do licencjonowania małych reaktorów modułowych, czyli SMR (ang. *small modular reactor*), których BWRX-300 jest przykładem. Natomiast ja sam kilkanaście lat temu brałem udział w stażu stanowiskowym w Stanach Zjednoczonych na budowie elektrowni jądrowej Vogtle, gdzie powstawał reaktor w technologii AP1000. Uważam, że tego typu szkolenia są najlepszą formą podnoszenia kompetencji, ponieważ dają możliwość bezpośredniego, praktycznego zapoznania się z pracą dozoru jądrowego.

Maciej Jurkowski: Skoro jesteśmy przy reaktorze AP1000, to na jakim etapie według Pana oceny znajduje się obecnie proces budowy pierwszej w Polsce elektrowni jądrowej i jakie są w związku z tym największe wyzwania stojące przed Agencją w krótkiej i długiej perspektywie czasowej?

Andrzej Głowacki: Proces realizacji programu budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej jest w zaawansowanej fazie przygotowawczej. Po stronie państwa zapadły kluczowe decyzje kierunkowe, wydano decyzje zasadnicze i lokalizacyjne, co pozwala inwestorowi rozwijać dokumentację środowiskową i techniczną.

Muszę jednak wyraźnie zaznaczyć: z perspektywy dozоровej proces budowy formalnie się jeszcze nie rozpoczął, ponieważ do Prezesa PAA nie wpłynął jeszcze wniosek o wydanie zezwolenia na budowę.¹ Nie czekamy jednak

¹ Wniosek spółki Polskie Elektrownie Jądrowe o wydanie zezwolenia na budowę elektrowni jądrowej w lokalizacji Lubiatowo-Kopalino wpłynął 6 tygodni później, 31 marca 2026 roku (*przyp. red.*).

biernie. Na etapie przed złożeniem wniosku prowadzimy z inwestorem, spółką Polskie Elektrownie Jądrowe, intensywny dialog przedlicencyjny. W 2025 roku wydaliśmy dwie polityki regulujące zasady tego dialogu. Ten dialog pozwala nam lepiej planować wykorzystanie naszych zasobów i wyjaśniać wątpliwości pojawiające się w relacji dozór-inwestor.

Narzędziem tego dialogu są m.in. tzw. opinie ogólne Prezesa PAA. Wydaliśmy już takie opinie na wniosek Polskich Elektrowni Jądrowych w sprawie klasyfikacji bezpieczeństwa systemów, niezależnej weryfikacji analiz czy ostatnio – w marcu 2025 roku – dotyczącą systemu wody cyrkulacyjnej reaktora AP1000. Dzięki temu już teraz mamy wgląd w dokumenty i rozwiązania technologiczne, które później do nas trafią do oceny.

Jeśli chodzi o wyzwania, to największym będzie sama ocena wniosku o zezwolenie na budowę. Zgodnie z zapowiedziami inwestora, może on wpłynąć w I-II kwartale 2026 roku. Mówimy o dokumentacji liczącej kilkadziesiąt tysięcy stron. Zgodnie z ustawą Prawo atomowe na wydanie decyzji mamy 24 miesiące, pod warunkiem że dokumentacja będzie kompletna. To będzie dla nas największy test merytoryczny i organizacyjny.

Maciej Jurkowski: Wspomniał Pan o znaczeniu zewnętrznego wsparcia dozoru jądrowego w procesie licencjonowania elektrowni jądrowej. Proszę przybliżyć działania, jakie Pan podjął w tym zakresie. Czy PAA zgłaszała już zapotrzebowanie na wsparcie ze strony autoryzowanych laboratoriów lub organizacji eksperckich krajowych? Zagranicznych? W jaki sposób planuje Pan organizować współpracę PAA z tymi podmiotami?

Andrzej Głowacki: Proces wydawania zezwoleń dla elektrowni jądrowej jest tak złożony, że urzędy dozoru nie opierają się wyłącznie na własnych zasobach. Dlatego jednym z moich priorytetów było zbudowanie systemu zewnętrznego wsparcia techniczno-ekspertckiego. Zidentyfikowaliśmy obszary, w których będziemy potrzebować wsparcia zewnętrznych podmiotów i opracowaliśmy zasady procesu autoryzacji, która jest warunkiem przystąpienia danego podmiotu do przetargu o świadczenie usługi wsparcia technicznego.

Na dzień dzisiejszy autoryzację Prezesa PAA posiada 17 organizacji, w tym 5 zagranicznych. Nie różnicujemy podmiotów ze względu na kraj pochodzenia – procedura oceny jest identyczna. Kluczowe są dla nas kompetencje personelu oraz, co niezwykle istotne, brak konfliktu interesów. Chodzi tu o niezależność tych instytucji. Musimy mieć pewność, że te podmioty nie są w żaden sposób powiązane z dostawcami technologii czy projektantami elektrowni jądrowej. Te 17 organizacji, które otrzymało od nas autoryzację, te wymagania spełnia.

Zgodnie z ustawą, jednostki ubiegające się o autoryzację, muszą wykazać niezależność. Nie mogą być powiąza-

ne kapitałowo ani organizacyjnie z inwestorem, projektantem czy wykonawcą elektrowni. Muszą gwarantować swobodę podejścia naukowego i obiektywizm wyników. To standardy zbieżne z wytycznymi Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA).

Dotychczas nie musieliśmy jeszcze korzystać z ich usług, ponieważ przy wydawaniu opinii ogólnych nasze wewnętrzne zasoby były wystarczające, a główny wniosek o budowę jeszcze nie wpłynął. Jednak w perspektywie najbliższych lat, gdy ruszy właściwy proces oceny, to wsparcie techniczne będzie niezbędne.

Jarosław Chilmon, redakcja biuletynu BJIOR: Dla dozoru jądrowego kwestie bezpieczeństwa jądrowego oraz ochrony radiologicznej są priorytetowe. Na co – w kontekście tych właśnie aspektów – urząd dozoru jądrowego powinien zwracać szczególną uwagę przy nadzorze nad budową i eksploatacją wielkoskalowych elektrowni jądrowych?

Andrzej Głowacki: Tak jak Pan redaktor wskazał, w dozorcze jądrowym priorytetem jest bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo jest wpisane w misję, jaką pełni PAA. Czyli Państwowa Agencja Atomistyki, poprzez działania regulacyjne i nadzorcze, dąży do zapewnienia, by działalność mogąca powodować narażenie na promieniowanie jonizujące była prowadzona w sposób bezpieczny dla pracowników, społeczeństwa i środowiska.

Stosujemy tutaj tzw. podejście stopniowane. Oznacza to, że nasza uwaga jest proporcjonalna do wpływu danego systemu, elementu konstrukcji i wyposażenia na bezpieczeństwo. Systemy kluczowe dla bezpieczeństwa jądrowego będą przez nas weryfikowane niezwykle rygorystycznie na każdym etapie – od projektu po rozruch i eksploatację. Z kolei elementy mniej krytyczne, jak np. turbina służąca do produkcji prądu, będą podlegać lżejszemu reżimowi kontroli z naszej strony.

W podejściu dozorowym nie tylko aspekty techniczne są istotne. Bardzo ważnym czynnikiem jest też kultura bezpieczeństwa u inwestora i wykonawców. Będziemy przyglądać się, jak podejmuje się decyzje, jak szkoli personel i czy organizacja potrafi wcześniej identyfikować zagrożenia. Naszym zadaniem jest weryfikacja zgodności z normami krajowymi i standardami MAEA.

Oczywiście nie zapominamy o ochronie radiologicznej pracowników i okolicznych mieszkańców oraz o przygotowaniu na sytuacje awaryjne. Ocenie podlegają plany awaryjne, systemy zasilania czy odporność na zdarzenia zewnętrzne. Zapewnienie bezpieczeństwa to proces ciągły – nie kończy się na wydaniu zezwolenia, ale trwa przez cały okres eksploatacji, aż po likwidację elektrowni.

Jarosław Chilmon: Od 1989 roku wydajemy biuletyn „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna”. Jaka pan Prezes widzi przyszłość dla biuletynu?

Andrzej Głowacki: Biuletyn to kawał historii polskiego dozoru. Od 1989 roku jest kluczowym narzędziem



upowszechniania wiedzy i zależy mi, by pozostał wiarygodnym punktem odniesienia. To, co wyróżnia biuletyn, to przedstawienie unikatowej perspektywy opartej na doświadczeniu i wiedzy eksperckiej dozoru jądrowego, niedostępnej w publikacjach o charakterze popularnym czy komercyjnym.

Widzę dla biuletynu ważną rolę edukacyjną, zarówno dla specjalistów, jak i studentów czy administracji. Jednak przyszłość stawia przed nami nowe wymagania. Musimy dostosować się do cyfrowego obiegu informacji i znaleźć sposób na przekazywanie skomplikowanej wiedzy technicznej w bardziej przystępnej formie.

Dla mnie artykuły w biuletynie to nie tylko wiedza o bezpieczeństwie jądrowym i ochronie radiologicznej, ale

również pokazywanie pracy i perspektyw dozoru jądrowego. Dlatego chcę, aby w biuletynie – obok artykułów naukowych – było coraz więcej publikowanych treści, które są bliskie pracownikom dozoru jądrowego. Czyli jak funkcjonuje nasz urząd, jakie podejmujemy działania i jak się rozwijamy. Traktuję to nie tylko jako wyzwanie, ale również jako szansę na dalszy rozwój biuletynu, zwiększenie grona jego odbiorców oraz wzmocnienie jego roli jako unikatowego źródła wiedzy o bezpieczeństwie jądrowym i ochronie radiologicznej, opartego na doświadczeniu i kompetencjach dozoru jądrowego.

Maciej Jurkowski, Jarosław Chilmon: Dziękujemy za inspirującą rozmowę.

Do Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki wpłynął wniosek o wydanie zezwolenia na budowę elektrowni jądrowej w lokalizacji Lubiatowo-Kopalino

31.03.2026

31 marca spółka Polskie Elektrownie Jądrowe złożyła do Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki wniosek o wydanie zezwolenia na budowę elektrowni jądrowej.

Zgodnie z przepisami ustawy – Prawo atomowe, Prezes Państwowej Agencji Atomistyki wydaje decyzję w sprawie zezwolenia na budowę elektrowni jądrowej w terminie 24 miesięcy od dnia złożenia wniosku wraz z wymaganymi dokumentami. Do terminu tego, zgodnie z Kodeksem postępowania administracyjnego, nie wlicza się między innymi terminów przewidzianych w przepisach prawa dla dokonania określonych czynności, okresów doręczenia z wykorzystaniem publicznej usługi hybrydowej, okresów zawieszenia postępowania oraz okresów opóźnień spowodowanych z winy strony albo przyczyn niezależnych od organu.

Zanim nastąpi przejście do oceny merytorycznej, Prezes Państwowej Agencji Atomistyki dokona oceny formalno-prawnej wniosku o wydanie zezwolenia. Dopiero po zakończeniu tej oceny lub, w przypadku ewentualnych braków formalnych wniosku, po ich uzupełnieniu, zawiado-

mimy o wszczęciu tego postępowania w Biuletynie Informacji Publicznej PAA. Zostanie tam również umieszczona treść wniosku i skrócony raport bezpieczeństwa.

Ocena bezpieczeństwa przez Prezesa PAA

Ocena bezpieczeństwa planowanej elektrowni prowadzona będzie wieloetapowo. Obejmuje ona szczegółową weryfikację dokumentacji opisującej m.in. rozwiązania techniczne zastosowane w projekcie reaktora, rozwiązania organizacyjne, które zostaną zastosowane w trakcie przygotowania, a także w trakcie budowy elektrowni jądrowej, analizy bezpieczeństwa oraz limity i warunki eksploatacyjne pod kątem ich zgodności z prawem. W niektórych aspektach tej oceny PAA będzie się wspierać także niezależnymi, autoryzowanymi laboratoriami i organizacjami eksperckimi.

Zezwolenie na budowę elektrowni jądrowej może zostać wydane wyłącznie w przypadku stwierdzenia, że spełnione zostały wymagane prawem warunki wykonywania działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące objętej wnioskiem.

Strategiczna Agenda Badawcza dla Ochrony Radiologicznej w Polsce

Strategic Research Agenda for Radiological Protection in Poland

Pod redakcją: Pawła Olko⁷, Beaty Brzozowskiej²², Michała Gryzińskiego¹⁰, Pawła Krajewskiego², Bogusława Michalika⁴ i Jakuba Ośko¹⁰ ^a

Autorzy: Tomasz Bajda¹, Paweł Bilski⁷, Michał Bończyk⁴, Beata Brzozowska²², Kamil Brzoska⁶, Maciej Budzanowski⁷, Mieczysław Budzyński¹⁹, Anna Cwanek⁷, Marek Dohojda¹⁴, Agnieszka Dołhańczuk-Śródka²⁰, Joanna Domienik-Andrzejewska⁸, Joanna Dudąta¹, Marcin Dybek⁹, Krzysztof Fornalski¹², Michał Gryziński¹⁰, Dominik Grządziel⁷, Marek Janiak, Aleksandra Jung¹, Joanna Kidoń-Szotysek¹⁵, Aleksandra Klimas²⁴, Krzysztof Kozak⁷, Beata Kozłowska²¹, Paweł Krajewski², Marcin Kruszewski⁶, Paweł Lipiński², Jakub Łukas⁷, Mateusz Łukowski⁵, Maciej Maciak¹⁰, Ewa Mandowska¹⁷, Arkadiusz Mandowski¹⁷, Marek Maryański¹¹, Katarzyna Matusiak¹, Jadwiga Mazur⁷, Bogusław Michalik⁴, Brygida Mielewska¹¹, Jerzy Mietelski⁷, Izabela Milcewicz-Mika⁷, Paweł Możejko¹¹, Anna Mrozik⁷, Paweł Olko⁷, Jerzy Olszewski⁸, Jakub Ośko¹⁰, Marcin Pietrzak¹⁰, Tadeusz Przylibski¹³, Ewelina Pyszka⁷, Małgorzata Sankowska⁷, Anna Sas-Bieniarz⁷, Maciej Sobczyk¹, Piotr Sobotka¹², Sylwester Sommer⁶, Dagmara Strumińska-Parulska¹⁶, Zbigniew Surowiec¹⁹, Grzegorz Szaciłowski¹⁰, Katarzyna Szarłowicz¹, Kamil Szewczak⁵, Katarzyna Szufa¹⁷, Mirosław Szytak-Szydłowski¹², Dagmara Tchorz-Trzeciakiewicz²³, Piotr Tulik¹², Michael Waligórski⁷, Janusz Winiecki³, Katarzyna Wołoszczuk², Karolina Wójciuk¹⁰, Yuriy Zorenko¹⁸

- 1) Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
- 2) Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa
- 3) Centrum Onkologii, Bydgoszcz
- 4) Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Katowice
- 5) Instytut Agrofizyki PAN, Lublin
- 6) Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa
- 7) Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków
- 8) Instytut Medycyny Pracy, Łódź
- 9) Katowickie Centrum Onkologii
- 10) Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock-Świerk
- 11) Politechnika Gdańska
- 12) Politechnika Warszawska
- 13) Politechnika Wrocławska
- 14) Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
- 15) Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
- 16) Uniwersytet Gdański
- 17) Uniwersytet Jana Długosza, Częstochowa
- 18) Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz
- 19) Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin
- 20) Uniwersytet Opolski
- 21) Uniwersytet Śląski
- 22) Uniwersytet Warszawski
- 23) Uniwersytet Wrocławski
- 24) Zagłębiowskie Centrum Onkologii, Dąbrowa Górnicza

^a Artykuł zredagowano wg tekstu drugiego wydania „SAB dla OR w Polsce” z lipca 2025 r.

Streszczenie: Strategiczna Agenda Badawcza (SAB) dla Ochrony Radiologicznej (OR) w Polsce powstała jako kompleksowy plan rozwoju badań podstawowych mający na celu wskazanie priorytetowych kierunków badań dla ochrony radiologicznej na najbliższą dekadę, w kontekście rosnącego znaczenia energetyki jądrowej, medycznych zastosowań promieniowania oraz zagrożeń cywilnych i militarnych.

Wytyczenie długoterminowych priorytetów prac badawczych pozwoli na koordynację wysiłków różnych ośrodków naukowych dla realizacji długofalowych celów polityki naukowej państwa polskiego, wzmocnienie roli Polski w międzynarodowych projektach badawczych oraz rozwój kompetencji w obliczu planowanego na 2035 rok uruchomienia pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Agenda jest próbą sformułowania głównych dla Polski priorytetów badawczych w odniesieniu do podobnych inicjatyw europejskich, takich jak opublikowana w 2025 roku biała księga projektu PIANOFORTE czy SAB Europejskiej Grupy Dozymetrii Promieniowania Jonizującego EURADOS.

SAB podzielona jest na cztery główne obszary badawcze. Obszar „Człowiek” dotyczy głównie skutków biologicznych działania promieniowania, radioterapii i ekspozycji na promieniowanie kosmiczne. Obszar „Bezpieczeństwo” obejmuje zagadnienia awarii i skażeń, radioprotektorów oraz psychologii i komunikacji zagrożeń. W obszarze „Energia” postulowane są badania, których efektem będzie zwiększone bezpieczeństwo pracy w energetyce jądrowej, lepsza dozymetria i gospodarka odpadami promieniotwórczymi. W obszarze „Środowisko” postulowane są kierunki badań, które pomogą w ulepszeniu zasad monitoringu, zrozumieniu migracji skażeń czy modelowaniu długoterminowego wpływu odpadów na środowisko. W każdym z obszarów określone są perspektywiczne kierunki badawcze (perspektywy) i odpowiadające im wyzwania.

OR nie ma jeszcze trwałego miejsca w strukturze finansowania badań w Polsce. Postulujemy utworzenie interdyscyplinarnego panelu tematycznego w Narodowym Centrum Nauki (NCN), w którego obszarze zostaną stworzone trwałe ramy instytucjonalne dla planowego i zrównoważonego rozwoju badań z zakresu OR, odpowiadające zarówno potrzebom nauki, jak i wymogom bezpieczeństwa publicznego.

Summary: *The Strategic Research Agenda (SRA) for Radiological Protection (RP) in Poland was created as a comprehensive plan for the development of basic research aimed at indicating radiological protection research priorities for the next decade, in the context of the growing importance of nuclear energy, medical applications of radiation, and civil and military threats.*

Establishing long-term priorities for research activities will enable the coordination of efforts among various research centres to accomplish the long-term objectives of Poland's science policy. This approach aims to enhance Poland's role in international research projects and develop necessary competencies ahead of the commissioning of the first Polish nuclear power plant, scheduled for 2035. The Agenda aims to outline key research priorities for Poland, aligning with similar European initiatives such as the PIANOFORTE White Paper published in 2025 and the Strategic Research Agenda (SRA) of the European Ionising Radiation Dosimetry Group (EURADOS).

The SRA is divided into four main research areas. The „Human” area mainly concerns the biological effects of radiation, radiotherapy and exposure to cosmic radiation. The area of „Safety” includes the issues of accidents and contamination, radio protectors, as well as psychology and communication of threats. In the „Energy” area, research is postulated that will result in increased work safety in the nuclear industry, better dosimetry and radioactive waste management. In the area of „Environment”, research directions are postulated that will help improve the principles of monitoring, understand the migration of contamination or model the long-term impact of waste. In each of the areas, prospective research directions (perspectives) and corresponding challenges are defined.

RP does not yet have a permanent place in the structure of research funding in Poland. We call for the creation of an interdisciplinary thematic panel at the NCN^b, which would create a permanent institutional framework for the planned and sustainable development of research in the field of RP, meeting both the needs of science and the requirements of public safety.

1. Wstęp

1.1. Wprowadzenie

Ochrona radiologiczna (OR) to interdyscyplinarna dziedzina nauki, która zajmuje się badaniem i wdrażaniem metod oceny i ograniczania narażenia ludzi oraz środowiska na promieniowanie jonizujące. Postęp w zakresie OR dotyczy nie tylko praktycznego wdrażania metod ograniczania ekspozycji człowieka i środowiska na promieniowanie, ale przede wszystkim poszerzenia wiedzy o mechanizmach i skutkach działania promieniowania. Kluczo-

wą rolę w rozwoju OR odgrywają badania podstawowe, dostarczające fundamentalnej wiedzy na temat oddziaływania promieniowania jonizującego z materią, a w szczególności z organizmami żywymi. Składają się na nie sukcesy nauk przyrodniczych, w szczególności fizyki, chemii, biologii czy geologii, nauk medycznych (medycyny, biologii medycznej, genetyki, epidemiologii, bioinżynierii) oraz nauk o środowisku (ekologii, sozologii, nauki o ziemi). Coraz większą rolę odgrywają nauki matematyczne, w zakresie statystyki i modelowania mechanizmów powstawania zagrożenia, oraz nauki społeczne, szczególnie w za-

^b NCN (Narodowe Centrum Nauki) – National Science Center.

kresie komunikacji zagrożeń oraz ryzyka związanego z ekspozycją na promieniowanie jonizujące.

Strategiczna Agenda Badawcza (SAB) określa najważniejsze cele badawcze w długoterminowej perspektywie, zazwyczaj obejmującej co najmniej najbliższe dziesięciolecie. Chodzi o wskazanie priorytetów i uniknięcie rozproszenia wysiłków różnych ośrodków naukowych dla realizacji długofalowych celów państwa lub danej organizacji. W latach 2010–2020 wieloletnie plany badawcze zostały przygotowane przez tzw. platformy badawcze grupujące instytucje europejskie prowadzące badania w różnych obszarach ochrony radiologicznej. *European Radiation Dosimetry Group* (EURADOS), zrzeszający ponad 80 instytucji europejskich (w tym 4 polskie), opublikował SAB w obszarze dozimetrii w 2010 roku i zaktualizował ją w 2020 [1]. Podobne agendy opublikowały *Multidisciplinary European Low Dose Initiative* (MELODI) [2], *European Platform on preparedness for nuclear and radiological emergency response and recovery* (NERIS) [3], *European Alliance for Medical Radiation Protection Research* (EURAMED) [4], *European Alliance for Radioecology* [5] oraz *Sciences and humanities in ionizing radiation* (SHARE) [6]. Dyrekcja Generalna ds. Badań Naukowych Komisji Europejskiej zgodziła się na ustanawianie priorytetów badawczych z obszaru OR na podstawie tych aktualizowanych agend badawczych. Programy te stanowią podstawę do formułowania polityki naukowej w dziedzinie OR w Europie, a na bieżąco do proponowania priorytetów badawczych w projektach dotyczących OR. Wiele polskich zespołów badawczych uczestniczy aktywnie w międzynarodowych projektach badawczych w tych obszarach, choć bardzo rzadko mają w nich rolę wiodącą.

W marcu 2025 roku Europejskie Partnerstwo na rzecz badań w zakresie ochrony radiologicznej (PIANOFORTE) opublikowało skierowany do Komisji Europejskiej dokument „*The Vital Role of Radiation Protection Research in Europe’s Future*” [7] definiujący podstawowe cele OR w zakresie poprawy zdrowia publicznego i ochrony środowiska, wspierania badań dotyczących OR w celu rozwoju innowacji przemysłowych oraz przygotowania na sytuacje awaryjne. W dokumencie tym podkreślono również znaczenie badań prowadzonych w zakresie OR dla europejskiego programu badawczego na lata 2024–2029, a w szczególności dla działań dotyczących zdrowia człowieka i środowiska, konkurencyjności, społeczeństwa świadomego ryzyka oraz wyboru źródeł energii w celu łagodzenia zmian klimatycznych.

W lipcu 2023 roku zostało zorganizowane w Instytucie Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie sympozjum pt. „Ochrona radiologiczna w Polsce wobec wyzwań Polskiego Programu Energetyki Jądrowej (PPEJ)”. Zaprezentowano wtedy raport Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej (PKOR) [8] dotyczący roli ochrony radiologicznej w Polsce wobec programu PPEJ. Jednym z postulatów sformułowanych podczas sympozjum była potrzeba przygotowania SAB dla

OR w Polsce. Agenda stanowiłaby pomoc merytoryczną dla Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Ministerstwa Przemysłu oraz dla jednostek finansujących badania w Polsce dotyczące prowadzenia polityki naukowej w obszarze OR oraz w dziedzinach pokrewnych, takich jak fizyka, chemia, biologia, medycyna, geologia i inne. Ma to szczególne znaczenie w świetle perspektywicznego Programu Polskiej Energetyki Jądrowej, rozwoju radioterapii i medycyny nuklearnej czy rosnącego zaangażowania Polskiej Agencji Kosmicznej w działania związane z eksploracją przestrzeni kosmicznej. Dodatkowo, agenda badawcza mogłaby stanowić istotne wsparcie w wyrażaniu polskich potrzeb badawczych w ramach projektów europejskich.

Zmieniające się otoczenie społeczno-polityczne, zwiększająca się liczba państw dysponujących bronią jądrową oraz ponawiane groźby jej użycia przez Federację Rosyjską powodują rosnące zainteresowanie problematyką obrony cywilnej, zarówno z perspektywy monitoringu potencjalnych skażeń promieniotwórczych, jak i sposobów informowania o zagrożeniach. 5 grudnia 2024 roku weszła w życie Ustawa o ochronie ludności i obronie cywilnej, która określa m.in. zasady funkcjonowania i organizację obrony cywilnej w kontekście możliwych zagrożeń, również w wyniku użycia broni masowego rażenia.

W obowiązującym modelu finansowania nauki projekty naukowe z dziedziny OR, ze względu na swój interdyscyplinarny charakter, często napotykają trudności związane z ich właściwą oceną merytoryczną w porównaniu z projektami z obszaru tradycyjnych dyscyplin naukowych. W związku z tym, jednym z kluczowych postulatów raportu PKOR było utworzenie w Narodowym Centrum Nauki panelu tematycznego z zakresu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej (BJiOR). Utworzenie takiego panelu umożliwiłoby stworzenie trwałych ram instytucjonalnych dla planowego i zrównoważonego rozwoju badań z zakresu BJOR, odpowiadających zarówno potrzebom nauki, jak i wymogom bezpieczeństwa publicznego oraz, jako naturalną konsekwencję, bardziej adekwatną ocenę projektów badawczych w tym obszarze.

1.2. Cele

Rozwój energetyki jądrowej (opartej zarówno na dużych reaktorach energetycznych, jak i rozproszonych geograficznie małych reaktorach modułowych), doskonalenie nowych technologii generacji promieniowania (takich jak akceleratory i lasery dużej mocy), poszukiwanie nowych źródeł energii (np. energetyka termojądrowa), a także gwałtowny postęp zastosowań promieniowania jonizującego w radioterapii i diagnostyce medycznej generują szereg nowych wyzwań w zakresie OR. Równolegle zagadnienia związane z bezpiecznym składowaniem i przetwarzaniem odpadów promieniotwórczych oraz rosnące zainteresowanie eksploracją przestrzeni kosmicznej wymagają opracowania zintegrowanego, nowego podejścia do pod-

stawowych zagadnień OR, w szczególności w kontekście oceny ryzyka wywołanego ekspozycją na promieniowanie oraz różnic w skuteczności biologicznej poszczególnych rodzajów promieniowania. Jest to również istotne w związku z wprowadzaniem do medycyny nuklearnej nowych nuklidów promieniotwórczych czy występowaniem w bezpośrednim otoczeniu człowieka i w środowisku pracy materiałów zawierających podwyższone stężenie naturalnych nuklidów promieniotwórczych.

Właśnie zagadnienia biologicznych skutków ekspozycji człowieka na promieniowanie jonizujące są najbardziej kontrowersyjną dziedziną badań podstawowych. Ścierają się tam poglądy zwolenników modelu bezprogowej odpowiedzi liniowej (*Linear Non Threshold, LNT*), zakładającego, że każda, nawet najmniejsza dawka promieniowania jonizującego niesie ryzyko indukcji choroby nowotworowej, z koncepcjami sugerującymi istnienie mechanizmów odpowiedzi adaptacyjnej (według których niskie dawki promieniowania mogą aktywować systemy odpornościowe organizmu i zwiększać jego odporność na kolejne ekspozycje) oraz z hipotezą hormezy radiacyjnej, postulującej potencjalne korzystne efekty działania bardzo niskich dawek promieniowania. Wyniki tych badań mogą mieć bezpośrednie przełożenie na powiązanie poziomów i rodzajów ekspozycji z ich ewentualnymi negatywnymi konsekwencjami, jak również wpływ na zmiany w samym systemie ochrony radiologicznej.

Celem niniejszej Strategicznej Agendy Badawczej jest wytyczenie perspektywicznych kierunków działalności naukowej, których rozwój w nadchodzącej dekadzie umożliwi wzmocnienie krajowych kompetencji w obszarze OR, w tym również w zakresie wpływu energetyki jądrowej na człowieka i środowisko. Kluczowym elementem jest identyfikacja istniejących luk i potrzeb w zakresie dalszych prac naukowych oraz rozwiązywanie nowych, pojawia-

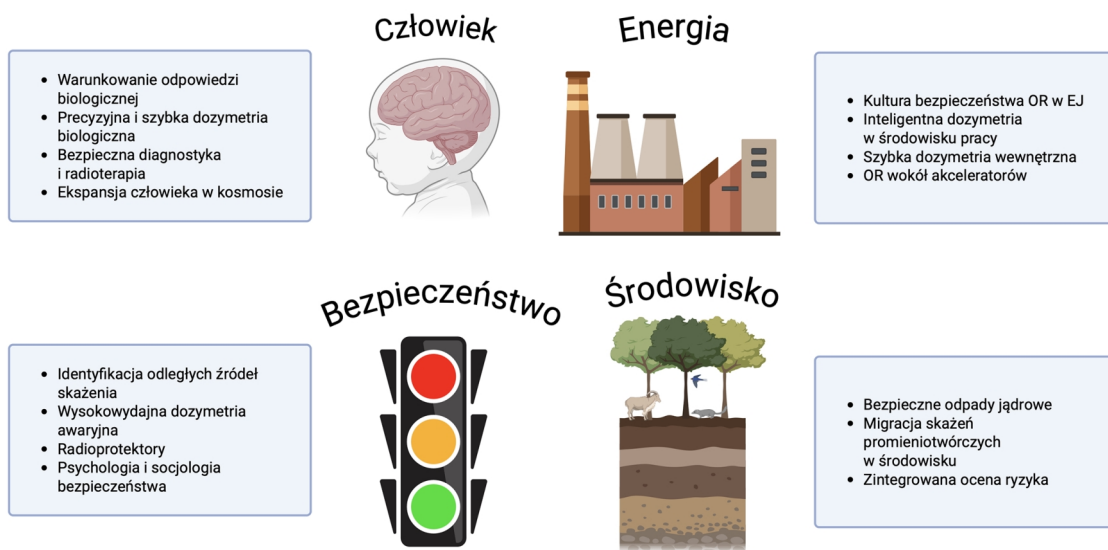
jących się wyzwań w dziedzinie szeroko rozumianej OR. Realizacja SAB przyczyni się do zwiększenia potencjału merytorycznego i operacyjnego polskich zespołów badawczych w Polsce przed uruchomieniem pierwszej elektrowni jądrowej w 2035 roku.

Agenda korzystnie wpłynie na udział polskich jednostek naukowych w procesie kształtowania nowych programów badawczych na szczeblu europejskim. Obecnie Polska otrzymuje do konsultacji z Komisji Europejskiej gotowe dokumenty określające priorytety badawcze w kolejnych programach ramowych oraz w ramach traktatu EUR-ATOM. Dokumenty te są często opracowywane z uwzględnieniem interesu i potencjału badawczego wybranych państw członkowskich, ośrodków naukowych lub zespołów badawczych. Posiadanie własnej SAB umożliwi polskim organizacjom proaktywne uczestnictwo w procesie tworzenia programów badawczych Unii Europejskiej, zwiększając szanse na realizację projektów odpowiadających rzeczywistym potrzebom i priorytetom badawczym Polski oraz regionu Europy Środkowo-Wschodniej.

1.3. Kierunki badawcze: obszary, perspektywy i wyzwania

Badania w zakresie ochrony radiologicznej są z natury rzeczy interdyscyplinarne, integrując wiedzę i metodykę z wielu obszarów nauki. Obejmują one zagadnienia z zakresu nauk przyrodniczych, medycznych, nauk o środowisku, nauk matematycznych oraz społecznych.

W niniejszym dokumencie został zaproponowany podział tematyki badawczej na cztery kluczowe obszary: „Człowiek”, „Energia”, „Bezpieczeństwo”, „Środowisko” (rys. 1). Podział ten, choć przyjęty arbitralnie, odzwierciedla główne kierunki badań związanych z OR, umożliwiając jednocześnie strukturalne uporządkowanie priorytetów badawczych. Obszar **Człowiek** dotyczy w większości bio-



Rys. 1. Perspektywiczne kierunki badawcze dla ochrony radiologicznej w obszarach CZŁOWIEK, ENERGIA, BEZPIECZEŃSTWO i ŚRODOWISKO (opracowanie własne).

Fig. 1. Prospective research directions ("perspectives") for radiological protection in the areas of HUMAN, ENERGY, SAFETY and ENVIRONMENT (own study).

logicznych i medycznych aspektów oddziaływania promieniowania jonizującego. Obszar **Energia** koncentruje się na energetyce jądrowej i jej wpływie na ludzi, florę i faunę oraz na gospodarce odpadami promieniotwórczymi. Obszar **Bezpieczeństwo** dotyczy wszelkich aspektów ochrony radiologicznej związanych z awariami jądrowymi, aktami terrorystycznymi i użyciem broni jądrowej. Obszar **Środowisko** obejmuje głównie wyspecjalizowane metody monitorowania poziomów promieniotwórczości, transferu nuklidów i wskaźniki zmian środowiska. Obszary te wielokrotnie się przenikają, a ich wspólnym mianownikiem jest zapewnienie bezpieczeństwa przy szeroko rozumianej ekspozycji na promieniowanie jonizujące.

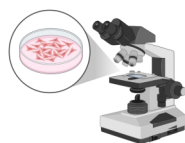
W każdym z tych obszarów formułowane są perspektywiczne kierunki działalności naukowej (perspektywy), mające wskazać główne kierunki badań, w które, ze względu na wagę naukową i interes społeczny, warto inwestować w ciągu najbliższej dekady. W ramach każdej perspektywy proponowane są również przykładowe potrzeby i wyzwania, które mogą stanowić przedmiot poszczególnych projektów.

2. Strategiczna Agenda Badawcza

2.1. Obszar „Człowiek”

Badania oddziaływania promieniowania jonizującego na organizm człowieka należą do najtrudniejszych i jednych z najbardziej kontrowersyjnych zagadnień współczesnej nauki. Prowadzone są one na pograniczu radiobiologii, mikrodozymetrii i fizyki medycznej. Badania dotyczące biologicznych efektów działania niskich dawek promieniowania nie przynoszą jednoznacznych wyników, a zagadnienie to ma kluczowe znaczenie dla podstaw OR. Jednocześnie, w kontekście stosowania dużych dawek promieniowania w procedurach medycznych coraz wyraźniej dostrzega się konieczność ich indywidualizacji, uwzględniającej zarówno cechy biologiczne pacjenta, jak i charakterystykę konkretnej terapii. Rośnie też zainteresowanie badaniami w zakresie obecności człowieka w kosmosie, gdzie wysokoenergetyczne promieniowanie kosmiczne może stanowić jeden z głównych czynników ryzyka w lotach międzyplanetarnych.

Perspektywa 2.1-1: Warunkowanie odpowiedzi biologicznej na działanie promieniowania.
Perspective 2.1-1: Conditioning the biological response to radiation.



Ta perspektywa obejmuje pogłębienie wiedzy na temat molekularnych, komórkowych i genetycznych mechanizmów odpowiedzi organizmu człowieka na promieniowanie jonizujące. Zrozumienie tych mechanizmów pozwoli na opracowanie nowych strategii ochrony przed szkodliwymi skutkami promieniowania, a także na poprawę precyzji i skuteczności technik radioterapeutycznych, zarówno w kontekście leczenia nowotworów, jak i ochrony zdro-

wych tkanek. Badania te mogą również doprowadzić do rozwoju nowych biomarkerów i modeli biofizycznych/numerycznych, które będą wykorzystywane w medycynie do monitorowania i przewidywania odpowiedzi organizmu na promieniowanie.

- *Wyzwanie 1: Identyfikacja szczegółowych mechanizmów, które warunkują odpowiedź komórek na promieniowanie jonizujące, w tym na poziomie kwasów nukleinowych, białek, lipidów struktur wewnątrz- i zewnątrzkomórkowych (egzosomów).*
- *Wyzwanie 2: Badanie promieniowrażliwości osobniczej i czynników modulujących indywidualną odpowiedź na promieniowanie jonizujące (radioprotektory i radiouczulacze, adaptacja na niskie dawki).*
- *Wyzwanie 3: Badania nad molekularnymi mechanizmami działania nanostruktur i nanosystemów w kontekście ochrony zdrowych komórek przed uszkodzeniami lub wspomaganiami naprawy DNA w komórkach, które zostały uszkodzone przez promieniowanie.*
- *Wyzwanie 4: Poznanie mechanizmów indywidualnej odpowiedzi organizmu na różne sposoby dostarczania dawki promieniowania jonizującego (technika FLASH, promieniowanie mieszane, frakcjonowanie).*

Perspektywa 2.1-2: Szybka dozymetria biologiczna do oceny ekspozycji człowieka w sytuacji awaryjnej.
Perspective 2.1-2: Rapid biological dosimetry to assess human exposure to emergency situations.



Ta perspektywa koncentruje się na wykorzystaniu badań radiobiologicznych do opracowania metod umożliwiających ocenę dawki promieniowania post factum, tzw. dozymetrii retrospektywnej, która jest kluczowa w momencie zaistnienia wypadku radiacyjnego lub awarii jądrowej. Podstawowymi problemami obecnie stosowanych metod są: długi czas wykonywania pomiarów, stosunkowo niska czułość, wysoki poziom komplikacji uniemożliwiający ich masowe zastosowanie.

- *Wyzwanie 1: Automatyzacja i zastosowanie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego do analizy uszkodzeń DNA i innych biomarkerów.*
- *Wyzwanie 2: Cytogenetyka FISH, m-FISH, m-BAND, PCC do celów dozymetrii biologicznej.*
- *Wyzwanie 3: Określenie bazowego poziomu markerów biodozymetrycznych oraz zakresów i powodów ich fluktuacji w populacji środkowoeuropejskiej.*

Perspektywa 2.1-3: Bezpieczna diagnostyka i radioterapia.
Perspective 2.1-3: Safe diagnostics and radiotherapy.



Promieniowanie jonizujące wykorzystywane w diagnostyce i leczeniu pacjentów onkologicznych nie jest selektywne – może wpływać również na zdrowe komórki i tkanki,

prowadząc do uszkodzeń genetycznych, zaburzeń funkcjonowania narządów, a nawet rozwoju nowotworów wtórnych. Rozwój nowoczesnej diagnostyki i radioterapii wiąże się z ciągłą potrzebą poprawy dokładności, bezpieczeństwa i skuteczności procedur, przy jednoczesnym minimalizowaniu ryzyka związanego z ekspozycją na promieniowanie jonizujące. Pomimo zaawansowanych technologii, takich jak tomoterapia czy protonoterapia, nadal istnieje ryzyko niezamierzonego uszkodzenia zdrowych tkanek, szczególnie w bezpośrednim sąsiedztwie nowotworów.

- *Wyzwanie 1: Opracowanie dokładnych modeli biodozymetrycznych pozwalających na monitorowanie dawki promieniowania w czasie rzeczywistym.*
- *Wyzwanie 2: Badania możliwości redukcji dawek promieniowania rozproszonego w nowoczesnych metodach radioterapii onkologicznej.*
- *Wyzwanie 3: Opracowanie nowych materiałów tkankopodobnych, z uwzględnieniem technologii druku 3D, do weryfikacji i personalizacji radioterapii.*
- *Wyzwanie 4: Innowacyjne radiofarmaceutyki dla medycyny spersonalizowanej w diagnostyce i radioizotopowej terapii celowanej.*
- *Wyzwanie 5: Modelowanie procesów radiobiologicznych uwzględniających skuteczność biologiczną różnych rodzajów promieniowania oraz interakcje fizykochemiczne w skali nanometrycznej, jako podstawa do dalszego rozwoju biologicznie ukierunkowanego planowania radioterapii.*

Perspektywa 2.1-4: Ekspansja człowieka w kosmosie.

Perspective 2.1-4: Human expansion in space.



Promieniowanie kosmiczne jest jednym z głównych czynników środowiskowych ograniczających możliwości długotrwałego przebywania człowieka w przestrzeni kosmicznej, w szczególności poza orbitą Ziemi. W środowisku naukowym brakuje porozumienia co do zasad prowadzenia ochrony radiologicznej w przestrzeni kosmicznej, a poszczególne agencje kosmiczne prowadzą własną politykę w tym zakresie. Kierunki badań powinny dotyczyć zarówno metod zmniejszenia ekspozycji, jak i metod ograniczenia skutków napromieniowania (radioprotektory, radiomodulatory) oraz postępowania po ekspozycji. Do wypracowania oceny ryzyka w warunkach ekspozycji na promieniowanie kosmiczne niezbędne są zarówno modele matematyczne umożliwiające symulację zachodzących zjawisk, jak i eksperymenty radiobiologiczne. Osobnym zagadnieniem jest problem odporności elektroniki na promieniowanie kosmiczne, szczególnie na promieniowanie wtórne, generowane w wyniku oddziaływania wysokoenergetycznych cząstek z materiałem statku kosmicznego.

- *Wyzwanie 1: Opracowanie modeli radiobiologicznych dla oceny skutków ostrej i przewlekłej ekspozycji na promieniowanie kosmiczne.*
- *Wyzwanie 2: Badanie oddziaływania promieniowania słonecznego i galaktycznego o różnym składzie widmowym na człowieka i elektronikę.*
- *Wyzwanie 3: Badanie niezawodności układów elektronicznych w warunkach przewlekłej i ostrej ekspozycji na promieniowanie kosmiczne.*
- *Wyzwanie 4: Badanie zjawisk elektrycznych i optycznych powodowanych przez promieniowanie jonizujące w materiałach półprzewodnikowych, scyntylatorach, kryształach luminescencyjnych dla innowacyjnych metod detekcji, spektrometrii, dozymetrii promieniowania kosmicznego.*
- *Wyzwanie 5: Badania nad wzrostem roślin w warunkach ekspozycji na wysokoenergetyczne promieniowanie kosmiczne.*
- *Wyzwanie 6: Badanie składu i promieniotwórczości skał i regolitów pochodzenia pozaziemskiego.*
- *Wyzwanie 7: Symulacja promieniowania kosmicznego z wykorzystaniem akceleratorów.*

2.2. Obszar „Bezpieczeństwo”

Zwiększające się ryzyko konfliktu jądrowego, ataku na instalacje jądrowe czy skażenia z użyciem brudnej bomby nadaje wysoki priorytet badaniom dotyczącym bezpieczeństwa radiologicznego. Jednym z priorytetów jest badanie mechanizmów transportu skażeń promieniotwórczych w środowisku, które w połączeniu z rozwojem fizyki atmosfery i ultraczułymi metodami detekcji nuklidów promieniotwórczych umożliwi wczesne wykrywanie skażeń oraz pozwoli na identyfikację zarówno miejsca emisji skażeń, jak i pierwotnej wartości emisji. Niezmiernie ważne jest poszukiwanie bardziej wydajnych wskaźników, umożliwiających ocenę w krótkim czasie ekspozycji dużej liczby osób.

Perspektywa 2.2-1: Identyfikacja odległych źródeł skażeń.

Perspective 2.2-1: Identifying remote sources of contamination.



Współczesne metody monitoringu powietrza umożliwiają wykrywanie śladowego stężenia pierwiastków promieniotwórczych. Prowadzenie badań i testów z substancjami promieniotwórczymi powoduje uwolnienia, które mogą być wykrywane z dużych odległości. Takie zdarzenia wystąpiły np. w 2017 roku podczas niekontrolowanego uwolnienia Ru-106 na terenie południowego Uralu oraz podczas nieudanej próby pocisku o napędzie jądrowym Burevestnik na poligonie Nyonoksa w 2019 roku. Również poszczególne typy reaktorów jądrowych mogą mieć swoją unikatową sygnaturę uwolnień, co stwierdzono m.in. podczas katastrofy w Fukushima. Określenie skali emisji substancji promieniotwórczych oraz ich składu na podstawie

pomiarów wykonywanych w dużej odległości od źródła umożliwia wczesne wykrycie i monitorowanie awarii lub działań związanych z wykorzystaniem technologii jądrowych lub źródeł promieniotwórczych prowadzonych poza uzgodnieniami wynikającymi z traktatów międzynarodowych.

- *Wyzwanie 1: Metody analizy danych wielopunktowej detekcji skażeń do identyfikacji miejsca emisji, źródła i skali emisji pierwiastków promieniotwórczych.*
- *Wyzwanie 2: Określenie stechiometrii nuklidów antropogenicznych i naturalnych w celu określenia pochodzenia źródeł skażeń promieniotwórczych.*
- *Wyzwanie 3: Selektywne metody detekcji i spektrometrii nuklidów promieniotwórczych z wykorzystaniem dronów powietrznych, lądowych i morskich.*

Perspektywa 2.2-2: Wysokowydajna dozymetria awaryjna.
Perspective 2.2-2: High-performance emergency dosimetry.



W przypadku ekspozycji populacji na wysokie dawki promieniowania do podjęcia ewentualnego leczenia konieczne jest przeprowadzenie szybkiej, liczonej w godzinach, oceny dawek indywidualnych. Obecnie stosowane metody dozymetrii awaryjnej nie pozwalają na taką ocenę w przypadku ekspozycji setek lub tysięcy osób. Poszukiwania zjawisk fizycznych i chemicznych, znalezienie materiałów i opracowanie szybkich metod pomiarowych powinno wydatnie zwiększyć możliwości szybkiego triażu poszkodowanych poddanych ekspozycji na nieznaną dawkę promieniowania jonizującego. Taka szybka ocena dawek pochłoniętych u osób napromieniowanych może też zapobiec wybuchowi paniki.

- *Wyzwanie 1: Poszukiwanie sygnatury zjawisk, która umożliwi ocenę dawki pochłoniętej na podstawie szybkiego fizycznego screeningu elementów ubioru lub wyposażenia dnia codziennego.*
- *Wyzwanie 2: Fizyczna dozymetria awaryjna dla ekspozycji na promieniowanie neutronowe.*
- *Wyzwanie 3: Koncepcje algorytmów i modeli matematycznych dla analizy danych środowiskowych i czasów ekspozycji wspomagających automatyczny triaż radiacyjny.*



Perspektywa 2.2-3: Radioprotektory.
Perspective 2.2-3: Radio-protectors.

Radioprotektory to substancje ograniczające ekspozycję na promieniowanie związane z wniknięciem nuklidów promieniotwórczych lub zmniejszające negatywne skutki ekspozycji na wysokie dawki promieniowania jonizującego. Jednym z przykładów powszechnie znanego radioprotektora jest jodek potasu, stosowany w celu ochrony tarczycy

przed wychwytem radioaktywnego jodu. Radioprotektory stosowane są również w celu redukcji liczby wolnych rodników, uszkadzających DNA, białka i błony komórkowe, a także wspierania mechanizmów naprawy komórek oraz zmniejszenia apoptozy zdrowych komórek i łagodzenia stanów zapalnych po napromienieniu. Oprócz amifostyny, stosowanej w radioterapii, pewne właściwości chroniące przed promieniowaniem wykazują nanocząstki złota, witamina E, selen i inne substancje.

- *Wyzwanie 1: Poznanie mechanizmów i opracowanie celowanych radioprotektorów, które działają głównie w zdrowych tkankach, a nie w nowotworach.*
- *Wyzwanie 2: Opracowanie radioprotektorów do zastosowań masowych, w szczególności dla wojska, ratowników w zdarzeniach radiacyjnych, astronautów etc.*

Perspektywa 2.2-4: Psychologia i socjologia bezpieczeństwa.
Perspective 2.2-4: Psychology and sociology of security.



W przypadku wypadków radiacyjnych łatwo o wybuch paniki, a fałszywe informacje i teorie spiskowe rozpowszechniane przez media społecznościowe mogą łatwo wpłynąć na skuteczność działań ochronnych. Aby zapobiec wybuchom paniki, w sytuacjach awaryjnych kluczowe jest zaufanie do władz, służby zdrowia, naukowców i ekspertów. Błędy w komunikacji społecznej po katastrofie reaktora w Czarnobylu, polegające na ukrywaniu prawdziwych danych, skutkowały pojawieniem się długotrwałej nieufności do oficjalnych źródeł przekazu. W przypadku wypadków z dużą liczbą ofiar może też nastąpić stygmatyzacja i wykluczenie osób z terenów skażonych. Po takich wydarzeniach mogą wystąpić też objawy stresu pourazowego, lęku i depresji nawet u osób niebędących fizycznie napromieniowanymi, co może pogarszać zdrowie bardziej niż samo promieniowanie. Celem badań będzie zrozumienie mechanizmów i wypracowanie zasad i metod komunikacji w warunkach normalnego stosowania źródeł promieniowania oraz po wystąpieniu zdarzenia radiacyjnego, katastrofy czy wybuchu konfliktu z użyciem broni masowego rażenia.

- *Wyzwanie 1: Opracowanie metod edukacyjnych, dostosowanych do poziomu wiedzy społeczeństwa, służących budowaniu zaufania do instytucji i ekspertów.*
- *Wyzwanie 2: Badanie percepcji ryzyka związanego z ekspozycją na promieniowanie dla różnych grup społecznych (wiek, wykształcenie, zawód).*
- *Wyzwanie 3: Wypracowanie metod określenia gotowości służb państwowych oraz personelu medycznego do pracy w warunkach zagrożenia radiacyjnego.*

2.3. Obszar „Energia”

Szeroko rozumiana ochrona radiologiczna w energetyce jądrowej ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa pracowników, społeczeństwa i środowiska w warunkach normalnej eksploatacji i w sytuacji awaryjnej w elektrowni jądrowej (EJ) oraz przy długoterminowym zarządzaniu odpadami promieniotwórczymi. Jednym z elementów zapewnienia bezpieczeństwa radiologicznego pracownikom, ludności i środowisku jest przygotowanie wielopoziomowego systemu ochrony radiologicznej, obejmującego aspekty biologiczne, medyczne, organizacyjne i społeczne. Budowa elektrowni jądrowych jest jednym z największych wyzwań cywilizacyjnych współczesnej Polski. Realizowany jest projekt budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej w Lubiatowie-Kopalinie z reaktorami jądrowymi AP1000 firmy *Westinghouse Electric Company* oraz rozważana jest budowa szeregu małych reaktorów modułowych BWRX-300. Akceptacja społeczna tego przedsięwzięcia jest nierozdzielnie związana z bezpieczeństwem korzystania z tego źródła energii. Badania naukowe, prowadzone w celu zwiększenia bezpieczeństwa radiologicznego w związku z działalnością energetyki jądrowej, powinny łączyć nauki podstawowe (materiałoznawstwo, biologię, fizykę), nauki społeczne (psychologia, socjologia) i nowoczesne technologie (AI, czujniki, robotyka).

Perspektywa 2.3-1: Kultura bezpieczeństwa ochrony radiologicznej w energetyce jądrowej.
Perspective 2.3-1: Radiation protection safety culture in the nuclear industry.



Jedną z przyczyn wypadków, w tym wypadków radiacyjnych, są błędy człowieka i brak poszanowania reguł i postępowania zgodnie z instrukcjami pracy. Tak doszło m.in. do katastrofy reaktora w Czarnobylu, w którym obsługa reaktora prowadziła testy reaktora bez odpowiedniego przygotowania, ignorując zasady operacyjne i wyłączając systemy bezpieczeństwa. Badania nad przestrzeganiem procedur przez personel i przyczynami błędów operacyjnych są nieodzownym elementem mozaiki gwarantującej bezpieczną pracę elektrowni jądrowych. Dotyczy to również osób odpowiedzialnych za monitorowanie bezpieczeństwa radiacyjnego na terenie EJ. Celem tych badań jest poznanie przyczyn, a w dalszej kolejności wypracowanie metod eliminacji błędów ludzkich jako powodów incydentów.

- *Wyzwanie 1: Wypracowanie wskaźników i narzędzi do obiektywnej oceny zasad kultury bezpieczeństwa w energetyce jądrowej.*
- *Wyzwanie 2: Zbadanie zjawiska znieczulenia na zagrożenie przy długim okresie bez incydentów i wypracowanie metod jego eliminacji.*

Perspektywa 2.3-2: Inteligentna dozymetria w środowisku pracy.
Perspective 2.3-2: Intelligent Dosimetry in the Work Environment.



Personel elektrowni jądrowej jest objęty rutynowym monitorowaniem zewnętrznego i wewnętrznego narażenia na promieniowanie jonizujące, prowadzonym przez akredytowane laboratoria dozymetryczne. Pomiary dawek od źródeł zewnętrznych prowadzone są na ogół z wykorzystaniem pasywnych dawkomierzy luminescencyjnych (TL, OSL), osobistych dawkomierzy elektronicznych (EPD) oraz monitorów środowiska. Istotną trudnością w pomiarach dozymetrycznych jest też potrzeba zapewnienia pomiarów dla mocy dawek zmieniających się od poziomu tła naturalnego do wartości ekstremalnie wysokich. Integracja wyników pochodzących z różnych systemów pomiarowych nie jest na ogół prosta i nie umożliwia retrospektywnej analizy przyczyn, miejsc i skali ekspozycji. Inteligentny, zintegrowany system dozymetryczny EJ umożliwiłby lepszą rekonstrukcję dawki dla poszczególnych członków personelu, szczególnie w warunkach zdarzenia radiacyjnego. W przypadku sytuacji awaryjnych w ocenie dawki efektywnej celowe jest wykorzystanie modeli matematycznych umożliwiających symulację w czasie rzeczywistym dawki skutecznej w oparciu o fantomy numeryczne człowieka.

- *Wyzwanie 1: Systemy szybkiego uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji do analizy i syntezy ekspozycji z wielu systemów pomiarowych.*
- *Wyzwanie 2: Inteligentne czujniki i dawkomierze z transmisją danych do monitorowania dawek w polu promieniowania mieszanego.*
- *Wyzwanie 3: Rozwój algorytmów i modeli matematycznych do symulacji w czasie rzeczywistym transportu promieniowania w środowisku, zintegrowanych z zaawansowanymi fantomami numerycznymi do oceny dawki skutecznej.*
- *Wyzwanie 4: Identyfikacja dynamicznych zmian ekspozycji na promieniowanie jonizujące w środowisku pracy w EJ.*

Perspektywa 2.3-3: Metody szybkiej oceny ekspozycji wewnętrznej dla personelu EJ i ogółu ludności.
Perspective 2.3-3: Rapid internal dosimetry for NPP staff and the general public.

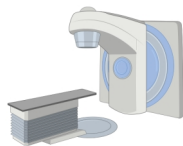


Elektrownie jądrowe, nawet podczas normalnej eksploatacji, są źródłem emisji nuklidów promieniotwórczych do środowiska. Wielkość tej emisji jest w sposób ciągły monitorowana i porównywana z limitami uwolnień ustalonymi dla danej EJ. Rozwój metod pomiaru stężenia substancji promieniotwórczych w środowisku pozwala na dokładniejsze przewidywanie ilości substancji, która wniknęła drogą

pokarmową lub oddechową. Stosowane obecnie metody pomiaru obecności substancji promieniotwórczych w organizmie, takie jak pomiary licznikiem całego ciała czy badanie stężenia nuklidów promieniotwórczych w płynach fizjologicznych, są długotrwałe i nie mogą być szybko wykonane dla licznej populacji.

- *Wyzwanie 1: Algorytmy oceny wniknięcia i skutecznej dawki obciążającej na podstawie wyników pomiarów środowiskowych oraz dozymetrii indywidualnej i awaryjnej.*
- *Wyzwanie 2: Adaptacja radiochemicznych metod stosowanych do oznaczania wybranych nuklidów promieniotwórczych do pomiarów on-line w czasie normalnej pracy obiektu jądrowego.*
- *Wyzwanie 3: Modele biokinetyczne transportu nuklidów promieniotwórczych w organizmie człowieka umożliwiające zwiększenie precyzji oceny skutecznej dawki obciążającej.*
- *Wyzwanie 4: Badania epidemiologiczne, ekonomiczne oraz socjologiczne wpływu obiektu jądrowego na jego otoczenie.*

Perspektywa 2.3-4: Ochrona radiologiczna wokół akceleratorów.
Perspective 2.3-4: Radiological protection around accelerators.



Akceleracja cząstek naładowanych w zastosowaniach medycznych, przemysłowych i naukowych prowadzi do powstania silnego pola promieniowania pierwotnego i wtórnego, często o strukturze impulsowej. Szczególną uwagę zwracają wiązki o dużej intensywności typu FLASH oraz innowacyjne metody przyspieszania cząstek z wykorzystaniem laserów dużej mocy. Na promieniowanie rozproszone składa się promieniowanie gamma, neutrony i cząstki naładowane, o szerokim widmie energetycznym. Cząstki o wysokiej energii mogą aktywować elementy konstrukcyjne, a powstające nuklidy promieniotwórcze stanowią źródło ekspozycji nawet po wyłączeniu akceleratora. Dlatego zagadnienie ekspozycji na promieniowanie wtórne wokół akceleratorów wywołuje rosnące zainteresowanie badaczy.

- *Wyzwanie 1. Rozwój metod detekcji i dozymetrii promieniowania wokół akceleratorów pracujących w trybie impulsowym, z uwzględnieniem technologii FLASH i wiązek generowanych laserowo.*
- *Wyzwanie 2. Rozwój metod detekcji i spektrometrii promieniowania neutronowego umożliwiających rejestrację widma promieniowania neutronowego in-situ.*
- *Wyzwanie 3: Modelowanie procesów aktywacji oraz prognozowanie dawek promieniowania wtórnego dla pracowników oraz osób postronnych.*

2.4. Obszar „Środowisko”

Środowisko stanowi odrębny przedmiot ochrony radiologicznej. Poszczególne komponenty środowiska, a w szczególności przypadek biotop i biocenoza, podlegają ochronie niezależnie od istniejących związków z człowiekiem [9]. Rodzaj i zakres danych niezbędnych do przeprowadzenia analizy aktualnego stanu środowiska i ewentualnego wpływu promieniowania jonizującego obejmuje dane charakteryzujące przedmiot ochrony, procesy odpowiedzialne za migrację nuklidów promieniotwórczych oraz efekty, których należy oczekiwać na poziomie środowiska abiotycznego, pojedynczych organizmów, populacji czy wręcz ekosystemów. Badania podstawowe ograniczają się zazwyczaj do badania interakcji poszczególnych elementów środowiska z wybranymi nuklidami promieniotwórczymi w ramach tzw. radioekologii. Na bazie uzyskanych wyników zazwyczaj tworzone są modele matematyczne umożliwiające w pewnym zakresie uogólnienie zaobserwowanych zjawisk. Wyniki uzyskane metodą takich symulacji obciążone są bardzo dużą niepewnością wynikającą zazwyczaj ze zmienności symulowanej sytuacji, uproszczonego opisu przedmiotu badań lub zjawiska oraz wykorzystania uśrednionych (uogólnionych) parametrów i współczynników pozyskanych zwykle w ramach badania innego obiektu. Poza obiektami *stricto* związanymi z przemysłem jądrowym w kontekście środowiska istotne są zjawiska związane z występowaniem naturalnych nuklidów promieniotwórczych, w szczególności w sytuacji, kiedy ekspozycja na promieniowanie emitowane przez naturalne nuklidy promieniotwórcze jest zwiększona w rezultacie przypadkowej lub celowej działalności człowieka.

Perspektywa 2.4-1: Bezpieczne odpady jądrowe.
Perspective 2.4-1: Safe nuclear waste.



Długotrwałe przechowywanie wypalonego paliwa jądrowego i odpadów promieniotwórczych to jedno z najbardziej złożonych wyzwań współczesnej nauki i technologii jądrowej. Użyte materiały i struktury geologiczne powinny wytrzymać dziesiątki tysięcy lat bez korozji, pęknięć i utraty szczelności w warunkach ekspozycji na promieniowanie, wysokiego ciśnienia, temperatury i obecności wody. Wypalone paliwo generuje znaczne ilości ciepła i może zniszczyć bariery ochronne lub zmienić przepływ wód w skałach. W obecności wody mogą zachodzić reakcje chemiczne: rozpuszczanie paliwa oraz uwalnianie gazów. Ważne jest też realistyczne określenie celów przechowywania odpadów, gdyż obecne regulacje czasami wynikają z arbitralnie podejmowanych decyzji politycznych, przy braku wiarygodnych podstaw naukowych.

- *Wyzwanie 1: Analiza właściwości wypalonego paliwa jądrowego w kontekście możliwych interakcji ze środowiskiem w założonym miejscu docelowego/przejsściowego*

składowania oraz materiałami użytymi do budowy/konstrukcji składowiska.

- Wyzwanie 2: Badanie wpływu procesów biochemicznych i mikrobiologicznych na migrację izotopów w składowiskach odpadów promieniotwórczych.
- Wyzwanie 3: Tworzenie wiarygodnych, probabilistycznych modeli umożliwiających symulację i przewidywanie zmian funkcjonalności składowisk odpadów promieniotwórczych.

Perspektywa 2.4-2: Waloryzacja radiacyjna środowiska. Perspective 2.4-2: Radiative valorisation of the environment.



Z perspektywy ochrony radiologicznej naturalne, a w pewnym zakresie także sztuczne nuklidy promieniotwórcze obecne w środowisku traktowane są w zasadzie jako element naturalnego tła promieniowania. Ekspozycja na warunki środowiskowe, interakcje z biosferą oraz wpływ celowej czy przypadkowej działalności człowieka powodują, że ich stężenie może się zmieniać w sposób charakterystyczny dla danego środowiska (naturalnego, środowiska przebywania człowieka, czy też środowiska pracy), tworząc typowe sygnatury zdeterminowane przede wszystkim sposobem wykorzystania terenu (ogólnie, zasobów naturalnych). Posiadanie szczegółowych danych w tym zakresie pozwala na interpretację wyników (albo stanowi warunki graniczne) w zasadzie dla wszystkich rodzajów monitoringu środowiska, niezależnie od założonego celu.

- Wyzwanie 1: Stworzenie bazy danych waloryzacji radiacyjnej środowiska z uwzględnieniem wpływu sposobu wykorzystania terenu/zasobów naturalnych w odniesieniu do sztucznych i naturalnych nuklidów promieniotwórczych (radonu).
- Wyzwanie 2: Badania stwarzające naukowe podstawy organizacji monitoringu środowiska, w szczególności obszarów o znacznej powierzchni i zmienności warunków atmosferycznych.
- Wyzwanie 3: Badanie procesów oraz metod w kierunku wzmocnienia odporności środowiska na zagrożenia radiacyjne.

Perspektywa 2.4-3: Migracja substancji promieniotwórczych w środowisku. Perspective 2.4-3: Migration of radioactive substances in the environment.



Złożoność procesów transportu nuklidów promieniotwórczych w środowisku pozostaje głównym źródłem niepewności w przewidywaniu ich oddziaływania na biosferę. Emisja nuklidów promieniotwórczych do środowiska następuje zarówno w wyniku krótkotrwałych uwolnień, jak i w wyniku ich długotrwałej migracji z miejsca pierwotnej depozycji. Przy różnorodności ekosystemów, szybkim rozprzestrzenianiu skażeń w atmosferze, migracji w wo-

dach powierzchniowych i gruntowych oraz bioakumulacji na różnych poziomach organizacji ekosystemu niepewność oceny ryzyka radiologicznego na podstawie symulacji jest bardzo wysoka. Doświadczenia katastrofy w Czarnobylu pokazały, że skażenia opadem promieniotwórczym były złożoną funkcją warunków atmosferycznych, a w szczególności lokalnych opadów.

- Wyzwanie 1: Doskonalenie modeli o wysokiej rozdzielczości czasowej i przestrzennej do symulacji rozprzestrzeniania nuklidów promieniotwórczych w atmosferze i środowisku wodnym dla przewidywania zasięgu i skali skażeń, z uwzględnieniem nowego typu danych, w tym danych satelitarnych.
- Wyzwanie 2: Rozwój nowych metod modelowania procesów zachodzących w środowisku w oparciu o redukcjonizm eksperymentalny – bazy danych podstawowych parametrów dotyczących migracji nuklidów promieniotwórczych.
- Wyzwanie 3: Badania procesów długoterminowych, w skali dekad i stuleci, zmian w zachowaniu radionuklidów w środowisku.

Perspektywa 2.4-4: Zintegrowana ocena ryzyka dla promieniowania jonizującego i innych zagrożeń środowiskowych. Perspective 2.4-4: Integrated risk assessment for ionising radiation and other environmental hazards.



Zintegrowana ocena ryzyka związanego z współwystępowaniem promieniowania jonizującego oraz innych zagrożeń fizycznych, jak również czynników toksycznych to jeden z najtrudniejszych tematów w toksykologii środowiskowej i radiobiologii. Zanieczyszczenia chemiczne mogą mieć działanie toksyczne, lecz integracja oceny zagrożenia dla różnych mechanizmów toksyczności, z uwzględnieniem promieniowania jonizującego, jest trudna zarówno na poziomie komórkowym, jak i dla organizmów wyższych. Wyniki badań przeprowadzonych bez uwzględnienia ewentualnej synergii/antagonizmu mogą prowadzić do niewłaściwych wniosków podejmowanych w oparciu o wymagania wyrażone zazwyczaj jako limit stężenia promieniotwórczego w danym komponencie środowiska. Istotne jest rozróżnienie między zanieczyszczeniem i skażeniem, zaś jego brak może skutkować błędną interpretacją wyników monitoringu. Dodatkowym problemem do rozwiązania jest ogólna tendencja stosowania odmiennego podejścia do antropogenicznych i naturalnych nuklidów promieniotwórczych w środowisku, kiedy łatwiej akceptuje się ekspozycje ze źródeł naturalnych.

- Wyzwanie 1: Integracja ochrony radiologicznej człowieka, flory i fauny oraz ekosystemów bazująca na założeniu „one health”.
- Wyzwanie 2: Interdyscyplinarne modele odpowiedzi biologicznej łączące działanie promieniowania jonizującego z toksykologią chemiczną.

- *Wyzwanie 3: Badania/analiza synergii/antagonizmu zanieczyszczeń promieniotwórczych i chemicznych z perspektywy postępowania z odpadami, klasyfikacji i rekultywacji terenów przemysłowych.*

3. Podsumowanie

Wiele organizacji na świecie, również tych działających w obszarze ochrony radiologicznej, podejmuje wysiłek przygotowania programów badawczych wytyczających plan działań na następne lata i dekady. Agendy te dotyczą całego spektrum tematów, począwszy od badań podstawowych, poprzez ich zastosowania i wdrożenia, aż do realizacji celów edukacyjnych i szkoleniowych. Programy badawcze europejskich platform w ochronie radiologicznej, takich jak EURADOS, MELODI, Radioecology ALLIANCE czy NERIS, stały się wytycznymi do formułowania tematyki badań na poziomie europejskim, m.in. w projekcie PIANOFORTE przygotowującym konkursy dla projektów realizowanych w ramach finansowania EURATOM.

W Polsce najważniejsze jednostki finansujące naukę to Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR), które wspiera badania naukowe, prace rozwojowe, komercjalizację wyników badań i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, oraz Narodowe Centrum Nauki (NCN) odpowiedzialne za finansowanie badań podstawowych bez nastawienia na bezpośrednie zastosowania komercyjne. NCBR zarządza strategicznymi programami badań naukowych i prac rozwojowych, zazwyczaj realizowanymi w ściśle określonym horyzoncie czasowym. Natomiast projekty NCN przyznawane są w ramach stosunkowo stabilnych czasowo 26 paneli, tematycznie pokrywających cały obszar badań naukowych w trzech głównych działach: Nauki Humanistyczne, Społeczne i o Sztuce; Nauki Ścisłe i Techniczne oraz Nauki o Życiu. Ze względu na interdyscyplinarny charakter badań, obejmujący nauki społeczne, ścisłe i nauki o życiu, utworzenie w NCN panelu dedykowanego ochronie radiologicznej stworzy możliwość rozwoju tej dziedziny nauki, rozwoju kadry i kompetencji. Zaprezentowana w tym dokumencie Strategiczna Agenda Badawcza może posłużyć jako wskazówka zarówno dla naukowców, jak i członków panelu w wyborze projektów o kluczowym znaczeniu dla przyszłości ochrony radiologicznej.

W 2035 roku planowane jest otwarcie pierwszej polskiej elektrowni jądrowej w pomorskiej gminie Choczewo. Strategiczna Agenda Badawcza powinna stworzyć podwa-

liny dla innowacyjnych badań, a także stać się inspiracją dla badaczy do podejmowania nowych projektów w obszarze ochrony radiologicznej w Polsce. Naukowy fundament ochrony radiologicznej stanowią badania podstawowe w zakresie fizyki, chemii, biologii i dziedzin pokrewnych. Bez nich nie byłoby możliwe ani skuteczne ograniczanie narażenia, ani rozwój nowoczesnych metod monitorowania, diagnostyki i prewencji skutków promieniowania. Badania te powinny dostarczać wiedzy o mechanizmach działania promieniowania, umożliwić zrozumienie ryzyka indukcji nowotworów i stanowić fundament dla weryfikacji i aktualizacji modeli będących podstawą całego systemu ochrony radiologicznej.

Literatura

1. W. Ruhm et al., *Visions for Radiation Dosimetry over the Next Two Decades – Strategic Research Agenda of the European Radiation Dosimetry EURADOS report* [2014-01], Braunschweig May 2014, ISBN 978-3-943701-06-7.
2. S. Bouffier, A. Auvinen, G. Baiocco, S. Candelas, E. Cardis, U., Galdieris, L. Lundholm, B. Maadas, S. Morel, S. Pazzaglia, R., Quinten's, M. Blattner, J.-M. Dolo, S. Haughtiest, *Strategic Research Agenda of the Multidisciplinary European Low Dose Initiative* (2022)
<https://melodi-online.eu/wp-content/uploads/2023/03/MELODI-SRA-2022-FINAL-post-consultation1.pdf>
3. A. Beson, S. Andrianopoulos, P. Corail, M. Montero Prieto, D. Oughton, W. Raskob, C. Turcanu and on behalf of the NERIS platform R&D committee *The NERIS roadmap: research challenges in emergency preparedness, response and recovery Radioprotection* 2023, 58(3), 169–180.
4. *Common strategic research agenda for radiation protection in medicine Insights Imaging* (2017) 8: 183–197.
5. The ALLIANCE Strategic Research Agenda (SRA)
<https://www.ceh.ac.uk/our-science/projects/radioecology-strategic-research-agenda>
6. *Strategic Research Agenda for the SHARE platform for social sciences and humanities research relating to ionizing radiation* (2020),
<https://www.ssh-share.eu/wp-content/uploads/2020/10/Revision-SH-SRA-After-consultationAugust2020-October-2020-FINAL.pdf>
7. J. Garnier-Laplace, G. Jean-Christophe, F. Mahaveer, F. Rauser, A. Wójcik, E. Sainsbury, S. Bouffier, M. Davydova, T. Kalita, and Ch. Hoeschen. *The vital role of radiation protection research in Europe's future: a PIANOFORTE white paper*. *Journal of Radiological Protection* 45, no. 2 (2025): 023001.
8. *Rola ochrony radiologicznej w Polsce wobec programu PPEJ*. Prezentacja raportu Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej (PKOR) na sympozjum IFJ PAN „Ochrona Radiologiczna w Polsce wobec wyzwań Polskiego Programu Energetyki Jądrowej (PPEJ)”, Kraków, lipiec 2023 (niepubl.)
9. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37 (2-4).

Promieniotwórczość naturalna ceramiki budowlanej badanej w Polsce w latach 2021–2024

Natural Radioactivity of Building Ceramics Studied in Poland in 2021–2024

Patrycja Styka¹, Barbara Piotrowska², Krzysztof Isajenko²

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, Ludwika Pasteura 1, 02-093 Warszawa, Polska

² Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa, Polska

Streszczenie: W latach 2021–2024 wykonano w Polsce badania naturalnej promieniotwórczości ceramiki budowlanej obejmujące 390 próbek płytek, mozaiki, ceramiki sanitarnej, bloków i blatów ceramicznych zarówno producentów polskich jak i sprowadzanych z zagranicy. Ocenę prowadzono zgodnie z wymaganiami prawnymi określonymi w rozporządzeniu Rady Ministrów z 17 grudnia 2020 r. [1], wykorzystując wskaźnik stężenia promieniotwórczego (I), który uwzględnia stężenie izotopów ⁴⁰K, ²²⁶Ra i ²³²Th.

Analiza wyników wskazuje, że dominująca część materiałów ceramicznych w Polsce mieści się w dopuszczalnych granicach określonych przez przepisy. Warto podkreślić, że wartość wskaźnika I powyżej 1 nie oznacza automatycznie, że materiał jest niebezpieczny — jest to jedynie wskaźnik orientacyjny stosowany w ocenie narażenia na promieniowanie. Średnie wartości wskaźnika I wahały się od 0,57 dla ceramiki ogólnej do 1,11 dla ceramiki sanitarnej. W przypadku bloków ceramicznych oraz ceramiki sanitarnej część próbek osiągnęła wartości graniczne lub przekraczające wartość 1. Łącznie **97,69% badanych próbek charakteryzowało się wskaźnikiem I 1,0**, natomiast **2,31% próbek przekroczyło dopuszczalny poziom**, co wyklucza je z wprowadzenia do obrotu na terenie Polski.

Uzyskane wyniki pokazują, że większość ceramiki budowlanej stosowanej w Polsce spełnia obowiązujące rozporządzenia i przepisy, a odnotowane przekroczenia wskazują na potrzebę systematycznej kontroli wyrobów przed wprowadzeniem ich na rynek.

Słowa kluczowe: Ceramika, promieniotwórczość naturalna, potas ⁴⁰K, rad ²²⁶Ra, tor ²³²Th.

Abstract: Between 2021 and 2024, studies on the natural radioactivity of building ceramics in Poland were carried out on 390 samples, including tiles, mosaics, sanitary ceramics, blocks, and ceramic countertops both Polish producers and those imported from abroad. The assessment was conducted in accordance with the legal requirements set out in the Regulation of the Council of Ministers of 17 December 2020 [1], using the radioactivity concentration index (I), which takes into the account the concentration of ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²³²Th.

The analysis of the results indicates that the majority of ceramic materials in Poland fall within the permissible limits established by regulations. It should be emphasized that an index I above 1 does not automatically mean that the material is hazardous — it is merely an indicative parameter used to assess radiation exposure. Average radioactivity concentration index (I) values ranged from 0.57 for general ceramics to 1.11 for sanitary ceramics. For ceramic blocks and sanitary ceramics, some samples reached or exceeded the permissible threshold. Overall, **97.69% of the tested samples showed an index I 1.0**, while **2.31% exceeded the allowable level**, disqualifying them from trade and therefore from safe use in construction.

The results show that most construction ceramics used in Poland comply with the applicable regulations, and the observed exceedances highlight the need for systematic control of products before their introduction to the market.

Keywords: Ceramics, natural radioactivity, potassium ⁴⁰K, radium ²²⁶Ra, thorium ²³²Th.

Pochodzenie próbek

W Polsce badania dotyczące promieniotwórczości naturalnej różnych surowców i materiałów budowlanych, w tym materiałów ceramicznych, prowadzone są od wielu lat, w szczególności w kontekście ich zastosowania w budownictwie. Na podstawie wyników analiz przeprowadzonych przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) oraz inne wyspecjalizowane placówki utworzono ogólnopolską bazę danych zawierającą wyniki badań dotyczące promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych. W bazie tej gromadzone są od 1980 r. wyniki analiz materiałów ceramicznych ponad 3000 próbek, w tym 390 próbek badanych w latach 2021–2024.

Wprowadzenie

Współczesna ceramika wytwarzana jest głównie z naturalnych surowców mineralnych, przede wszystkim z różnych rodzajów glin ilastych, ilów oraz dodatków takich, jak szamoty, piaski kwarcowe, skalenie i kaoliny [2]. W Polsce materiały te pochodzą bezpośrednio z kopalni ilastych wydobywanych na terenie kraju i są wykorzystywane zarówno do produkcji ceramiki budowlanej, jak i użytkowej. Zawierają one w swoim składzie naturalne pierwiastki promieniotwórcze, takie jak potas, uran czy tor, które występują w przyrodzie powszechnie, choć w bardzo małych ilościach. To właśnie ich obecność sprawia, że każdy materiał pochodzenia naturalnego, w tym także ceramika, wykazuje śladową aktywność promieniotwórczą.

Dodatkowo, w procesie produkcji stosuje się różne materiały pomocnicze, takie jak barwniki i szkliwa. Szkliwa są przygotowywane z mieszanin tlenków metali i pełnią funkcję powłok ochronnych lub dekoracyjnych [3]. W przeszłości do ich barwienia używano związków metali ciężkich, a nawet tlenków uranu, jednak obecnie stosuje się bezpieczne zamienniki [4], które nie wnoszą istotnych dawek promieniowania. Także pigmenty ceramiczne produkowane są dziś z zachowaniem odpowiednich norm, bez dodatku materiałów radioaktywnych.

W artykule przedstawiono wyniki badań promieniotwórczości naturalnej wybranych próbek ceramiki budowlanej i sanitarnej, w tym mozaiki oraz płytek ceramicznych, które są powszechnie wykorzystywane w budownictwie mieszkaniowym. Ocena ta obejmuje stężenia promieniotwórcze izotopów potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , które mają znaczący wpływ na poziom promieniowania jonizującego w pomieszczeniach mieszkalnych.

Przepisy prawne

W Polsce podstawowym aktem prawnym jest ustawa „Prawo atomowe” [5] i wydane do niego rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. w sprawie mate-

riałów budowlanych, w przypadku których oznacza się stężenie promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , wymagań dotyczących dokonywania tych oznaczeń oraz wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego, o której przekroczeniu informuje się właściwe organy (Dz.U. z 2021 r., poz. 33).

Zgodnie z art. 5b ustawy „Prawo atomowe” [5] przed wprowadzeniem do obrotu materiałów budowlanych na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej oznacza się stężenie promieniotwórcze naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th . Oznaczenia stężenia promieniotwórczego izotopu toru ^{232}Th można dokonać przez oznaczenie stężenia promieniotwórczego kolejnych produktów jego rozpadu. Wynika to z faktu, że ^{232}Th jest izotopem alfa-promieniotwórczym, który nie może być wykrywany za pomocą detektora rejestrującego promieniowanie gamma.

Maksymalne dopuszczalne poziomy stężenie naturalnych izotopów promieniotwórczych określa rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. [1]. Rozporządzenie to ujednoliciło dotychczasowe przepisy, w których dopuszczalna ilość zależała od przeznaczenia materiału. Obecnie standard, którego nie należy przekraczać, jest dany równaniem:

$$I \frac{C_{^{40}\text{K}}}{3000 \text{ Bq/kg}} \frac{C_{^{226}\text{Ra}}}{300 \text{ Bq/kg}} \frac{C_{^{232}\text{Th}}}{200 \text{ Bq/kg}}$$

gdzie $C_{^{40}\text{K}}$, $C_{^{226}\text{Ra}}$ i $C_{^{232}\text{Th}}$ – oznaczają odpowiednio stężenia promieniotwórcze izotopów potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , wyrażone w bekerelach na kilogram (Bq/kg).

Aby dany materiał wprowadzić do obrotu na terenie Polski (zgodnie z wytycznymi rozporządzenia), wskaźnik stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych nie może przekraczać wartości 1. Nałożony został również warunek na całkowitą niepewność, a mianowicie niepewność wyznaczenia wartości tego wskaźnika, przy poziomie ufności 0,95, nie może przekraczać 20% jego wartości, jeżeli wskaźnik ten wynosi co najmniej 0,8.

Metoda pomiaru

Materiał budowlany, w którym dokonywano oznaczeń, przed umieszczeniem w naczyniu pomiarowym wysuszono do suchej masy, rozdrobniono i przesiano przez sito do wymiaru ziaren o średnicy poniżej 2 mm. Pomiar stężenia izotopów promieniotwórczych w materiałach budowlanych przeprowadzono z użyciem specjalistycznej aparatury – analizatora typu MAZAR z sondą scyntylacyjną NaI(Tl), która pozwala na precyzyjne określenie stężenia poszczególnych izotopów promieniotwórczych [6]. Do stabilizacji widma promieniowania gamma użyto źródła ^{137}Cs .

Analizator typu MAZAR ma wydzielone trzy zakresy pomiarowe, które obejmują kanały o następujących energiach:

- kanał 1, o zakresie 1,26–1,65 MeV, który rejestruje fotony promieniowania gamma ^{40}K ,
- kanał 2, o zakresie 1,65–2,30 MeV, który rejestruje fotony promieniowania gamma ^{214}Bi , będący w równowadze z radem ^{226}Ra ,
- kanał 3, o zakresie 2,30–2,85 MeV, który rejestruje fotony promieniowania gamma ^{208}Tl .

Kanały rejestrują również widma Comptonowskie i tło aparatury. Istotne są zarówno właściwa stabilizacja widma, jak i odpowiednia kalibracja.

Po dokonaniu pomiarów przeprowadzono analizę, a na podstawie uzyskanych danych wykonano obliczenia, które pozwalają stwierdzić, czy materiał budowlany spełnia wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu narażenia na promieniowanie gamma.

Wyniki badań radioaktywności naturalnej ceramiki badanej w latach 2021–2024

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w latach 2021–2024, w tabeli 1 przedstawiono średnie wartości stężeń promieniotwórczych ^{40}K , ^{226}Ra i ^{232}Th wraz z zakresami dla wybranych materiałów ceramicznych.

Przeprowadzona porównawcza analiza stężeń izotopów promieniotwórczych: potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra oraz toru ^{232}Th w różnych materiałach ceramicznych i budowlanych wykazała istotne zróżnicowanie aktywności promieniotwórczej w zależności od rodzaju próbki. Dodatkowo na wykresie 1 przedstawiono wielkość stężeń promieniotwórczych ^{40}K , ^{226}Ra oraz ^{232}Th dla wybranych materiałów ceramicznych.

Największe stężenia promieniotwórcze izotopu ^{40}K odnotowano w próbkach mozaiki ceramicznej, gdzie osiągały one wartość średnią 772 Bq/kg. Podwyższone wartości występowały również w ceramice sanitarnej, cera-

mice oraz płytkach ceramicznych. Ich stężenia oscylowały w granicach 600–700 Bq/kg. Najmniejsze stężenie potasu ^{40}K zaobserwowano w blatach ceramicznych, wynoszące średnio 375 Bq/kg.

W przypadku radu ^{226}Ra największe stężenie promieniotwórcze wykazały bloki ceramiczne, w których stężenie tego izotopu wynosiło średnio 226,5 Bq/kg. Stosunkowo wysokie wartości odnotowano również w wyrobach ceramicznych, blatach ceramicznych oraz ceramice sanitarnej (około 100–130 Bq/kg). Najmniejsze stężenie radu ^{226}Ra wystąpiło w zwykłej ceramice – poniżej 45 Bq/kg.

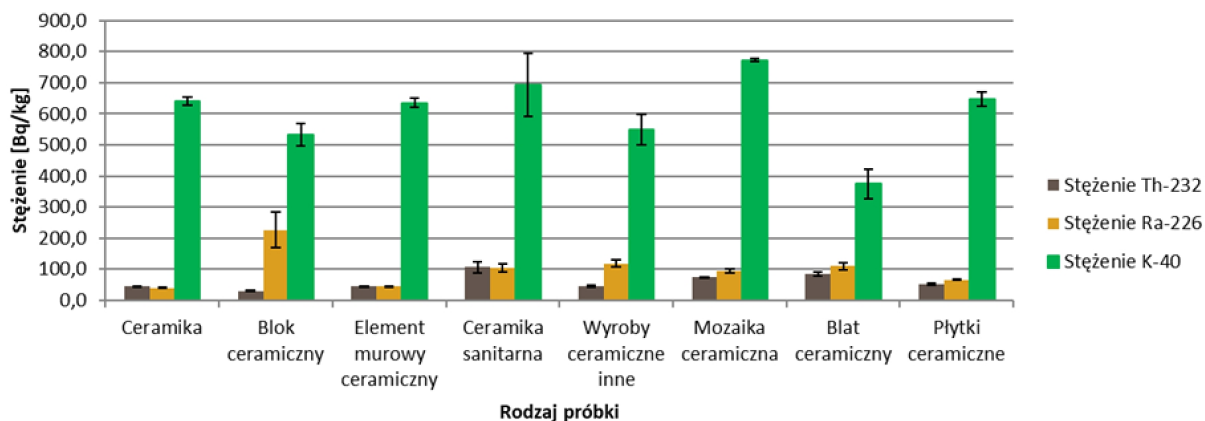
Najwyższe stężenie promieniotwórcze ^{232}Th stwierdzono w próbkach ceramiki sanitarnej – średnio 107,0 Bq/kg. Wysokie stężenia (przekraczające 70 Bq/kg) występowały również w mozaikach ceramicznych oraz blatach ceramicznych. Najniższe wartości ^{232}Th zaobserwowano w blokach ceramicznych, zwykłej ceramice oraz ceramicznych elementach murowanych – poniżej 45 Bq/kg.

Różnice w poziomach radioaktywności w próbkach ceramicznych są determinowane składem chemicznym. Natomiast skład chemiczny ceramiki zależy od pochodzenia i geologicznych uwarunkowań surowców oraz procesu produkcji. Ceramika, zwłaszcza ta produkowana z gliny i minerałów zawierających uran, tor czy inne materiały promieniotwórcze, może wykazywać różne poziomy radioaktywności w zależności od zawartości tych izotopów. ^{40}K jest powszechnie obecny w materiałach ziemskich [7], takich jak glina, co sprawia, że ceramika naturalnie zawiera ten izotop. Z kolei ^{226}Ra i ^{228}Th , będące produktami rozpadu uranu i toru, występują głównie w minerałach takich, jak monacyt, apatyt czy inne związki uranowe [8], które mogą znajdować się w surowcach używanych do produkcji ceramiki. Ocena różnic w poziomach radioaktywności musi uwzględniać niepewność wyników pomiarów, która zawiera się w granicach od kilku do nawet kilkuset Bq/kg.

Tabela 1. Średnie wartości stężeń promieniotwórczych wraz z ich zakresami podanymi w Bq/kg w zależności od materiału.
Table 1. Mean values of radionuclide concentrations with their ranges given in Bq/kg depending on the material.

Rodzaj badanej próbki	Liczba próbek	^{40}K		^{226}Ra		^{232}Th	
		Wartość średnia [Bq/kg]	Zakres [Bq/kg]	Wartość średnia [Bq/kg]	Zakres [Bq/kg]	Wartość średnia [Bq/kg]	Zakres [Bq/kg]
Ceramika	185	639±13	38–1323	40,5±0,6	4,0–0,7	44,9±0,1	7,5–85,5
Blok ceramiczny	2	533±37	496–569	226,5±57,5	169,0–284,0	30,3±1,3	29,0–31,6
Element murowy ceramiczny	109	635±14	242–938	44,6±1,6	11,8–125,5	44,0±0,9	12,1–70,8
Ceramika sanitarna	9	692±101	276–977	103,7±13,3	49,3–160,0	107,0±18	41,2–162,0
Wyroby ceramiczne inne	1	548±49*	–	119±10*	–	45,4±4,2*	–
Mozaika ceramiczna	2	772±5	766–777	95,5±6,3	89,2–101,78	73,4±3,1	73,4–79,4
Blat ceramiczny	1	375±48*	–	109,6±11,7*	–	84,0±7,0*	–
Płytki ceramiczne	81	646±23	50–990	65,9±2,2	15,0–133,3	52,0±2,1	10,0–132,8

*) – wartości wynikają z bezpośrednich badań wielkości stężeń promieniotwórczych i ilości przebadanych materiałów.



Wykres 1. Zależności stężeń izotopów potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th w Bq/kg od rodzaju próbki (opracowanie własne).

Chart 1. Dependence of potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra and thorium ^{232}Th isotope concentration in Bq/kg on the type of sample (own study).

Dla każdego materiału budowlanego obliczono wartość wskaźnika stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych w celu ustalenia, czy spełnia on wymagania określone w rozporządzeniu [1].

Analiza danych przedstawionych w tabeli 2 wskazuje, że w badanych próbkach materiałów ceramicznych poziomy stężeń radionuklidów są zróżnicowane. Najwięcej próbek przebadanych zostało określonych ogólnym mianem ceramiki. Pozwala to na szeroką ocenę tego rodzaju materiałów. Średnia wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego w ceramice wynosi 0,57, z zakresem od 0,06 do 1,08, co świadczy o dużej rozpiętości wyników.

W przypadku bloków ceramicznych średnia wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego I jest wyższa od jedności i wynosi 1,09, z zakresem od 0,89 do 1,28. Elementy murowe ceramiczne wykazują średnią wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego I na poziomie 0,58, z zakresem od 0,20 do 0,98. Wśród wyrobów ceramicznych sanitarnych średnia wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego jest jeszcze wyższa niż w przypadku bloków ceramicznych i wynosi 1,11, z zakresem od 0,46 do 1,65. W przypadku ceramiki innych

rodzajów odnotowano jedną próbkę z wartością 0,81 zmierzoną z dokładnością 0,06, natomiast mozaika ceramiczna charakteryzuje się średnią wartością wskaźnika stężenia promieniotwórczego I równą 0,96, z zakresem od 0,92 do 1,00. W przypadku blatów ceramicznych odnotowano jedną próbkę z wartością $I = 0,91$ zmierzoną z dokładnością 0,06. Dla płytek ceramicznych, które stanowią najliczniejszą grupę (81 próbek), wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego wyniosła 0,70, z zakresem od 0,12 do 1,39.

Wyniki dla większości próbek materiałów ceramicznych wskazują, że wskaźnik stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych nie przekracza wartości 1,00 (97,69%). Niestety w przypadku 9 na 381 próbek (2,31%) zostaje on przekroczony.

Chociaż w niektórych przypadkach stwierdzono przekroczenie ustalonej wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego, ogólny poziom promieniotwórczości w materiałach ceramicznych pozostaje poniżej wartości 1. Zaleca się jednak kontynuowanie badań tego typu, aby monitorować parametry materiałów i utrzymywać zgodność z obowiązującymi przepisami.

Tabela 2. Średnie wartości wskaźnika stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych wraz z ich zakresami w zależności od rodzaju próbki.

Table 2. Mean values of the activity concentration index of natural radionuclides with their ranges depending on the type of sample.

Rodzaj próbki	Liczba próbek	Wartość średnia	Zakres
Ceramika	185	0,57±0,10	0,06–1,08
Blok ceramiczny	2	1,09±0,20	0,89–1,28
Element murowy ceramiczny	109	0,58±0,12	0,20–0,98
Ceramika sanitarna	9	1,11±0,16	0,46–1,65
Wyroby ceramiczne inne	1	0,81±0,06*	–
Mozaika ceramiczna	2	0,96±0,06	0,92–1,00
Blat ceramiczny	1	0,91±0,06*	–
Płytki ceramiczne	81	0,70±0,18	0,12–1,39

*) podane wartości wraz z dokładnością w tabeli 2 wynikają z ilości przebadanych materiałów i są wynikiem bezpośrednich badań naturalnej promieniotwórczości.

Podsumowanie

Badania przeprowadzone w latach 2021–2024 obejmujące 390 próbek ceramiki budowlanej i sanitarnej w Polsce materiałów zarówno polskich producentów jak i eksportowanych wykazały różnicowane stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych ^{40}K , ^{226}Ra i ^{232}Th w zależności od rodzaju materiału. Najwyższe wartości ^{40}K stwierdzono w mozaikach ceramicznych, natomiast ^{226}Ra w blokach ceramicznych, a ^{232}Th w ceramice sanitarnej. Średnie wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego (I) w badanych próbkach mieściły się w przedziale 0,57–1,11, a większość materiałów (97,69%) nie przekroczyła wartości granicznej równej 1,0 określonej w obowiązującym rozporządzeniu.

Otrzymane wyniki potwierdzają, że w większości przypadków ceramika stosowana w Polsce spełnia wymagania określone w rozporządzeniu Rady Ministrów i jest zgodna z przepisami dotyczącymi promieniotwórczości. Nieliczne przekroczenia wartości wskaźnika I podkreślają znaczenie kontynuacji systematycznych badań, które umożliwiają monitorowanie parametrów materiałów i utrzymywanie zgodności z przepisami.

Informacje o autorach

Patrycja Styka – studentka trzeciego roku Chemii jądrowej i Radiofarmaceutyki na Uniwersytecie Warszawskim (UW), oraz pierwszego roku Automatyki i Robotyki Stosowanej na Politechnice Warszawskiej (PW). Działa w Laboratory of Technology of Organic Functional Materials (LAB PTOMF UW). Odbiła praktyki studenckie w Zakładzie Dozymetrii Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR), gdzie zajmowała się pracami związanymi z naturalną promieniotwórczością materiałów budowlanych. Członek Koła Naukowego Chemików „ProbUWka” (od 2023 r.) – uczestniczy w pracy badawczej pt. „Sondy molekularne oparte na nanocząstkach złota sfunkcjonalizowanych prostymi pochodnymi chinolin i pirydyn”.
Barbara Piotrowska – absolwentka Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (specjalność: fizyka jądrowa). Pracownik Wojskowe-

go Instytutu Chemii i Radiometrii w latach 1996-2009. Od 2009 roku pracownik Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej, zastępca kierownika Zakładu Dozymetrii i kierownik ds. technicznych w akredytowanym Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej CLOR. Od wielu lat zajmuje się spektrometrią promieniowania gamma. Prowadzi badania i szkolenia w zakresie pomiarów promieniotwórczości naturalnej w surowcach i materiałach budowlanych. Przeprowadza ekspertyzy radiologiczne.

Krzysztof Isajenko – kierownik Zakładu Dozymetrii Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie, z-ca Dyrektora CLOR w latach 2006–2019, Kierownik akredytowanego Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej, Absolwent Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, wieloletni członek Komisji Badania Morza Polskiej Akademii Nauk, wykładowca na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, uczestnik wielu szkoleń dotyczących ochrony radiologicznej i bezpieczeństwa jądrowego (zarówno krajowych jak i zagranicznych), autor lub współautor wielu publikacji związanych z tą tematyką.

Literatura

1. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. (Dz.U. z 2021 r., poz. 33).
2. Zintegrowana Platforma Edukacyjna (ZPE). <https://zpe.gov.pl/a/przeczytaj/DMZg1Odjv> [dostęp: 8 sierpnia 2025].
3. Stephani, „Wszystko o szklwie ceramicznym!”. <https://stephanihome.pl/wszystko-o-szkliwie-ceramicznym>. [dostęp: 8 sierpnia 2025].
4. Ceramiczne ABC, „Związki chemiczne do wyrobu szkliv”. <https://ceramiczneabc.wordpress.com/category/zwiazki-do-szkliv> [dostęp: 8 sierpnia 2025].
5. Ustawa z dnia 22 sierpnia 2024 r. – Prawo atomowe (Dz.U. z 2024 r., poz. 1277 t.j).
6. Poradnik ITB 455/2010 „Promieniotwórczość naturalna materiałów budowlanych”.
7. HPS Chapters North Carolina. (n.d.). Potassium. <http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/potassium.pdf> [dostęp: 11 sierpnia 2025].
8. World Nuclear Association „Naturally-Occurring Radioactive Materials”. <https://world-nuclear.org/Information-Library/Safety-and-Security/Radiation-and-health/Naturally-Occurring-Radioactive-Materials-NORM> [dostęp: 8 sierpnia 2025].

Definicja obiektu jądrowego i obiektu energetyki jądrowej w polskim prawie energii jądrowej. Ewolucja siatki pojęciowej oraz uwagi *de lege lata* i *de lege ferenda*. Cz. II (od 1986 r.)

*Definition of a nuclear installation and a nuclear power facility in Polish nuclear law. Evolution of the conceptual framework and comments de lege lata and de lege ferenda.
Part II (since 1986)*

Tomasz R. Nowacki
Instytut Prawa i Administracji Uniwersytetu Pomorskiego w Słupsku

Streszczenie: Artykuł stanowi kontynuację artykułu z nr 4/2025 BJIOR. W szczególności niniejsza część koncentruje się na definicjach pojęć „obiekt jądrowy” i „obiekt energetyki jądrowej”. Na gruncie normatywnym jako pojęcia posiadające swoje definicje pojawiły się one odpowiednio w 1986 roku i 2011 roku. Do chwili obecnej podlegały też pewnym zmianom. Definicję „obiektu jądrowego” zmieniano, względnie rozszerzano, cztery razy (2000, 2004, 2011, 2023), podczas gdy definicję „obiektu energetyki jądrowej” raz (2023). W opracowaniu przedstawiono także proces tworzenia się analogicznych lub pokrewnych definicji w międzynarodowym prawie energii jądrowej, zwłaszcza w dokumentach *soft law* przyjmowanych pod auspicjami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Omówiono również rozwój zasad techniki prawodawczej w Polsce w odniesieniu do definicji terminów prawnych. Sformułowano także postulaty *de lege lata* i *de lege ferenda*.

Słowa kluczowe: Prawo energii jądrowej, Prawo atomowe, obiekt jądrowy, obiekt energetyki jądrowej, bezpieczeństwo jądrowe.

Summary: This article is a continuation of the article from BJIOR issue no. 4/2025. This section focuses in particular on the definitions of the terms „nuclear installation” (“obiekt jądrowy”) and „nuclear power facility” (“obiekt energetyki jądrowej”). These terms first appeared in the legal system as defined concepts in 1986 and 2011, respectively. To date, they have also undergone some changes. The definition of „nuclear installation” has been amended, or expanded, four times (2000, 2004, 2011, and 2023), while the definition of „nuclear power facility” has been amended once (2023). The study also presents the process of developing analogous or related definitions in international nuclear law, particularly in soft law documents adopted under the auspices of the International Atomic Energy Agency. The development of legislative techniques in Poland with respect to the definition of legal terms is also discussed. Finally *de lege lata* and *de lege ferenda* postulates were also formulated.

Keywords: Nuclear law, Atomic law, nuclear installation, nuclear power facility, nuclear safety.

1. Działalność prawotwórcza w zakresie prawa energii jądrowej od 1986 roku

W 1986 roku, w trakcie budowy elektrowni jądrowej Żarnowiec, uchwalono pierwsze Prawo atomowe¹ – jednolitą i kompleksową, jak na owe czasy, ustawę regulującą zasady bezpieczeństwa wykorzystywania energii jądrowej. Fakt ten stanowił istotny krok w uporządkowaniu dotychczasowego kompleksu norm prawa energii jądrowej cechującego się brakiem przejrzystości i fragmentacją, dużą liczbą aktów prawnych o różnej randze i formie pochodzących od różnych organów państwowych. Dominowały wśród nich akty resortowe, dodatkowo w przytłaczającej większości nie podlegające ogłoszeniu². Ustawę uzupełniały akty wykonawcze: rozporządzenia, zarządzenia Prezesa PAA, niektóre pozostające w mocy zarządzenia innych organów, głównie Pełnomocnika Rządu do spraw Wykorzystania Energii Jądrowej. Dopełnieniem krajowej działalności prawotwórczej były szczegółowe wytyczne Pełnomocnika Prezesa PAA ds. Bezpieczeństwa Jądrowego, a także niektóre przepisy sowieckie inkorporowane do polskiego porządku prawnego. Stosowano także instrumenty *soft law* w postaci zaleceń Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA)³.

Kluczowe znaczenie dla systemu źródeł prawa miało uchwalenie i wejście w życie nowej konstytucji z 1997 roku.⁴ Uporządkowała ona te kwestie, wprowadzając jednocześnie jasną hierarchię formalnych źródeł prawa.

Od tego czasu, spośród źródeł krajowych, jedynie ustawy, rozporządzenia i akty prawa miejscowego mają przymiot aktów prawa powszechnie obowiązującego. Z systemu zniknęły przepisy resortowe, w tym tzw. prawo powielaczowe, choć wydane na ich podstawie decyzje administracyjne mogły obowiązywać nawet do 2004 roku.⁵ System uzupełniają instrumenty międzynarodowe, choć zawarte w nich normy stają się częścią składową polskiego systemu głównie poprzez transpozycję za pośrednictwem ustaw i rozporządzeń. Dotyczy to zarówno wiążących aktów prawnych, jak umowy międzynarodowe i dyrektywy Wspólnoty Euratom, jak też i części międzynarodowego *soft law*. Spora część *soft law* (głównie zalecenia MAEA) stosowana jest w praktyce przez podmioty wykonujące określone rodzaje działalności także bez wcześniejszej implementacji do krajowego porządku prawnego.

W 2000 roku uchwalono nowe Prawo atomowe⁶, uwzględniające postęp techniczny, doświadczenia z funkcjonowania poprzedniej ustawy oraz obowiązki wynikające z ratyfikowanych umów międzynarodowych, a w pewnym zakresie także uwzględniające dorobek prawny Wspólnoty Euratom. Obecny kształt ustawie nadały w szczególności kolejne nowelizacje z lat 2004⁷, 2006⁸, 2008⁹, 2011¹⁰, 2014¹¹, 2019¹², 2023¹³ motywowane głównie koniecznością implementacji następnych dyrektyw Wspólnoty Euratom oraz aktualizacji przepisów na potrzeby wdrażania energetyki jądrowej¹⁴. Ustawę Prawo atomowe uzupełniają kilkadziesiąt rozporządzeń, w tym rozporządzenia ustalające

¹ Ustawa z dnia 10 kwietnia 1986 r. Prawo atomowe, Dz.U. Nr 12, poz. 70 ze zm.

² Zob. T.R. Nowacki, *Charakterystyka źródeł prawa energii jądrowej w PRL (do 1986 r.)*, Prawo i Więź 2025, nr 5, s. 334, 370–371.

³ Zob. T.R. Nowacki, *Od nacjonalizacji do regulacji. Prawodawstwo energetyczne w Polsce w latach 1945–1997*, Studia Iuridica Toruniensia 2023, nr 2, s. 237.

⁴ Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz.U. Nr 78, poz. 483 ze zm.).

⁵ Zob. art. 133 ust. 4 pkt 3 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz.U. z 2001 r. Nr 3, poz. 18 ze zm., t.j. Dz.U. z 2026 r. poz. 1).

⁶ Zob. przypis 5.

⁷ Ustawa z dnia 12 marca 2004 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o opłacie skarbowej (Dz.U. Nr 70, poz. 632); zob. P. Korzecki, *Nowe regulacje prawne w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej*, Postępy Techniki Jądrowej 2004, nr 4, s. 2–10.

⁸ Ustawa z dnia 24 lutego 2006 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe (Dz.U. Nr 52, poz. 378).

⁹ Ustawa z dnia 11 kwietnia 2008 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe (Dz.U. Nr 93, poz. 583).

¹⁰ Ustawa z dnia 13 maja 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. Nr 132, poz. 766); zob. K. Sieczak, *Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe po nowelizacji dokonanej ustawą z dnia 13 maja 2011 r.*, BJIOR 2011, nr 4, s. 8–34; T.R. Nowacki, *Nuclear Power Programme for Poland – Establishing the Legal Framework* (w:) Raetzke C. (red.), *Nuclear Law in the EU and Beyond – Atomrecht in Deutschland, der EU und weltweit. Proceedings of the AIDN/INLA Regional Conference 2013 in Leipzig*, Baden-Baden 2014, s. 121–166.

¹¹ Ustawa z dnia 4 kwietnia 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. poz. 587); zob. M. Gąszczyk, *Nowelizacja prawa atomowego. Likwidacja funkcji Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego*, BJIOR 2014, nr 2, s. 5–9; K. Sieczak, *Odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe. Zmienione przepisy ustawy – Prawo atomowe*, BJIOR 2015, nr 1, s. 5–13; ustawa z dnia 25 lipca 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe (Dz.U. poz. 1162).

¹² Ustawa z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. poz. 1593); zob. E. Raban, *Nowelizacja Prawa atomowego: ogólne założenia* (w:) M. Zmyślony, E.M. Nowosielska, E. Sobiczewska (red.), *Nowe uregulowania w ochronie przed polami elektromagnetycznymi i promieniowaniem jonizującym*, Warszawa 2018, s. 33–46; tegoż, *Zmiany w ustawie – Prawo atomowe w zakresie: reglamentacji działalności związanej z narażeniem, uprawnień pracowniczych oraz kontroli narażenia pracowników* (w:) M. Zmyślony, E.M. Nowosielska (red.), *Aktualny stan prawny ochrony przed promieniowaniem jonizującym i polami elektromagnetycznymi 0-300 GHz w Polsce*, Warszawa 2021, s. 33–49.

¹³ Ustawa z dnia 9 marca 2023 r. o zmianie ustawy o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. poz. 595).

¹⁴ Pomija się w tym miejscu nowelizację z 2016 r. dokonaną z inicjatywy poselskiej (ustawa z dnia 6 lipca 2016 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe, Dz.U. poz. 1343) z uwagi na fakt, iż jej szkodliwe skutki zostały odwrócone w nowelizacji z 2019 r. (zob. przypis 12). Więcej na ten temat w: T.R. Nowacki, *Ograniczenie autonomii Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki*, Przegląd Sejmowy 2018, nr 4, s. 53–73; tegoż, *O potrzebie przywrócenia właściwego statusu Rady do spraw Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej*, Krytyka Prawa 2021, nr 3, s. 255–275; O ewolucji przepisów zwłaszcza w doniesieniu do ochrony radiologicznej zob. E. Raban, *Nadzór i regulacje prawne zastosowań promieniowania jonizującego na przestrzeni ostatnich 40 lat*, BJIOR 2021, nr 4, s. 10–22.

szczegółowe wymagania dotyczące poszczególnych faz cyklu życiowego obiektów jądrowych (budowy, rozruchu, eksploatacji i likwidacji) oraz sukcesywnie wydawane, na podstawie art. 110 pkt 3 Prawa atomowego, niewiążące zalecenia Prezesa PAA.

Istnieje też odrębna ustawa w kwestii administracyjno-prawnych zagadnień procesu inwestycyjnego, niezwiązanego bezpośrednio z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną – ustawa z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących¹⁵ („ustawa inwestycyjna”). Obecny kształt ustawy, w zakresie najistotniejszych przepisów merytorycznych, został jej nadany nowelizacją z 2023 r.¹⁶ Dopełniają ją dwa akty wykonawcze.

Za działalność prawotwórczą należy uznać również przyjmowanie sformalizowanych aktów polityki państwa dotyczących energii i energetyki jądrowej. Przybierają one formę prawną uchwał Rady Ministrów (Polityka energetyczna, Program polskiej energetyki jądrowej, Strategia i polityka w zakresie rozwoju bezpieczeństwa jądrowego, Krajowy plan postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym) lub stanowią działania ministrów (Krajowy plan działań w przypadku narażenia na radon, Krajowy plan działania w zakresie podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego krajowych obiektów jądrowych).

2. Definicje legalne a zasady techniki prawodawczej w Polsce od 1986 roku

Przez niemal sześć lat od uchwalenia Prawa atomowego z 1986 r. obowiązywały zasady techniki prawodawczej (ZTP) z 1961 r.¹⁷ omówione w pierwszej części niniejszego artykułu. Zawierały one tylko ogólną dyrektywę (§3), zgodnie z którą „Do oznaczenia jednakowych pojęć należy w projektach aktów używać jednakowych wyrazów i określeń prawniczych, jakie przyjęte są w obowiązującym ustawodawstwie (np. w kodeksach)”. Od 1 stycznia 1992 r. obowiązywały nowe zasady, przyjęte uchwałą Rady Ministrów z 1991 r.¹⁸, które rozszerzały poprzednie uregulowania. W dalszym ciągu nakazane było używanie jednakowych określeń na oznaczanie jednakowych pojęć, ale dyrektywę tę uzupełniono o zakaz określania różnych pojęć tymi samymi określeniami (§7). Utrzymano także obowiązek posługiwania się określeniami już występującymi w ustawodawstwie, doprecyzowując, że chodzi o „usta-

wy podstawowe dla danej dziedziny spraw”, jako które w szczególności ponownie wskazano kodeksy (§6). Jednocześnie należało posługiwać się poprawnymi wyrażeniami językowymi w ich podstawowym i powszechnie przyjętym znaczeniu, a także unikać określeń specjalistycznych mających odpowiedniki w języku powszechnym, obcojęzycznych oraz neologizmów (§5). ZTP z 1991 r. zawierały ponadto przepisy odnoszące się bezpośrednio do zasad definiowania pojęć. W szczególności należało robić to w taki sposób, aby definicja wskazywała wyraźnie, że odnosi się do znaczenia określeń (§95). Co do zasady definicje zakresowe powinny być sformułowane w jednym przepisie i obejmować cały zakres definiowanego pojęcia, choć dopuszczano możliwość uzupełnienia definicji w innych miejscach aktu, jeśli wyliczenie wszystkich elementów zakresu definiowanego pojęcia w jednym przepisie nie byłoby możliwe. W takim przypadku definicja powinna jednak wyraźnie zaznaczać ten fakt i odsyłać do właściwych przepisów (§96).

Uregulowania dotyczące definicji zostały znacząco rozbudowane w kolejnej wersji ZTP z 2002 r. przyjętej tym razem w formie rozporządzenia¹⁹. Zgodnie z obowiązującymi do dziś przepisami w tym zakresie w akcie normatywnym definicje legalne tworzy się, jeżeli dane określenie jest wieloznaczne, nieostre, a jest pożądane ograniczenie jego nieostrości, gdy znaczenie danego określenia nie jest powszechnie zrozumiałe, a także gdy ze względu na dziedzinę regulowanych spraw istnieje potrzeba ustalenia nowego znaczenia danego określenia (§146). W obrębie takiego aktu nie można posługiwać się zdefiniowanym określeniem w innym znaczeniu, a jeśli zachodzi taka konieczność, należy podać inne znaczenie oraz ustalić zakres jego odniesienia (§147). Dotyczy to także odstąpienia w innych aktach prawnych od znaczenia danego określenia ustalonego w ustawie podstawowej dla danej dziedziny spraw (w tym ustaw określanych jako „kodeks” lub „prawo”) (§148). Co do zasady niedozwolone jest formułowanie definicji pojęć ustawowych w aktach normatywnych niższych rangą (bez wyraźnego upoważnienia ustawowego), a w szczególności formułowanie takich definicji, które ustalałyby znaczenia określeń zawartych w ustawie upoważniającej. Jednocześnie w aktualnych ZTP utrzymana jest m.in. dyrektywa w zakresie formułowania definicji tak, aby wskazywały w sposób niebudzący wątpliwości, że odnoszą się do znaczenia określeń (§151), a także ta, która mówi o obowiązku formułowania definicji zakresowej, co do zasady w jednym przepisie prawnym, obejmując nią cały zakres definiowanego pojęcia (§153).

¹⁵ Dz.U. Nr 135 poz. 789.

¹⁶ Zob. przypis 13.

¹⁷ Przyjęte zarządzeniem nr 238 Prezesa Rady Ministrów z dnia 9 grudnia 1961 r. w sprawie „Zasad techniki prawodawczej”. Zarządzenie to nie zostało opublikowane w dzienniku urzędowym i ukazało się jedynie jako druk zwarty. Zob. *Zasady techniki prawodawczej*, Warszawa 1962.

¹⁸ Uchwała Rady Ministrów nr 147 z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie zasad techniki prawodawczej (M.P. Nr 44, poz. 310).

¹⁹ Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 20 czerwca 2002 r. w sprawie „Zasad techniki prawodawczej” (Dz.U. Nr 100, poz. 908 ze zm., t.j. Dz.U. z 2026 r., poz. 283).

3. Dalsza ewolucja terminologii w prawie międzynarodowym

Kolejnym, po omówionych w pierwszej części niniejszego opracowania zaleceniach MAEA²⁰ posługujących się pojęciem „obektu jądrowego”, był dokument z 1993 roku z serii *Safety Series* zatytułowany *The Safety of Nuclear Installations (Safety Fundamentals)*²¹. Nie zawierał on definicji w klasycznym znaczeniu, ale precyzował w pkt. 104, iż ma zastosowanie do tych obiektów jądrowych („*nuclear installations*”), w których z uwagi na wolumen energii jądrowej może dojść do uwolnienia materiału jądrowego skutkującego narażeniem ludzi na promieniowanie. Oprócz elektrowni jądrowej dokument wymieniał jako obiekty mogące być obiektami jądrowymi, reaktor i zakłady badawcze, zakłady wzbogacania, wytwarzania paliwa i przetwarzania oraz obiekty związane z postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi, w tym z ich przechowywaniem²².

Konwencja bezpieczeństwa jądrowego z 1994 roku²³ poświęcona zagadnieniu bezpieczeństwa jądrowego elektrowni jądrowych również posłużyła się terminem „obekt jądrowy” („*nuclear installation*”). Z uwagi na zakres przedmiotowy konwencji zawarta w art. 2 pkt i definicja była jednak ograniczona do elektrowni jądrowych usytuowanych na lądzie wraz z towarzyszącą im infrastrukturą w zakresie postępowania z materiałami promieniotwórczymi²⁴. Oznaczało to objęcie reżimem konwencyjnym trzech rodzajów obiektów jądrowych: samej elektrowni jądrowej oraz przechowalnika wypalonego paliwa jądrowego i obiektu do przechowywania odpadów promienio-

twórczych pod warunkiem, że te obiekty są bezpośrednio związane z eksploatacją elektrowni i znajdują się na jej terenie.

Definicje zbliżone do definicji z *The Agency's Safety Standards and Measures*²⁵ zawierają też dokumenty MAEA z zakresu ochrony radiologicznej. *Basic Safety Standards (BSS)* w wersji z 1996 roku²⁶ za obiekty jądrowe („*nuclear installation*”) uznawał zakład wytwarzania paliwa jądrowego, reaktor jądrowy włącznie z zestawami krytycznymi i podkrytycznymi, przechowalnik wypalonego paliwa, zakład wzbogacania oraz zakład przetwarzania. Mimo uznania za obiekt jądrowy każdego reaktora jądrowego, definicja wymieniała dodatkowo również elektrownię jądrową i reaktor badawczy²⁷. Aktualna wersja BSS z 2014 roku²⁸ zawiera znacznie szerszą definicję. Za obiekty jądrowe uznaje ona obiekty jądrowego cyklu paliwowego, dla których wymagane jest wydanie zezwolenia, z wyjątkiem kopalni rud uranu i toru oraz składowisk odpadów promieniotwórczych. Oprócz tej generalnej klauzuli definicja zawiera także szczegółowe wyliczenie obiektów: elektrownie jądrowe, reaktory badawcze włącznie z zestawami krytycznymi i podkrytycznymi i towarzyszącą infrastrukturą w zakresie produkcji radioizotopów, przechowalniki wypalonego paliwa jądrowego, zakłady wzbogacania, zakłady wytwarzania paliwa jądrowego, zakłady konwersji, zakłady przetwarzania wypalonego paliwa jądrowego, zakłady zajmujące się postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi pochodzącymi z obiektów jądrowego cyklu paliwowego przed ich składowaniem oraz zakłady badawcze i rozwojowe związane z obiektami jądrowego cyklu paliwowego²⁹.

²⁰ O charakterze prawnym zaleceń MAEA zob. T.R. Nowacki, *Możliwość uznania standardów bezpieczeństwa MAEA za źródło prawa w świetle Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej* (w:) H. Babiuch, J. Michalska (red.) *Księga pamiątkowa w czterdziestolecie pracy naukowej prof. B. Banaszaka*, Legnica 2017, s. 639–659.

²¹ IAEA, *The Safety of Nuclear Installations (Safety Fundamentals)*, IAEA Safety Series No. 110, Wiedeń 1993.

²² „These Safety Fundamentals apply primarily to those nuclear installations in which the stored energy or the energy developed in certain situations could potentially result in the release of radioactive material from its designated location with the consequent risk of radiation exposure of people. (...) In addition to nuclear power plants, such installations may include: research reactors and facilities; fuel enrichment, manufacturing and reprocessing plants; and certain facilities for radioactive waste treatment and storage”. (s. 1).

²³ Konwencja bezpieczeństwa jądrowego sporządzona w Wiedniu dnia 20 września 1994 r. (INFCIRC/449, Dz.U. z 1997 r. Nr 42, poz. 262).

²⁴ „Nuclear installation” means for each Contracting Party any land-based civil nuclear power plant under its jurisdiction including such storage, handling and treatment facilities for radioactive materials as are on the same site and are directly related to the operation of the nuclear power plant.”; W polskim tłumaczeniu oficjalnym: „'obekt jądrowy' oznacza dla każdej z Umawiających się Stron każdą położoną na lądzie cywilną siłownię jądrową podlegającą jej jurysdykcji, włącznie ze znajdującymi się na tym samym terenie i bezpośrednio związanymi z eksploatacją siłowni obiektami i urządzeniami służącymi do magazynowania, przemieszczania i obróbki materiałów promieniotwórczych. Siłownia taka przestaje być obiektem jądrowym, gdy wszystkie jądrowe elementy paliwowe są na stałe usunięte z rdzenia reaktora, bezpiecznie zmagazynowane zgodnie z zatwierdzonymi procedurami i gdy organ nadzorujący zaakceptował program likwidacji siłowni.”

²⁵ Zob. T.R. Nowacki, *Definicja obiektu jądrowego i obiektu energetyki jądrowej w polskim prawie energii jądrowej. Ewolucja siatki pojęciowej oraz uwagi de lege lata i de lege ferenda*. Cz. I, BJIOR 2025, nr 4, s. 36–37.

²⁶ IAEA, *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, IAEA Safety Series No.115, Wiedeń 1996.

²⁷ „A nuclear fuel fabrication plant, nuclear reactor (including critical and subcritical assemblies), research reactor, nuclear power plant, spent fuel storage facility, enrichment plant or reprocessing facility” (tamże, s. 308).

²⁸ IAEA, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, IAEA Safety Standards Series, General Safety Requirements, No. GSR Part 3, Wiedeń 2014.

²⁹ „Any nuclear facility subject to authorization that is part of the nuclear fuel cycle, except facilities for the mining or processing of uranium ores or thorium ores and radioactive waste disposal facilities. This definition thus includes: nuclear power plants; research reactors (including subcritical and critical assemblies) and any adjoining radioisotope production facilities; spent fuel storage facilities; facilities for the enrichment of uranium; nuclear fuel fabrication facilities; conversion facilities; facilities for the reprocessing of spent fuel; facilities for the predisposal management of radioactive waste arising from nuclear fuel cycle facilities; and nuclear fuel cycle related research and development facilities” (tamże, s. 405).

W europejskim prawie energii jądrowej, na podstawie art. 3 pkt 1 dyrektywy Rady 2009/71/Euratom³⁰ za obiekty jądrowe uznano elektrownię jądrową, zakład wzbogacania, zakład wytwarzania paliwa jądrowego, zakład przetwarzania, reaktor badawczy, przechowalnik wypalonego paliwa oraz obiekt służący do przechowywania odpadów promieniotwórczych, pod warunkiem że jest bezpośrednio związany z którymś z obiektów jądrowych i znajduje się w tym samym miejscu³¹.

Oprócz definicji z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w prawie międzynarodowym istnieją także definicje terminu „*nuclear installation*” poza obszarem bezpieczeństwa jądrowego. Tworzone są na potrzeby regulacji w zakresie odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową oraz ochrony fizycznej obiektów i materiałów jądrowych. Z uwagi na brak znaczenia dla niniejszego opracowania definicje te zostały pominięte.

4. Obiekt jądrowy

Pierwsze akty prawne. Po raz pierwszy termin „obiekt jądrowy” w polskim akcie prawnym pojawił się w 1964 roku w zarządzeniu nr 14/64 Pełnomocnika Rządu do spraw Wykorzystania Energii Jądrowej z dnia 13.IV.1964 r. w sprawie organizacji wewnętrznej i zakresu działania komórek Aparatu Wykonawczego Pełnomocnika Rządu³². Akt ten miał charakter wewnętrzny i nie zawierał definicji użytego określenia. Jedynie §3 pkt 1 Zakresu działania Aparatu Wykonawczego Pełnomocnika (stanowiącym załącznik do zarządzenia) stanowił, że zakres działania Zespołu Techniki obejmuje także „opracowanie wytycznych do budowy obiektów i urządzeń jądrowych”. Ponownie termin ten jako część aktu prawnego zaistniał dopiero po aż 18 latach w ustawie z dnia 27 lutego 1982 r. o utworzeniu Państwowej Agencji Atomistyki³³ (art. 3 pkt 5), a następnie w wydanym w ślad za nią rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 2 kwietnia 1982 r. w sprawie szczegó-

wego zakresu działania Państwowej Agencji Atomistyki³⁴ (§1 pkt. 3 i 9). Oba akty prawne nadawały Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) kompetencje w zakresie nadzoru nad obiektami jądrowymi³⁵, jednak po raz kolejny żaden z nich nie zawierał definicji tego pojęcia.

Pierwsza definicja z 1986 r. Definicja obiektu jądrowego pojawiła się cztery lata później w Prawie atomowym z 1986 r. Art. 3 pkt 2 ustawy określał obiekt jądrowy jako „obiekt lub urządzenie, w którym jest wytwarzany, stosowany, przetwarzany, przechowywany lub transportowany materiał jądrowy w ilości umożliwiającej zrealizowanie samopodtrzymującej się reakcji rozszczepiania.” Definicja nie zawierała się jednak w jednym przepisie. Swoistym dopełnieniem normy art. 3 pkt 2 był umieszczony w rozdziale 2 zatytułowanym „Obiekty jądrowe” art. 14 ust. 1 o następującej treści: „Do obiektów jądrowych należą w szczególności: 1) elektrownie, elektrociepłownie i ciepłownie jądrowe, 2) zakłady stosujące reaktory jądrowe jako źródło energii cieplnej lub promieniowania do celów technologicznych, 3) zakłady wytwarzania, przetwarzania i składowania materiałów jądrowych, 4) reaktory badawcze i doświadczalne.” Definicja w pierwszym Prawie atomowym miała zatem dość oryginalną i skomplikowaną konstrukcję. Oprócz części abstrakcyjnej zawierała też otwarty katalog obiektów. Sytuację w praktyce jeszcze bardziej komplikował fakt, iż wymienione w art. 3 pkt 2 i art. 14 ust. 1 kryteria nie wystarczały, aby obiekt lub urządzenie uznać za obiekt jądrowy. Zgodnie z art. 14 ust. 2 do uznania za obiekt jądrowy konieczne było dodatkowo wydanie aktu administracyjnego w postaci decyzji Prezesa PAA zaliczającej dany obiekt lub urządzenie do obiektów jądrowych. Gwoli uzupełnienia należy wskazać, że niezależnie od definicji legalnej zawartej w Prawie atomowym w ówczesnej literaturze przedmiotu natrafić można także na inne określenia, jak np. „zakład jądrowy”, „energetyczny zakład jądrowy”, „obiekt energetyki jądrowej”, „jądrowy obiekt energetyczny”³⁶.

³⁰ Dyrektywa 2009/71/Euratom z dnia 25 czerwca 2009 r. ustanawiająca wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądrowego obiektów jądrowych Dz. Urz. UE L 172 z 2.7.2009, s. 18, Dz. Urz. UE L 260 z 3.10.2009, s. 40 oraz Dz. Urz. UE L 219 z 25.7.2014, s. 42.

³¹ „Obiekty jądrowe” oznaczają: a) elektrownię jądrową, zakład wzbogacania, zakład wytwarzania paliwa jądrowego, zakład przetwarzania, reaktor badawczy, przechowalnik wypalonego paliwa; oraz b) obiekty służące do przechowywania odpadów promieniotwórczych znajdujące się w tym samym miejscu i bezpośrednio związane z obiektami jądrowymi wymienionymi w lit. a). Aktualne brzmienie art. 3 pkt 1 uwzględnia zmiany wprowadzone dyrektywą Rady 2014/87/Euratom z dnia 8 lipca 2014 r. zmieniającą dyrektywę 2009/71/Euratom ustanawiającą wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądrowego obiektów jądrowych (Dz. Urz. UE L 219 z 25.7.2014, s. 42). Dotyczą one jedynie szyku i pewnych kwestii nazewnictwa o charakterze redakcyjnym. Rodzaje i liczba obiektów jądrowych pozostały bez zmian w stosunku do wersji pierwotnej.

³² Niepubl., ze zm. Zapis tytułu aktu włącznie z datą oryginalny.

³³ Dz.U. Nr 7, poz. 6.

³⁴ Dz.U. Nr 12, poz. 86.

³⁵ Zgodnie z art. 3 pkt 5 tej ustawy do zakresu działania Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) należały m.in. sprawy „licencjonowania i kontroli użytkowania wszelkich obiektów i urządzeń jądrowych w zakresie bezpieczeństwa jądrowego”. Analogiczny zapis zawierał §1 pkt 9 rozporządzenia. Ponadto rozporządzenie w §1 pkt 3 do zakresu działania PAA zaliczało także sprawy „projektowania, realizacji i eksploatacji pilotowych (tj. prototypowych – T. N.) obiektów jądrowych”.

³⁶ Zob. m.in.: A. Tyszecki, *Zarys problemu lokalizacji obiektów energetyki jądrowej w Polsce* (w:) A. Walewski (red.), *Uwarunkowania przestrzenne lokalizacji obiektów energetyki jądrowej*, Technika Sanitarna w Ochronie Środowiska Zeszyt Problematyczny Nr 511/v/1/86-87, Warszawa-Gdańsk 1986/1987, s. 18–33; A. Konieczka, M. Rogulska, *Kryteria lokalizacji jądrowych obiektów energetycznych* (w:) Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Bydgoski Północny Okręg Energetyczny Bydgoszcz (red.), *Lokalizacja energetycznych zakładów jądrowych w Polsce. Materiały Konferencyjne*, Bydgoszcz 1988, cz. IV, s. 1-11. Por. także opracowanie sprzed wejścia w życie pierwszego Prawa atomowego: S. Chwaszczewski, T. Kazimierski, A. Strupczewski, A. Wierusz, A. Witort, W. Dąbek, *Rola energetyki jądrowej i działania warunkujące jej właściwy rozwój w Polsce*, Postępy Techniki Jądrowej 1981, nr 25, s. 548, 549, 557–561.

Zmiana definicji w 2000 r. Do zmiany definicji doszło przy okazji uchwalenia nowego Prawa atomowego z 2000 r.³⁷. Doprecyzowano ją i uproszczono, usuwając m.in. wymóg wydania przez Prezesa PAA decyzji w przedmiocie zaliczenia do obiektów jądrowych. Utrzymano jednak podział na część abstrakcyjną definicji zawartą w przepisach ogólnych oraz część szczegółową z otwartym katalogiem obiektów w rozdziale „Obiekty jądrowe”. Tak więc art. 3 pkt 13 określał obiekt jądrowy jako „obiekt lub urządzenie przeznaczone do wytwarzania, stosowania, przetwarzania, przechowywania i składowania materiału jądrowego w ilości umożliwiającej zrealizowanie samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej rozszczepienia jądrowego.” Jednocześnie art. 34 stwierdzał, iż „Do obiektów jądrowych należą w szczególności: 1) elektrownie, elektrociepłownie i ciepłownie jądrowe z energetycznymi reaktorami jądrowymi, 2) badawcze, doświadczalne i inne reaktory jądrowe, 3) obiekty przeznaczone do wytwarzania, przetwarzania, przechowywania i składowania materiałów jądrowych i paliwa jądrowego – od rozpoczęcia budowy do ich likwidacji.” Oprócz tej definicji w ustawie znalazła się także autonomiczna **definicja przechowalnika wypalonego paliwa jądrowego**. Status tego obiektu jako obiektu jądrowego wynikał już z normy art. 34 pkt 3 w zw. z art. 3 pkt 13 (obiekt do przechowywania materiałów jądrowych i paliwa jądrowego). Ustawodawca zdecydował się jednak także na wprowadzenie w art. 3 pkt 23 *explicite* zarówno definicji przechowalnika wypalonego paliwa jądrowego, jak i potwierdzenia, iż jest on obiektem jądrowym: „przechowalnik wypalonego paliwa jądrowego — obiekt jądrowy przeznaczony do bezpiecznego, stabilnego i chronionego przechowywania wypalonego paliwa jądrowego po jego wyładowaniu z reaktora lub basenu przy reaktorze, a przed przekazaniem do przerobu lub składowania w charakterze odpadu promieniotwórczego.”

Definicja z 2004 r. Kolejna zmiana, a w konsekwencji uproszczenie definicji, dokonana została ustawą z dnia 12 marca 2004 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o opłacie skarbowej³⁸. Dzięki większej staranności legislacyjnej wyeliminowano powtórzenia i umieszczono definicję obiektu jądrowego w jednym przepisie, co czyniło zadość ZTP. Utrzymano jednakże dotychczasową dychotomię w postaci połączenia definicji abstrakcyjnej z otwartym katalogiem obiektów, a także oddzielną (i niezmienną) definicję przechowalnika wypalonego paliwa jądrowego (tym razem w art. 3 pkt 35). Zgodnie z art. 3 pkt 17 za obiekt jądrowy uznano „(...) obiekt lub urządzenie przeznaczone do wytwarzania, stosowania, przetwarzania,

wzbogacania izotopowego, przechowywania, składowania materiału jądrowego w ilości umożliwiającej zrealizowanie samopodtrzymującej się reakcji rozszczepienia jądrowego, w szczególności elektrownie, elektrociepłownie i ciepłownie z energetycznymi reaktorami jądrowymi oraz badawcze, doświadczalne i inne reaktory jądrowe – od rozpoczęcia budowy do zakończenia likwidacji.”

Definicja z 2011 r. Kolejną zmianę wprowadzono ustawą z dnia 13 maja 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw³⁹. Ustawa nowelizująca zmieniła art. 3 pkt 17, w efekcie czego za obiekt jądrowy uznano: „elektrownię jądrową, reaktor badawczy, zakład wzbogacania izotopowego, zakład wytwarzania paliwa jądrowego, zakład przerobu wypalonego paliwa jądrowego, przechowalnik wypalonego paliwa jądrowego, a także bezpośrednio związany z którymkolwiek z tych obiektów i znajdujący się na jego terenie obiekt służący do przechowywania odpadów promieniotwórczych.” Ustawa nowelizująca miała na celu m.in. wdrożenie dyrektywy 2009/71/Euratom dotyczącej bezpieczeństwa jądrowego obiektów jądrowych, co znalazło wyraz także w definicji obiektu jądrowego ukształtowanej zgodnie z art. 3 pkt 1 dyrektywy. Definicja ustawowa jest dosłownym przeniesieniem definicji zawartej w tym przepisie, choć dyrektywa nie nakładała takiego obowiązku. Definicja obiektu jądrowego zawarta w dyrektywie określała jedynie zakres przedmiotowy tego aktu prawnego, a więc wskazywała minimalną listę rodzajów obiektów, wobec których należało zastosować przepisy merytoryczne dyrektywy. Ustawodawca polski, w ślad za wnioskodawcą projektu ustawy (Rada Ministrów), nie zdecydował się jednak na tworzenie swojej własnej definicji i zastosował definicję z dyrektywy. Obecna definicja nie ma więc charakteru definicji abstrakcyjnej, lecz jedynie wyliczenia obiektów, które obejmuje pojęcie „obiekt jądrowy”. W dalszym jednak ciągu faktycznym kryterium wyróżniającym te obiekty jądrowego cyklu paliwowego jest możliwość wystąpienia (z uwagi na ilość materiału jądrowego w tych obiektach) samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej rozszczepienia jądrowego. Dlatego też poza zakresem definicji znalazły się kopalnie uranu i toru wraz z zakładami wstępnego przetwarzania, zakłady konwersji oraz składowiska odpadów promieniotwórczych. Nie można natomiast uznać, jak sądzą niektórzy, że kryterium wyróżniającym obiekt jądrowy spośród innych obiektów jest sama możliwość powstania, w związku z funkcjonowaniem takiego obiektu, narażenia na promieniowanie jonizujące⁴⁰.

³⁷ Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe (Dz.U. z 2001 r., Nr 3, poz. 18 ze zm.).

³⁸ Dz.U. Nr 70, poz. 632.

³⁹ Dz.U. Nr 132, poz. 766.

⁴⁰ Tak M. Górski, *Ramy prawne energetyki jądrowej w Polsce* (w:) L. Knopp, M. Górski (red.), *Deutschlands Energiewende und Polens Einstieg in die Kernenergie?*, Berlin 2015, s. 56. Promieniowanie jonizujące (ale nie jako wynik przemian jądrowych) emituje np. aparat rentgenowski, a także szereg innych urządzeń i produktów. Konsekwencją założenia M. Górskiego byłoby m.in. nadanie wszystkim pracownikom rentgenowskim w Polsce (w tym weterynaryjnym) statusu obiektu jądrowego, a więc objęcie niezwykle rygorystycznym reżimem regulacyjnym, co w praktyce całkowicie uniemożliwiłoby ich funkcjonowanie.

Definicja obejmuje swoim zakresem elektrownie jądrowe bez względu na moc i ilość bloków energetycznych, w tym elektrownie mobilne oraz elektrociepłownie, wszelkie reaktory badawcze bez względu na ich moc, zakłady wzbogacania, wytwarzania paliwa jądrowego, przetwarzania bez względu na wielkość produkcji oraz wszelkie przechowalniki wypalonego paliwa jądrowego. Spośród obiektów do przechowywania odpadów promieniotwórczych definicja nie obejmuje tych obiektów, które nie są związane z którymś z obiektów jądrowych. Poza jej zakresem pozostają także ciepłownie jądrowe oraz reaktory służące do napędu. Definicja nie dotyczy ponadto obiektów, które byłyby wykorzystywane do celów wojskowych, co wynika z przepisu art. 1 ust. 1 pkt 1 ograniczającego zakres Prawa atomowego do działalności pokojowej.

W części literatury wskazywano na brak objęcia nową definicją ciepłowni i elektrociepłowni jądrowych, co uznano za rzekomą przeszkodę formalną w ewentualnej budowie reaktorów wysokotemperaturowych⁴¹. O ile kwestia pozostawiania ciepłowni jądrowej poza zakresem pojęciowym przedmiotowej definicji nie budzi wątpliwości, o tyle w odniesieniu do elektrociepłowni jądrowej należy zauważyć, że z uwagi na możliwość produkcji energii elektrycznej w oparciu o reakcję jądrową mieści się ona w zakresie pojęciowym elektrowni jądrowej, a więc jest ona obiektem jądrowym⁴². Warto w tym miejscu zauważyć, że przez ćwierćwiecze począwszy od pierwszej ustawy – Prawo atomowe z 1986 r., poprzez nowe Prawo atomowe z 2000 r., aż do nowelizacji z 2011 r. zarówno ciepłownia, jak i elektrociepłownia jądrowa wymienione były wprost w definicji obiektu jądrowego⁴³. Dodatkowo Prawo atomowe z 1986 r. jako odrębną kategorię obiektów jądrowych wymieniało „zakłady stosujące reaktory jądrowe

jako źródło energii cieplnej lub promieniowania do celów technologicznych”. Uzasadnienie do projektu nowelizacji z 2011 r. nie wyjaśnia powodów usunięcia elektrociepłowni i ciepłowni jądrowych z definicji obiektu jądrowego⁴⁴. Można przypuszczać, że było to związane z chęcią dosłownej implementacji definicji obiektu jądrowego zawartej w ówczesnej (pierwotnej) wersji dyrektywy bezpieczeństwa oraz opinią wnioskodawcy (Rady Ministrów) o niskim prawdopodobieństwie budowy takich obiektów, a w związku z tym zbędności obejmowania ich ustawową definicją obiektu jądrowego. Z praktycznego punktu widzenia pogląd ten należy uznać za słuszny. Prawdopodobieństwo budowy ciepłowni jądrowej z różnych względów, głównie ekonomicznych, jest niewielkie. Z dogmatycznego punktu widzenia, w świetle postulatu zupełności systemu prawa, takie podejście należy jednak uznać za niewłaściwe, gdyż oznacza to świadome stworzenie luki *extra legem* poprzez eliminację określonych stanów faktycznych z tego systemu⁴⁵. Zmiana definicji nie wpłynęła na definicję przechowalnika wypalonego paliwa zawartą w pozostawionym w niezmiennym kształcie art. 3 pkt 35, który to przepis równocześnie potwierdza status tego obiektu jako obiektu jądrowego.

Wprowadzenie definicji elektrowni jądrowej w 2023 r. Ustawą z 2023 r. nowelizującą kilka ustaw istotnych dla prowadzenia inwestycji w zakresie energetyki jądrowej⁴⁶ zmieniono również ustawę – Prawo atomowe. Jedną ze zmian stanowiło wprowadzenie do ustawy definicji elektrowni jądrowej. Stosownie do art. 3 pkt 6f elektrownia jądrowa to obiekt służący do wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła z paliwa jądrowego do celów innych niż badawcze⁴⁷. Oznacza to, że wbrew zwykłemu znaczeniu językowemu za elektrownię jądrową *ex lege*

⁴¹ Zob. J. Szczurek, Ł. Koszuc, M. Klisińska, K. Andrzejewski, *Legal Obstacles to the Construction of High Temperature Reactors for Heat Generation on the Example of Polish Regulations*, atw – International Journal for Nuclear Power 2016, nr 7, s. 456; Ministerstwo Energii, *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce. Raport Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych*, Warszawa 2017, s. 34–35. Zob. polemikę w tym zakresie: T.R. Nowacki, *On legal requirements for the construction of high temperature reactors in Poland*, atw – International Journal for Nuclear Power 2017, nr 8/9, s. 522–523; tegoż, *Prawne aspekty rozwoju wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce – głos w dyskusji*, Przegląd Prawa i Administracji 2021, nr 2 (t. 125), s. 137–161.

⁴² Na potwierdzenie tej tezy można w tym miejscu odesłać także do przepisów wykonawczych, które przewidują takie zastosowania. Tak więc np. §46 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 sierpnia 2012 r. w sprawie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, jakie ma uwzględnić projekt obiektu jądrowego (Dz.U. poz. 1048), zawiera dodatkowe wymogi projektowe dla elektrowni jądrowych, które produkują także ciepło (a więc dla elektrociepłowni jądrowych względnie uciepłownionych elektrowni jądrowych) zarówno na potrzeby sieci ciepłowniczych, jak i instalacji przemysłowych.

⁴³ Por. art. 14 ust. 1 pkt 1 Prawa atomowego z 1986 r. i art. 34 ust. 1 pkt 1 Prawa atomowego z 2000 r.

⁴⁴ Zob. *Uzasadnienie do projektu ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw*, Druk sejmowy nr 3939 Sejmu VI kadencji.

⁴⁵ Zob. T.R. Nowacki, *On legal requirements...*, s. 522.

⁴⁶ Zob. przypis 13.

⁴⁷ Gwoli ścisłości należy nadmienić, że od 2012 r. definicję legalną posiada „jądrowy blok energetyczny”, a więc to, co w dużej mierze składa się na elektrownię jądrową: „jądrowy blok energetyczny – zespół składający się w szczególności z jądrowego reaktora energetycznego, obiegu chłodzenia reaktora, obiegu czynnika roboczego, jednego lub większej liczby turboszpółów, tworzący wraz z systemami pomocniczymi skoordynowany system konwersji energii cieplnej paliwa jądrowego w energię elektryczną;”. Definicja ta sporządzona została jednak na użytek aktów niższej rangi (aktów wykonawczych do Prawa atomowego) i tam zamieszczona. Por. §1 pkt 9 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 sierpnia 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania analiz bezpieczeństwa przeprowadzanych przed wystąpieniem z wnioskiem o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego, oraz zakresu wstępnego raportu bezpieczeństwa dla obiektu jądrowego (Dz.U. poz. 1043); §1 pkt 10 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 sierpnia 2012 r. w sprawie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, jakie ma uwzględnić projekt obiektu jądrowego (Dz.U. poz. 1048); §1 pkt 1 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 11 lutego 2013 r. w sprawie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla etapu likwidacji obiektów jądrowych oraz zawartości raportu z likwidacji obiektu jądrowego (Dz.U. poz. 270); §1 pkt 2 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 11 lutego 2013 r. w sprawie wymagań dotyczących rozruchu i eksploatacji obiektów jądrowych (Dz.U. poz. 281).

uznaje się nie tylko elektrownię *sensu stricto*, względnie elektrociepłownię, czyli obiekty wytwarzające energię elektryczną, ale również ciepłownię jądrową, obiekt, którego funkcją jest wyłącznie wytwarzanie ciepła. Działalność tych obiektów nie może mieć jednak charakteru badawczego, tj. musi istnieć cel gospodarczy w postaci dostaw energii elektrycznej lub ciepła.

4.1. Możliwe problemy interpretacyjne

Większość z typów obiektów wymienionych w definicji obiektu jądrowego w art. 3 pkt 17 Prawa atomowego nie nastrocza trudności interpretacyjnych. Wystarczy posłużyć się ich zwykłym znaczeniem językowym. Nieco bardziej skomplikowana jest sytuacja obiektów do przechowywania odpadów promieniotwórczych oraz reaktorów badawczych, którym należy poświęcić więcej uwagi.

Obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych. W przypadku tego obiektu istotny jest jeden z elementów konstrukcyjnych jego definicji. Obiektem jądrowym, w rozumieniu art. 3 pkt 17, może być jedynie taki obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych, który jednocześnie jest bezpośrednio związany z innym obiektem jądrowym oraz znajduje się na jego terenie. Z jednej strony słusznie wyklucza to możliwość uznania za obiekt jądrowy obiektu do przechowywania odpadów promieniotwórczych pochodzących spoza obiektów jądrowych. W przeciwnym razie wszystkie, nawet najmniejsze pomieszczenia, w których byłyby przechowywane mniej istotne odpady, jak np. zużyte czujki dymu lub pozostałości po diagnostyce medycznej, podlegałyby surowemu reżimowi regulacyjnemu w zakresie ich budowy, rozruchu, eksploatacji i likwidacji. W praktyce rażąco zawyżałoby to koszty i *de facto* uniemożliwiłoby ich oficjalne funkcjonowanie. Z drugiej jednak strony mimo niewielkiego prawdopodobieństwa istnieje teoretyczna możliwość budowy obiektu do przechowywania odpadów promieniotwórczych pochodzących z obiektów jądrowych poza ich terenem. Taki „samoistny” obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych, zlokalizowany poza terenem innych obiektów jądrowych, mimo istnienia przesłanek z zakresu bezpieczeństwa jądrowego (odpady

pochodzące z obiektów jądrowych), sam nie będzie obiektem jądrowym⁴⁸. Nie oznacza to oczywiście, że taki obiekt mógłby funkcjonować poza reżimem regulacyjnym Prawa atomowego. Stosownie do art. 4 ust. 1 pkt 1 zezwolenia wymaga każda działalność polegająca na przechowywaniu odpadów promieniotwórczych, a nie tylko ta, która ma miejsce z wykorzystaniem obiektów jądrowych. W stosunku do obiektów jądrowych zastosowanie znajdują jednak surowsze wymogi w zakresie bezpieczeństwa jądrowego w odniesieniu do wszystkich faz ich cyklu życiowego. Biorąc pod uwagę powyższe, a także cel ustawy – Prawo atomowe, jakim jest zapewnienie ludziom i środowisku bezpieczeństwa w stosowaniu promieniowania jonizującego i energii jądrowej, pożądane wydaje się wykluczenie *ex lege* możliwości przechowywania odpadów pochodzących z obiektów jądrowych (a przynajmniej tej ich części, której przechowywanie wiąże się ze szczególnym ryzykiem) w instalacjach znajdujących się poza ich terenem.

Reaktor badawczy. W stanie prawnym istniejącym przed wprowadzeniem definicji elektrowni jądrowej delimitacja znaczeń terminów „elektrownia jądrowa” i „reaktor badawczy” była prosta. Przy braku definicji legalnych ich znaczenie należało oceniać na gruncie znaczenia językowego. Za elektrownię jądrową należało zatem uznać obiekt wytwarzający energię elektryczną za pomocą energii pochodzącej z rozszczepień jąder atomów niektórych pierwiastków składający się z co najmniej jednego jądrowego bloku energetycznego wraz z dodatkową infrastrukturą niezbędną do jego prawidłowego działania⁴⁹. Reaktorem badawczym należało zaś określić obiekt wykorzystujący energię rozszczepień do różnego rodzaju badań, w tym naukowych⁵⁰. Z uwagi na brak pojęć takich jak „badawcza elektrownia jądrowa” czy „prototypowa elektrownia jądrowa”, reaktor używany do badań naukowych lub wdrożeniowych, który choćby w części służył także do produkcji energii elektrycznej, należało uznać za elektrownię jądrową. Za takim podejściem przemawiała także wykładnia celowościowa. Celem ustawy – Prawo atomowe, podobnie jak innych, analogicznych ustaw na świecie określających wymogi w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, jest stworzenie

⁴⁸ Dopuszczenie istnienia samoistnego obiektu do przechowywania odpadów promieniotwórczych wynika także z dwóch różnych definicji pojęcia „obiekt energetyki jądrowej” zawartych w rozdziale 4a Prawa atomowego oraz w ustawie inwestycyjnej. Definicja w Prawie atomowym określa jako obiekt energetyki jądrowej taki obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych, który działa na potrzeby energetyki jądrowej i jest jednocześnie obiektem jądrowym, co a *contrario* oznacza, że istnieć może obiekt przechowujący odpady nie posiadający statusu obiektu jądrowego i obiektu energetyki jądrowej. Definicja obiektu energetyki jądrowej zawarta w ustawie inwestycyjnej wymaga, aby obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych działał na potrzeby energetyki jądrowej. Nie musi on jednak być jednocześnie obiektem jądrowym. Może zatem istnieć poza terenem takiego obiektu. Zob. pkt 5 niniejszego artykułu.

⁴⁹ Por. słownikowe znaczenie pojęcia „elektrownia”: „zakład energetyczny wytwarzający energię elektryczną w wyniku przetwarzania innych rodzajów energii”, *Słownik języka polskiego*, <http://sjp.pwn.pl/sjp/elektrownia;2457008> (dostęp 16.02.2025).

⁵⁰ Tu posilkowo można było zastosować choćby definicję z *Code of Conduct on Safety of Research Reactors*, dokumentu przyjętego przez Konferencję Generalną MAEA 24 września 2004 r. na mocy rezolucji GC(48)/RES/10 (GOV/2004/4/rev.1). Zgodnie z nią jest nim reaktor jądrowy (włącznie z zestawami krytycznymi) wykorzystywany głównie do wytwarzania i wykorzystania strumienia neutronów oraz promieniowania jonizującego do celów badawczych i innych, włącznie z obiektami eksperymentalnymi związanymi z reaktorem oraz urządzeniami do magazynowania i postępowania z materiałami promieniotwórczymi w tym samym miejscu bezpośrednio związanych z bezpiecznym funkcjonowaniem reaktora badawczego. Zob. także C.B. Kim, *Legal classification and control of research reactors* (w:) INLA (red.), *Nuclear Inter Jura 2007 – Proceedings 1-4 October 2007 Brussels*, Bruksela 2008, s. 259–267.

takiego systemu prawnego, który umożliwi bezpieczne dla ludzi i środowiska stosowanie technik jądrowych i promieniowania jonizującego. Jak słusznie podkreśla się m.in. w zaleceniach MAEA (zasada optymalizacji – piąta podstawowa zasada bezpieczeństwa MAEA), system prawny powinien różnicować wymogi odnośnie do poszczególnych rodzajów obiektów w zależności od stopnia ryzyka, jakie stwarzają⁵¹. Podejście to ma także normatywne oparcie na gruncie prawa europejskiego (art. 8 lit. b zmienionej dyrektywy 2009/71/Euratom). Reaktor badawczy, choćby w niewielkim stopniu wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej, będzie z konieczności wyposażony w dodatkowe, w odniesieniu do reaktora wytwarzającego wyłącznie ciepło, instalacje lub elementy konstrukcji m.in. w postaci turbiny, a w przypadku reaktora wodnego ciśnieniowego także wytwornicy pary. Spektrum zagadnień bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej będzie więc w tym przypadku większe, co uzasadnia stosowanie większych wymogów w tym zakresie (np. obowiązek posiadania wtórnej, lub częściowo wtórnej obudowy bezpieczeństwa). W polskim prawie zasada ta znajduje wyraz w definicji obiektu jądrowego wymieniającego oddzielnie elektrownię jądrową i reaktor badawczy oraz w różnicy pomiędzy tymi obiektami w zakresie wymogów materialnych i proceduralnych, jakie trzeba spełnić na wszystkich etapach ich cyklu życiowego. Aktualnie, na gruncie dogmatycznoprawnym, kwestia rozróżnienia pomiędzy elektrownią jądrową a reaktorem badawczym jest nieco bardziej skomplikowana, choć autor jest przekonany, że problem ten w rzeczywistości nie powinien mieć szczególnej doniosłości praktycznej. Z samej definicji elektrowni jądrowej a *contrario* wynika, że obecnie może istnieć reaktor, który dla celów badawczych wytwarza energię elektryczną lub ciepło. Aby wytworzyć energię elektryczną z paliwa jądrowego, należy dysponować zarówno reaktorem, jak i pozostałymi komponentami jądrowego układu wytwarzania pary, a w szczególności turbozespołem i wytwornicami pary (przy reaktorach wodnych ciśnieniowych), zatem elementy składowe reaktora badawczego wytwarzającego energię elektryczną

będą takie same jak w przypadku elektrowni jądrowej. O tym, czy dany obiekt zaklasyfikować jako elektrownię, czy jako reaktor badawczy, decydować więc muszą inne czynniki. W szczególności jednym z nich powinien być charakter produkcji energii elektrycznej – gospodarczy względnie komercyjny lub badawczy. W praktyce wyznaczenie precyzyjnej granicy w tym zakresie może jednak być trudne. Z braku dalszych definicji legalnych decydować będzie indywidualna ocena każdego przypadku z osobna w zależności od okoliczności konkretnej sprawy.

5. Obiekt energetyki jądrowej

Od „obektu jądrowego” należy odróżnić „obiekt energetyki jądrowej”. W polskim prawie oba te pojęcia istnieją równoległe⁵², ale nie są tożsame, co czasem umyka niektórym autorom⁵³. Dodatkowo „obiekt energetyki jądrowej” występuje w dwóch znaczeniach. Sytuacja taka nie jest oczywiście komfortowa z punktu widzenia poprawnej legislacji i tworzy pewien zamęt terminologiczny⁵⁴.

Pierwsze akty prawne. Zanim pojęcie „obektu energetyki jądrowej” trafiło do języka prawnego, funkcjonowało ono w literaturze branżowej dotyczącej energetyki jądrowej w czasach przygotowań do budowy elektrowni jądrowej Żarnowiec. Nie stosowano go jednak jako substytutu definicji prawnej ani nie postulowano nadania mu normatywnego charakteru. Używano go w zwykłym znaczeniu językowym na określenie elektrowni i ciepłowni jądrowych oraz zakładów wytwarzania paliwa jądrowego. Podnoszono przy tym jednak konieczność ustalenia norm prawnych dotyczących całości kształtu cyklu życiowego takich obiektów⁵⁵. Po raz pierwszy w akcie prawnym pojęcie „obiekt energetyki jądrowej” zostało użyte w 1994 r. w art. 33 ust. 3 pkt 1 Prawa budowlanego⁵⁶. Kolejnym aktem było wydane na podstawie tej ustawy rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych⁵⁷ (§7 pkt 3 lit. a). W obu tych aktach obiekty energetyki jądrowej, razem z rafineriami, zakładami chemicznymi

⁵¹ Zob. IAEA, *Fundamental Safety Principles*, IAEA Safety Standards Series, Safety Fundamentals, No. SF-1, Wiedeń 2006, s. 11, pkt 3.24.

⁵² Analogicznie do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 marca 1976 r. w sprawie szczegółowego zakresu działania Ministra Energetyki i Energii Atomowej (Dz.U. Nr 14, poz. 83), gdzie obok siebie współistniały pojęcia „obektu energii atomowej” i „obektu energetyki atomowej”. Żadne z nich nie posiadało jednak definicji.

⁵³ Por. A. Haładyj, K. Sobieraj, *Ocena oddziaływania na środowisko przedsięwzięć z zakresu energetyki jądrowej. Wybrane problemy* (w:) M. Górski (red.), *Prawo ochrony przyrody a wolność gospodarcza*, Łódź-Poznań 2011, s. 177-178. Autorki mylnie uznają, że definicja obiektu energetyki jądrowej umieszczona w art. 2 pkt 2 ustawy inwestycyjnej stanowi *lex specialis* względem definicji obiektu jądrowego z art. 3 pkt 17 Prawa atomowego.

⁵⁴ W niektórych opracowaniach można wręcz spotkać określenia *contra legem* jak „obiekt inwestycji jądrowej”, choć trudno dociec, czy powodem tego jest ww. zamęt terminologiczny, czy raczej jednak zwykle błędy edytorskie, por. Ł. Dubiński, *Specustawa jądrowa i prawo atomowe (ocena wybranych planów legislacyjnych)*, Internetowy Kwartalnik Antymonopolowy i Regulacyjny 2022, nr 2 s. 86; A. Żukowska, *Cyberbezpieczeństwo w energetyce jądrowej. Wyzwania, regulacje i modele zarządzania dla Polski*, Warszawa 2026, s. 179.

⁵⁵ Zob. S. Chwaszczewski, T. Kazimierski, A. Strupczewski, A. Wierusz, A. Witort, W. Dąbek, *Rola energetyki jądrowej...*, s. 541-543, 548, 549, 555, 557-561; J. Kołodziejki, *Hipoteza badawcza koncepcji rozmieszczenia elektrowni jądrowych w Polsce* (w:) A. Walewski (red.), *Uwarunkowania przestrzenne...*, s. 5-7; tegoż, *Problemy rozmieszczenia elektrowni jądrowych w Polsce* (w:) Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Bydgoski Północny Okręg Energetyczny Bydgoszcz (red.), *Lokalizacja...*, cz. I, s. 1-19; A. Tyszecki, *Zarys problemu...*, s. 18-33.

⁵⁶ Dz.U. Nr 89, poz. 414 ze zm.

⁵⁷ Dz.U. Nr 126, poz. 839.

i zaporami wodnymi, były częścią przykładowego wyliczenia kategorii obiektów budowlanych, „których wykonanie lub użytkowanie może stwarzać poważne zagrożenie dla użytkowników i środowiska”. Po raz kolejny, również bez definicji, obiekty energetyki jądrowej znalazły się w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 12 maja 2009 r. w sprawie ustanowienia Pełnomocnika Rządu do spraw Polskiej Energetyki Jądrowej⁵⁸. Akt ten w §2 ust. 2 pkt. 4 wśród zadań Pełnomocnika wymieniał „inicjowanie, koordynowanie i monitorowanie działań organów administracji rządowej w zakresie przygotowania i budowy obiektów energetyki jądrowej”, a w pkt. 5 tego przepisu „przekazywanie wniosków i opinii instytucjom i podmiotom zaangażowanym w projektowanie, budowę oraz przygotowanie obiektów energetyki jądrowej”.

Dwie definicje. „Obiekt energetyki jądrowej” nie dość, że jest pojęciem znaczeniowo i konstrukcyjnie podobnym do „obiektu jądrowego”, to dodatkowo występuje w dwóch odmiennych, choć również bardzo zbliżonych definicjach. Nie wpływa to pozytywnie na klarowność i spójność regulacji dotyczących energetyki jądrowej. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy poszukiwać u źródła, tj. w pracach legislacyjnych nad ustawami dotyczącymi energetyki jądrowej uchwalonych w 2011 r.: nowelizacji Prawa atomowego⁵⁹ oraz ustawy inwestycyjnej⁶⁰. Prace nad projektami obu ustaw prowadzono równolegle. Aby zapewnić spójność tych prac, stworzono nawet nadzwyczajną komisję sejmową⁶¹. Początkowo, zgodnie z przedłożonym rządowym projektem ustawy, w projektowanym art. 39l Prawa atomowego proponowano odesłanie do definicji zawartej w art. 2 pkt 2 przyszłej ustawy inwestycyjnej. Odwołanie takie byłoby możliwe, gdyby ustawa inwestycyjna została uchwalona i weszła w życie przed uchwaleniem nowelizacji Prawa atomowego. Mimo równoczesnego rozpoczęcia i symultanicznego procedowania obu projektów łącznie, z uwagi na dodatkowe trudności w pracach nad projektem ustawy inwestycyjnej jej uchwalenie przez Sejm przeciągało się i zmianę Prawa atomowego uchwalono ponad miesiąc wcześniej. Nie było więc możliwe odesłanie w jej przepisach do przepisów nieistniejącego jeszcze aktu (zarówno do całościowej definicji, jak też częściowo do poszczególnych elementów wykreowanej tam siatki pojęciowej). Widząc dynamikę procesu legislacyjnego obu projektów, wnioskodawca (Rada Ministrów) zaproponowała zatem w Prawie atomowym definicję autonomiczną wyłącznie na potrzeby rozdziału 4a⁶². Obie definicje są do siebie bardzo zbliżone, a w sporej części identyczne. Wymieniają one 5 identycznych kategorii obiektów (elektrownia jądrowa lub działające na

potrzeby energetyki jądrowej: zakład wzbogacania izotopowego, zakład wytwarzania paliwa jądrowego, zakład przerobu wypalonego paliwa jądrowego, przechowalnik wypalonego paliwa jądrowego). W zakresie obiektu do przechowywania odpadów promieniotwórczych różnica polega jedynie na tym, że w Prawie atomowym obiekt ten musi być jednocześnie obiektem jądrowym. Definicja w ustawie inwestycyjnej jest jednak obszerniejsza i obejmuje także działające na potrzeby energetyki jądrowej zakład do wydobywania rud uranu i toru ze złóż i do ich wstępnego przetwarzania oraz składowisko odpadów promieniotwórczych.

Definicja w Prawie atomowym. Do Prawa atomowego pojęcie „obiektu energetyki jądrowej” zostało wprowadzone nowelizacją z 2011 r. Definicja została skonstruowana jedynie na potrzeby rozdziału 4a („Informacja społeczna w zakresie obiektów energetyki jądrowej”), w związku z czym nie ma zastosowania do pozostałej części ustawy. Nowy rozdział wprowadzono po to, aby stworzyć dodatkowe możliwości kontroli społecznej nad realizacją inwestycji w energetyce jądrowej oraz nad późniejszym funkcjonowaniem wybudowanych obiektów. Zgodnie z art. 39l pkt 1 obiektem energetyki jądrowej jest elektrownia jądrowa oraz działające na potrzeby energetyki jądrowej zakład wzbogacania izotopowego, zakład wytwarzania paliwa jądrowego, zakład przerobu wypalonego paliwa jądrowego oraz obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych będący jednocześnie obiektem jądrowym, a więc związany z którymkolwiek z obiektów jądrowych i znajdujący się na jego terenie. Za obiekty energetyki jądrowej uznano więc te obiekty jądrowego cyklu paliwowego, które są związane z energetyką jądrową i jednocześnie są szczególnie wrażliwe społecznie. Takie kryterium sprawiło, że wszystkie one są równocześnie obiektami jądrowymi. Nie ma wśród nich zatem kopalni uranu i toru, zakładów konwersji, samoistnych obiektów do przechowywania odpadów promieniotwórczych oraz składowisk odpadów promieniotwórczych. Spośród obiektów jądrowych definicja nie obejmuje jedynie reaktorów badawczych z uwagi na brak związku z energetyką rozumianą jako produkcja energii elektrycznej lub ciepła na potrzeby gospodarcze.

Definicja w ustawie inwestycyjnej. Definicję obiektu energetyki jądrowej zawiera także ustawa z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących. Podobnie jak inne ustawy szczególne z obszaru inwestycji infrastrukturalnych, ustawa stwarza uprzywilejo-

⁵⁸ Dz.U. Nr 72, poz. 622, Dz.U. z 2016 r., poz. 507 (zniesienie Pełnomocnika i utrata mocy).

⁵⁹ Zob. przypis 10.

⁶⁰ Zob. przypis 15.

⁶¹ Komisja Nadzwyczajna do rozpatrzenia rządowych projektów ustaw: o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących, o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz o zmianie niektórych innych ustaw (NPA). Zob. <https://orka.sejm.gov.pl/SQL.nsf/strkomnad6?OpenAgent&NPA> (dostęp 15.02.2026).

⁶² Zob. przebieg prac nad projektami obu ustaw <https://orka.sejm.gov.pl/Biuletyn.nsf/fkskr6?OpenForm&NPA> (dostęp 15.02.2025).

Tabela 1. Porównanie definicji obiektu energetyki jądrowej w ustawie inwestycyjnej i Prawie atomowym (zielonym kolorem zaznaczono identyczne części obu definicji, niebieskim te, które występują tylko w jednej z nich) (opracowanie własne autora).

Table 1. Comparison of the definition of a nuclear power facility in the Investment Act and the Atomic Law (identical parts of both definitions are marked in green, those that appear only in one of them are marked in blue) (the author's own study).

OBIEKT ENERGETYKI JĄDROWEJ	
ustawa inwestycyjna (art. 2 pkt 2)	Prawo atomowe (art. 39l pkt 1)
elektrownia jądrowa	elektrownia jądrowa
lub	
Działające	działający
na potrzeby energetyki jądrowej	
zakład wzbogacania izotopowego	zakład wzbogacania izotopowego
zakład wytwarzania paliwa jądrowego,	zakład wytwarzania paliwa jądrowego
zakład przerobu wypalonego paliwa jądrowego	zakład przerobu wypalonego paliwa jądrowego
przechowalnik wypalonego paliwa jądrowego	przechowalnik wypalonego paliwa jądrowego
obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych,	obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych będący obiektem jądrowym w rozumieniu art. 3 pkt 17
zakład do wydobywania rud uranu i toru ze złóż i do ich wstępnego przetwarzania,	
składowisko odpadów promieniotwórczych.	

waną ścieżkę inwestycyjną dla elektrowni jądrowych oraz innych obiektów wraz z infrastrukturą towarzyszącą. Zastosowane w ustawie kryterium wyodrębnienia obiektów energetyki jądrowej spośród obiektów jądrowego cyklu paliwowego nie dotyczy aspektów bezpieczeństwa. Tym razem decydujące znaczenie ma sam fakt udziału tych obiektów w cyklu paliwowym energetyki jądrowej. W pierwszej wersji ustawy z 2011 r. za obiekty energetyki jądrowej uznano elektrownię jądrową oraz następujące inne obiekty jądrowego cyklu paliwowego: zakłady wzbogacania izotopowego, zakłady wytwarzania paliwa jądrowego, zakłady przerobu wypalonego paliwa jądrowego, przechowalniki wypalonego paliwa jądrowego, obiekty do przechowywania odpadów promieniotwórczych oraz obiekty do wydobywania rud uranu i toru ze złóż, pod warunkiem, że działają one na potrzeby energetyki jądrowej. Katalog tych obiektów (z pierwszej wersji ustawy inwestycyjnej) nie był wówczas i nie jest obecnie tożsamy z katalogiem obiektów jądrowych w rozumieniu art. 3 pkt 17 Prawa atomowego. Będący obiektem jądrowym reaktor badawczy nie jest obiektem energetyki jądrowej, a jednocześnie nie będące obiektami jądrowymi: kopalnia rud uranu i toru oraz samoistny obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych należą do tego katalogu,

pod warunkiem prowadzenia działalności na potrzeby energetyki jądrowej. Z powodu enumeratywnego wyliczenia obiektem energetyki jądrowej nie może być również taki reaktor badawczy, który działa na potrzeby energetyki jądrowej np. poprzez wykonywanie badań materiałowych bądź badań w zakresie optymalizacji cyklu paliwowego reaktorów energetycznych. Z katalogu obiektów energetyki jądrowej wykluczone było również (nie będące obiektem jądrowym) składowisko odpadów promieniotwórczych. To ostatnie rozwiązanie spotkało się z krytyką. Z uwagi na fakt, iż składowisko także w przypadku energetyki jądrowej jest ostatnim ogniwem jądrowego cyklu paliwowego, argumentowano, iż kierując się logiką ustawy, również i ono zasługuje na analogiczne ułatwienia w procesie inwestycyjnym⁶³.

Zmiana definicji w ustawie inwestycyjnej w 2023 r. Nowelizacja ustawy inwestycyjnej z 2023 r.⁶⁴ uwzględniła realizację ww. postulatów w zakresie uzupełnienia definicji obiektu energetyki jądrowej. Katalog obiektów wyszczególnionych w art. 2 pkt 2 rozszerzono o literę „g”, pod którą zawiera się składowisko odpadów promieniotwórczych. Ustawa dokonała jeszcze jednej zmiany o charakterze redakcyjnym, zastępując we wprowadzeniu do wyliczenia wyraz „działający” wyrazem „działające”.

⁶³ Zob. T. R. Nowacki, *Budowa obiektów energetyki jądrowej. Nowe instytucje w procesie inwestycyjnym* (w:) A. Walaszek-Pyziół (red.), *Wybrane węzłowe zagadnienia współczesnego prawa energetycznego*, Kraków 2012, s. 195–217. Podobnie Ł. Młynarkiewicz, *Decyzja zasadnicza w procesie przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej*, Sopot 2020, s. 83–84. Autor ten krytykuje brak w definicji obiektu energetyki jądrowej na gruncie ustawy inwestycyjnej także zakładów konwersji oraz zakładów przetwarzających odpady promieniotwórcze, tamże.

⁶⁴ Zob. przypis 13.

6. Pojęcia zbliżone

Z uwagi na brak związku z zagadnieniami bezpieczeństwa jądrowego w rozumieniu art. 3 pkt 2 Prawa atomowego artykuł pomija pojęcia „urządzenie jądrowe”, „reaktor jądrowy” i „jądrowy obiekt zabezpieczeń”. Gwoli ścisłości należy jednak zaznaczyć ich obecność w systemie prawa energii jądrowej w Polsce. Dwa pierwsze pojęcia stanowią powielenie analogicznych definicji zawartych w konwencji wiedeńskiej o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową sporządzonej w Wiedniu dnia 21 maja 1963 r.⁶⁵ w wersji zmienionej protokołem z 1997 r.⁶⁶ i zdefiniowane są w art. 100 Prawa atomowego na potrzeby rozdziału o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową. Oznacza to, że nie mają zastosowania do pozostałej części Prawa atomowego, choć tam, gdzie to możliwe, mogą stanowić materiał posiłkowy w wykładni innych przepisów. Stosownie do art. 100 pkt 1 „urządzenie jądrowe” oznacza „a) reaktor jądrowy, z wyjątkiem reaktora wykorzystywanego w środkach transportu morskiego lub lotniczego jako źródło mocy bądź napędu, bądź w innym celu, b) zakład używający paliwa jądrowego do produkcji materiału jądrowego lub zakład przetwarzania materiału jądrowego, łącznie z zakładem przerobu wypalonego paliwa jądrowego, c) urządzenie, w którym jest przechowywany lub składowany materiał jądrowy, z wyjątkiem przechowywania związanego z przewozem takiego materiału;” „Reaktor jądrowy”, w rozumieniu art. 100 pkt 2 odpowiada znaczeniu językowemu i oznacza „urządzenie zawierające paliwo jądrowe w stanie, w którym samo podtrzymująca się reakcja łańcuchowa rozszczepienia jądrowego może następować bez dodatkowego źródła neutronów”.

„Jądrowy obiekt zabezpieczeń” zdefiniowany był w dwóch kolejnych, obecnie uchylonych, aktach prawnych z zakresu zabezpieczeń materiałów jądrowych. Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 20 października 1987 r. w sprawie zasad ewidencji i kontroli materiałów jądrowych⁶⁷ w §2 pkt 1 określało go jako „reaktor jądrowy, zestaw krytyczny, zakład przemiany, zakład wytwarzania, zakład przerobu paliwa, zakład wzbogacenia izotopowego, oddzielne składowisko materiałów jądrowych lub jakiegokolwiek inne stałe miejsce, w którym stosowany jest lub znajduje się materiał jądrowy w ilości powyżej 1 kg efektywnego”. Bardzo zbliżoną definicję, w identycznie oznaczonej jednostce redakcyjnej, zawierało rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 lipca 2001 r. w sprawie materiałów jądrowych podlegających ewidencji⁶⁸: „jądrowy obiekt zabezpieczeń – reaktor jądrowy,

zestaw krytyczny, zakład konwersji, zakład wytwarzania paliwa jądrowego, zakład przerobu paliwa jądrowego, zakład wzbogacenia izotopowego, obiekty służące do przechowywania materiałów jądrowych lub jakiegokolwiek inne stałe miejsce, w którym jest stosowany lub znajduje się materiał jądrowy w ilości powyżej 1 kg efektywnego”. Również te definicje stanowiły powtórzenie definicji z odpowiedniej umowy międzynarodowej („Porozumienie”)⁶⁹, choć działo się tak mimo faktu, iż Rzeczpospolita Polska (do 1989 r. jako Polska Rzeczpospolita Ludowa) nie była nią związana w momencie wydawania zawierających je aktów. Niewielkie różnice w brzmieniu obu definicji wiązały się zapewne z różnymi wersjami tłumaczeń definicji źródłowej dokonywanych w odstępie kilkunastu lat. Mimo uchylecia ww. aktów pojęcie to w dalszym ciągu jest częścią polskiego systemu prawnego poprzez odesłanie w art. 40 pkt 5 Prawa atomowego do definicji źródłowej zawartej w art. 98 ust. 2 lit. I Porozumienia.

7. Podsumowanie

Wejście w życie pierwszego Prawa atomowego w 1986 r. można uznać za początek porządkowania systemu prawa energii jądrowej w Polsce. Był to pierwszy akt prawny w tak kompleksowy sposób określający zasady funkcjonowania sektora energii i energetyki jądrowej, w tym funkcjonowania obiektów jądrowych. Odtąd główna część norm zawarta była w akcie rangi ustawowej, który niejako wyparł dominujące do tej pory przepisy resortowe. Zmniejszyła się tym samym liczba aktów prawnych, ich rodzajów i nazw oraz ustanawiających je organów, co przyczyniło się do większej przejrzystości i spójności istniejącego zespołu norm, które od tego czasu w zdecydowanej większości podlegały ogłoszeniu. Kolejną epokową zmianą było uchwalenie i wejście w życie w 1997 r. obecnej Konstytucji, która w czytelny sposób określiła system formalnych źródeł prawa i ich hierarchię. Od tej pory powszechnie obowiązujące normy prawa energii jądrowej stanowiące na gruncie krajowym zawierają się w zaledwie dwóch rodzajach aktów prawnych: ustawach i rozporządzeniach. Również przepisy dotyczące zasad techniki prawodawczej w części odnoszącej się do definicji ulegały przekształceniu i zostały znacząco rozbudowane.

Pierwszą definicję obiektu jądrowego zawierało Prawo atomowe z 1986 r. Na przestrzeni lat podlegała ona zmianom, na które wpływ miało także prawodawstwo międzynarodowe, w tym europejskie. Niezależnie od zachodzących zmian obiekt jądrowy definiowano zawsze w taki

⁶⁵ Dz.U. z 1990 r. Nr 63, poz. 370.

⁶⁶ Protokół zmieniający Konwencję wiedeńską z 1963 r. o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową sporządzony w Wiedniu dnia 12 września 1997 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 4, poz. 9).

⁶⁷ M.P. Nr 33, poz. 285.

⁶⁸ Dz.U. Nr 87, poz. 955.

⁶⁹ Porozumienie między Królestwem Belgii, Królestwem Danii, Republiką Federalną Niemiec, Irlandią, Republiką Włoską, Wielkim Księstwem Luksemburga, Królestwem Niderlandów, Europejską Wspólnotą Energii Atomowej a Międzynarodową Agencją Energii Atomowej dotyczące wprowadzenia w życie artykułu III ustępy 1 i 4 Układu o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej, podpisane w Brukseli dnia 5 kwietnia 1973 r. (Dz.U. z 2007 r. Nr 218, poz. 1617).

sposób, aby zakres tego pojęcia obejmował obiekty, w których może się znajdować materiał jądrowy w ilości umożliwiającej zrealizowanie samo podtrzymującej się reakcji rozszczepiania. Definicja obiektu energetyki jądrowej pojawiła się w 2011 r. w dwóch wersjach i w dwóch różnych aktach prawnych. Do tej pory raz nieznacznie rozszerzono tę skonstruowaną na gruncie przepisów ustawy inwestycyjnej.

W odniesieniu do obecnego stanu prawnego w zakresie definicji przedmiotowych obiektów dotychczasowe rozważania ujawniły kilka aspektów wymagających zaproponowania rozwiązań *de lege lata* lub *de lege ferenda*. W obszarze dotyczącym obiektów jądrowych dotyczy to definicji obiektu do przechowywania odpadów promieniotwórczych oraz rozgraniczenia pomiędzy elektrownią jądrową a reaktorem badawczym.

Zgodnie z definicją z art. 3 pkt 17 Prawa atomowego reżimowi regulacyjnemu właściwemu dla obiektów jądrowych podlegają jedynie te obiekty przechowujące odpady promieniotwórcze, które są bezpośrednio związane z którymkolwiek obiektów jądrowych i znajdują się na terenie takiego obiektu. Obiekt zlokalizowany poza terenem innego obiektu jądrowego, nawet jeśli przechowywałby odpady promieniotwórcze pochodzące z obiektów jądrowych, sam nie będzie obiektem jądrowym⁷⁰. Nie oznacza to, iż taki obiekt pozostaje całkowicie poza reżimem regulacyjnym wynikającym z Prawa atomowego, niemniej wymogi dla obiektów jądrowych są szczegółowe i surowsze. Ponieważ jednak nie wszystkie odpady promieniotwórcze, nawet te pochodzące z obiektów jądrowych, charakteryzują się tym samym ryzykiem, powinna istnieć możliwość przechowywania części z nich poza reżimem regulacyjnym obiektów jądrowych. Aby pogodzić postulat wysokiej ochrony z pozostawieniem prawnej możliwości budowy i eksploatacji samoistnych obiektów do przechowywania odpadów promieniotwórczych, można zastosować jedno z dwóch rozwiązań. W pierwszym należałoby przesądzić, że obiektem jądrowym jest także obiekt samoistny przechowujący określone kategorie odpadów wiążące się z większym ryzykiem. Oznaczałoby to możliwość przechowywania niektórych innych, mniej niebezpiecznych, kategorii odpadów promieniotwórczych bez obejmowania obiektu szczególnym reżimem regulacyjnym. Drugi wariant to wprowadzenie zakazu przechowywania odpadów promieniotwórczych pochodzących z obiektów jądrowych, bez względu na ich charakterystykę i kategorię, w obiektach znajdujących się poza terenem obiektu jądrowego.

⁷⁰ Istnienie samoistnego obiektu do przechowywania odpadów promieniotwórczych przewiduje ustawa inwestycyjna. W ramach zawartej tam definicji obiektu energetyki jądrowej nie wymaga ona, aby obiekt do przechowywania odpadów promieniotwórczych był on jednocześnie obiektem jądrowym. Musi on jednak działać na potrzeby energetyki jądrowej.

⁷¹ Należy jednak podkreślić, że wiele z wymogów zawartych w aktach wykonawczych wydanych na podstawie Prawa atomowego odnosi się nie do „elektrowni jądrowej”, ale do „jądrowego bloku energetycznego” (zob. przypis 47). Każdy zatem obiekt produkujący energię elektryczną z wykorzystaniem jądrowego układu wytwarzania pary, bez względu na klasyfikację w obrębie obiektów jądrowych, będzie podlegać tym wymogom.

⁷² Tak również Ł. Młynarkiewicz, dz. cyt., s. 87.

W odniesieniu do reaktora badawczego wraz z włączeniem do Prawa atomowego definicji elektrowni jądrowej pojawił się problem rozgraniczenia pomiędzy tymi dwoma obiektami z uwagi na fakt, iż obecnie dopuszczalna jest produkcja energii elektrycznej (i ciepła) na cele badawcze. Mimo niewielkiego prawdopodobieństwa zmaterializowania się tej kwestii jako realnego problemu w praktyce, należy jednak ją rozważyć na gruncie dogmatycznym. Wątpliwość w szczególności może budzić kwestia prognozy wielkości produkcji energii elektrycznej lub ciepła, którego przekroczenie oznaczałoby, iż obiekt uznany będzie za elektrownię jądrową. Teoretycznie może istnieć cel badawczy nawet długoterminowy, np. badanie aspektów eksploatacyjnych czy materiałowych przy ciągłej produkcji energii elektrycznej lub ciepła. W takim przypadku elektrownia jądrowa (względnie ciepłownia, która jest objęta definicją elektrowni jądrowej) *de iure* i *de facto* wymykałaby się jednak definicji legalnej i przewidzianemu dla niej reżimowi regulacyjnemu. W szczególności mogłaby ona nie spełniać przynajmniej niektórych wymagań w zakresie analiz bezpieczeństwa, projektowania, budowy, rozruchu, eksploatacji i likwidacji⁷¹ oraz nie podlegałaby obowiązkowi wpłat na fundusz likwidacyjny stosownie do art. 38d Prawa atomowego. Obecnie nie da się jednak wyprowadzić jednoznacznego kryterium w tym zakresie z istniejących norm. Wydaje się, że produkcja energii elektrycznej lub ciepła na cele badawcze musi mieć charakter bezwzględnie incydentalny, aby obiekt nie został zaklasyfikowany jako elektrownia jądrowa. O tej klasyfikacji decydować muszą zatem czynniki faktyczne. Wnioskodawca na etapie sporządzania wniosku o zezwolenie na budowę powinien określić charakter obiektu (elektrownia lub reaktor badawczy) z podaniem przewidywanej wielkości produkcji energii elektrycznej lub ciepła. Decyzję w tej sprawie każdorazowo będzie podejmować Prezes PAA w toku oceny wniosku. Możliwe jest też skorzystanie przez Prezesa PAA z uprawnień przewidzianego w art. 110 pkt 3 Prawa atomowego i wydanie stosownych zaleceń w tej kwestii, co może uprościć zarówno przygotowanie wniosku, jak i jego ocenę oraz zapewnić większą przewidywalność procesu.

W zakresie obiektów energetyki jądrowej podstawowym postulatem powinno być uspoźnienie obu definicji⁷². Istnienie dwóch różnych definicji, w dwóch aktach prawnych i skonstruowanych w różnych celach jest wprawdzie dopuszczalne z perspektywy techniki legislacyjnej, jednak nie wpływa pozytywnie na czytelność całokształtu norm. Postulat ten można zrealizować przynajmniej dwoma sposobami.

W pierwszym wariantcie należałoby wybrać jedną z dwóch obecnie istniejących definicji, a następnie określić ustawę, w której ta definicja miałaby się znajdować. Druga ustawa zamiast definicji zawierałaby odesłanie do definicji zawartej w innej ustawie. Odesłanie to powinno mieć charakter dynamiczny w celu zapewnienia spójności obu aktów w długiej perspektywie. Wydaje się, że za definicję docelową należałoby przyjąć definicję umieszczoną obecnie w ustawie inwestycyjnej. Zawiera ona szerszy katalog obiektów (dodatkowo zakład do wydobywania rud uranu i toru ze złóż i do ich wstępnego przetwarzania oraz składowisko odpadów promieniotwórczych), a w przypadku obiektu do przechowywania odpadów promieniotwórczych nie ogranicza się do tych z nich, które jednocześnie są obiektami jądrowymi. Poszerzenie definicji obiektu energetyki jądrowej na gruncie rozdziału 4a Prawa atomowego niewątpliwie miałoby pozytywny wpływ na realizację interesu publicznego, jakim jest informowanie lokalnej społeczności o realizacji inwestycji w obiekty jądrowego cyklu paliwowego. Budowa i eksploatacja składowisk odpadów oraz kopalni uranu i toru również wiąże się z ryzykiem negatywnego wpływu na otoczenie, podobnie jak ma to miejsce także w odniesieniu do samoistnych obiektów do przechowywania odpadów promieniotwórczych pochodzących z energetyki jądrowej. Zwiększenie uprawnień społeczności lokalnej w sferze informacyjnej należy uznać za pożądane. Definicja powinna znajdować się w Prawie atomowym, a ustawa inwestycyjna odsyłałaby do tej definicji. Prawo atomowe należy bowiem uznać za ustawę podstawową w regulowanej dziedzinie w rozumieniu §9 ZTP zawierającą określenia, które powtarza ustawa inwestycyjna (np. kategorie obiektów wymienionych w definicji obiektu jądrowego wraz z definicjami niektórych z nich, jak elektrownia jądrowa czy przechowalnik wypalnego paliwa jądrowego).

Wariant drugi, za którego pomocą osiągnięto ten sam cel, mógłby polegać na ustanowieniu identycznych definicji w obu ustawach wedle wzoru obecnej definicji z ustawy inwestycyjnej, jednak stosownie do §4 ust. 1 ZTP ustawa nie może powtarzać przepisów zamieszczonych w innych ustawach.

Notka o autorze

Tomasz R. Nowacki – dr nauk prawnych, radca prawny. Adiunkt w Instytucie Prawa i Administracji Uniwersytetu Pomorskiego w Słupsku. Kierownik Zakładu Prawa Energii Jądrowej i Ochrony Środowiska w tym instytucie; e-mail: tomasz.nowacki@upsl.edu.pl

Literatura

Źródła

1. Biuletyn Komisji Nadzwyczajnej do rozpatrzenia rządowych projektów ustaw: o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących, o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz o zmianie niektórych innych ustaw, <https://orka.sejm.gov.pl/SQL.nsf/strkomnad6?OpenAgent&NPA>

2. IAEA, *The Agency's Health and Safety Measures*, INFCIRC/18, Vienna 1960.
3. IAEA, *The Agency's Safety Standards and Measures*, INFCIRC/18/Rev. 1., Vienna 1976.
4. IAEA, *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, IAEA Safety Series No.115, Wiedeń 1996.
5. IAEA, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, IAEA Safety Standards Series, General Safety Requirements, No. GSR Part 3, Wiedeń 2014.
6. IAEA, *The Agency's Health and Safety Measures*, INFCIRC/18, Vienna 1960.
7. IAEA, *The Agency's Safety Standards and Measures*, INFCIRC/18/Rev. 1., Vienna 1976.
8. IAEA, *The Safety of Nuclear Installations (Safety Fundamentals)*, IAEA Safety Series No. 110, Wiedeń 1993.
9. Ministerstwo Energii, *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce. Raport Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych*, Warszawa 2017.
10. Słownik języka polskiego, <http://sjp.pwn.pl/sjp/elektrownia;2457008>

Opracowania

11. Chwaszczewski S., Kazimierski T., Strupczewski A., Wierusz A., Witort A., Dąbek W., *Rola energetyki jądrowej i działania warunkujące jej właściwy rozwój w Polsce*, Postępy Techniki Jądrowej 1981, nr 25.
12. Dubiński Ł., *Specustawa jądrowa i prawo atomowe (ocena wybranych planów legislacyjnych)*, Internetowy Kwartalnik Antymonopolowy i Regulacyjny 2022, nr 2. DOI:10.7172/2299-5749.IKAR.2.11.7
13. Gąszczyk M., *Nowelizacja prawa atomowego. Likwidacja funkcji Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego*, BJIOR 2014, nr 2.
14. Górski M., *Ramy prawne wdrażania energetyki jądrowej w Polsce* (w:) L. Knopp, M. Górski (red.), *Deutschlands Energiewende und Polens Einstieg in die Kernenergie?*, Berlin 2015.
15. Haładaj A., Sobieraj K.; *Ocena oddziaływania na środowisko przedsięwzięć z zakresu energetyki jądrowej. Wybrane problemy* (w:) M. Górski (red.), *Prawo ochrony przyrody a wolność gospodarcza*, Łódź-Poznań 2011.
16. Kim C.B., *Legal classification and control of research reactors* (w:) INLA (red.), *Nuclear Inter Jura 2007 – Proceedings 1-4 October 2007 Brussels*, Bruksela 2008.
17. Kołodziejki J., *Hipoteza badawcza koncepcji rozmieszczenia elektrowni jądrowych w Polsce* (w:) A. Walewski (red.), *Uwarunkowania przestrzenne lokalizacji obiektów energetyki jądrowej*, Technika Sanitarna w Ochronie Środowiska Zeszyt Problemy Nr 511/v/1/86-87, Warszawa-Gdańsk 1986/1987.
18. Kołodziejki J., *Problemy rozmieszczenia elektrowni jądrowych w Polsce* (w:) Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Bydgoski Północny Okręg Energetyczny Bydgoszcz (red.), *Lokalizacja energetycznych zakładów jądrowych w Polsce. Materiały Konferencyjne*, Bydgoszcz 1988, cz. I, s. 1-19.
19. Konieczka A., Rogulska M., *Kryteria lokalizacji jądrowych obiektów energetycznych* (w:) Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Bydgoski Północny Okręg Energetyczny Bydgoszcz (red.), *Lokalizacja energetycznych zakładów jądrowych w Polsce. Materiały Konferencyjne*, Bydgoszcz 1988, cz. IV.
20. Korzecki P., *Nowe regulacje prawne w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej*, Postępy Techniki Jądrowej 2004, nr 4.
21. Młynarkiewicz Ł., *Decyzja zasadnicza w procesie przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej*, Sopot 2020.
22. Nowacki T.R., *Budowa obiektów energetyki jądrowej. Nowe instytucje w procesie inwestycyjnym* (w:) A. Walaszek-Pyziół (red.), *Wybrane węzłowe zagadnienia współczesnego prawa energetycznego*, Kraków 2012.

23. Nowacki T. R., *Charakterystyka źródeł prawa energii jądrowej w PRL (do 1986 r.)*, Prawo i Więź 2025, nr 5. DOI:10.36128/3nx8qd89
24. Nowacki T. R., *Możliwość uznania standardów bezpieczeństwa MAEA za źródło prawa w świetle Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej* [w:] *Księga pamiątkowa w czterdziestolecie pracy naukowej prof. B. Banaszaka*, red. H. Babiuch, P. Kapusta, J. Michalska, Legnica 2017.
25. Nowacki T.R., *Nuclear Power Programme for Poland – Establishing the Legal Framework* (w:) Raetzke C. (red.), *Nuclear Law in the EU and Beyond – Atomrecht in Deutschland, der EU und weltweit. Proceedings of the AIDN/INLA Regional Conference 2013 in Leipzig*, Baden-Baden 2014. DOI:10.5771/9783845252360-119
26. Nowacki T. R., *Od nacjonalizacji do regulacji. Prawodawstwo energetyczne w Polsce w latach 1945–1997*, *Studia Iuridica Toruniensia* 2023, nr 2. DOI:10.12775/SIT.2022.035
27. Nowacki T.R., *Ograniczenie autonomii Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki*, *Przegląd Sejmowy* 2018, nr 4. DOI:10.31268/ps.2018.05
28. Nowacki T.R., *On legal requirements for the construction of high temperature reactors in Poland*, *atw – International Journal for Nuclear Power* 2017, nr 8/9.
29. Nowacki T.R., *O potrzebie przywrócenia właściwego statusu Rady do spraw Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej*, *Krytyka Prawa* 2021, nr 3. DOI:10.7206/kp.2080-1084.484
30. Nowacki T.R., *Prawne aspekty rozwoju wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce – głos w dyskusji*, *Przegląd Prawa i Administracji* 2021, nr 2. DOI:10.19195/0137-1134.125.9
31. Raban E., *Nadzór i regulacje prawne zastosowań promieniowania jonizującego na przestrzeni ostatnich 40 lat*, *BJiOR* 2021, nr 4.
32. Raban E., *Nowelizacja Prawa atomowego: ogólne założenia* (w:) M. Zmyślony, E. M. Nowosielska, E. Sobiczewska (red.), *Nowe uregulowania w ochronie przed polami elektromagnetycznymi i promieniowaniem jonizującym*, Warszawa 2018.
33. Raban E., *Zmiany w ustawie – Prawo atomowe w zakresie: reglamentacji działalności związanej z narażeniem, uprawnień pracowniczych oraz kontroli narażenia pracowników* (w:) M. Zmyślony, E.M. Nowosielska (red.), *Aktualny stan prawny ochrony przed promieniowaniem jonizującym i polami elektromagnetycznymi 0-300 GHz w Polsce*, Warszawa 2021.
34. Sieczak K., *Odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe. Zmienione przepisy ustawy – Prawo atomowe*, *BJiOR* 2015, nr 1.
35. Sieczak K., *Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe po nowelizacji dokonanej ustawą z dnia 13 maja 2011 r.*, *BJiOR* 2011, nr 4.
36. Szczurek J., Koszuc Ł., Klisińska M., Andrzejewski K., *Legal Obstacles to the Construction of High Temperature Reactors for Heat Generation on the Example of Polish Regulations*, *atw – International Journal for Nuclear Power* 2016, nr 7.
37. Tyszecki A., *Zarys problemu lokalizacji obiektów energetyki jądrowej w Polsce* (w:) A. Walewski (red.), *Uwarunkowania przestrzenne lokalizacji obiektów energetyki jądrowej*, *Technika Sanitarna w Ochronie Środowiska Zeszyt Problematyczny* Nr 511/v/1/86-87, Warszawa-Gdańsk 1986/1987.
38. Żukowska A., *Cyberbezpieczeństwo w energetyce jądrowej. Wyzwania, regulacje i modele zarządzania dla Polski*, Warszawa 2026.

Katastrofa w Czarnobylu, a skutki psychologiczne w społeczeństwie

The Chernobyl Disaster and its Psychological Consequences in Society

Kacper Gargul¹, Marek Niemczyk²

¹ Uniwersytet Gdański, Instytut Psychologii

² Uniwersytet Gdański, Instytut Politologii

Streszczenie: Katastrofa w Czarnobylu, która miała miejsce 26 kwietnia 1986 roku jest do dzisiaj uważana za najpoważniejszą awarię w historii energetyki jądrowej. Jej skutki nie ograniczają się jednak wyłącznie do kwestii bezpieczeństwa tego źródła energii, a objęły wiele różnych obszarów, od skutków gospodarczych i społecznych, aż po czynnik psychologiczny. Tematem przewodnim tego artykułu jest przyjrzenie się największej katastrofie nuklearnej z perspektywy jej wpływu na psychikę obywateli krajów Europy Wschodniej i Unii Europejskiej.

Słowa kluczowe: Katastrofa w Czarnobylu, psychologia, radiofobia, strefa wykluczenia, demonizacja.

Abstract: *The Chernobyl disaster, which took place on April 26, 1986, is still considered as the most serious accident in the field of nuclear energy. However, its effects do not only cover issues related to the safety of this energy source, but cover many areas, from economic and social effects to the psychological factor. The main topic of this article is to present the largest nuclear disaster in the light of the psychological effects on citizens of Eastern Europe and European Union countries.*

Keywords: *Chernobyl disaster, psychology, radiophobia, exclusion zone, demonization.*

Wstęp

Katastrofa w Czarnobylu zapisała się na kartach historii jako najpoważniejsza awaria w dziedzinie energetyki jądrowej, sklasyfikowana w skali INES (ang. *International Nuclear and Radiological Event Scale*) na poziomie siódmym, który obejmuje ciężkie awarie instalacji jądrowych powodujących zniszczenie reaktora i rozległe skażenia środowiska o dużym zasięgu (IAEA, ang. *International Atomic Energy Agency*, 2013) [1]. Awaria ta miała rozbudowany ciąg przyczyn i skutków, obejmujący poważne wady projektowe reaktorów, poprzez istotne i krytyczne błędy podczas budowy bloków energetycznych, po błędy spowodowane czynnikiem ludzkim w postaci niedopełnienia wyznaczonych procedur bezpieczeństwa eksploatacji bloku energetycznego. Oprócz zniszczeń technicznych czwartego bloku, skutki katastrofy dotknęły także innych sfer, w tym efektów psychologicznych, które zaobserwano nie tylko wśród społeczności dawnego ZSRR (Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich), ale również wśród społeczności międzynarodowej. Warto

zwrócić uwagę na zjawisko rozległej demonizacji skutków katastrofy, które często opierało się wyłącznie na błędnych przeświadczeniach, braku wiedzy lub niepełnych informacjach. Pojawiały się także nierzeczywiste scenariusze przebiegu tego zdarzenia, wyolbrzymiające jego skutki, propagowane w produkcjach cyfrowych (filmy, seriale, gry komputerowe). Przytoczone czynniki w znaczącym stopniu ograniczały możliwość rzeczywistego postrzegania i zrozumienia co się wydarzyło, tworząc wiele nierzetelnych perspektyw.

Katastrofa w Czarnobylu

Katastrofę z 26 kwietnia 1986 należy traktować przede wszystkim jako fatalny skutek podejmowania działań lub zaniechań, które nie powinny mieć miejsca, a do których doszło z przeświadczenia, wynikającego z ideologii Związku Radzieckiego, o niezawodności instalacji jądrowych funkcjonujących na jego obszarze. Zatajanie prawdy

o specyfice działania typu reaktorów jądrowych zainstalowanych w Czarnobylu, o ich cechach projektowych, przebiegu budowy i zdarzeniach eksploatacyjnych było jedną z największych tajemnic bloku wschodniego. Ścisły dogmat utrzymywania tajemnicy był na tyle rozległy, iż obejmował również personel, który obsługiwał budowę i eksploatację elektrowni w Czarnobylu. Zaniedbania techniczne sięgały lat 70-tych, w trakcie których rozpoczęto budowę pierwszych reaktorów (Служба безпеки України, 2020) [2]. Dochodziło do dziesiątek uchybień konstrukcyjnych, projektowych, technologicznych, które w efekcie długofalowym miały istotne znaczenie dla funkcjonowania obiektu. Odtajnione archiwa KGB (ros. Komitet Gosudarstwennoj Bezopasnosti) wskazują na szereg nieprawidłowości, o których istniała stosowna świadomość, jednakże doktryna ideologiczna ZSRR nie dopuszczała możliwości niezrealizowania projektu w założonym terminie, co prowadziło do stosowania komponentów o parametrach znacząco odbiegających od projektowych. W przypadku budowy obiektu jądrowego takie działania same w sobie stwarzały wysokie ryzyko podczas późniejszej eksploatacji. Istotne uchybienia dotyczyły między innymi nośności płyty betonowej pod reaktorem jądrowym, czy też tolerancji ciśnieniowej instalacji wodnych pompujących wodę chłodzącą do reaktora. Już na etapie budowy można było wskazać szereg krytycznych wad budowlanych, jednak ostatecznie budowę pierwszego reaktora jak i kolejnych sukcesywnie ukończono w zaplanowanych terminach, w zbliżonym charakterze ignorując pierwotne zalecenia odnośnie do sztuki konstrukcyjnej obiektu.

Kolejnym kluczowym elementem mającym wpływ na przebieg katastrofy, były poważne błędy konstrukcyjne reaktorów RBMK – 1000 (*Reaktor Bolszoi Moszcznosti Kanalnyj* tłum. Reaktor Kanałowy Dużej Mocy). Reaktory te, zaprojektowane na potrzeby energetyczne, miały również zastosowanie militarne, co wiązało się z ich krytycznymi wadami konstrukcyjnymi. Owe mankamenty obejmowały przede wszystkim tzw. dodatni współczynnik reaktywności przestrzeni parowej oraz specyfikacje wykonania prętów kontrolnych, służących do sterowania mocą operacyjną reaktora. Na czym więc polega wspomniany dodatni współczynnik reaktywności przestrzeni parowej? Pomimo dość skomplikowanej nomenklatury, zjawisko to jest stosunkowo proste do zrozumienia. Określa ono tendencję wzrostową lub spadkową mocy reaktora w wyniku skoku temperatury wewnątrz rdzenia (Plokhly, 2019) [3].

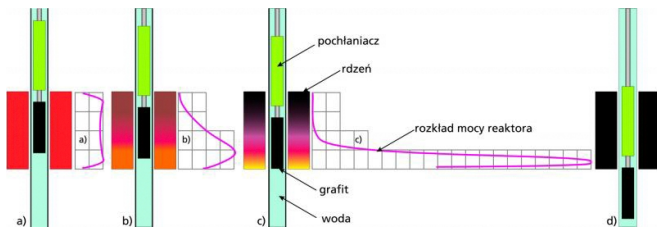
W przypadku reaktorów BWR oraz PWR (reaktory wodne wrzące oraz reaktory wodne ciśnieniowe) mamy do czynienia z ujemnym współczynnikiem reaktywności przestrzeni parowych, czyli w przypadku nagłego wzrostu temperatury, moc reaktora zaczyna spadać. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa moderator (moderator odpowiada za spowalnianie neutronów, które skutkuje zwiększeniem intensywności reakcji łańcuchowej rozszczepiania paliwa jądrowego). W przypadku reaktorów BWR i PWR

za proces moderacji odpowiada woda, która posiada również zdolności absorpcji neutronów. Zwiększenie temperatury wewnątrz rdzenia skutkuje przyspieszonym procesem zamiany wody w parę, przez co paliwo modyfikowane jest coraz słabiej, a moc reaktora spada. W przypadku reaktorów RBMK-1000, które zastosowane były na terenie byłego ZSRR, w tym również w Czarnobylu, moderatorem neutronów był grafit, a woda pełniła jedynie funkcje chłodzące, jednak w dalszym ciągu posiadała zdolności do pochłaniania neutronów, czyli w pewnym stopniu wpływała na reakcję rozszczepienia wewnątrz rdzenia (Miedwiediew, 1990) [4]. Wzrost temperatury w tymże reaktorze skutkowało więc szybszym procesem zamiany wody w parę słabiej pochłaniającą neutrony, reaktor tracił zatem naturalny czynnik hamujący reakcję łańcuchową, w wyniku czego na skutek wciąż zachodzącej moderacji w graficie, dochodziło do postępującego wzrostu mocy, coraz szybszego odparowywania wody na skutek wciąż rosnącej temperatury wewnątrz rdzenia. Należy zatem zauważyć, iż zjawisko zachodzące w reaktorach zachodnich oraz tych, instalowanych na terenie ZSRR, było diametralnie odmienne, zaznaczając jednocześnie, iż dodatni współczynnik reaktywności przestrzeni parowych w reaktorach RBMK, w przypadku braku skutecznej kompensacji prętami pochłaniającymi neutrony, mógł okazać się czynnikiem skrajnie niebezpiecznym, ponieważ istniało wysokie ryzyko gwałtownego wprowadzenia reaktora w stan niestabilności – trudny, bądź wręcz niemożliwy do opanowania.

Przedstawione zjawisko nie było jednak jedynym, poważnie zagrażającym eksploatacji bloku energetycznego. Jak zostało wcześniej wskazane, pochłaniające neutrony pręty kontrolne, które odpowiadają za regulację mocy reaktora, posiadały również jedną istotną wadę, która miała znaczący wpływ na wywołanie katastrofy z 26 kwietnia 1986 roku. Projekt prętów regulacyjnych był poprawny oprócz drobnego, lecz istotnego elementu jakim były ich zakończenia (IAEA, 1992; Kopczyński, Steinberg, 2011) [5, 6]. Zakończenia te zostały zaprojektowane i wykonane z grafitu, który w ww. reaktorach pełnił funkcję moderatora. Dlaczego jednak okazało się to istotną wadą? Otóż w trakcie przeprowadzania testu bezpieczeństwa reaktora czwartego bloku w kwietniu 1986 postanowiono wysunąć z rdzenia reaktora prawie wszystkie pręty kontrolne, które w późniejszym czasie, kiedy reaktor wkroczył w stan niestabilności zostały jednocześnie wprowadzone ponownie do rdzenia w ramach awaryjnej procedury wyłączenia reaktora zwanej AZ-5 (SCRAM). Dlaczego więc najistotniejsza procedura bezpieczeństwa przyniosła efekt odwrotny do założonego? Jeśli zadziały oba wcześniej przedstawione czynniki tj. konstrukcja zakończeń prętów kontrolnych z grafitu czyli moderatora oraz ich ilość (prawie wszystkie) wysunięta z rdzenia podczas testu, to podczas wprowadzania wszystkich prętów jednocześnie do rdzenia grafitowe zakończenia wypychały wodę (która

pochłania neutrony) znajdującą się między zestawami paliwowymi, same powodując efekt zwiększania liczby neutronów zdolnych wywołać reakcję rozszczepienia i tym samym chwilowy nagły skok mocy, na skutek chwilowej, dodatkowej moderacji i braku chłodziwa. (Schmid, 2015) [7].

W przypadku jednoczesnego wprowadzenia odpowiednio szybko nieznacznej liczby prętów kontrolnych efekt dodatniego współczynnika reaktywności spowodowanej ich grafitowymi końcówkami jest umiarkowany, dalsza część pręta wykonana z boru silnie pochłaniającego neutrony szybko kompensuje ten chwilowy efekt i tłumi reakcję rozszczepienia. Jednak kiedy podczas testu reaktora czwartego bloku wprowadzono niemalże wszystkie z nich jednocześnie do rdzenia, który znajdował się w stanie silnej niestabilności, skok mocy i temperatury okazał się tak gigantyczny, że prędkość opuszczania prętów była zbyt mała by skompensować ten efekt, będąc tym samym decydującym czynnikiem, który doprowadził do katastrofy.



Grafika przedstawiająca zjawisko skoku mocy reaktora w trakcie wprowadzania prętów kontrolnych do rdzenia (źródło: <http://ncbj.edu.pl/rbmk-reaktor-z-czarnobyla/plusy-i-minusy-rbmk>).

Graphic showing the reactor power surge phenomenon during the insertion of control rods into the core (source: <http://ncbj.edu.pl/rbmk-reaktor-z-czarnobyla/plusy-i-minusy-rbmk>).

Biorąc pod uwagę przedstawione czynniki, które miały decydujący wpływ na wywołanie katastrofy reaktora czwartego bloku Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej w dniu 26 kwietnia 1986 roku, analizując dalszy jej przebieg należy odnotować, iż gigantyczny wzrost mocy i temperatury doprowadził do zapłonu ogromnej ilości grafitu użytego w tym reaktorze jako moderator, a ciśnienie pary i wybuch wodoru spowodował zniszczenie rdzenia i jego górnej betonowej pokrywy, stanowiącej jedyną barierę oddzielającą go od środowiska. Trwające kilkanaście dni odsłonięcie płonącego rdzenia, kiedy tłumiono ogień ze śmigłowców (by później zbudować nad odsłoniętym, zniszczonym reaktorem, z dużym narażeniem kilkuset ratowników, ogromny betonowy sarkofag, zapewniający ponowne odizolowanie go od środowiska) spowodowało uwolnienie do środowiska ogromnej ilości silnie promieniotwórczych produktów rozszczepienia i to nie tylko gazowych, ale też i stałych cząstek paliwowych (potocznie tzw. „gorących cząstek”). Pożar wyniósł je na dużą wysokość, a wiatry rozprzestrzeniły pewną ich ilość na setki, a nawet tysiące kilometrów, powodując mierzalne skażenia w różnych

miejscach Europy, a największe w otoczeniu kilkudziesięciu kilometrów od elektrowni, z którego ewakuowano mieszkańców i utworzono strefę zamkniętą na wiele lat. Tak poważna katastrofa odcisnęła piętno na przyszłości energetyki jądrowej, stawiając w percepcji społeczeństw pod znakiem zapytania gwarancje jej bezpieczeństwa. Mimo uzasadnionych wątpliwości czy obaw, nie należy jednak traktować katastrofy w Czarnobylu jako wyznacznika bezpieczeństwa instalacji jądrowych, co pomimo blisko 4 dekad od awarii, wciąż ma miejsce w odbiorze społecznym. Tragedia, do której doszło w 1986 roku nie powinna przesądzać o przyszłości energetyki jądrowej, ponieważ jak zostało wcześniej przedstawione, elektrownia w Czarnobylu, z uwagi na połączenie krytycznych wad projektowych i systemowych zaniedbań w kulturze bezpieczeństwa stwarzała skrajnie wysokie, niemożliwe do zaakceptowania ryzyko wystąpienia poważnej awarii, a jedynym czynnikiem decydującym okazał się czas. (Legasow, 2001) [8].

Przedstawione wady, które wpłynęły w głównej mierze na przebieg awarii, były splotem czynników o zróżnicowanym rodzaju, błędów inżynierskich, decyzji ekonomicznych i braków w kulturze bezpieczeństwa, do których doszło w konkretnym przypadku tej elektrowni, przy czym cała gama zaniedbań, które z upływem czasu mogły wpłynąć na ogólny stan bezpieczeństwa jej funkcjonowania, elektrowni liczona jest w kilkudziesięciu rażących przypadkach. Dodatkowym, ale bardzo istotnym czynnikiem była presja polityczna, wynikająca z radzieckiej ideologii, wręcz odrzucającej możliwość, aby obiekt taki jak elektrownia jądrowa nie powstał na czas lub nie funkcjonował w terminie narzuconym przez władze partii komunistycznej. Z tego też powodu priorytetem stały się terminy ukończenia bloków energetycznych, tworząc tym samym z profilaktyki bezpieczeństwa budowy i eksploatacji obiektów jądrowych kwestię drugorzędną. Z tego powodu podczas budowy każdego z bloków elektrowni w Czarnobylu, wszelkie uchybienia, których naprawa wymagała czasu, były naprawiane doraźnie, pozostawiając jakość wykonania znacząco poniżej założeń projektowych, które uwzględniały kwestie bezpieczeństwa obiektu. W przypadku braku komponentów, których sprowadzenie wymagało dużych ilości czasu, często decydowano się na wykorzystanie zamienników, których pozyskanie było znacznie dogodniejsze i mimo, że ich jakość pozostawała w sprzeczności z profilaktyką bezpieczeństwa, w pełni świadomości tegoż faktu pozwalano na przedstawione działania. Identyczna droga decyzyjna miała miejsce podczas przeprowadzania testu bezpieczeństwa reaktora czwartego bloku. Procedury bezpieczeństwa na długo przed doprowadzeniem reaktora do stanu niestabilności jasno wskazywały na potrzebę jego wyłączenia oraz odczekania regulaminowych 24 godzin do ponownego rozruchu. Jednak ponownie czynnikiem decydującym stał się czas. Test miał zostać przeprowadzony z góry przewidzianym terminie, niezależnie od jakichkolwiek czyn-

ników, które mogły wystąpić, co ostatecznie miało katastrofalne skutki.

Ponadto, istotnym uzasadnieniem tezy, iż elektrownia od początku stanowiła poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa w skali międzynarodowej jest fakt, iż 3 z 4 funkcjonujących bloków energetycznych doznały już wcześniej awarii o różnych skalach, a pierwszy wyciek substancji promieniotwórczych do środowiska miał miejsce już w roku 1982, po rozszczelnieniu układu paliwowego w reaktorze pierwszego bloku. W wyniku tego zdarzenia doszło do częściowego skażenia gleby i wody w promieniu 14 kilometrów od elektrowni. (Karpan, 2011; Daniljuk, 2001) [9, 10].

Na podstawie przytoczonych faktów należy więc traktować katastrofę w Czarnobylu jako zdecydowanie najważniejszą awarię jądrową w historii ludzkości, wynikającą jednak ze specyfiki projektu tego typu reaktorów oraz ignorancji procedur bezpieczeństwa przy ich budowie i eksploatacji, a nie niebezpieczeństwa energii jądrowej samej w sobie, ponieważ obecne reaktory jądrowe znacząco różnią się od tych, które instalowane były na terenach byłego ZSRR (reaktory RBMK i budowane w latach siedemdziesiątych ub. wieku reaktory WWER-440 typ 230 nie posiadające obudowy bezpieczeństwa), a ryzyko wystąpienia wypadku podobnego do awarii w Czarnobylu jest wręcz zerowe, z uwagi na rozwój procedur bezpieczeństwa, profilaktyki eksploataowania obiektów jądrowych, ich cech projektowych oraz technologii ich wykonania.

Psychologiczne implikacje katastrofy

Psychologiczne konsekwencje katastrofy w Czarnobylu są wielowymiarowe i trudne do uchwycenia w jednym ujęciu, ale mogą być zrozumiane jako efekty oddziaływania traumy na ludzi związanych bezpośrednio i pośrednio z tym wydarzeniem. W odniesieniu do aspektu psychologicznego związanego z katastrofą w Czarnobylu należy zauważyć, że obejmuje on nie tylko konsekwencje w dziedzinie zdrowia psychicznego u osób bezpośrednio poszkodowanych, ale także odczucia obserwatorów i uczestników wydarzeń z kwietnia 1986 roku. Ważne są także różnorodne narracje dotyczące tego zagadnienia, które szybko zaczęły kształtować percepcję społeczeństw wobec katastrofy oraz podejścia do energii jądrowej w przyszłości. Istnieją bowiem kontrowersje i krytyka wobec niektórych raportów i badań dotyczących skutków katastrofy w Czarnobylu, które sugerują ukrywanie lub zaniżanie pewnych faktów ze względów politycznych czy ekonomicznych.

Należy bowiem wspomnieć, iż istotne znaczenie ma fakt, że prawda o przyczynach i przebiegu awarii w reaktorze czwartego bloku, abstrahując od początkowych prób ukrycia ich przez władze Związku Radzieckiego, szybko uległa zniekształceniu i była traktowana wyrywkowo.

Często miało to charakter celowy, aby kierować przekaz dotyczący całej katastrofy oraz szerszą dyskusję na temat energii atomowej w pożądanym przez autorów narracji kierunku. Obawy i niepokój związane z promieniowaniem jonizującym oraz jego potencjalnymi skutkami często bywały w sposób nieuzasadniony spotęgowane przez media na całym świecie. Rozpowszechniona radiofobia stała się istotnym narzędziem przeciwników energetyki jądrowej w działaniach przeciwko budowie nowych elektrowni jądrowych (Zonenberg, Leoniak & Zarzycki, 2006) [11].

Co więcej, niektórzy badacze, tacy jak historyczka Kate Brown, zarzucają w swoich pracach nawet takim organizacjom międzynarodowym, jak WHO czy IAEA, że jakoby, celowo minimalizowały w swoich raportach skalę zdrowotnych konsekwencji katastrofy, zarówno tych na podłożu zdrowia fizycznego jak i psychicznego (Brown, 2019) [12]. Powodem tego miałyby być rzekoma presja środowisk politycznych i naukowych, by szerokie masy społeczne nie zniechęciły się do energii atomowej, jak również nie domagały się odszkodowań za pracę w warunkach narażenia na promieniowanie. Kate Brown w książce „Czarnobyl. Instrukcja przetrwania” (ang. „*Manual for Survival. A Chernobyl guide to the future*”) twierdzi, że miały miejsce narracje zamierzone, mające na celu ochronę możliwości prowadzenia bez ograniczeń badań nad energią atomową, czasem nie liczących się z konsekwencjami dla ludzi.

Uwzględnienie wszystkich wyżej opisanych zagadnień, jak również właściwe ich rozumienie, jest istotne dla skutecznego wsparcia psychologicznego dla osób dotkniętych katastrofą w Czarnobylu oraz dla opracowania odpowiednich strategii zarządzania kryzysowego i odbudowy społecznej. Istotne jest odpowiednie – a więc oparte na faktach, wielowymiarowe i złożone – postrzeganie katastrofy i tego, co przyniosła ona człowiekowi, oraz jaką wiedzę i jakie wnioski możemy z niej wyciągnąć na przyszłość, w tym takie, które pozwolą oprzeć się często nieprawdziwej narracji jej dotyczącej. Warto w tym miejscu przedstawić szereg badań, które ukażą ową złożoność, ale przede wszystkim negatywny wpływ katastrofy na zdrowie psychiczne ogromnych mas ludzi z różnych społeczeństw.

Kraje byłego Związku Radzieckiego

W społecznościach z obszarów bardziej skażonych występuje większa częstość chorób psychosomatycznych, jak również zaburzeń psychicznych, **jednak nie ustalono bezpośredniego związku między nimi, a narażeniem na promieniowanie**. Zonenberg i współautorzy (2006) [11] opisują badania, w których w grupie dzieci narażonych na promieniowanie zaobserwowano obniżone zdolności intelektualne. Nyagu i współautorzy (2002) [13] także wskazują na podobny deficyt możliwości intelektualnych,

ale także na zwiększoną częstość występowania zaburzeń napadowych i organicznych zaburzeń psychicznych, zaburzeń rozwoju psychologicznego oraz zaburzeń zachowania i emocjonalnych wśród dzieci, które były jeszcze w łonie matki (urodzone między 26 kwietnia 1986 roku a 26 lutego 1987 roku) w czasie awarii w Czarnobylu. Podkreślają ogromną złożoność przyczyn i heterogeniczną etiologię, jednakże wprost wskazują, jako jeden z możliwych negatywnych czynników, promieniowanie jonizujące. Poprzez analizę zarówno badań własnych, jak i dostępnych badań innych, sugerują, iż pomimo wielokrotnego narażenia dzieci na stres przed narodzeniem oraz ówczesnych problemów społecznych, ekonomicznych i zdrowotnych w badanych rodzinach, związku pomiędzy otrzymaną dawką promieniowania a efektami – ocenianymi zarówno pod względem inteligencji, jak i parametrów EEG, które są najbardziej wyraźne w kluczowych okresach rozwoju mózgu – wskazują na możliwy wpływ napromieniania prenatalnego na uszkodzenia mózgu i potencjalne konsekwencje dla rozwoju psychicznego. (Nyagu, Loganovsky, Loganovskaja, Repin & Nechaev, 2002) [13]. Autorzy ci odnotowują, że ich hipotezy nie znajdują potwierdzenia na przykład w Raporcie UNSCEAR-2000 [14], który porusza problem rozwoju psychologicznego dzieci, które były narażone na promieniowanie w wyniku skażeń spowodowanych awarią w Czarnobylu jeszcze w łonie matki. Zaburzenia poznawcze, emocjonalne i behawioralne przypisano w nim wyłącznie niekorzystnym czynnikom społeczno-psychologicznym i społeczno-kulturowym (Nyagu et al. 2002) [13]. Z kolei, Międzynarodowa Rada Doradcza Projektu Pilotażowego WHO „Uszkodzenia Mózgu w Łonie Matki” wprost stwierdziła, że prenatalne narażenie na skutki katastrofy w Czarnobylu może prowadzić do powstania u dziecka zaburzeń funkcjonowania, zarówno z powodu organicznego uszkodzenia rozwijającego się mózgu, jak i z powodu zaburzonego środowiska psychospołecznego (Nyagu et al. 2002) [13]. Wspomniany raport UNSCEAR-2000 [14], stanowi jednak cenne źródło informacji i zawiera wiele bardzo ważnych wniosków. Jednoznacznie wykazano w nim, że symptomy takie jak depresja, niestabilność emocjonalna, trudności ze snem, bóle głowy oraz trudności w koncentracji **są rezultatem wydarzeń stresogennych, które miały miejsce po katastrofie** w elektrowni w Czarnobylu (Zonenberg, Leoniak & Zarzycki, 2006) [11].

Wielokrotnie u dzieci na Ukrainie zauważano objawy zespołu neurovegetatywnego, obejmujące: uczucie zmęczenia, brak skupienia, bladość, bóle głowy, bóle brzucha oraz słabsze wyniki w nauce (Stiehm, 1992; Brown, 2023) [15, 16]. Poza wpływem niepewności co do skutków katastrofy, osoby ewakuowane ze swoich domów poniosły straty materialne, utraciły pracę oraz status ekonomiczny. Niektórzy z nich doświadczyli także dyskryminacji ze strony miejscowej społeczności, podejrzewającej ich o rozprzestrzenianie skażeń promieniotwórczych. Konsumowa-

nie lokalnych produktów spożywczych, na przykład mleka czy mięsa, było odradzane, co dodatkowo pogłębiło trudności gospodarcze w krajach Związku Radzieckiego szczególnie na Ukrainie czy Białorusi. Te zmiany w stylu życia jeszcze bardziej nasiliły stres związany z katastrofą (Brown, 2023, Cwikel, Abdelgani, Rozovski, Kordysh, Goldsmith & Quastel, 2000;) [16, 17]. Badania przeprowadzone na Ukrainie wykazały również, że lęk przed zdrowotnymi skutkami promieniowania może być przenoszony na dzieci przez nadmiernie troskliwych rodziców. Według raportu WHO i UNICEF z 2002 roku, 65% dorosłych dotkniętych katastrofą ma pesymistyczne podejście do świata. (Zonenberg, Leoniak & Zarzycki, 2006) [11].

Wiele innych badań, przeprowadzonych wśród osób mieszkających w pobliżu źródła skażenia, również odnotowało znaczące zmiany w zdrowiu psychicznym. Katastrofa w elektrowni jądrowej w Czarnobylu spowodowała znaczące konsekwencje dla Białorusi, zwłaszcza dla obszarów w pobliżu elektrowni. Radioaktywne substancje z Czarnobyla dotarły na szerokie obszary Białorusi, w tym na region Homel. To doprowadziło do skażenia promieniotwórczego, które miało poważne skutki dla ludności, środowiska naturalnego i gospodarki. W badaniach prowadzonych wśród respondentów z regionu Homla, uzyskane dane potwierdziły, iż mieli oni znacząco wyższe wyniki na wszystkich trzech skalach objawów psychiatrycznych, z wyjątkiem podskali lęku z Krótkich Skal Lęku i Depresji. (Havenaar, Rumyantzeva, van den Brink, Poelijoe, van den Bout, van Engeland, & Koeter, 1997a) [18]. Inne wyniki porównawcze ogólnego stanu zdrowia, które przeprowadzono 6,5 roku po wypadku w Czarnobylu, porównując poważnie skażone regiony na Białorusi oraz regiony ZSRR mniej narażone na efekty awarii, wykazały znacznie wyższe wyniki w kwestionariuszach samoopisowych dotyczących zaburzeń psychicznych oraz częstsze korzystanie z usług medycznych w narażonym regionie. Pięćdziesiąt procent lub więcej badanych, z obu porównywanych regionów (Homel i Twer) zgłaszało niezadowolający stan zdrowia lub cierpienie psychiczne. Podobny odsetek odwiedził lekarza i/lub zażywał leki w ciągu poprzedniego miesiąca. Ponad jedna trzecia osób z przebadanych prób zgłaszała możliwy do zdiagnozowania stan medyczny lub psychiatryczny, który wymagał opieki lekarskiej. W grupie populacji mocniej narażonej na skażenie, wszystkie samodzielnie zgłaszane wskaźniki stanu zdrowia wykazały znacznie podwyższone poziomy. Poziom stresu psychicznego oceniany za pomocą kwestionariusza ogólnego stanu zdrowia GHQ (ang. *General Health Questionnaire*) był również znacznie wyższy w regionie Homla (Havenaar, Rumyantzeva, Kasyanenko, Kaasjager, Westermann, van den Brink, Savelkoul, 1997b)[19]. Jeszcze inne badania wykazały znacznie niższy komfort psychiczny kobiet zamieszkujących silnie skażony region Briańska, miasta w Rosji. Na podstawie wyniku GHQ u 48% wykryto drobne zaburzenia psychiczne, a ogólna konkluzja wprost

wskazuje na naruszenie w dłuższej perspektywie czasowej dobrostanu psychicznego kobiet mieszkających na skażonym obszarze. (Viinamäki, Kumpusalo, Myllykangas, Salomaa, Kumpusalo, Kolmakov, Nissinen, 1995) [20]. Te przykładowe badania pokazują doskonale jak znaczący wpływ na zdrowie psychiczne ludzi z regionów byłych krajów Związku Radzieckiego miała awaria reaktora czwartego bloku Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej, a ściślej – poczucie niepewności co do podejrzewanych jej skutków zdrowotnych. Warto także sięgnąć do kilku badań, które dotyczą ludności z różnych zakątków świata, by ukazać, iż znaczenie katastrofy czarnobylskiej rzeczywiście miało wpływ na nastroje globalne.

Przykłady badań ze świata

McDaniels w roku 1988 opublikował wyniki badania, w którym dokonano porównania dwóch próbek z populacji studentów amerykańskich – jednej pobranej bezpośrednio przed katastrofą w Czarnobylu, a drugiej bezpośrednio po nim. Ujawniło ono statystycznie istotny wzrost lęku (McDaniels, 1988) [21]. Oczywiście próbka badawcza była dość mała, co nie pozwala ze stu procentową pewnością generalizować uzyskanych wyników. Z kolei Lindell, & Perry (1990) [22], choć częściowo kwestionują narrację o tak znaczącym wpływie katastrofy w Czarnobylu odnośnie do mierzonego lęku i obaw, ponieważ ich wyniki nie pokrywały się z wynikami uzyskanymi przez McDanielsa (osoby które badali, były umiarkowanie zaniepokojone zagrożeniem dla zdrowia, ale uważały, że jest mało prawdopodobne, aby doświadczyli nowotworów lub efektów genetycznych w wyniku ekspozycji na kłębiący się z uszkodzonego reaktora dym i uwalniane wraz z nim pierwiastki) – to podkreślili z drugiej strony zaobserwowany wzrost dyskusji oraz przemyśleń związanych z pobliską (badanym) elektrownią jądrową w stanie Oregon. Oba badania pokazują, iż katastrofa w Czarnobylu istotnie wpłynęła jednak na horyzonty myślowe społeczności amerykańskiej.

Badania przeprowadzone w Szwecji niedługo po awarii, gdzie również odczuwalne były skutki katastrofy w Czarnobylu, sugerują stopniowe narastanie uczuć dezorientacji i lęku wśród mieszkańców tego kraju (Lundin, Mårdberg & Otto, 1993) [23]. Obawa przed skutkami promieniowania po katastrofie w Czarnobylu stanowiła poważne zagrożenie dla ogólnego poczucia dobrostanu społeczeństwa szwedzkiego, ze względu na przewidywane negatywne wpływy na ludzi, żywność, wodę oraz ogólną kondycję środowiska naturalnego. To zagrożenie było niejasne i przynosiło głównie zaniepokojenie oraz lęk, szczególnie z uwagi na niejednoznaczne oficjalne informacje dotyczące rzeczywistych wydarzeń i związanych z nimi zagrożeń (Lundin, Mårdberg & Otto, 1993) [23].

Analizując dane pozyskane od mieszkańców miejscowości Gavle, narażonej ówczas na wyrażnie wyższe, w porównaniu z innymi obszarami Szwecji, dawki promieniowania poczynobylskiego, zauważono silniejsze negatywne reakcje na awarię i częstsze zmiany nawyków osobistych w stosunku do ludności w całej Szwecji. Jednocześnie autorzy podkreślili, iż wyższe wykształcenie było swoistym czynnikiem chroniącym – osoby z wyższym wykształceniem lepiej radziły sobie z percepcją zagrożenia i mniej się obawiały (Lundin, Mårdberg & Otto, 1993) [23]. Inne studium, w którym weryfikacji poddano kobiety w ciąży, rodziców nowo narodzonych dzieci, rolników, nastolatków i mężczyzn, którzy nie byli rodzicami, z różnych obszarów Szwecji, także ukazuje wzrost różnych negatywnych zjawisk psychicznych. Wypadek prawdopodobnie doprowadził do podwojenia liczby ludzi w regionach najbardziej dotkniętych radioaktywną chmurą, którzy negatywnie postrzegali energię jądrową. Ryzyko promieniowania stało się bardzo istotne dla większości respondentów, a osoby z obszarów bardziej narażonych były zaniepokojone jeszcze bardziej. Kobiety wykazywały większe zaniepokojenie i negatywne podejście do energii jądrowej, także rolnicy również silnie sprzeciwiali się energii jądrowej i martwili się związanym z nią ryzykiem (Sjöberg & Drottz, 1987) [24].

Ciekawe wnioski wyciągnięto analizując długoterminowe reakcje na stres wśród osób emigrujących do Izraela z byłego Związku Radzieckiego, które przybyły tam po roku 1989 r., zarówno z terenów bardziej, jak i mniej skażonych w wyniku katastrofy czarnobylskiej (Cwikel, Abdelgani, Rozovski, Kordysh, Goldsmith & Quastel, 2000) [17].

Osoby bardziej narażone na skażenie osiągały wyższe średnie wyniki we wszystkich miarach psychologicznych w porównaniu do grupy kontrolnej szczególnie w zakresie objawów potencjalnego zespołu stresu pourazowego PTSD (ang. *Post Traumatic Stress Disorder*). Wyniki pokazały także, że imigranci jako grupa zgłaszali problemy mieszkaniowe, finansowe, zawodowe oraz problemy zdrowotne, osobiste czy rodzinne. Imigranci z obszarów wokół Czarnobyla zgłaszali więcej doniesień o psychicznym cierpieniu, większą liczbę problemów zdrowotnych – zarówno własnych, jak i wśród członków rodziny – oraz więcej problemów małżeńskich.

Te trudności, połączone z towarzyszącym im, wyżej wspomnianym cierpieniem psychicznym po awarii w Czarnobylu, spowodowały znaczne skutki, które objawiały się zarówno w postaci składowych zespołu objawów stresu pourazowego PTSD, jak i somatyzacji. Badanie wykazało również, że symptomy dystresu mogą ujawniać się z kilkunastoletnim opóźnieniem, nawet po znacznym przesiedleniu populacji z obszaru skażenia (Cwikel, Abdelgani, Rozovski, Kordysh, Goldsmith & Quastel, 2000) [17].

Wnioski

Ten mimo wszystko wycinkowy przekrój różnych badań pokazuje dość wyraźnie, jak wiele w percepcji psychologicznej ludzi zmieniła katastrofa czarnobylska w roku 1986. Wydaje się jednoznaczne, iż spowodowała ona wzrost takich reakcji psychologicznych jak depresja, niestabilność emocjonalna, trudności ze snem, bóle głowy oraz trudności w koncentracji, które są rezultatem wydarzeń stresogennych, które miały miejsce po katastrofie. Zmieniła ona także percepcję powagi potencjalnych przyszłych awarii nuklearnych po Czarnobylu, zwłaszcza w Europie, co w szerszym kontekście omawia Verplanken (1991) [25].

Awaria w elektrowni jądrowej w Czarnobylu zaskoczyła wiele państw europejskich, gdyż większość instytucji odpowiedzialnych za zarządzanie ryzykiem nie była przygotowana na tak poważną katastrofę, o tak rozległych skutkach transgranicznych. Początkowe działania w zakresie zarządzania ryzykiem były chaotyczne, a różne instytucje udzielały sprzecznych porad. Mimo, że dzięki różnorodnym działaniom ochronnym udało się częściowo zredukować niektóre zagrożenia, to jednak samo to wydarzenie oraz podejmowane w jego następstwie działania miały istotny wpływ na opinię publiczną. Wpływ ten był tym bardziej dramatyczny i trwały, im bardziej dane państwo było dotknięte skutkami katastrofy (Renn, 1990) [26].

Problemy ze zdrowiem psychicznym są jednymi z głównych problemów zdrowotnych po awarii elektrowni (Darby i Reeves, 1991; Giel, 1991; Havenaar, Poelijoe, Kasyanenko, Van den Bout, Koeter, & Filipenko, 1996) [27, 28, 29]. Nie tylko wiążą się z poczuciem zagrożenia w wyniku narażenia na działanie promieniotwórczego opadu. Niejasności dotyczące przyczyn i skutków awarii oraz sprzeczne informacje z tym związane także wyrządziły krzywdę psychiczną ludności wielu krajów. Dotyczy to nie tylko ludności z obszarów, których dotyczyły wymienione wyżej badania, ale także ludności całej Europy i świata (przykład: Brown, 2019) [12].

Psychologiczna reakcja na ryzyko radiologiczne przybiera często postać ogólnej radiofobii, będącej skutkiem dezinformacji, traumy i niezrozumienia natury zagrożenia, którego poziom uzasadniałby co najwyżej lęk przed naukowo potwierdzonym, choć niewielkim wzrostem ryzyka wystąpienia skutków stochastycznych (np. nowotworów).

Na koniec być może warto zacytować białoruską pisarkę i dziennikarkę, laureatkę licznych radzieckich i międzynarodowych nagród, w tym Nagrody Nobla w dziedzinie literatury w roku 2015, Swietłanę Aleksandrownę Aleksijewicz [30]: „(...) Czarnobyl jest zagadką, którą jeszcze będziemy musieli rozwikłać (...) Innymi oczami oglądam świat wokół siebie (...) To była katastrofa świadomości. Świat naszych wyobrażeń i wartości wyleciał w powietrze. Gdybyśmy zwyciężyli Czarnobyl, albo zrozumieli

go do końca, więcej byśmy o nim myśleli. A tak żyjemy w jednym świecie, a nasza świadomość funkcjonuje w innym. Rzeczywistość nam się wymyka, już jej nie dogonimy. (...) Przeszłość okazała się bezradna (...)”. Wydaje się, że oddaje to ogromny wpływ katastrofy na myślenie i odczucia setek tysięcy ludzi, którzy doświadczyli awarii reaktora w roku 1986, która zmieniła obraz świata jaki przedtem znał człowiek.

Notka o autorach

Kacper Gargul, doktorant Szkoły Doktorskiej przy Wydziale Nauk Społecznych Uniwersytetu Gdańskiego w dyscyplinie nauk o psychologii, asystent naukowo-dydaktyczny.

Marek Niemczyk, doktorant Szkoły Doktorskiej przy Wydziale Nauk Społecznych Uniwersytetu Gdańskiego w dyscyplinie nauk o polityce i administracji, nauczyciel akademicki.

Literatura

1. International Atomic Energy Agency, *INES, The International Nuclear and Radiological Event Scale – User's Manual*, Vienna, 2013.
2. Служба безпеки України, Інститут національної пам'яті України, Чорнобильський архів КДБ, Кijów, 2020, 5–190.
3. Plokhly S., Czarnobyl. Historia nuklearnej katastrofy, *Znak*, 2019, Kraków, 144–171.
4. Miedwiediew, A. Žores, “The Legacy of Chernobyl”, Norton, Nowy Jork, 1990, 7–20.
5. International Atomic Energy Agency, INSAG-7.
6. Kopcziński G., Steinberg N., “Chernobyl”, Osnowa, Kijów, 2011, 11–30.
7. Schmid S. D., *Producing Power: The Pre-Chernobyl History of the Soviet Nuclear Industry*, MIT Press, Cambridge, 2015, 53–79.
8. Legasow W., „O wypadku w elektrowni jądrowej w Czarnobylu”, kasetka nr 1; A. Diaczenko, „Chernobyl. Duty and Courage”, Woenizdat, Moskwa, 2001.
9. Karpan N., “Chernobyl to Fukushima”, Kijów, 2011, 30–41.
10. Daniljuk J., “z archiwów”, dokument nr 9: Report of the UkSSR KGBM on Kiev and Kiev Region to the 2nd KGB Head-office of the USSR and the 2nd KGB Managing the UkSSR Concerning the Emergency Stoppage of the Chernobyl NPS Power Unit 1 on September 9, 1982”, 2001.
11. Zonenberg, Leoniak & Zarzycki (2006). The effect of Chernobyl accident on the development of non malignant diseases. *Endokrynol Pol* 2006;57(1):38–44.
12. Brown K. (2019). Manual for survival: A Chernobyl guide to the future. *Penguin UK*.
13. Nyagu, Angelina & Loganovsky, Konstantin & Loganovskaja, Tatiana & Repin, Viktor., Nechaev, Stanislav. (2002). Intelligence and Brain Damage in Children Acutely Irradiated in Utero As a Result of the Chernobyl Accident. Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia / Ed. by T. Imanaka. *KURRI-KR-79*. 202–230.
14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). Exposures and effects of the Chernobyl accident, Annex J, *Psychological and Other Accident-Related Effects* Part V, Chapter D, 384–421.
15. Stiehm E.R. The Psychologic Fallout From Chernobyl. *Am J Dis Child*. 1992;146(6):761–762. doi:10.1001/archpedi.1992.02160180121029
16. Brown K. (2023). Afterword on Chernobyl (2019): A Soviet Propaganda Win Delivered 33 Years Late. In *Energy Culture: Work, Power, and Waste in Russia and the Soviet Union* (pp. 297–303). Cham: Springer International Publishing.
17. Cwikel J. G., Abdelgani A., Rozovski U., Kordysh E., Goldsmith J. R. & Quastel, M. R. (2000). Long-term stress reactions in new

- immigrants to Israel exposed to the Chernobyl accident. *Anxiety, Stress and Coping*, 13(4), 413–439.
18. Havenaar J.M., Rummyantzeva G.M., van den Brink W., Poelijoe N.W., van den Bout J., van Engeland H., & Koeter M.W.J. (1997a). Long-Term Mental Health Effects of the Chernobyl Disaster: An Epidemiologic Survey in Two Former Soviet Regions. *American Journal of Psychiatry*, 154(11), 1605–1607. doi:10.1176/ajp.154.11.1605
 19. Havenaar J., Rummyantzev G., Kasyanenko A., Kaasjager K., Westerman A., van den Brink W.,... & Savelkoul J. (1997b). Health effects of the Chernobyl disaster: illness or illness behavior? A comparative general health survey in two former Soviet regions. *Environmental health perspectives*, 105(suppl 6), 1533–1537.
 20. Viinamäki H., Kumpusalo E., Myllykangas M., Salomaa S., Kumpusalo L., Kolmakov S.,... & Nissinen A. (1995). The Chernobyl accident and mental wellbeing—a population study. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 91(6), 396–401.
 21. McDaniel T.L. (1988). Chernobyl's effects on the perceived risks of nuclear power: A small sample test. *Risk Analysis*, 8(3), 457–461.
 22. Lindell M.K., Perry R.W. (1990). Effects of the Chernobyl accident on public perceptions of nuclear plant accident risks. *Risk Analysis*, 10(3), 393–399.
 23. Lundin T., Mårdberg B., Otto U. (1993). Chernobyl: nuclear threat as disaster. *International handbook of traumatic stress syndromes*, 431–439.
 24. Sjöberg, & Drott B.M. (1987). Psychological reactions to cancer risks after the Chernobyl accident. *Medical Oncology and Tumor Pharmacotherapy*, 4, 259–271.
 25. Verplanken B. (1991). Public reactions to the Chernobyl accident: a case of rationality?. *Industrial crisis quarterly*, 5(4), 253–269.
 26. Renn O. (1990). Public responses to the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Psychology*, 10(2), 151–167.
 27. Darby S.C., Reeves G.K. (1991). Lessons of Chernobyl. *BMJ: British Medical Journal*, 303(6814), 1347.
 28. Giel R. (1991). The psychosocial aftermath of two major disasters in the Soviet Union. *Journal of Traumatic stress*, 4, 381–392.
 29. Havenaar J. M., Poelijoe N.W., Kasyanenko A.P., Van den Bout J., Koeter M.W.J., Filipenko V.V. (1996). Screening for psychiatric disorders in an area affected by the Chernobyl disaster: the reliability and validity of three psychiatric screening questionnaires in Belarus. *Psychological medicine*, 26(4), 837–844.
 30. Alexievich, Svetlana (2016). Chernobyl Prayer: A Chronicle of the Future. Translated by Bunin, Anna; *Tait, Arch. Penguin Modern Classics*. ISBN 978-0241270530.
 31. Szczerbak J., „Chernobyl”, Sowiecki Pisatel, 1991; G. Miedwie-diew, “Truth about Chernobyl”, Moskwa, 1991, 76–81; 309–315
 32. Troszczyński R., Medialne manipulacje informacjami na temat wybuchu reaktora w elektrowni jądrowej w Czarnobylu: Analiza zagranicznych komunikatów telewizyjnych z kwietnia i maja 1986 r., UKSW, 2023.

Negative Effects of Over-Reaction in the Aftermath of Radiological Emergencies

Negatywne skutki nadmiernej reakcji w następstwie sytuacji zdarzeń radiacyjnych

Yehoshua Socol, Moshe Yanovskiy
Jerusalem College of Technology, Israel

Abstract: Despite the vast amount of literature on radiological emergencies, to the best of our knowledge there is no systematic review of probable scenarios and their consequences. A red team simulated best efforts to inflict maximal damage to the society by various means of radiological attacks. It turned out, that the direct radiogenic health consequences of any conceivable radiological accident, natural or man-made, are much less dangerous than those which are usually perceived. In each scenario, direct health effects are only a small part of the damage caused by fear and over-reaction; the damage is somewhat independent of the small health effect predicted for most of the scenarios. The reason is that nuclear radiation has become perceptually connected with nuclear apocalypses. This connection has caused the emotional description of radiological emergencies to frequently substitute quantitative considerations. Therefore, it is vital to educate decision makers, first responders and the public about the factual extent of possible radiological consequences, as well as about the very real danger of over-reaction. Since the extent of the countermeasures deployed is unavoidably connected, in the eye of the public, with the extent of the danger, we suggest launching educational campaigns that explain the factual extent of the radiation risk, followed by easing regulations and narrowing safety margins. Such measures will probably be the most efficient method of countering radiological terrorism: by depriving any adversary of the most important ability which is to cause an over-reaction.

Keywords: nuclear power, radiation safety, dirty bomb, radiation, health effects, radiophobia, education.

Streszczenie: *Pomimo ogromnej ilości literatury na temat sytuacji nadzwyczajnych związanych z promieniowaniem, według naszej wiedzy nie przeprowadzono dotychczas systematycznego przeglądu prawdopodobnych scenariuszy i ich konsekwencji. Zespół „czerwonych” (symulujących przeciwnika) symulował wszelkie możliwe działania mające na celu wyrządzenie społeczeństwu maksymalnych szkód za pomocą różnych metod ataków radiologicznych. Okazało się, że bezpośrednie konsekwencje zdrowotne każdego możliwego wypadku radiologicznego, naturalnego lub spowodowanego przez człowieka, są znacznie mniej niebezpieczne niż te, które się powszechnie uważa. W każdym scenariuszu bezpośrednie skutki zdrowotne stanowią jedynie niewielką część szkód spowodowanych strachem i nadmierną reakcją; szkody te są w pewnym stopniu niezależne od niewielkiego wpływu na zdrowie przewidywanego w większości scenariuszy. Powodem jest to, że promieniowanie jądrowe zostało percepcyjnie powiązane z nuklearnymi apokalipsami. To powiązanie sprawiło, że emocjonalny opis zagrożeń radiologicznych często zastępuje rozważania ilościowe. Dlatego niezwykle ważne jest edukowanie decydentów, służb ratowniczych i społeczeństwa o faktycznym zakresie możliwych konsekwencji radiologicznych, a także o bardzo realnym niebezpieczeństwie nadmiernej reakcji. Ponieważ zakres zastosowanych środków zaradczych jest nieuchronnie związany, w opinii publicznej, ze skalą zagrożenia, sugerujemy przeprowadzenie kampanii edukacyjnych wyjaśniających faktyczny zakres ryzyka radiacyjnego, a następnie złagodzenie przepisów i zawężenie marginesów bezpieczeństwa. Takie środki będą prawdopodobnie najskuteczniejszą metodą przeciwdziałania terroryzmowi radiologicznemu: pozbawiają każdego przeciwnika najważniejszej zdolności, jaką jest wywołanie nadmiernej reakcji.*

Słowa kluczowe: energia jądrowa, bezpieczeństwo radiacyjne, brudna bomba, promieniowanie, skutki zdrowotne, radiofobia, edukacja.

1. Introduction

Due to historical factors, ionizing radiation has instilled fear in people due to its association with nuclear catastrophes. Well before the testing or deployment of the first atomic bomb, an official report cautioned that “civilization would have the means to commit suicide at will” (Smyth 1945) [18]. It appears that both the United States and the USSR, as superpowers, had a vested interest in amplifying the consequences of radiation to bolster their nuclear deterrence capabilities (Jaworowski 1999) [12].

Following the atomic bombings of Japan and the onset of the nuclear arms race, numerous scientists became deeply concerned about the very survival of humanity. When contemplating the immense dangers of nuclear warfare, one can sympathize with those scientists who emphasized the risks of radiation despite the lack of substantial scientific evidence, hoping thereby to impede the escalation of the nuclear arms race. Nonetheless, it has been suggested that some scientists may have had an additional, less selfless motive for promoting the perception of excessive radiation hazards. This perception would facilitate their acquisition of funding and strengthen their involvement in decision-making processes (Mauer 2009, Ch. 12; Yanovskiy et al. 2019) [15, 24]. The linear no-threshold (LNT) model (Lee and Elmore 2026) [14] then emerged. The LNT model assumes that every radiation dose, no matter how small, increases cancer risk. Although this model is still regarded by official bodies as conservative and prudent for radiation protection purposes (Socol et al. 2019) [20], it remains the subject of serious scientific controversy (Calabrese et al. 2018; Kardamakis et al. 2023; Tubiana 2005;) [4, 13, 21]. Among other things, the LNT hypothesis underlies the current perception of the consequences of accidents in the nuclear power sector.

An unwarranted fear of radiation – radiophobia – has emerged. Furthermore, the unwarranted fear endures even after the conclusion of the Cold War and is exploited by certain groups to advance their own agendas (Mauer 2009, Ch. 12) [15]. The unjustified permanent relocation of Chernobyl (Socol 2015) [19] and the prolonged evacuation of Fukushima (Yanovskiy et al. 2022) [25]; affecting over 100,000 individuals in each case, were actually over-reaction. Actually, adopting a “shelter in place” policy for Fukushima and repopulating the evacuated areas of Chernobyl after one month would have been appropriate (Yanovskiy et al. 2022) [25].

2. Radiological Emergency: Case Study

Radiological incidents, whether resulting from technological malfunctions or deliberate acts of sabotage or terrorism, share many similarities and warrant equal consideration. The primary distinction lies in the fact that terrorist attacks typically target densely populated areas, whereas

the likelihood of a natural accident transpiring in such locations is significantly reduced. Here, we consider sample scenarios involving Cs-137 therapeutic source.

Based on the IAEA (1987) [11] report, we estimate that a typical fresh Cs-137 radiation source used in radiation therapy (RT) possesses an activity level of 0.1 PBq (10^{14} Bq) or 3000 curie (Ci). These sources present very real dangers. Sources utilized in industrial applications such as flow meters, thickness gauges, and well-logging devices are usually weaker.

It is worth noting that the use of Cs-137 in radiation therapy (RT) is diminishing as it has been replaced by Co-60 sources and compact electron accelerators. Co-60, being a metal, poses challenges in handling. On the other hand, Cs-137 sources typically consist of 30-ml ampules containing rice-sized granules of cesium chloride CsCl, which dissolves in water similarly to table salt (IAEA 1987) [11]. Consequently, dispersing CsCl appears relatively straightforward.

Undoubtedly, the high-dose-rate radiation emitted by the source presents significant handling difficulties. As shown below, an unprotected individual can only handle such a source for a brief period of less than half an hour before being exposed to a lethal dose. However, a 2-cm-thick steel plate (or a 20-cm-thick brick pile) attenuates the radiation by approximately an order of magnitude, allowing for an exposure of around one hour before absorbing 1 Gy. A dose of 1 Gy is sufficient to trigger the onset of acute radiation syndrome (ARS), resulting in sickness but with a minimal risk of death. Using a steel plate with a narrow viewing slot can partially address the shielding issue, as only the hands of the person handling the source are directly exposed.

In terms of potential sabotage, the most effective method for dispersing Cs-137 is likely by dissolving the source in water, pouring the solution into an air humidifier, and placing the humidifier in the cargo area of a pickup truck for transportation. The driver can also be shielded by a barrier such as a steel plate or brick pile.

Let us now examine three different scenarios:

Scenario 1: An adversary conceals a Cs-137 source with an activity of 10^5 GBq. Any individual located 1 meter away from the source would be exposed to a dose rate of $8.9 \cdot 10^{-5} \cdot 10^5 = 9$ Gy/h, resulting in a lethal dose of 4 Gy in under half an hour. This type of attack, involving the concealment of such a source in places like cafes or libraries, could be highly effective, causing significant casualties. Arguably, it could be more efficient in terms of casualties compared to conventional methods such as knives, firearms, explosives, or trucks.

Scenario 2: An adversary disperses a Cs-137 source with an activity of 10^5 GBq (10^{14} Bq) over a small area, resembling a “dirty bomb” scenario. Let’s assume, for reference, that the contaminated area is 100 m^2 . The contamination level would be 10^{12} Bq/m^2 , resulting in a gamma

dose rate of $1.6 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{12} = 1.6 \text{ Gy/h}$. After one hour of exposure, the accumulated dose would reach 1.6 Gy, surpassing the threshold for the onset of acute radiation syndrome (ARS) at 1 Gy (Glasstone and Dolan 1977) [8]. Although the contaminated area (100 m^2) should be immediately evacuated and undergo extensive decontamination, it remains relatively small. No radiogenic casualties or significant damage are anticipated, provided that first responders are equipped with radiation monitors and limit their time spent in the “hot” zone to 15 minutes.

Scenario 3: Alternatively, an adversary might opt to contaminate a larger area using a moving vehicle equipped with an air humidifier. Let’s assume that the vehicle contaminates a 10-meter-wide zone behind it during several hours of driving, covering approximately 100 km of streets in a large city. The corresponding area would be 10^6 m^2 , resulting in a dose rate of $1.6 \cdot 10^{-12} (10^{14}/10^6) = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ Gy/h} = 1.40 \text{ Gy/year} = 1400 \text{ mGy/year}$. Such contamination poses no immediate risk of acute effects, as the threshold for ARS onset is approximately 1000 mGy if absorbed within 4 days (Glasstone and Dolan 1977) [8]. However, this radiation rate may increase the risk of cancer, necessitating decontamination of the area.

If the adversary chooses to contaminate a smaller area with the same amount of Cs-137, let’s say 10 km of streets, the local dose rate would be higher. Consequently, the decontamination efforts would need to be more intensive but confined to a smaller, more manageable area. In general, it is suggested that decontaminating a smaller area with higher contamination levels would be more cost-effective and easier than addressing a much larger area with lower contamination levels.

3. What to Do?

We cannot dismiss the theoretical possibility of a large-scale sabotage attempt targeting a nuclear power plant or the transportation of spent nuclear fuel. However, the likelihood of such attacks succeeding is extremely low. It is important to emphasize that a special forces team capable of carrying out such an attack would likely have the ability to execute a conventional attack targeting a population, resulting in a significantly higher loss of life. In the past, lone bombers with body-held charges caused approximately 20 casualties each (Brym and Araj, 2006) [2]. Therefore, an adversary would need compelling reasons to target a nuclear facility instead of a densely populated area. One such reason could be associated with an irrational fear of radiation that affects both society and the government. In this case, an adversary may hope that a targeted nuclear incident would have a more enduring impact than a large-scale terrorist attack against people. It is worth mentioning that such hopes are not baseless given the present circumstances. For instance, one can compare the public perception of the Tōhoku earthquake and tsunami,

which claimed a minimum of 20,000 lives but received limited international attention, with the Fukushima nuclear accident, which resulted in no loss of life yet is still regarded worldwide as a major disaster.

Similar considerations apply to any conceivable sabotage involving a radioactive source. While the consequences may be fatal, they are unlikely to be more effective than using conventional weapons such as knives, firearms, or trucks. An essential aspect is equipping every first-response team with radiation monitors and providing them with proper training. However, the primary concern lies in preventing excessive panic among the population and authorities. Instances of prolonged evacuation following Fukushima and permanent relocation after Chernobyl exemplify such overreactions. The key to prevention is through comprehensive education.

Therefore, the most effective approach to combating radiological terrorism is to remove the incentives fueled by anticipation of over-reaction. In other words, the elimination of unwarranted fear of radiation is crucial. It is of utmost importance to educate decision-makers, first responders, and the public about scientifically based assessments of the direct radiological consequences, as well as the genuine risks associated with overreactions like mass evacuations and unrealistic decontamination goals. This educational initiative can commence with brief introductory training sessions for decision-makers, teachers, and first responders. The training should also cover nuclear warfare since, as mentioned in the introduction, ionizing radiation has become inherently linked with nuclear apocalypses.

In the Tables 1–3 (next page) we propose tentative syllabuses for 12-hour training for three target groups:

- (1) decision-makers, first responders, psychologists and social workers (see Table 1),
- (2) history and geography teachers in middle and high school (see Table 2), and
- (3) science and technology teachers in middle and high school (see Table 3).

Regarding the physical security of nuclear facilities, it is important to consider the potential psychological impact of increased investment, which could inadvertently amplify fears. A rational individual associates the level of security with the level of threat and responds accordingly when the threat materializes. For instance, the current plans for secure storage of spent nuclear fuel consider storage in casks designed to withstand antitank weapons, buried 250–1000 meters underground (or even deeper) for safety purposes (WNA 2026) [23]. In such a context, it should not come as a surprise if people react with alarm (or even overreact, such as mass evacuation over an extended area) when a cask is breached during transportation.

Given the aforementioned considerations, we propose that relaxing regulations and narrowing safety margins, preceded by educational campaigns to elucidate these

Table 1. Target audience: Decision-makers, first responders, psychologists and social workers.**Tabela 1.** Grupa docelowa: decydenci, pierwsi respondenci, psychologowie i pracownicy socjalni.

Topic no.	Topic	Hours
1	Basic concepts in nuclear physics. Ionizing radiation	1
2	Nuclear reactor: a) Reactor layout. Nuclear energy as a clean and effective long-term energy source b) Plutonium production. The problem of nuclear weapons proliferation and ways to address it	1
3	Atomic bomb and hydrogen bomb. Five impact factors	1
4	Hiroshima and Nagasaki. Nuclear tests	1
5	Immediate injury factors and protection against them: blast, heat, and prompt ionizing radiation	1
6	Extent of damage: myths and facts. Comparison with conventional explosives. The panic factor	2
7	Radioactive fallout. Radiation damage and its extent. Chernobyl: myths and facts	2
8	Civil defense: dispersion, hardening, protection, and functioning in the Emergency Response Team (large-scale sudden disaster)	3
	Total	12

Table 2. Target audience: History and geography teachers in middle and high school.**Tabela 2.** Grupa docelowa: Nauczyciele historii i geografii w szkołach średnich i gimnazjach.

Topic no.	Topic	Hours
1	Basic concepts in nuclear physics. Ionizing radiation	1
2	Nuclear reactor: a) Reactor layout. Nuclear energy as a clean and effective long-term energy source b) Plutonium production. The problem of nuclear weapons proliferation and ways to address it	1
3	Atomic bomb and hydrogen bomb. Five impact factors	1
4	Hiroshima and Nagasaki. The contribution of nuclear weapons to the end of World War II	2
5	The Cold War and its end. Nuclear proliferation. The arms race and the collapse of the USSR	2
6	Immediate injury factors and protection against them: blast, heat, and prompt ionizing radiation	1
7	Extent of damage: myths and facts. Comparison with conventional explosives. The panic factor	1
8	Radioactive fallout. Radiation damage and its extent. Chernobyl: myths and facts	2
9	Civil defense: dispersion, hardening, protection, and functioning in the Emergency Response Team (large-scale sudden disaster)	1
	Total	12

Table 3. Target audience: Science and technology teachers in middle and high school.**Tabela 3.** Grupa docelowa: Nauczyciele przedmiotów ścisłych i technicznych w szkołach średnich i gimnazjach.

Topic no.	Topic	Hours
1	Basic concepts in nuclear physics: fission, critical mass, fusion, and ionizing radiation. Uses of radiation in medicine	2
2	Nuclear reactor: a) Reactor layout. Nuclear energy as a clean and effective long-term energy source b) Plutonium production. The problem of nuclear weapons proliferation and ways to address it	2
3	Atomic bomb and hydrogen bomb. Five impact factors	1
4	Nuclear explosion: review of the five damage factors	1
5	Immediate injury factors and protection against them: blast, heat, and prompt ionizing radiation	1
6	Extent of damage: myths and facts. Comparison with conventional explosives. The panic factor	1
7	Radioactive fallout. Radiation damage and its extent. Chernobyl: myths and facts	2
8	Civil defense: dispersion, hardening, protection, and functioning in the Emergency Response Team (large-scale sudden disaster)	2
	Total	12

measures, can enhance radiological security. For instance, we can recommend the following:

1. **Adjustment of legal limits for radiation exposure:** 0.2 cGy/day for radiation workers, in accordance with the norms effective in 1920th and 1930th (ICR, 1931; Calabrese, 2009) [10, 3], and half of this level, 0.1 cGy/day, for the general public. For radiation workers, 0.2 cGy/day corresponds to approximately 50 cGy/year, which is ten times the current U.S. limit and twenty-five times the EU limit.
2. **Relaxation of regulations governing medical and scientific radioactive sources that pose no discernible danger:** specifically, we propose lifting all limitations on the storage, transportation, and disposal of sources that produce radiation at a dose rate below 0.05 cGy/day (half of the permitted dose rate for the general public) at a distance of 1 meter.

Certainly, the above mentioned steps should be carefully considered and preceded by educational campaigns.

While some may view deregulation as compromising safety and security (for brevity, we refer to safety), the truth often lies in the opposite direction. Every functional system, whether technological or not, possesses an optimal range of safety measures. Deviating from this optimum in either direction jeopardizes safety. This fundamental principle of common wisdom can be traced back to sources such as the Pentateuch: “do not add... and do not subtract” (Deut. 4:2, 13:1). The medieval Jewish scholar Rabeinu Bahya (1050-1120) expressed it as follows: “It is a matter of caution not to be over-cautious”. Let us consider the example of vehicle speed. Excessive speed is evidently hazardous, but on a highway excessively slow speed also poses great risks: A vehicle moving at an exceptionally slow pace becomes a hazardous obstruction that other drivers (riding at high speed) must avoid. Another example – though 30 km/h speed limit is widespread, we are not aware of lower speed limits despite lowering impact speed from 30 km/h to 20 km/h decreases pedestrian fatality rate threefold (FEVR, 2013; see Fig. 6 there) [7].

There are at least three reasons why excessive caution and over-regulation undermine safety:

- Each additional feature, including safety measures, introduces complexity to a system. Over-regulation leads to excessive complexity, and complex systems inherently tend to be unsafe (Cook 1998; Dekker 2016; Perrow 1999) [5, 6, 17].
- Regulatory bodies often prioritize easily controllable aspects, such as demanding extensive documentation. Furthermore, the limited accountability of government officials reinforces these incentives (Tullock 1965) [22]. Interestingly, terms like “lazy bureaucrat” (Arkin et al. 2003) [1] and “lazy cop” (Offner and Ojakian 2014) [16] have emerged in industrial engineering and game theory.
- Over-regulation imposes a significant burden on industries, often without proportionate contributions to

safety. For instance, the requirement for extensive documentation may divert resources from addressing more subtle safety aspects.

To exemplify the above points, we present a case of successful deregulation that significantly improved safety. The deregulation of the US railroad industry, initiated in 1980, was named as the first among the causes of the notable decline in rail-related fatalities and accidents (Haley 2007) [9]: Between 1978 and 2005, the annual number of rail-related fatalities decreased by almost half, from 1,646 to 888, while the total number of rail-related accidents decreased more than six-fold, from 90,653 to 13,969 (Haley 2007) [9].

There is a valid concern that drastic changes to current regulations and guidelines may undermine public trust in authorities and potentially cause more harm than good. However, we firmly believe that if existing guidance is overly cautious to the extent that it results in more loss of life than preservation, it should be rectified promptly. To err is human, and regulators, being human, should be willing to acknowledge mistakes to enhance public trust.

Reducing the regulatory burden presents an opportunity to attract new players and investors to the nuclear energy sector and other industries involving radioactive materials. Increased investment, heightened competition in safety and security practices, and collaboration with local communities to ensure the safety of nuclear facilities are expected to enhance security by bolstering public trust in the guidance provided by authorities.

Furthermore, emerging firms and non-profit organizations in growing industries are likely to show greater interest in conducting outreach campaigns compared to established players. The latter are currently focused on survival and may lack a long-term perspective. Additionally, if the population (that is, the voters) has a better understanding of the actual risks involved, elected politicians are more likely to respond to rational approaches for enhancing the safety and security of nuclear facilities.

Implementing such measures not only reduces the incentives for nuclear terrorism but also facilitates the implementation of post-accident countermeasures.

4. Conclusions

The true health impacts of radiological accidents, whether they occur naturally or as a result of a terrorist attack, are generally much less severe than commonly believed. Population evacuation should be deemed necessary only in exceedingly rare circumstances. The major humanitarian disasters experienced in Chernobyl and Fukushima were not primarily caused by radiation itself, but rather by the excessive reaction from both the authorities and the public. The unjustified permanent relocation of Chernobyl and the prolonged evacuation of Fukushima, affecting over 100,000 individuals in each case were the consequences of this overreaction. Retrospectively, adopting

a “shelter in place” policy for Fukushima and repopulating the evacuated areas of Chernobyl after one month would have been appropriate.

We propose launching educational campaigns targeted at decision makers, first responders, and the general public to provide accurate information about the real health consequences of radiological incidents and to raise awareness of the risks associated with overreaction. Then, relaxing regulations and narrowing safety margins will considerably contribute to safety, as the perception of danger is closely tied to the extent of countermeasures in the public’s mind. Our recommendations focus on mitigating radiological terrorism by eliminating the most significant incentive for adversaries: triggering an overreaction.

Acknowledgements

The authors wish to thank the organizers of the Urban Operations Experts Talks 2023 conference in Vienna where this topic was presented, and the conference participants for fruitful discussions and constructive criticism. Special thanks are due to Prof. Dr. habil. Ing. Pavel Foltin, Ph.D. (Brno University of Technology). Last but not least, the authors wish to thank Prof. (Em.) Marek Janiak for his interest, encouragement and fruitful discussions.

Biographical Note

Yehoshua Socol, PhD, received his doctoral degree in physics in 2000 from Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel. Presently with Jerusalem College of Technology, Jerusalem, Israel. His research interests include radiation carcinogenesis, epidemiology, risk assessment, public choice and ethics, as well as statistics and artificial intelligence.

Moshe Yanovskiy, PhD, graduated from the Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation. Presently with Jerusalem College of Technology, Jerusalem, Israel. His research interests include political economy, incentives’ analysis, public choice and ethics.

References

1. Arkin E.M., Bender M.A., Mitchell J.S.B., Skiena S.S. 2003. The lazy bureaucrat scheduling problem. *Information and Computation* 184:129–146.
2. Brym R.J. and Araj B. 2006. Suicide Bombing as Strategy and Interaction: The Case of the Second Intifada. *Social Forces*, 84(4): 1969–1986.
3. Calabrese E.J. 2009. The road to linearity: why linearity at low doses became the basis for carcinogen risk assessment. *Archives of Toxicology* 83: 203–225.
4. Calabrese E.J., Hanekamp J.C., Shamoun D.Y. 2018. The EPA cancer risk assessment default model proposal: moving away from the LNT. *Dose-Response* 2018; 16(3):1559325818789840.
5. Cook R.I. 1998. How Complex Systems Fail. University of Chicago, 1998. [Online]. Available: <https://How.ComplexSystems.Fail>, checked on 3/25/2026.
6. Dekker S. 2016. *Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems*. Boca Raton, FL: CRC Press.
7. FEVR (European Federation of Road Traffic Victims) 2013. WHY 30 km/h? <https://fevr.org/wp-content/uploads/2021/03/30-FEVR-2013.pdf>, checked on 3/25/2026.
8. Glasstone S. and Dolan P.J. 1977. *The Effects of Nuclear Weapons*, US Department of Defense, and the Energy Research and Development Administration, Washington DC
9. Haley M.T. 2007. The Security of Our Nation’s Passenger and Freight Railroad Network. Testimony before the Subcommittee on Transportation Security and Infrastructure Protection, Committee on Homeland Security, U.S. House of Representatives, February 6, 2007. <https://www.transportation.gov/testimony/security-our-nations-passenger-and-freight-railroad-network-0>, checked on 3/25/2026.
10. ICR, 1931. The work of the International X-ray Unit Committee and the International X-ray and Radium Protection Commission during the III International Congress of Radiology in Paris 1931. *Acta Radiol.* 12, 586–594. <https://www.icrp.org/publication.asp?id=1931%20Recommendations>, checked on 3/25/2026.
11. IAEA (International Atomic Energy Agency) 1987. *The radiological accident in Goiania*. Vienna: IAEA https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub815_web.pdf, checked on 3/25/2026.
12. Jaworowski Z. 1999. Radiation Risk and Ethics. *Physics Today* 59(9): 24–29.
13. Kardamakis D., Baatout S., Bourguignon M., Foray N. and Y Socol. 2023. Chapter 1: History of radiation biology. Pages 1–24. In: Sarah Baatout (Ed.), “Radiobiology Textbook”, by Springer International Publishing (Verlag), Sep. 2023. ISBN 978-3-031-18809-1 (Hardcover), 978-3-031-18810-7 (eBook). <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-18810-7> (open access).
14. Lee C.I. and Elmore J.G. 2026. Radiation-related risks of imaging, UpToDate®. Alphen aan den Rijn: Wolters Kluwer. <https://www.uptodate.com/contents/radiation-related-risks-of-imaging> Updated: Jan 09, 2026, checked on 3/25/2026.
15. Mauer S.M. (Ed.). 2009. *WMD Terrorism: Science and Policy Choices*. Boston MA: MIT Press 2009 (ISBN 9780262012980) 624 pp.
16. Offner D. and Ojakian D. 2014. Variations of cops and robber on the hypercube. *Australas. J. Combin.*, 59 (2):229-250.
17. Perrow C. 1999. *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*. Princeton: Princeton University Press (revised edition), 464 pp.
18. Smyth H.D. 1945. Atomic energy for military purposes; the official report on the development of the atomic bomb under the auspices of the United States Government, 1940-1945. York, PN: Maple Press, 1945, p. 224. Available at: <http://archive.org/details/atomicenergyform00smytrich>, checked on 3/25/2026.
19. Socol Y. 2015. Reconsidering Health Consequences of the Chernobyl Accident. *Dose-Response* 13 (1), dose-response.14-040.Socol. 4 May. 2015, doi:10.2203/dose-response.14-040.Socol
20. Socol Y., Shaki Y.Y. and Yanovskiy M. 2019. Interests, Bias, and Consensus in Science and Regulation *Dose-Response* 17 (2), 1559325819853669.
21. Tubiana M. 2005. Dose-effect relationship and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation: the joint report of the Académie des Sciences (Paris) and of the Académie Nationale de Médecine. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 63(2): 317–319.
22. Tullock G. 1965. *The Politics of Bureaucracy*. Washington, D.C.: Public Affairs Press. p. 383.
23. WNA (World Nuclear Association) 2026. Storage and Disposal of Radioactive Waste. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-waste/storage-and-disposal-of-radioactive-waste.aspx> Updated: Mar 23, 2026, checked on 3/25/2026.
24. Yanovskiy M., Shaki Y.Y. and Socol Y. 2019. Ethics of adoption and use of the linear no-threshold model. *Dose Response* Jan-Mar; 17(1): 1559325818822602.
25. Yanovskiy M., Levi O.N., Shaki Y.Y. and Socol Y. 2022. Consequences of a large-scale nuclear-power-plant accident and guidelines for evacuation: a cost-effectiveness analysis. *Int J Rad Biol*, 96(11), 1382–1389. doi:10.1080/09553002.2020.1779962

Biuletyn „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna” wydawany jest od 1989 r. Do 2013 r. był drukowany i kolportowany (ostatnio w nakładzie 700 egzemplarzy) wśród osób i instytucji zainteresowanych zagadnieniami dozoru nad bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną. Od 2014 r. biuletyn wydawany jest w nowej, elektronicznej formie. Każdy numer biuletynu zamieszczany jest na stronie internetowej.

Biuletyn „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna” znajduje się w wykazie czasopism naukowych Ministerstwa Edukacji i Nauki. Kwartalnik wydawany przez PAA otrzymał 40 pkt. w następujących dyscyplinach naukowych:

- nauki o bezpieczeństwie,
- nauki fizyczne,
- nauki chemiczne,
- nauki prawne,
- nauki medyczne,
- inżynieria bezpieczeństwa,
- biologia medyczna.

Informacja dla autorów

Wydawca przyjmuje artykuły naukowe, których tematyka jest związana z zapewnieniem i kontrolą bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, w tym również związane z zabezpieczeniem i ochroną fizyczną materiałów jądrowych i obiektów jądrowych, technologiami jądrowymi i technikami radiacyjnymi, fizyką i chemią oraz inżynierią jądrową, naukami prawnymi, geologią i geofizyką czy bezpieczeństwem narodowym.

Każdy artykuł zamieszczony w biuletynie jest recenzowany przez dwóch recenzentów.

Zasady ogólne

Tekst artykułu powinien prezentować aktualny stan wiedzy na poruszany temat oraz najnowsze dane. Artykuł powinien być podzielony na mniejsze logiczne fragmenty redakcyjne, opatrzone śródtytułami. Artykuł nie może być wcześniej publikowany ani zgłoszony do publikacji w innym czasopiśmie. Wydawca zastrzega sobie prawo nieprzyjęcia artykułu do publikacji, dokonywania skrótów, wprowadzania poprawek stylistycznych i redakcyjnych oraz zmian w tytule artykułu. Autorzy są zobowiązani do współpracy z Wydawcą w całym procesie przygotowywania artykułu do publikacji, w tym do terminowej korekty autorskiej.

Zgłoszenie dzieła

Egzemplarze artykułu wraz z pełnym zestawem ilustracji mogą być przesyłane na adres:

Biuletyn „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna”

Państwowa Agencja Atomistyki

ul. Nowy Świat 6/12,

00-400 Warszawa, Polska

E-mail: biuletyn@paa.gov.pl

Zachęcamy do przesyłania artykułów drogą elektroniczną na wyżej wskazany adres e-mail.

Szczegółowe informacje można uzyskać na stronie internetowej:

<https://www.gov.pl/web/paa/biuletyn-bezpieczenstwo-jadrowe-i-ochrona-radiologiczna>



Państwowa Agencja Atomistyki
ul. Nowy Świat 6/12, 00-400 Warszawa
www.gov.pl/web/paa